



## E-klas Meten aan melkwegstelsels

Auteur

Team

Laatst gewijzigd

Licentie

Webadres

Bètapartners

Wikiwijs Maken Auteurs

7 mei 2015

CC Naamsvermelding-GelijkDelen 3.0 Nederland licentie

<https://maken.wikiwijs.nl/55537/>



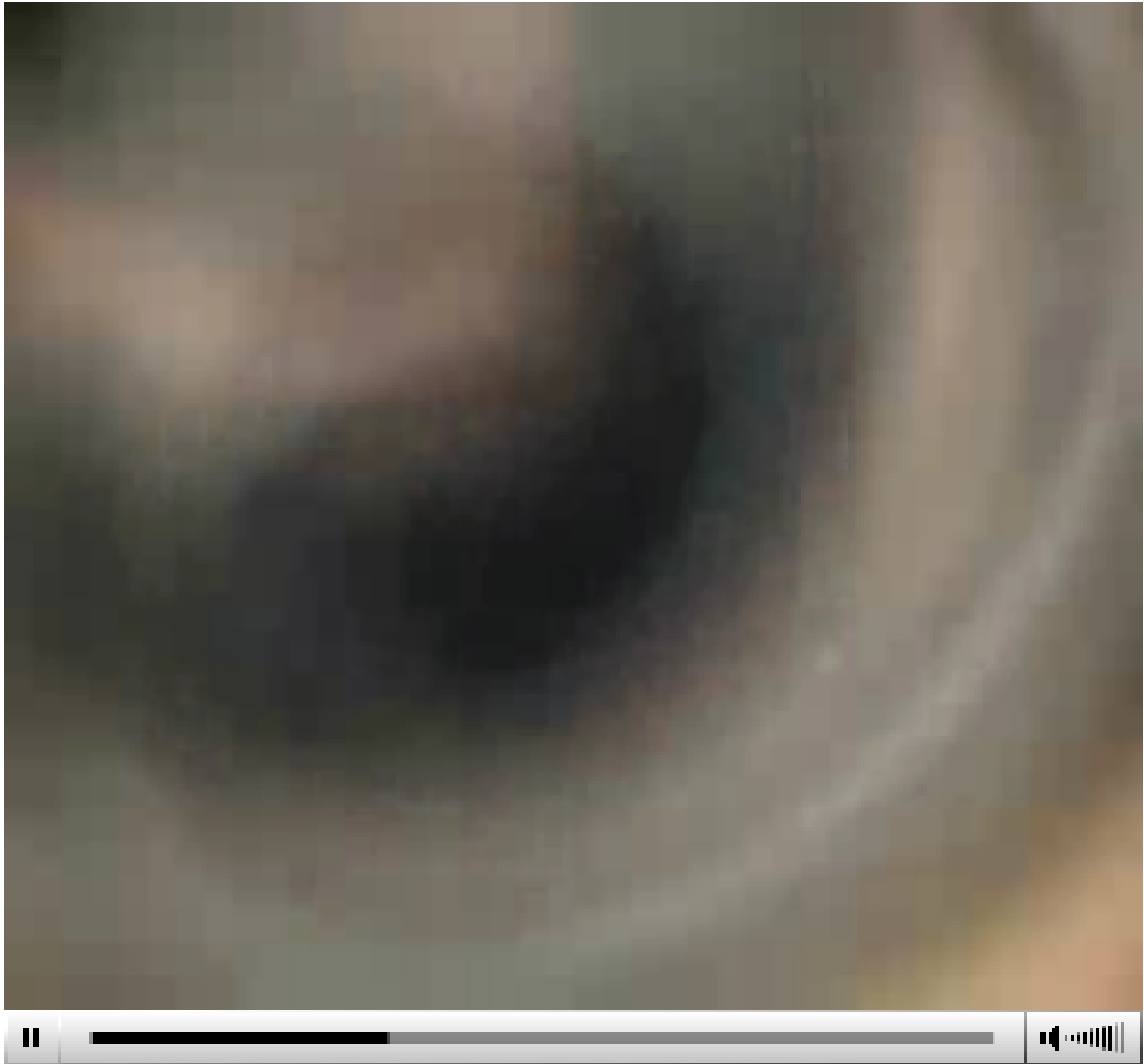
Dit lesmateriaal is gemaakt met Wikiwijs van Kennisnet. Wikiwijs is hét onderwijsplatform waar je leermiddelen zoekt, maakt en deelt.

# Inhoudsopgave

Home .....	2
Studiewijzer .....	4
Meten aan melkwegstelsels .....	5
Inhoud .....	7
1 Introductie .....	13
2 Stellarium .....	17
3 Alles draait .....	25
3.1 De maan draait om de aarde .....	25
3.2 De aarde draait om de zon .....	34
3.3 De zon draait om... ..	38
4 Het heelal .....	41
4.1 Een heelal vol sterrenstelsels .....	42
4.2 Evolutie van het heelal .....	56
4.3 Opgaven .....	63
5 Cirkelbanen .....	73
5.1 Van cirkelbanen naar Kepler .....	73
5.2 Opdrachten cirkelbanen .....	75
6. De wetten van Kepler .....	77
6.1 De wetten van Kepler .....	77
6.2 Opdrachten ellipsen .....	80
6.3 De eerste wet van Kepler .....	83
6.4 De tweede wet van Kepler .....	84
6.5 De derde wet van Kepler .....	87
6.6 Opdrachten wetten van Kepler .....	92
6.7 Toepassingen .....	96
7 Massa .....	106
8 Het zwarte gat .....	109
8.1 Is er écht een zwart gat? .....	109
8.2 Magnitudes .....	111
8.3 Ontsnappingssnelheid .....	117
9 Presentaties .....	125
9.1 Presentaties .....	125
9.2 De levensloop van sterren .....	125
10 Het debat .....	131
10.1 Wereldbeelden .....	131
10.2 Debatteren in de wetenschap .....	137
Tenslotte .....	141
D-toets .....	142
Eindopdracht .....	143
Over deze module .....	144
Over dit lesmateriaal .....	145

# Home

Welkom bij de e-klas Meten aan Melkwegstelsels



[Klik hier voor animatie](#)

In de *studiewijzer* kun je kijken hoe de module is opgebouwd. Deze e-klas is uitgegaan van de papieren versie van de module "Meten aan Melkwegstelsels". Veel opdrachten zullen dezelfde zijn als in de papieren versie. De e-klas is echter uitgebreid met een aantal animaties, video's, presentaties en een lezing, waar opdrachten bij horen, die niet in de papieren versie genoemd staan.

Voor deze e-klas heb je de volgende programma's nodig: Microsoft Word, Microsoft Excel, [Stellarium](#), Coach 6.0. Een handige tool bij deze module is een [natuurkundige rekenmachine](#) voor het omrekenen van astronomische eenheden.



# Studiewijzer

## Praktische opmerkingen

Bij de eerste hoofdstukken horen opdrachten die je maakt in Werkdocument\_I.  
Bij latere hoofdstukken over de wetten van Kepler maak je de vragen in Werkdocument\_II\_Kepler  
Deze werkdocumenten moet je inleveren bij je docent.

## Overzicht van de module

De module heeft een totale studielast van 40 uur. In het *Lesmateriaal* staat precies wat je moet doen. De eerste acht hoofdstukken zijn lesstof met opdrachten. Je gaat hierin afleiden of er een zwart gat in het midden van ons melkwegstelsel staat. Hoofdstuk 9 is een presentatieopdracht, waarbij je zelf achtergrondinformatie bij een onderwerp moet gaan zoeken. Hoofdstuk 10 is een extra opdracht, waarbij je een debat voert over een historisch onderwerp.

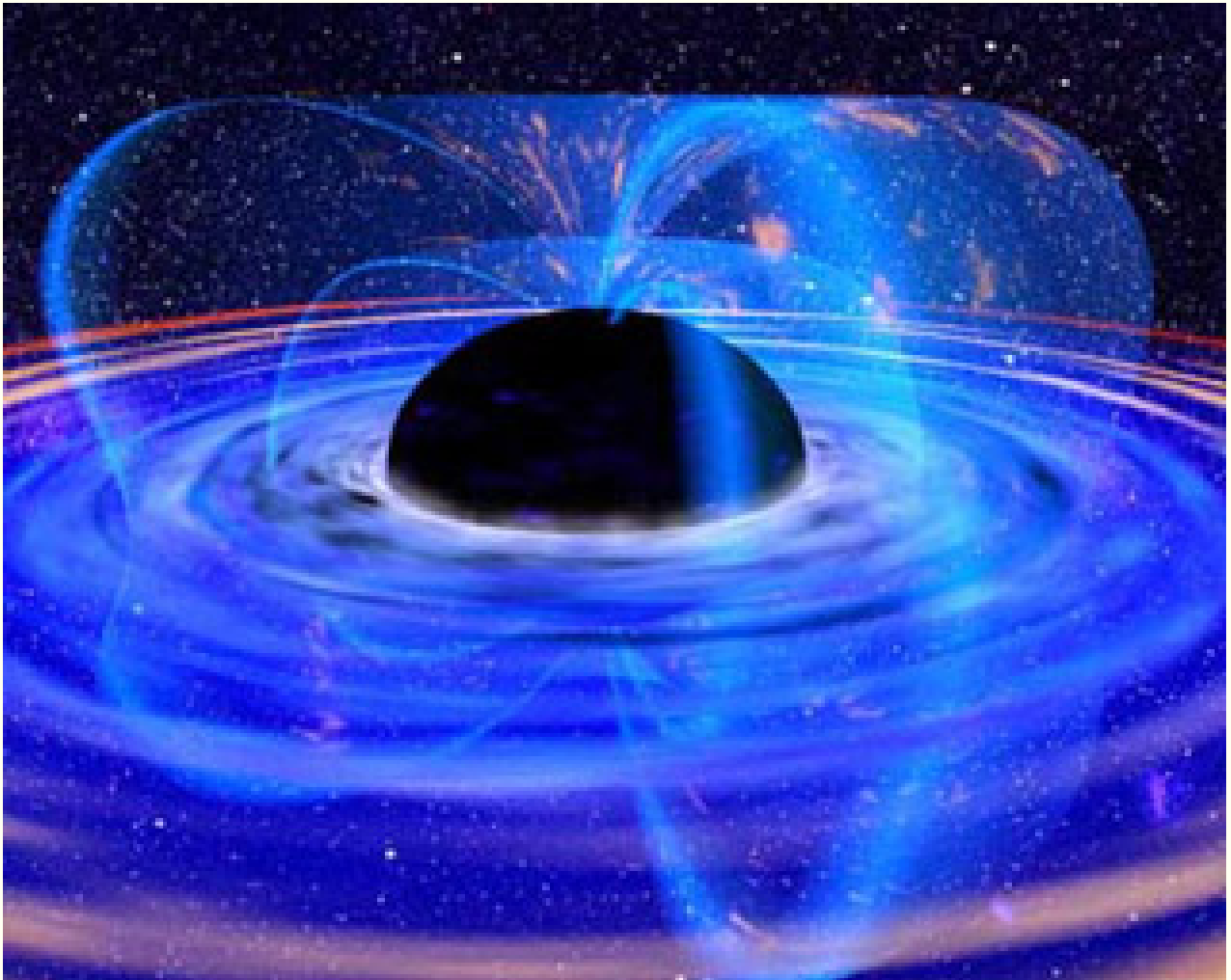
Hieronder zie je een overzicht van het globale tijdpad dat je moet volgen:

Week	Hoofdstuk (in navigatiebalk bij <i>Lesmateriaal</i> )	Opdrachten
1	Start + H1: <i>Introductie</i> + H2: <i>Stellariumopdrachten</i>	1 t/m 3
2	H3.1 en 3.2	4 t/m 8
3	H3.3 en H4	9 t/m 11
4	H5: <i>Cirkelbanen</i> + H6.1	12 & 13
5	H6: <i>Wetten van Kepler</i>	14 t/m 19
6	H7: <i>Massa</i> + beginnen aan H8: <i>Het zwarte gat</i>	20 t/m 23
7	H8 afmaken + begin maken met H9: <i>Presentaties</i>	24 t/m 27
8	Presentaties voorbereiden en houden (H9)	
Extra	H10 ( <i>debatopdracht</i> )	

# Meten aan melkwegstelsels

## Waar gaat deze module over?

Welkom bij de e-klas Meten aan melkwegstelsels.



*Getekende impressie van een zwart gat.*

In deze e-klas ga je zelf bewijzen dat er in het centrum van ons Melkwegstelsel een zwart gat zit. Je zult daarvoor werken met moderne astronomische waarnemingen. We hopen dat jouw kijk op de exacte vakken zich zal verbreden en verdiepen en dat je zult ervaren hoe actueel wetenschappelijk onderzoek in zijn werk gaat. Je maakt ook kennis met het indirect waarnemen van verschijnselen: een bewijs dat iets bestaat zonder dat je het direct kunt zien of meten.



*De geboorte van een zwart gat.*



[klik hier voor animatie](#)

We hebben het materiaal van de NLT module Meten aan melkwegstelsels in de e-klas uitgebreid met een aantal animaties, video's, presentaties en een lezing die niet in de papieren versie opgenomen zijn. We hebben ook extra opdrachten bij de verschillende onderdelen opgenomen.

Je vindt in het menu de verschillende bladzijden van deze e-klas terug. Op de meeste bladzijden staat ook een opdracht die je moet maken. Soms moet je vragen beantwoorden over de leerstof. Daarbij staat dan een hint en je ziet direct of jouw antwoord goed of fout is. Als dat apart aangegeven wordt moet je de vragen uitwerken in een tweetal werkdocumenten in Word die je digitaal moet inleveren, de andere vragen maak je in je eigen schrift.

In de studiewijzer vind je een overzicht van al het lesmateriaal en de opdrachten. Je kunt de hele module bladzijde voor bladzijde afwerken maar ook na een onderbreking verder gaan met de leerstof via de studiewijzer.

# Inhoud

Je krijgt hier vast een overzicht van de hoofdstukken uit deze module.

Bij de eerste onderdelen horen een opdrachten die je maakt in Werkdocument\_I (klik op de link om het al vast op te halen).



[Werkdocument I](#)

Bij het laatste deel maak je de vragen in Werkdocument\_II\_Kepler.



[Werkdocument II Kepler](#)

Die twee documenten moet je dus zelf goed bewaren en tijdig uploaden naar de inleverbox van de e-klas. Andere vragen maak je in je eigen schrift. Voor de wetten van kepler moet je een apart werkdocument verwerken. Dat kun je downloaden in het hoofdstuk over Kepler.

Voor deze e-klas heb je de volgende programma's nodig: Microsoft Word, Microsoft Excel, [Stellarium](#), Coach 6.0. Een handige tool bij deze module is een [natuurkundige rekenmachine](#) voor het omrekenen van astronomische eenheden.

## [1. Introductie](#)

Voordat je gaat meten en rekenen aan melkwegstelsels, ga je eerst een kijkje nemen in de ruimte



*Cosmic Voyage*

De film 'Cosmic Voyage' neemt je eerst mee de ruimte in om vervolgens terug te zoomen naar de kleinste onderdeeljes van ons bestaan. Door deze film krijg je een idee van de verhoudingen die je tegen gaat komen in deze module. Bij deze film hoort ook een opdracht die je moet uitwerken. Vervolgens ga je zelf de sterrenhemel van dichtbij bekijken. Dit ga je doen door middel van een kennismakingsopdracht, daarvoor heb je het programma Stellarium nodig.

## [2. Alles draait](#)

Tot nu toe hebben we gekeken naar dat wat we in de ruimte kunnen vinden. In dit gedeelte doen we een stapje verder en kijken we naar de bewegingen van een aantal hemellichamen. Je leest het achtergrondartikel 'Alles draait' en maakt de bijbehorende opdrachten.



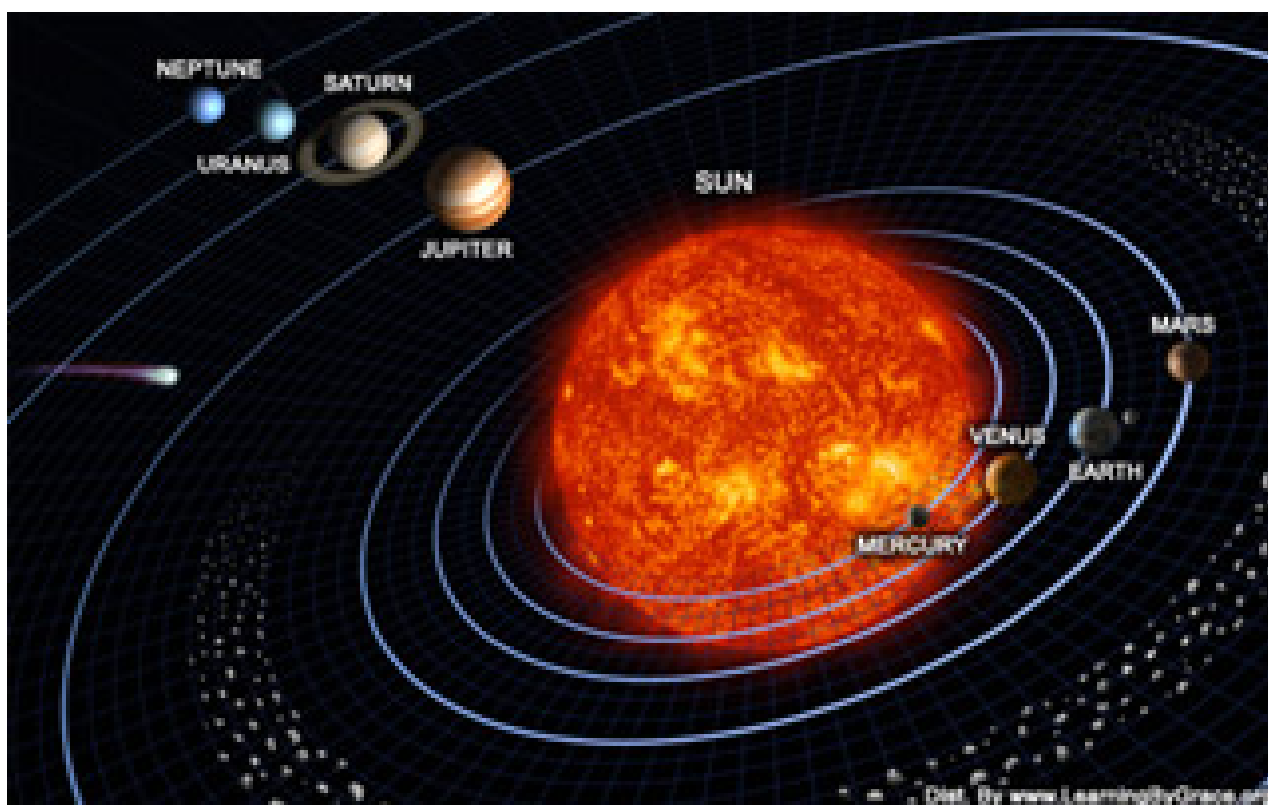
*Maanfasen*

Je bekijkt met behulp van het programma Coach de verschillende maanfasen. Je maakt de opdrachten in je werkdocument.

### [3. Van cirkelbanen naar Kepler](#)

#### **Cirkelbanen**

Eerder hebben we gezien dat de Maan om de Aarde draait en dat de Aarde om de zon draait. In dit gedeelte gaan we kijken naar de banen die planeten afleggen. Je maakt een opdracht over Cirkelbanen.



*Ons zonnestelsel*

In werkelijkheid zijn de banen die de planeten afleggen ellipsen. Wat een ellips precies is kun je lezen in de 'De wetten van Kepler'. Je leest de informatie en maakt de opdrachten over de ellipsen in jouw schrift.

De opdrachten maak je allemaal in een tweede werkdocument: werkdocument\_II\_Kepler, dit ga je pas uploaden nadat je alle opgaven hebt gemaakt.

### **De perkenwet**

Met behulp van een animatie over de perkenwet ga je het verband aantonen tussen de tijdsduur en het oppervlak die een planeet aflegt. Je bekijkt de animatie en maakt de bijbehorende opdracht in je werkdocument.

### **Halve lange as en omlooptijd**

De derde wet van Kepler beschrijft de verhouding tussen de halve lange as van een planeetbaan en de omlooptijd van die planeet. Bekijk de animatie, maak de bijbehorende opdrachten in je werkdocument.

### **Coach**

De massa waar een planeet omheen draait is ook van invloed op de baan. Daar ga je in de opdracht Planeten in het programma Coach meer over leren. Maak de opdrachten in je werkdocument.

[4. Over massa gesproken](#) - een lezing van prof. dr. Piet Mulders



*Albert Einstein*



De lezing "Over massa gesproken" geeft een omvattend overzicht over wat wij wél en níet weten over massa. Hij bestaat uit drie delen, met eraan verbonden enkele opdrachten.

## [5. Wereldbeeld van Aristoteles tot Kepler](#)

### **Debatopdracht**

In het verleden konden wetenschappers geen keus maken tussen het geo en het heliocentrische model. In dit debat gaan de aanhangers van de twee verschillende modellen proberen hun model te presenteren en verdedigen.

Het is de bedoeling dat je leert hoe in de wetenschap een keus gemaakt wordt voor een verklaring als er meerdere mogelijkheden zijn. Dit doe je door een rol te spelen in het debat over de twee modellen.

## [6. Presentaties](#)

Je gaat in tweetallen een presentatie houden met behulp van een PowerPoint over één van de volgende onderwerpen:

- sterrenhopen
- zonnenspectrum en fraunhoferlijnen
- spectraaltypen van sterren (Herzsprung-Russeldiagram)
- interstellaire materie, donkere materie
- het voorkomen van verschillende elementen in het heelal (abundantie)
- de toekomst van het heelal

# 1 Introductie

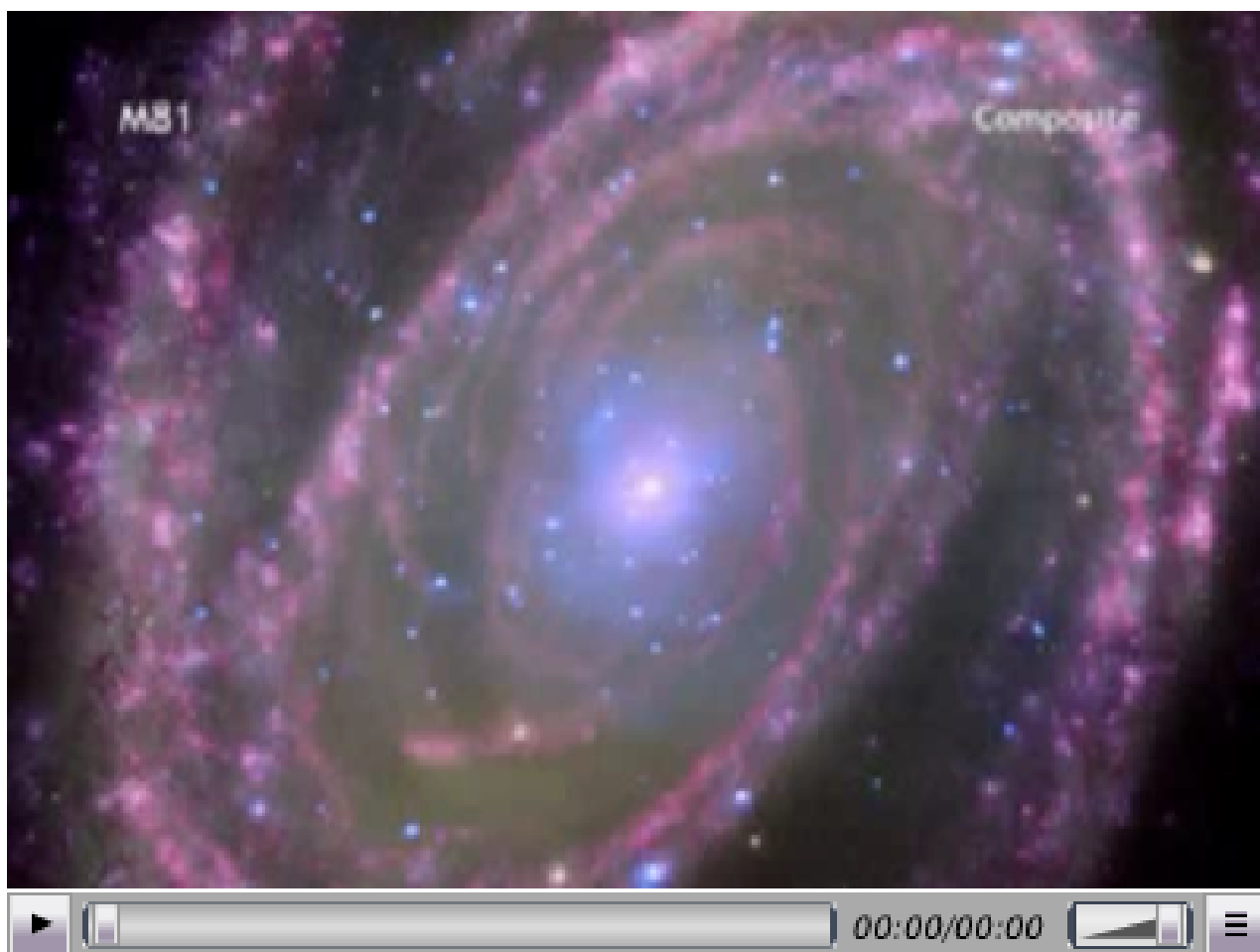
In de sterrenkunde gebruiken we verschillende 'instrumenten' om de fundamenteën van ons heelal te kunnen begrijpen. Veel informatie komt naar ons toe in de vorm van straling, die ontvangen we met telescopen op aarde en satellieten in de ruimte. Zoals in veel wetenschappen proberen de onderzoekers dan de waarnemingen te laten passen bij een theoretisch model.



*ESO Telescoop in La Silla*

De afgelopen jaren hebben de Hubble telescoop en de telescopen van ESO (European Southern Observatory) op La Silla en Paranal in Chili steeds spectaculairdere afbeeldingen van het heelal gemaakt. De telescopen zijn instrumenten die mooie afbeeldingen opleveren en sterrenkundigen in staat stellen om verder dan ooit het heelal in te tuinen en antwoorden te vinden op vragen als: 'Wanneer zijn de eerste sterren ontstaan?' en 'Hoe zien andere sterrenstelsels er uit?'

Sterrenkunde is een wetenschap die veel mooie foto's oplevert. Deze foto's worden vaak in het infrarood gedeelte van het spectrum gemaakt. Infrarood licht heeft een grotere golflengte dan zichtbaar licht. Hierdoor wordt infrarood licht minder tegengehouden door de (gas)wolken in onze Melkweg. Zo kan het infrarode licht vanuit het centrum van de Melkweg ons gewoon bereiken.



*Het sterrenstelsel M81 in verschillende golflengten*



[Klik hier voor film](#)

Al eeuwenlang stellen wetenschappers zich dit soort vragen over het heelal. Draait de Zon om de Aarde, of is het andersom? Het blijkt dat de beschrijvingen die Kepler omstreeks 1600 maakte voor de beweging van planeten in een baan om de Zon ook algemeen te gebruiken zijn voor relatief lichte lichamen die om relatief zware lichamendraaien.

In het midden van het Melkwegstelsel wordt iets bijzonders waargenomen. In een donker gedeelte is een zeer sterke bron van radiogolven aanwezig, waar sterren met grote snelheid omheen cirkelen. Hoewel het trekken van conclusies uit dit soort waarnemingen in detail heel ingewikkeld is, is het wel mogelijk om het (in grote lijnen) zelf te doen.

In deze module ga je berekenen dat er in het midden van onze Melkweg, hoogstwaarschijnlijk, een zwart gat zit. Je doet dat met de door telescopen vastgelegde waarnemingen van de beweging van een ster. Met de formules van Kepler toon je aan dat er een grote massa in het centrum van de Melkweg is. Omdat we kunnen zien dat daar geen heldere lichtbron is, kan deze massa niet in de vorm van een ster aanwezig zijn.

Om je een beeld te geven van de afmetingen in ons heelal laten we je nu eerst de film *Cosmic Voyage* kijken.



[//www.youtube.com/embed/IHHTKOurGis](https://www.youtube.com/embed/IHHTKOurGis)



### Wat denk je?

Elke stap in deze film is een factor 10 groter. Hoeveel stappen waren er nodig om van de hoepel in de ruimte te komen?

Plaats hier je muis

Bij deze e-klas hoort ook een werkdocument dat je moet invullen en uploaden naar jouw workspace. Bij de verdere opdrachten in de andere hoofdstukken moet je dit werkdocument steeds aanvullen. Bewaar het dus goed, in je mail of op een USB stick.



### Opdracht 1

Werkdocument Opdracht 1: Cosmic Voyage

Je maakt een paar vragen over de film die je zojuist hebt gezien. Noteer de objecten die passen in steeds grotere (en, later, de steeds kleinere) cirkels. Maak de opdracht in jouw werkdocument. Lever het in via de e-klas bij je docent.



[Werkdocument I](#)



*Cellen van een blad*

Een toelichting over het rekenen met de machten van tien kun je vinden op deze website: [Machten van Tien](#). Ga nu verder met de Opdracht Stellarium op de volgende bladzijde.

## 2 Stellarium

Om je een idee te geven van de ruimte om ons heen laten we je nu kennis maken met een programma waarmee je je computer als sterrenkijker kunt gebuiken. Stellarium is gratis software waarmee je de sterrenhemel voor elke locatie en elke datum of tijd kunt afbeelden. In deze opdracht ga je kijken naar de sterrenhemel die je vanuit je eigen raam kunt zien. Omdat niet alle hemellichamen zich op hetzelfde moment in het, voor ons, zichtbare gebied zich bevinden, is het noodzakelijk om op meerdere momenten (middag en avond) met Stellarium te werken.

***Deze opdracht maak je weer in je werkdocument. Haal dat dus eerst even van je mail of je USB stick.***

**Opstarten en instellen Stellarium.**



### Installeren

Stellarium is een krachtig programma waarmee je je computer in een miniplanetarium verandert. In Stellarium zijn niet alleen de hemellichamen van ons eigen zonnestelsel opgenomen, maar ook meer dan een half miljoen bekende sterren, nevels en sterrenstelsels. Je kunt de sterrenbeelden terugvinden en allerlei gegevens over sterren uitlezen.

Na het doorlezen van deze korte handleiding, ben je in staat om met Stellarium te werken. Je kunt het programma gebruiken voor een paar kleine onderzoeken aan de sterrenhemel.

Je kunt Stellarium downloaden door op [deze link](#) te klikken.



### Starten

Start *Stellarium* en bekijk het eerste venster. Je ziet een overzicht van de hemel. Dat kan er bijvoorbeeld uit zien zoals hiernaast.

De twee menubalken zijn voldoende om met het pakket te werken. We bespreken een aantal van de menuopties. De andere opties kun je eenvoudig zelf onderzoeken.





## Het configuratievenster

Stellarium is standaard ingesteld op Parijs. Om je eigen huis of je school als standaardlocatie in te vullen, ga je naar het configuratievenster. Je klikt op 'locatie'.

Door de lengtegraad en de breedtegraad in te vullen stel je Stellarium in op de door jou gewenste locatie.

Zoek de lengtegraad en de breedtegraad van je eigen huis op en vul deze in in Stellarium. Je kunt de gegevens op Internet eenvoudig vinden, bijvoorbeeld bij [Google Maps](https://www.google.nl/maps). Vergeet niet om je positie op te slaan.

Je ziet een sterrenhemel in beeld verschijnen. Dit is de sterrenhemel boven de locatie, die je hebt opgegeven. Als je de locatie goed hebt ingevuld kun je nu exact dezelfde sterrenhemel weergeven, die je ook ziet als je 's avonds uit je raam kijkt!

Bekijk nu in hetzelfde configuratievenster het tabblad 'rendering'. Je ziet de instellingen voor de sterrenhemel weergave. Vink de onderdelen aan die je wilt afbeelden op de hemelprojectie.

## Tijd aanpassen

In het configuratievenster kun je de huidige tijd instellen. Rechts onderin Stellarium staat een kleine menubalk om de tijd te controleren. Je kunt de tijd langzamer en sneller laten lopen. Ook kun je de

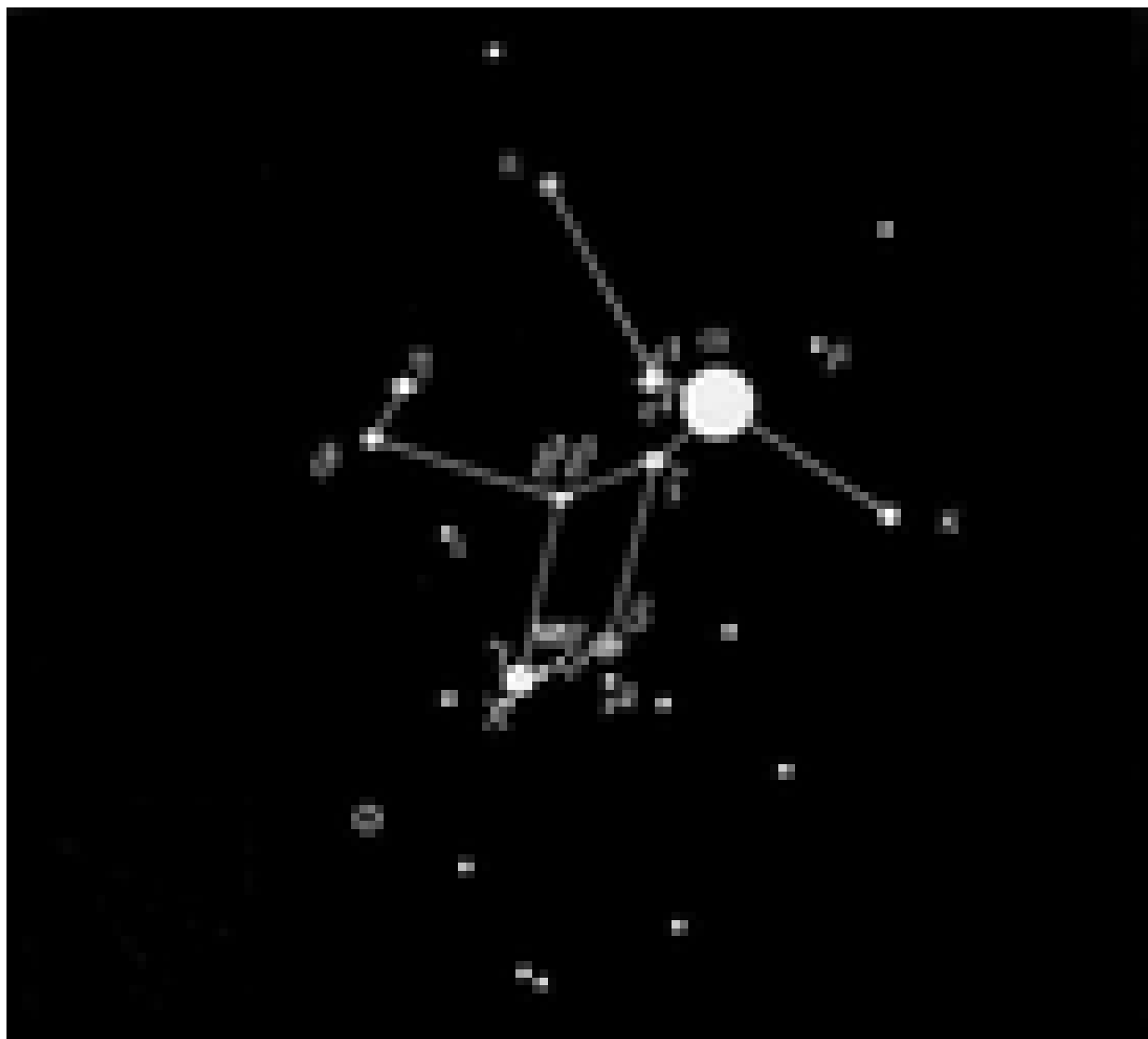
huidige tijd weer terugroepen. Als je de tijd aanpast zie je de sterrenhemel zoals die op dit moment ook buiten te zien is (mits je helder weer hebt natuurlijk).



### Opdracht 2 deel 1

Ga nu naar je werkdocument en maak vraag 1 van opdracht 2.

(Laat je werkdocument maar openstaan in Word want je hebt het later nog nodig.)



*Sterrenbeeld De Lier*

## Sterrenbeelden

Vroeger zag men aan de sterrenhemel bepaalde patronen of figuren waaraan macht werd toegeschreven. Meestal staat in deze figuren een aantal heldere sterren. Dat de sterren in een sterrenbeeld dicht bij elkaar staan, in hetzelfde vlak, is maar schijn. De ene ster kan veel verder weg

staan dan de andere. Je kunt de sterrenbeelden laten zien met *Stellarium*.



### Opdracht 2 deel 2

Beeld de sterrenbeelden op de sterrenhemel af in *Stellarium*. Welke sterrenbeelden herken je?

Ga naar je werkdocument en maak vraag 2 van opdracht 2.

### Een object zoeken

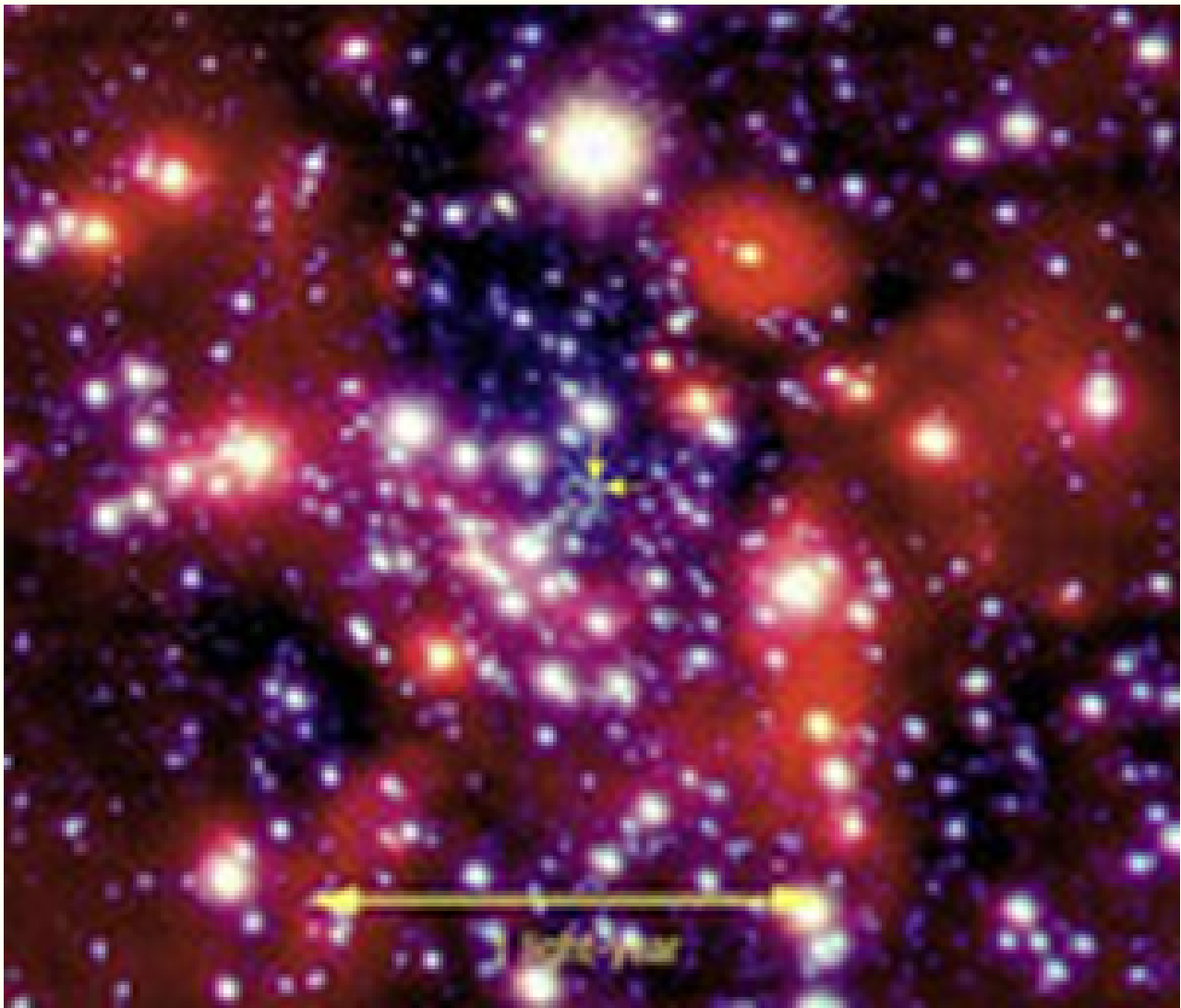
In *Stellarium* is het mogelijk om een object te zoeken. Klik in de menublak op het vergrootglas. Er verschijnt een zoekvenster waarin een aantal mogelijke zoektermen al worden weergegeven. Let er op dat de zoektermen in meerdere talen voorkomen.

Als je de Maan als zoekterm invult, zie je dat de Maan met haakjes aangegeven wordt in het midden van je beeld. Het is nu eenvoudig om het beeld van de maan groter te maken door in te zoomen met de 'page-up' en 'page-down' toetsen. Je kunt ook zoomen met het scrollwiel van je muis. Door het beeld geschikt te zoomen en te slepen kun je een mooie afbeelding van de sterrenhemel maken. Van een groot aantal objecten is fotomateriaal in *Stellarium* opgenomen. Je kunt zo een indruk krijgen van het object.

### Opdracht 3

Je gaat nu een aantal objecten opzoeken in *Stellarium*. De bijbehorende vragen beantwoord je in je werkdocument.

- Hoeveel manen heeft Jupiter? Welke manen van Jupiter kun je vinden met *Stellarium*? Waarom staan juist deze in *Stellarium*?
- Zoek Betelgeuze en de Krabnevel eens op en probeer in te zoomen. Wat zijn de verschillen?
- Zoek het sterrenbeeld Boogschutter op. Probeer het gebied van *SgrA\** te vinden. Kijk vanavond naar de sterren. Kun je het gebied van *SgrA\** herkennen?



bron: ESO, European Organization for Astronomical Research in the Southern Hemisphere

*Een infrarood foto van het centrum van de Melkweg*

*De twee pijltjes in het midden markeren de positie van zwart gat kandidaat Sagittarius A\* in het centrum van de Melkweg.*

*De onderste gele balk geeft de hoekafstand van 1 lichtjaar (ongeveer 8 boogseconden) aan.*

Het gebied van de SgrA\* hoeft je nu alleen te bekijken. Later in de module zullen we aan deze 'zwart gat kandidaat' wat berekeningen uitvoeren. Je kunt met *Stellarium* nog veel meer hemellichamen bekijken. Dit is een kennismakingsopdracht. In de module wordt verder niet verwezen naar *Stellarium*, maar je kunt natuurlijk alle hemellichamen waar in de module over gesproken wordt met *Stellarium* opzoeken.

**Vergeet niet je werkdocument te uploaden, zodat je docent kan zien dat je de opdrachten hebt gedaan!**

Om een beeld te krijgen van de sterrenhemel hebben we jullie een [opdracht](#) laten maken met behulp van *Stellarium*.

Bij deze opdracht hoort een [werkdocument](#). Dat document moet opgeslagen worden als: "werkdocument\_Stellarium\_[eigen naam].doc" en dat moet je uploaden.

**Zorg dat je dat voor de verloopdatum doet!**



<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/0/09a64a7390d9197f335c971ad43000ac9437ea68.docx>



<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/3/33b6d2ed46909065c9eddbc2642427728cc916c3.doc>

Met behulp van het programma Coach kijk je naar de verschillende maanfasen. De opdracht bevat enkele vragen die je moet beantwoorden. Als je klaar bent met de opdracht moet je jouw [document](#) voor de vervaldatum uploaden.



<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/1/1b9c9311141444a2f3b1037d378a0547de7159bb.doc>

Plaats hier je [werkdokument](#) dat hoort bij de film Cosmic Voyage.



[Werkdocument](#)

# 3 Alles draait

## 3.1 De maan draait om de aarde

Tot nu toe hebben we gekeken naar wat we in de ruimte om ons heen kunnen vinden. In dit gedeelte doen we een stapje verder en kijken we naar de bewegingen van een aantal hemellichamen.



David Scott

*"Je zat daar maar te denken dat dit stuk mechaniek 400.000 onderdelen had, allemaal geconstrueerd door de laagste inschrijver."*

David Scott (Apollo 15 astronaut)

De Maan, de Zon, sterren, kometen en verschijnselen aan de hemel worden sinds jaar en dag vanaf de Aarde bekeken, bewonderd en geïnterpreteerd. Pythagoras (580 - 500 v. Chr.) en Aristoteles (384 - 322 v. Chr.) dachten al dat de Aarde rond was en dat er een heelal bestond. Vanuit de natuurwetenschappen zijn we bijvoorbeeld geïnteresseerd in de baan van planeten, de samenstelling van meteorieten, de levensduur van sterren en het ontstaan van het heelal. Ondanks al het onderzoek dat al gedaan is, zijn er nog veel zaken die we niet weten. Het is moeilijk voorstelbaar dat er verschijnselen onderzocht worden die we niet kunnen zien, omdat ze zo ver weg zijn. In dit deel lees je over de opbouw van het

zonnestelsel en welke plaats het heeft in het Melkwegstelsel.

### **De Maan draait om de Aarde**

Vanaf de Aarde gezien is de Maan een in het oog springend hemellichaam. Soms wel, soms niet te zien. De ene keer helemaal vol, de andere keer met een hap eruit. Het is tot nu toe de enige buitenaardse plek waar mensen geweest zijn. De gemiddelde afstand tussen de Aarde en de Maan bedraagt 384.400 km. De Maan doorloopt de baan om de Aarde in 27,3 dagen. In deze tijd draait de Maan ook precies eenmaal om haar as. Daardoor hebben we altijd zicht op dezelfde kant van de Maan. De Maan weerkaatst licht van de Zon waardoor we het beschenen deel van het maanoppervlak op Aarde kunnen waarnemen.

Afhankelijk van de plaats van de Zon, de Maan en de Aarde zien we meer of minder van de Maan.

Wanneer de Maan precies tussen de Zon en de Aarde in staat, is er sprake van een zonsverduistering (eclips). Een maansverduistering komt voor wanneer bij volle maan de Aarde tussen de Zon en de Maan in staat.



[lunar eclips](#)

*Klik eerst op één van de maanplaatjes. Je kunt daarna een standpunt op aarde kiezen door ergens op het aardoppervlak te klikken om de verduistering te zien. Merk op dat je vanuit elk punt op aarde waar het nacht is de Maan op precies dezelfde manier verduisterd ziet. Dit komt doordat de maan zelf geen licht uitzendt. Als de Aarde de Maan verduistert kun je de Maan gewoon niet zien, waar je ook bent op Aarde.*



Met een verrekijker of eenvoudige telescoop kunnen we het maanoppervlak goed bekijken. Rond het eerste en laatste kwartier, wanneer het oppervlak schuin door de Zon beschenen wordt, zijn er veel details te zien, vooral op de grens van het donkere en het belichte gedeelte van de Maan. Zo kun je de verschillende kraters goed herkennen. Deze kraters zijn ontstaan door inslagen van meteorieten die door het ontbreken van een atmosfeer niet verbranden voordat ze het maanoppervlak bereiken. De donkere vlekken op de Maan worden zeeën genoemd, omdat men vroeger dacht dat die zich daar bevonden. Voor zover we nu weten, zijn er echter geen zeeën geweest op de Maan. De donkere vlekken zijn vlakke gebieden van gestolde lava waar sinds de uitbarsting van vulkanen nog geen meteorietinslagen plaats hebben gevonden. De Maan is net zo oud als de planeten van ons zonnestelsel.

Over de wijze waarop de Maan ontstaan is verschillen de meningen:

- de Maan zou afgesplitst zijn van de Aarde
- de Maan zou ingevangen zijn toen deze langs de Aarde bewoog
- de Maan zou, tegelijk met de planeten en andere manen, ontstaan zijn uit oermaterie

### **Opdrachten Maan**

Maak nu de opdrachten 4 en 5 op de volgende pagina in je werkdocument dat je natuurlijk even van je mail of van je USB stick haalt.





#### Opdracht 4

a. Dark side of the moon

Een beroemde CD van Pink Floyd (met onder andere het nummer Eclipse) heeft de titel "The dark side of the moon" gekregen. Is "the dark side of the moon" in werkelijkheid altijd donker? Licht toe. Hoe zijn we te weten gekomen hoe "the dark side" er uit ziet?

b. Eb en vloed

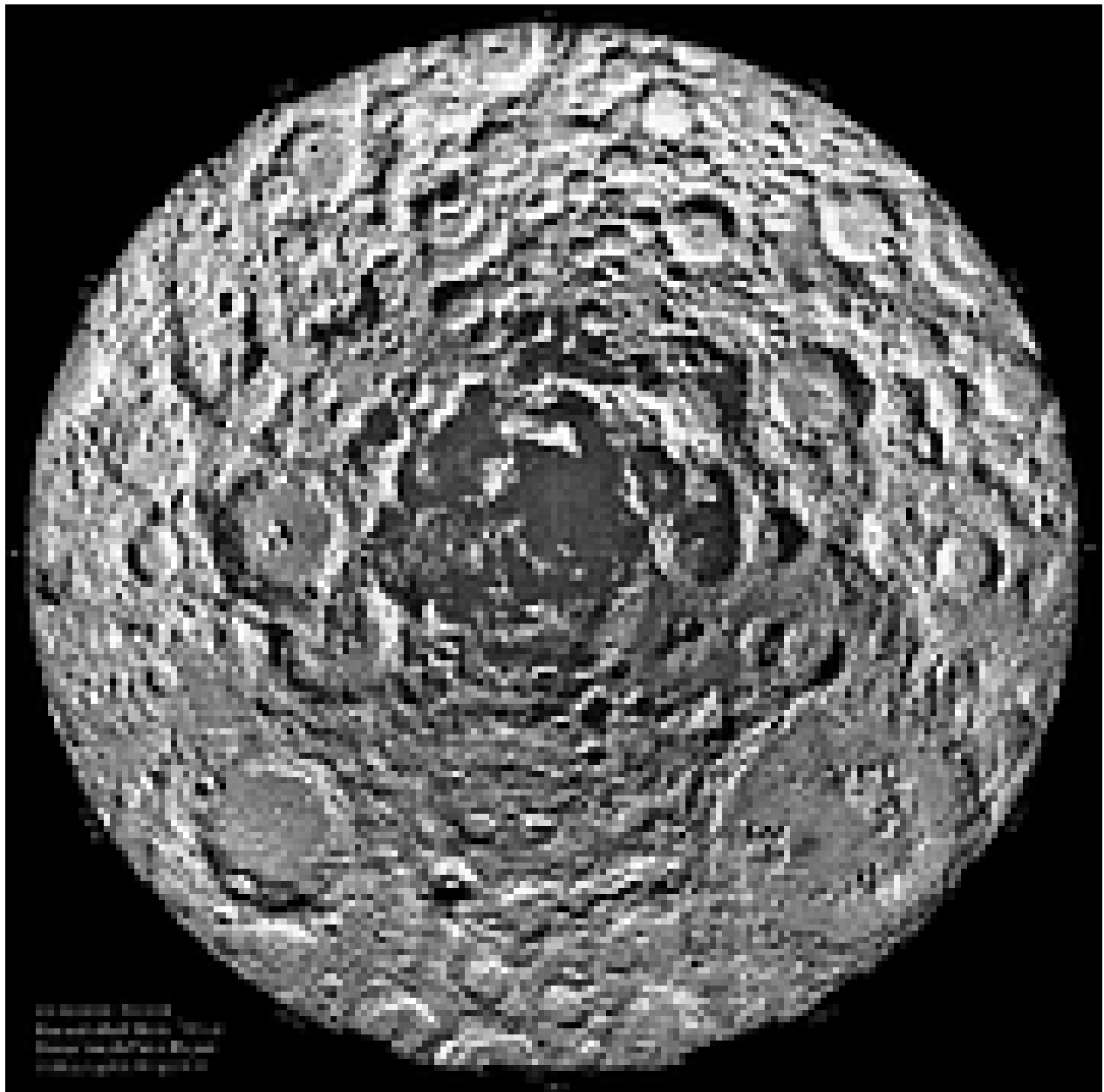
Eb en vloed op Aarde ontstaan door de aantrekkingskracht van de Maan. Per etmaal is het tweemaal eb en tweemaal vloed.

Omdat de maan om de aarde draait wisselt de gravitatiekracht waarmee de maan aan het oppervlaktewater trekt. De maan draait ook niet om het middelpunt van de aarde omdat de massa van de maan toch wel 1/6 van die van de aarde is. Aarde en maan draaien dan ook om een gemeenschappelijk zwaartepunt. In de volgende (Engelse) applet kun je zien hoe eb en vloed ontstaan.



<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/a99a3740ceda5ca46732e344e9d7db6f.s wf>

1. Beredeneer hoeveel vloedbergen er op Aarde zijn.
  2. Bij springtij komt het water extra hoog. Waar zal de Maan zich dan bevinden ten opzichte van Zon en Aarde?
- c. Ontstaanswijze van de Maan
1. Verzamel via internet voor- en tegenargumenten voor elk van de mogelijke ontstaanswijzen van de Maan.
  2. Welke ontstaanswijze vind je het meest waarschijnlijk? Licht je keuze toe.



*Ijs op de zuidpool van de maan?*

Achtergrondinformatie: ijs op de Maan

Op 25 januari 1994 werd een belangrijke lancering gedaan, namelijk die van Deep Space Probe Science Experiment *Clementine*. De ruimtesonde *Clementine* kreeg als had de Maan zeer nauwkeurig in beeld te brengen. Daarbij werd een onverwachte ontdekking gedaan.

Bij het analyseren van de beelden van de atmosfeerloze Maan werd namelijk ijs ontdekt! En dus water! Omdat water een voorwaarde is voor het voorkomen van leven, zou dit de mogelijkheid bieden om een maanbasis te maken als tussenstation voor reizen naar andere planeten. Wellicht zou men zelfs ooit op de Maan kunnen gaan wonen. Als mens kunnen we niet overleven zonder water. In principe zou er ook water van de Aarde naar de Maan gebracht kunnen worden, maar dat kost tussen de 2000 en 20.000 dollar per kilogram.

In 1998 werden de bevindingen van *Clementine* bevestigd door de *Lunar Prospector*. Deze sonde maakt geen beelden van de Maan zoals de *Clementine*, maar kan met behulp van een neutron-spectrometer metingen doen. Neutronen komen hierbij in botsing met watermoleculen. Bij elke botsing verliest het neutron kinetische energie en zal langzamer gaan bewegen. Uit de metingen bleek dat er 10 tot 300 miljoen ton water in vaste vorm aanwezig is op de Maan. Deze metingen zijn veel preciezer dan die van *Clementine*.

In 2006 vervloog de hoop van de NASA om snel een maanbasis te kunnen bouwen. Na het onderzoeken van radarbeelden kwam het Smithsonian Instituut uit Washington tot de conclusies dat er wel genoeg ijs op de Maan is, maar dat het niet bruikbaar is. Het water bestaat uit minieme ijsdeeltjes die overal tussen het stof verspreid liggen. Wij zijn nog niet in staat om van deze minieme ijsdeeltjes water te maken. Het ijs kan dus niet als waterbron gebruikt worden als men de Maan zou willen koloniseren.



### Opdracht 5

Uit de metingen blijkt dat er 300 miljoen ton ijs op de Maan aanwezig kan zijn. Dit komt overeen met  $300 \cdot 10^9$  kg.

Bereken hoeveel kubieke meter ijs er op de Maan is. Ga uit van een dichtheid  $920 \text{ kg/m}^3$ . Stel dat al dit ijs voor komt in een cilindervormige ijsberg. Het ronde grondvlak heeft een diameter van 1 km. Welke hoogte zou deze ijsberg dan hebben?

## Opdrachten Maanfasen

### Opdracht 6

Maak deze opdracht in je schrift.

Met Nieuwe Maan bedoelen we een (door de Zon) onverlichte Maan. Vanuit onze positie op Aarde zien we (de voorkant van) de Maan niet beschenen door de Zon. Een dag later zien we, als de omstandigheden gunstig zijn, de Maan als een smal sikkeltje. We zeggen dan dat de Maan één dag oud is. Hoeveel procent van de maanschijf is dan verlicht? Met behulp van een eenvoudig model kunnen we dat (bij benadering) te weten komen.

a. Zoek op wat de duur (in dagen) is van Nieuwe Maan naar Nieuwe Maan.



Bij Nieuwe Maan is dus 0% van de maanschijf door de Zon verlicht. Bij Eerste kwartier is de rechterhelft verlicht. Als  $k$  het verlichte deel van de maanschijf, voorstelt, dan is  $k = 0,5$  bij Eerste Kwartier. Als het Volle Maan is, is  $k = 1$ .

Maanfase	$k$
Nieuwe Maan	0
Eerste Kwartier	0,50 (rechterhelft)
Volle Maan	1
Laatste Kwartier	0,50 (linkerhelft)

De factor  $k$  kunnen we natuurlijk ook in een percentage uitdrukken.

b. Hoeveel dagen zitten er tussen Nieuwe Maan en Eerste Kwartier?

\* Open het Coach project '**Maanfasen**'.

\* Open de activiteit 'Model van de maanfasen'.

Bij dit model veronderstellen we dat de Maan in een cirkelbaan met een constante snelheid rond de Aarde beweegt. In werkelijkheid varieert de afstand van de Maan van 363.263 km tot 405.547 km. De Maan beweegt ten opzichte van de Zon in 29,531 dagen om de Aarde. Een periode, van Nieuwe Maan tot Nieuwe Maan, is wiskundig gelijk aan  $2\pi$  (een rondje om de aarde dus). In gedachten laten we de Maan steeds een klein stukje, of een klein hoekje  $\delta\alpha$ , verder draaien. Bij de startwaarden van het model zie je hoe groot dat hoekje is genomen. Aanvankelijk is  $k = 0\%$  bij Nieuwe Maan en we zeggen dat de Maan 0 dagen oud is.

Geleidelijk aan wordt de Maan meer en meer verlicht. Het verlichte deel van de Maan wordt 50% bij Eerste Kwartier en 100% bij Volle Maan.

c. Met welke formule wordt  $k$  berekend? Bereken  $k$  als de Maan 5 dagen oud is met deze formule.

d. Bekijk het model. Hoe vaak wordt  $k$  berekend van Nieuwe Maan tot Nieuwe Maan?

Start het model.

e. Hoeveel 'perioden' zijn zichtbaar? Hoeveel dagen zijn dat?

Gebruik de optie: 'Lees uit'.

f. Bepaal  $k$  als de Maan 4 dagen oud is.

g. Bepaal  $k$  na  $4 + 30$  dagen en  $4 + 31$  dagen. Waarom is  $k$  veranderd in één maand tijd?

h. Controleer het diagram met behulp van een sterrengids of internet. Noteer je bevindingen.

i. Beschrijf hoe het model kan worden verbeterd.



### Praktische opdracht

Met behulp van een eenvoudige opstelling is  $k$  te bepalen. Plaats achter een omgekeerde verrekijker een wit scherm. Projecteer de Maan op het scherm met behulp van de verrekijker. Teken de Maan op een vel papier en bepaal het verlichte deel  $k$ , bijvoorbeeld door hokjes te tellen. Herhaal het experiment voor die dag en na enkele dagen. Maak een  $k$ -d-diagram. Controleer je waarnemingen met behulp van het model in Coach of met behulp van een sterrengids.

Natuurlijk kun je je waarnemingen ook met een sterrenkijker uitvoeren.

Maak een verslag van dit experiment.

Vergeet niet je [werkdokument](#) dat hoort bij de opdracht over IJs op de maan te uploaden.



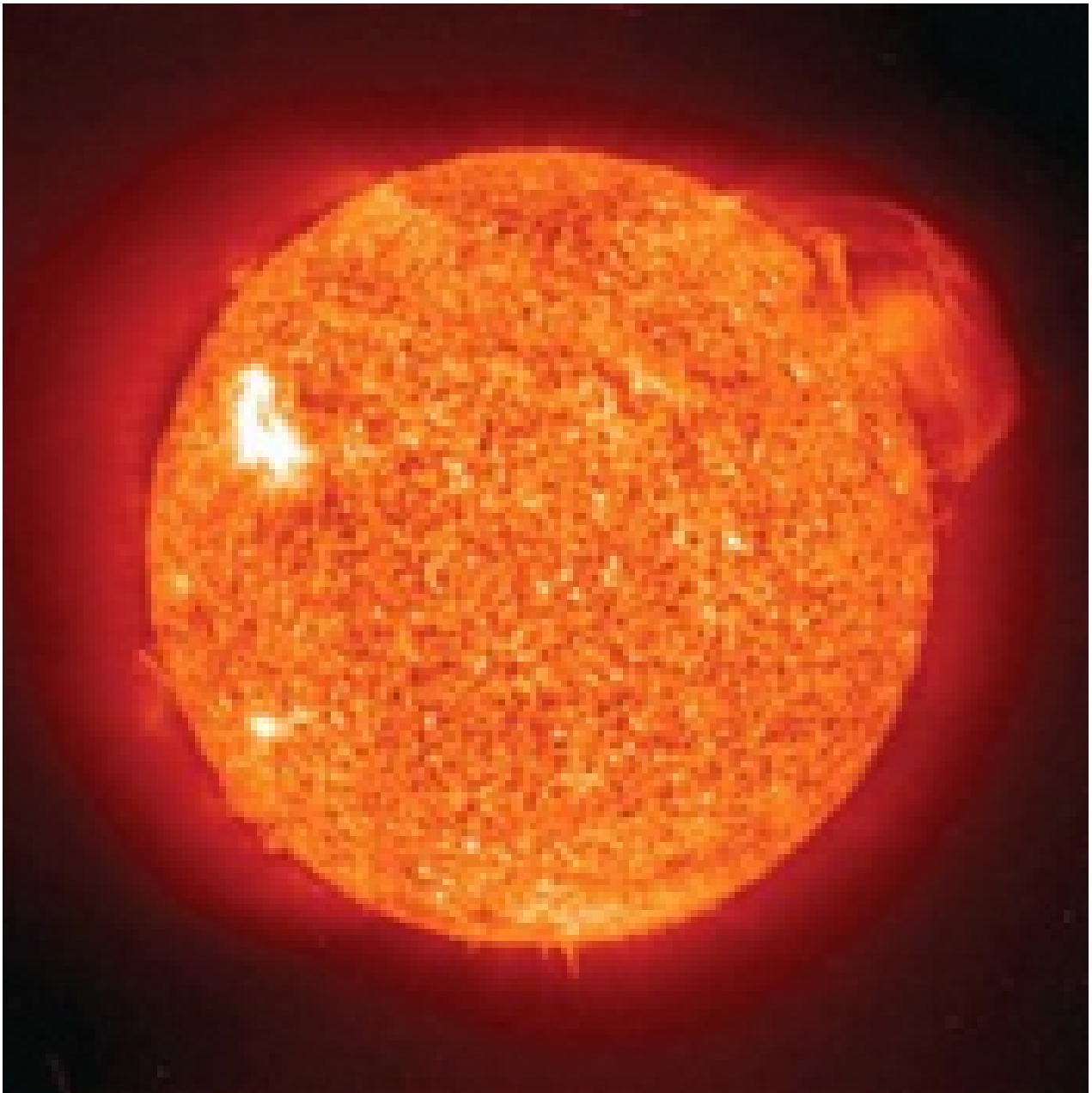
<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/5/5f337a975ebc679c6a4444326d20f801d39fbe58.doc>

## 3.2 De aarde draait om de zon

De Zon is slechts één van de vele sterren in het heelal. Het is een gasbol met een diameter van ongeveer 1,4 miljoen km, dat is 110 keer de diameter van de Aarde. Voor ons is de Zon een bijzondere ster omdat zij zich in het centrum van ons zonnestelsel bevindt. De banen van de planeten worden vooral door de Zon bepaald.

Het leven van een ster begint als een zich samentrekkende wolk van gas en stof. De temperatuur neemt daarin toe. Zodra de voornamelijk uit waterstof bestaande gaswolk heet genoeg is, beginnen de fusiereacties. Kernfusie is het samensmelten van kernen, waarbij energie vrijkomt: De ster gaat stralen.

Dit kan alleen als de kernen zich op heel kleine afstanden van elkaar bevinden. In dat geval overwinnen de aantrekkende kernkrachten de afstotende Coulombkracht. Bij kernfusie komen grote hoeveelheden energie vrij. Bij de kernfusie in de Zon fuseren 4 waterstofkernen tot 1 heliumkern, 2 positronen, 2 neutrino's en straling. Meer over kernfusie vindt je op [Wikipedia](#).



### *De Zon*

Ongeveer 4,6 miljard jaar geleden klonterde rond de pas ontstane ronddraaiende Zon gas en stof samen. Er ontstonden steeds grotere brokken, die soms botsten en weer uiteen spatten. Uit de grootste brokstukken zijn planeten ontstaan, uit de kleinere kometen. Ze kwamen terecht in een eigen baan om de Zon. Rond de meeste planeten cirkelen één of meer manen.

De planeten die zich het dichtst bij de Zon bevinden zijn rotsachtig en klein (Mercurius, Venus, Aarde en Mars). De verder weg gelegen reuzenplaneten bestaan grotendeels uit gassen (Jupiter, Saturnus, Uranus en Neptunus). Aan de buitenzijde van het zonnestelsel bewegen zich de kometen. Planeten geven zelf geen licht, zij weerkaatsen alleen het licht van de Zon. Aan onze sterrenhemel kan men vijf planeten zien. Ze zijn te onderscheiden van sterren doordat ze niet flikkeren. Daarnaast hebben planeten geen vaste positie tussen de sterren, maar veranderen ze duidelijk waarneembaar van plaats. Dat komt doordat ze, net als de Aarde, rondom de Zon bewegen. Vroeger noemde men ze 'dwaalsterren' (planètès = ronddwalend).

Maak nu de opdrachten 7 en 8 in je werkdocument.



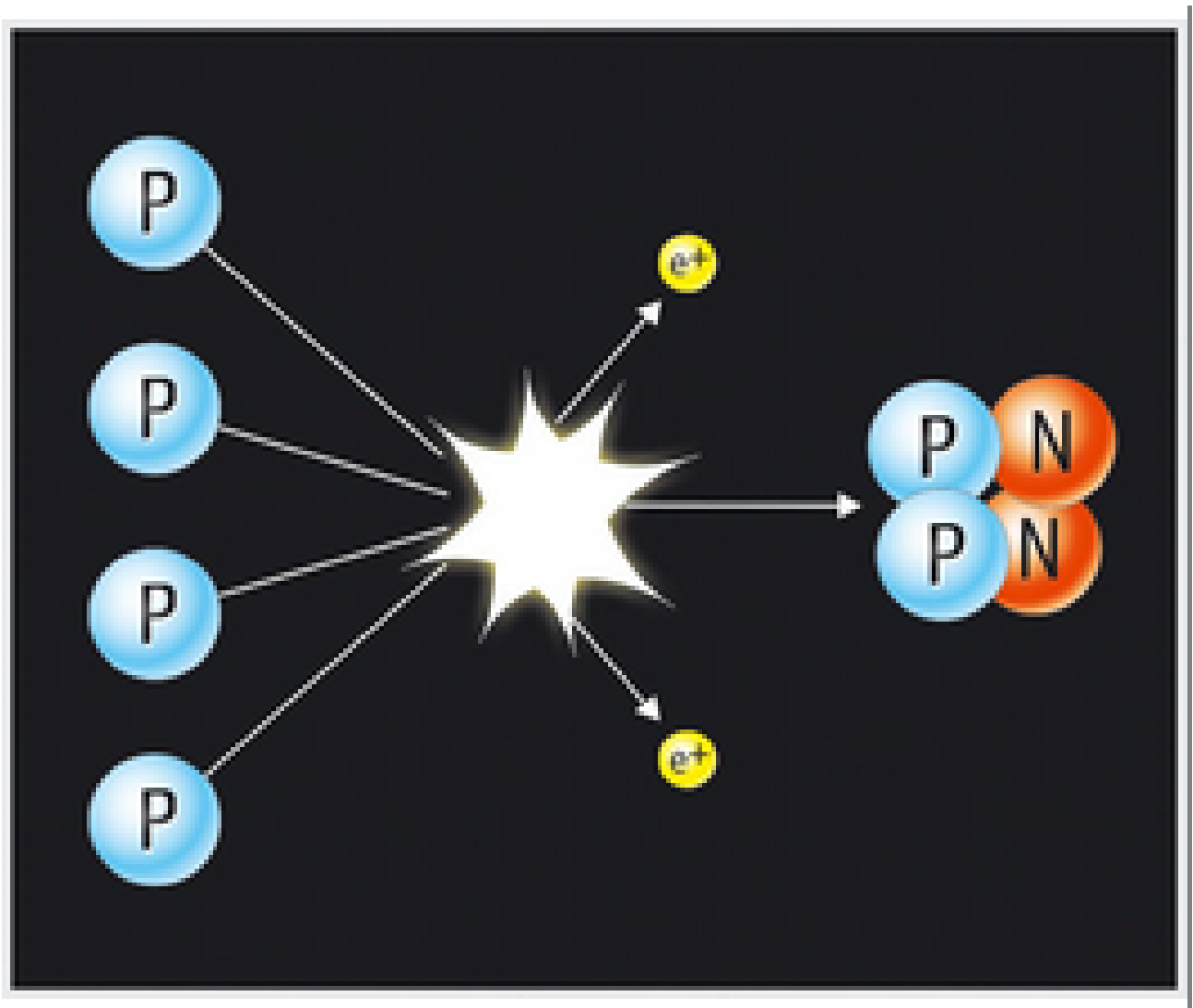
## Opdrachten zon



### Opdracht 7

In de toekomst wordt de Zon een rode reus om uiteindelijk te eindigen als witte dwerg.

- Zoek met behulp van een boek over sterrenkunde of via internet uit wat deze stadia inhouden.
- Gaat de mens deze stadia nog meemaken?



*De proton-proton keten. bron: ESA*

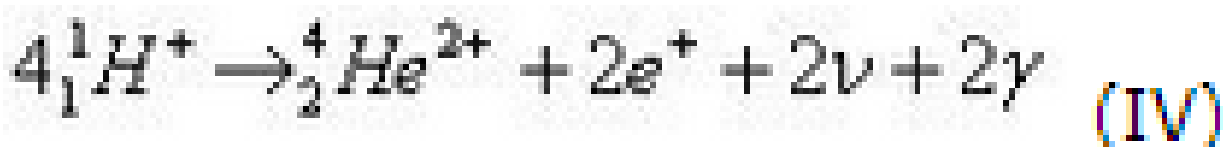
### Kenniskaart: De proton-proton keten

De massa van de ster bepaalt welk fusieproces voornamelijk optreedt. Bij sterren tot anderhalve zonsmassa vindt de zogenaamde **proton-proton keten** plaats. Bij deze keten botsen allereerst twee protonen (waterstofkernen) waardoor een deuteriumkern, een positron en een neutrino worden gevormd. Deuterium wordt ook zwaar waterstof genoemd: het is waterstof met een extra neutron. Het gevormde positron heeft dezelfde massa als een elektron, maar een tegengestelde lading. Het is als het ware het antideeltje van het elektron. Neutrino's hebben geen lading en een extreem kleine massa die

nog niet goed bekend is. Ze ontstaan bij radioactief verval. Opeenvolgend vinden de volgende fusieprocessen plaats:



Door bovenstaande vergelijkingen geschikt op te tellen krijg je onderstaande fusiereactie:



### Opdracht 8

- In de natuur geldt behoud van lading. Welk deeltje zorgt er voor dat de lading in vergelijking I behouden blijft? Hoe ontstaat dit deeltje?
- In vergelijking IV is de massa van de heliumkern lager dan de massa van de afzonderlijke protonen en neutronen waaruit de kern is opgebouwd. Bepaal met behulp van Binas dit zogenaamde massadefect.

Volgens de vergelijking van Einstein wordt deze 'verloren' massa omgezet in energie. Deze vergelijking is waarschijnlijk de meest bekende ter wereld:

$$E = m \cdot c^2$$

waarin:

E = de energie in joules (J)

$m$  = de massa in kilogrammen (kg)  
 $c$  = de lichtsnelheid in meters per seconde (m/s)

- c. Bereken hoeveel energie vrijkomt in de protonencyclus.  
d. De Zon straalt met een vermogen van ongeveer  $3,90 \cdot 10^{26}$  J/s. Gebruik Binas en bereken hoe lang de Zon met dit vermogen kan stralen. Neem bij je berekening aan dat alle waterstof in de Zon kan worden omgezet in helium.

**Vergeet niet je werkdocument te uploaden!**

### 3.3 De zon draait om...



Een ander melkwegstelsel, NGC4414. bron: Hubble Heritage Team ( AURA/STScI/NASA/ESA)

De Zon maakt samen met ongeveer 100 miljard andere sterren, zoals Wega, Sirius en Betelgeuze, deel uit van een melkwegstelsel. Er zijn nog miljarden andere melkwegstelsels (ook wel sterrenstelsels) in het heelal. Ons melkwegstelsel noemen we meestal "De Melkweg".

De dichtstbijzijnde ster, Alfa Centauri, is 4,3 lichtjaar van de Zon verwijderd. De Melkweg heeft een diameter tussen de 70.000 en 100.000 lichtjaren. Je kunt vanaf de Aarde op maanloze nachten en op een donkere plek de Melkweg zien als een lichte band aan de hemel. Je kijkt dan precies in het vlak van ons melkwegstelsel. Onze Melkweg heeft de vorm van een platte pannenkoek met spiraalarmen en bestaat voornamelijk uit sterren, stof (silicaten en koolstof) en gaswolken (waterstof, helium, koolstof- en siliciumverbindingen) Dit geheel draait rond om het centrum van de Melkweg.

De Zon bevindt zich halverwege een spiraalarm, op 25.000 lichtjaar van het centrum, en doet 230 miljoen jaar over één rondje. Tot nu toe heeft de Zon, en dus ook de Aarde, ongeveer 20 keer dit rondje afgelegd.

De Zon maakt samen met ongeveer 100 miljard andere sterren, zoals Wega, Sirius en Betelgeuze, deel uit van een melkwegstelsel. Er zijn nog miljarden andere melkwegstelsels (ook wel sterrenstelsels) in het heelal. Ons melkwegstelsel noemen we meestal "De Melkweg".

De dichtstbijzijnde ster, Alfa Centauri, is 4,3 lichtjaar van de Zon verwijderd. De Melkweg heeft een diameter tussen de 70.000 en 100.000 lichtjaren. Je kunt vanaf de Aarde op maanloze nachten en op een donkere plek de Melkweg zien als een lichte band aan de hemel. Je kijkt dan precies in het vlak van ons melkwegstelsel. Onze Melkweg heeft de vorm van een platte pannenkoek met spiraalarmen en bestaat voornamelijk uit sterren, stof (silicaten en koolstof) en gaswolken (waterstof, helium, koolstof- en siliciumverbindingen) Dit geheel draait rond om het centrum van de Melkweg.

De Zon bevindt zich halverwege een spiraalarm, op 25.000 lichtjaar van het centrum, en doet 230 miljoen jaar over één rondje. Tot nu toe heeft de Zon, en dus ook de Aarde, ongeveer 20 keer dit rondje afgelegd.



### Opdracht 9

Bereken de baansnelheid van de Zon om het centrum van ons melkwegstelsel. Gebruik gegevens uit Binas tabel 5. Geef het antwoord in je werkdocument.



*NGC 7331. bron: NASA/JPL-Caltech*

Een melkwegstelsel dat veel op ons eigen melkwegstelsel lijkt is NGC 7331 (zie afbeelding hiernaast). In NGC 7331 komen de massa, het aantal sterren, de vorm van de spiraalarmen en de snelheid waarmee nieuwe sterren ontstaan overeen met ons eigen melkwegstelsel. Met de zeer gevoelige Spitzer Space Telescope konden de onderzoekers NGC 7331 'ontleden'. Hier zijn Zichtbaar: de spiraalarmen (roodbruin), de centrale verdikking (de bulge, in lichtblauw) en een ring waarin sterren ontstaan (geel).

# 4 Het heelal



Lees eerst de lesstof van de inleiding van hoofdstuk 4. Maak daarna de vraag op deze pagina.



<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/8/8f32c052ccae0e089a6b61eda0f836b5.docx>

## Hoe is het heelal opgebouwd, en wat is daarin de plaats van ons zonnestelsel?

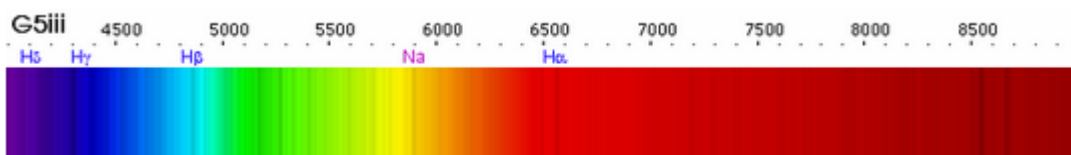
De gravitatiewet van Newton geldt niet alleen in ons zonnestelsel, maar overal in het heelal. Zo heeft de gravitatietheorie van Newton, samen met de relativiteitstheorie van Albert Einstein, de basis gelegd voor ons huidige beeld van het heelal. Door steeds betere waarnemingstechnieken en de vooruitgang in onze natuurkundekennis, weten we nu dat we leven in een ruimte van onvoorstelbare omvang, bijeengehouden door de aantrekking van de gravitatiekracht. Een groot deel van onze kennis over de sterren is afkomstig van waarnemingen met meetinstrumenten op aarde en in satellieten in een baan rond de aarde. Met een telescoop is de door een ster uitgezonden straling te bundelen.



Optische telescoop



Met een prisma of tralie is die straling uiteen te rafelen tot een spectrum.



Een spectrum van een ster vertoont donkere lijnen. (bron:wikipedia).  
Dat komt omdat er straling geabsorbeerd wordt in de buitenste lagen van de ster.

Met detectoren is de intensiteit van de uitgezonden straling te meten, zowel voor het spectrum als geheel als voor de afzonderlijke golflengten.  
Met die meetinstrumenten kunnen we de eigenschappen en afstanden van sterren en sterrenstelsels in het heelal bepalen.



**Webopgave 114 - Schaalmodel van het heelal**

Maak net als in hoofdstuk 1 een schaalmodel, maar nu van het gehele heelal.

Kies de schaal zo dat het heelal op een blad A4 past.



Bekijk onderstaande video van een reis door het heelal.

Gebruik de gegevens uit deze animatie voor het maken van het schaalmodel en gebruik de afstandstabel hieronder voor aanvullende gegevens. Realiseer je daarbij wel dat er grote onzekerheden zitten in de gegeven afstanden.

Object	Afstand (m)
Zon	$1,5 \cdot 10^{11}$
Pluto	$5,8 \cdot 10^{12}$
Proxima Centauri (dichtstbijzijnde ster)	$4,1 \cdot 10^{16}$
Lokale bel (opening in het interstellair gas, waarin ons zonnestelsel zich bevindt)	$8,5 \cdot 10^{17}$
Rigel (ster in het sterrenbeeld Orion)	$9,0 \cdot 10^{18}$
Middelpunt van ons Melkwegstelsel	$2,5 \cdot 10^{20}$
Magelhaense wolk (een dwergstelsel dat om ons Melkwegstelsel draait)	$1,6 \cdot 10^{21}$
Andromedanevel (dichtstbijzijnde sterrenstelsel, onderdeel van de 'Lokale groep' van sterrenstelsels waartoe ook ons Melkwegstelsel behoort)	$2,2 \cdot 10^{22}$
Canes Venaticiwolk (cluster van sterrenstelsels, waartoe ook de 'Lokale Groep' behoort)	$1,2 \cdot 10^{23}$
Rand van het Lokale of Virgo Supercluster (waartoe ook de Canes Venaticiwolk behoort)	$6,2 \cdot 10^{23}$
Grote Muur (een aaneenrijging van superclusters, onder andere het Virgo Supercluster)	$9,5 \cdot 10^{24}$
Zichtbare heelal	$1,3 \cdot 10^{26}$



[//www.youtube.com/embed/nsKGvTmu-jw](https://www.youtube.com/embed/nsKGvTmu-jw)

## 4.1 Een heelal vol sterrenstelsels

### 4.1 - Een heelal vol sterrenstelsels

#### Samenvatting

Het heelal is onvoorstelbaar groot, met daarin meer dan een miljard sterrenstelsels. Eén van die sterrenstelsels is het Melkwegstelsel, waarvan ons zonnestelsel een klein onderdeel is. Een ster straalt energie uit in de vorm van elektromagnetische straling. De intensiteit van de uitgezonden straling hangt af van de golflengte. De golflengte waarbij de intensiteit van de uitgezonden straling maximaal is, wordt bepaald door de oppervlaktetemperatuur van de ster. Hoe hoger deze oppervlaktetemperatuur  $T$  is, des te kleiner is de golflengte  $\lambda_{\max}$  van de piek in het stralingsspectrum (wet van Wien):

$$\lambda_{\max} = k_W/T$$

Voor afstandsbepalingen in het heelal bestaan verschillende methoden. Voor sterren op relatief kleine

afstand is de parallaxmethode bruikbaar. Voor sterren die verder weg staan volgt de oppervlaktetemperatuur met de wet van Wien uit het stralingsspectrum. Uit het Hertzsprung-Russelldiagram is dan de lichtsterkte af te lezen. Vergelijking van de lichtsterkte met de op aarde waargenomen stralingsintensiteit levert ten slotte de afstand. Voor sterrenstelsels op zeer grote afstand gebruikt men de Cepheïdenmethode. Van deze veranderlijke sterren is de lichtsterkte te bepalen door meting van de periode waarmee hun lichtsterkte varieert. Vergelijking van deze lichtsterkte met de op aarde waargenomen stralingsintensiteit levert dan weer de afstand.



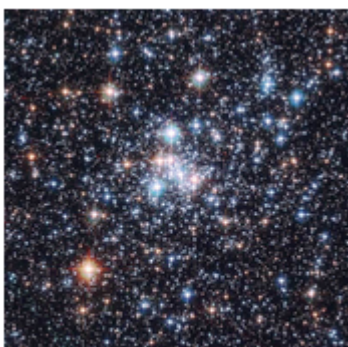
Lees eerst de lesstof. Maak daarna de vragen op deze pagina.



[Een heelal vol sterrenstelsels](#)

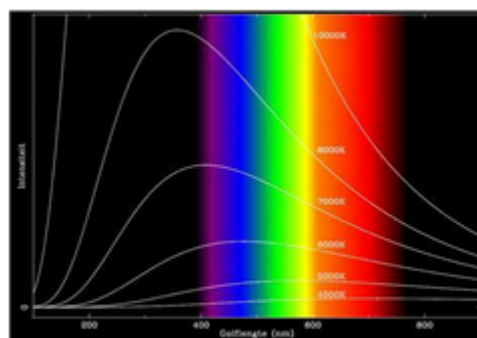
## Hoe ziet het heelal er buiten het zonnestelsel uit?

In de figuur zie je het stralingsspectrum van sterren: de intensiteit als functie van de golflengte van de uitgezonden straling. Hoe het stralingsspectrum van een ster eruit ziet, hangt voornamelijk af van de temperatuur. Hoe hoger de temperatuur is, des te kleiner is de golflengte waarbij de intensiteit in het stralingsspectrum maximaal is.



Opname van de Hubble telescoop. (bron:ESA)

Zelfs met het blote oog is te zien dat sterren aan de hemel verschillende kleuren hebben: sommigen zijn blauwachtig, anderen zijn meer rood van kleur. Dat is te verklaren met het stralingsspectrum van sterren in de bovenstaande figuur. Koele sterren hebben een oppervlaktetemperatuur van 4000 K of minder. In de bovenstaande figuur is te zien dat de piek van het spectrum bij een temperatuur van 4000 K bij een golflengte van ongeveer 800 nm ligt: de golflengte van rood licht. Koele sterren zijn daardoor roodachtig van kleur. Duidelijk is te zien dat de kleuren van sterren verschillen. De allerheetste sterren hebben een blauwachtige glans.



Stralingsspectrum (bron: Malmberg)

De wet van Wien is in 1893 opgesteld door de Duitse natuurkundige Wilhelm Wien. De wet van Wien zegt, dat deze golflengte  $\lambda_{\max}$  omgekeerd evenredig is met de absolute temperatuur  $T$  in kelvin (K). Dat betekent bijvoorbeeld: als de temperatuur tweemaal zo hoog is, is de golflengte van de piek in het stralingsspectrum tweemaal zo klein.

## Orion

We maken nu eerst kennis met een paar sterren in het sterrenbeeld Orion: Betelgeuze, Saiph, Bellatrix en Rigel.



### Webopgave 115 - Orion

Bekijk Orion met het vergrootglas en zoek de vier genoemde sterren op de



webpagina: [http://nl.wikipedia.org/wiki/Orion\\_\(sterrenbeeld\)](http://nl.wikipedia.org/wiki/Orion_(sterrenbeeld)) .

Maak een schetsje in je schrift en zet daar de namen bij.



### Webopgave 116 en 117 - Meerkeuzevragen



meerkeuzevragen 116-117

<https://maken.wikiwijs.nl/p/questionnaire/standalone/1031629>

#### Algemene Informatie

**Titel** meerkeuzevragen 116-117  
**Aantal Vragen** 2

Vul het goede antwoord in.

MAIN\_SECTION

Kies het goede alternatief:

- ☐ Rigel is blauw en Betelgeuze wit.
- ☐ We zien Bellatrix kleiner dan Saiph.
- ☐ Saiph ligt onder Betelgeuze.
- ☐ Betelgeuze is groter dan Rigel.

We beschouwen een ster nu als een zwarte straler. Daarmee wordt de kleur van een ster bepaald door de temperatuur aan het oppervlak.

Kies het juiste antwoord:

- ☐ Betelgeuze is heter dan Saiph

- ☐ Rigel is heter dan Bellatrix
- ☐ Alle blauwe sterren zijn even heet
- ☐ Betelgeuze is heter dan een brandende gloeilamp.
- 

Nu je de namen van de vier sterren die we gaan meten kent, kun je naar de volgende opdracht.



### Webopgave 118 - Meting

Je kunt de ster van je keuze selecteren met je muis en een spectrum laten tekenen met het 'voorwaarts' pijltje in het 'control' scherm. Als een spectrum klaar is kun je met het schuifbalkje naar elke plek op de grafiek gaan en aflezen om welke golflengte en intensiteit het gaat.

De intensiteit van de straling wordt telkens in een klein stukje van het golflengtegebied gemeten, dus langs de verticale as van der grafiek vinden we de eenheid:  $\text{W/m}^2$  per  $\Delta\lambda$ .



<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/b3fdb2b867c2ae442a04481beca59a.s wf>

Kies nu een ster en teken het spectrum. Beantwoord daarna de vragen van webopgave 118. Noteer je uitwerking in je schrift of in je Word document.

Omdat we naar de opgevangen straling kijken kunnen we alleen de verschuivingswet van Wien toepassen om de oppervlaktetemperatuur van een ster te bepalen. Daarvoor hebben we de golflengte nodig waarop de meeste energie wordt uitgezonden.

1. Bepaal nu de oppervlaktetemperatuur van de ster die jij hebt gekozen. Vergelijk jouw antwoord met de gegevens op deze website: [http://nl.wikipedia.org/wiki/Orion\\_\(sterrenbeeld\)](http://nl.wikipedia.org/wiki/Orion_(sterrenbeeld)).
2. Bepaal hoe groot de totaal opgevangen intensiteit van jouw ster is.
3. Bepaal het percentage van de intensiteit van de straling van jouw ster die wij ook kunnen **zien**.
4. Van onze zon kun je de zonneconstante berekenen (zie paragraaf 1.1 van je lestekst). Bereken nu ook de jouwster-constante.
5. Bereken nu ook hoeveel energie de aarde per jaar van jouw ster ontvangt. Vergelijk die waarde eens met de energie van de Zon.



### Webopgave 119 - Rekenen met de wet van Wien



Webopgave 119

<https://maken.wikiwijs.nl/p/questionnaire/standalone/1031634>

### Algemene Informatie

**Titel** Webopgave 119  
**Aantal Vragen** 2

Vul het goede antwoord in.

MAIN\_SECTION

Een ster heeft een oppervlakte temperatuur van 5000k.

Bereken golflengte waarbij de meeste straling wordt uitgezonden en bepaal de kleur licht, die de ster voor ons heeft.

- ☐ 620 nm en een rood-gele kleur
- ☐ 1450 nm en ver infrarood.
- ☐ 580 nm en gele kleur

Gegeven is dat een ster voornamelijk violet (paars) licht uitzendt.

Zoek op welke golflengte daarbij hoort en bereken de oppervlaktetemperatuur van deze ster.

- ☐ De temperatuur van deze ster is 20 000 K
- ☐ De temperatuur van de ster is 4 000 K
- ☐ de temperatuur van deze ster is 7 000 K



## Webopgave 120 - Keuzeopdracht zonnenspectrum

Je gaat zelf een grafiek maken van het spectrum van de Zon, op basis van meetgegevens van D. Silva van de Universiteit van Oregon. Je kunt hier een excelbestand downloaden met gegevens van de intensiteit van het zonlicht voor een grote hoeveelheid golflengten.



<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/0/0176dc1a2f9156651c3c4dcb9aeeca4.xls>

Je ziet in het excelbestand een tabel met drie kolommen:

- het nummer van de meting,
- de golflengte  $\lambda$  in nm,
- de relatieve intensiteit bij die  $\lambda$ .

De (verticale) kolommen van de tabel zijn aangegeven door de letters A, B, C, ...; de (horizontale) rijen zijn genummerd.

### Opdracht:

Als je de tabel doorloopt zul je zien dat er 801 metingen zijn, om de halve nanometer, beginnend bij 360 nm. Zo'n tabel geeft geen duidelijk beeld van het spectrum van de Zon; daarom ga je er nu een grafiek van maken. Om een nette grafiek te maken in Excel, klik op de button met "**klik hier**".

Je grafiek toont een zgn. continu spectrum, d.w.z. een spectrum, dat een breed golflengtegebied beslaat. Voor zo'n spectrum bestaat er een verband tussen de golflengte  $\lambda_{\max}$  waarbij de intensiteit maximaal is en de temperatuur  $T$  van de bron. Dat verband heet de wet van Wien.

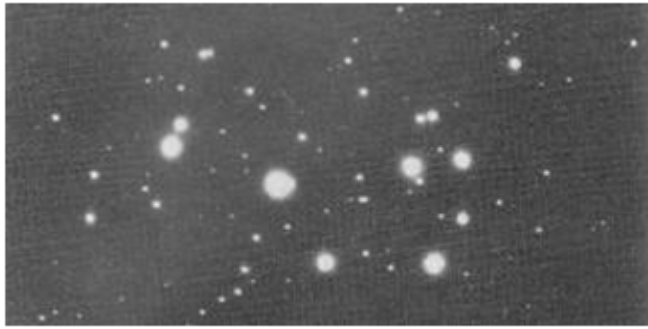
De Zon straalt dus licht uit waarvan de maximale intensiteit ligt in het zichtbare gebied van het elektromagnetisch spectrum. En de Aarde?

1. Maak een grafiek van het spectrum van de Zon, waarin de relatieve intensiteit staat uitgezet tegen de golflengte (in nm). Laat de grafiek lopen van 360 tot 760 nm.
2. Bekijk je grafiek. Bij één bepaalde golflengte ( $\lambda_{\max}$ ) is de intensiteit maximaal. Bepaal die  $\lambda_{\max}$  (zo goed mogelijk).
3. Hier en daar in het spectrum is de intensiteit nul. Hoe zou dat komen?
4. Schat met behulp van je grafiek de temperatuur van het oppervlak van de zon.
5. Schat de temperatuur van het oppervlak van de Aarde en bereken daaruit de  $\lambda_{\max}$  van de door de Aarde uitgezonden straling. In welk deel van het elektromagnetisch spectrum ligt dat?

[klik hier](#)

### 4.1 - De afstand van sterren

Een blik op de sterrenhemel maakt duidelijk dat sterren verschillen in helderheid. Die verschillen in helderheid worden veroorzaakt door verschillen in grootte, oppervlaktetemperatuur en afstand.

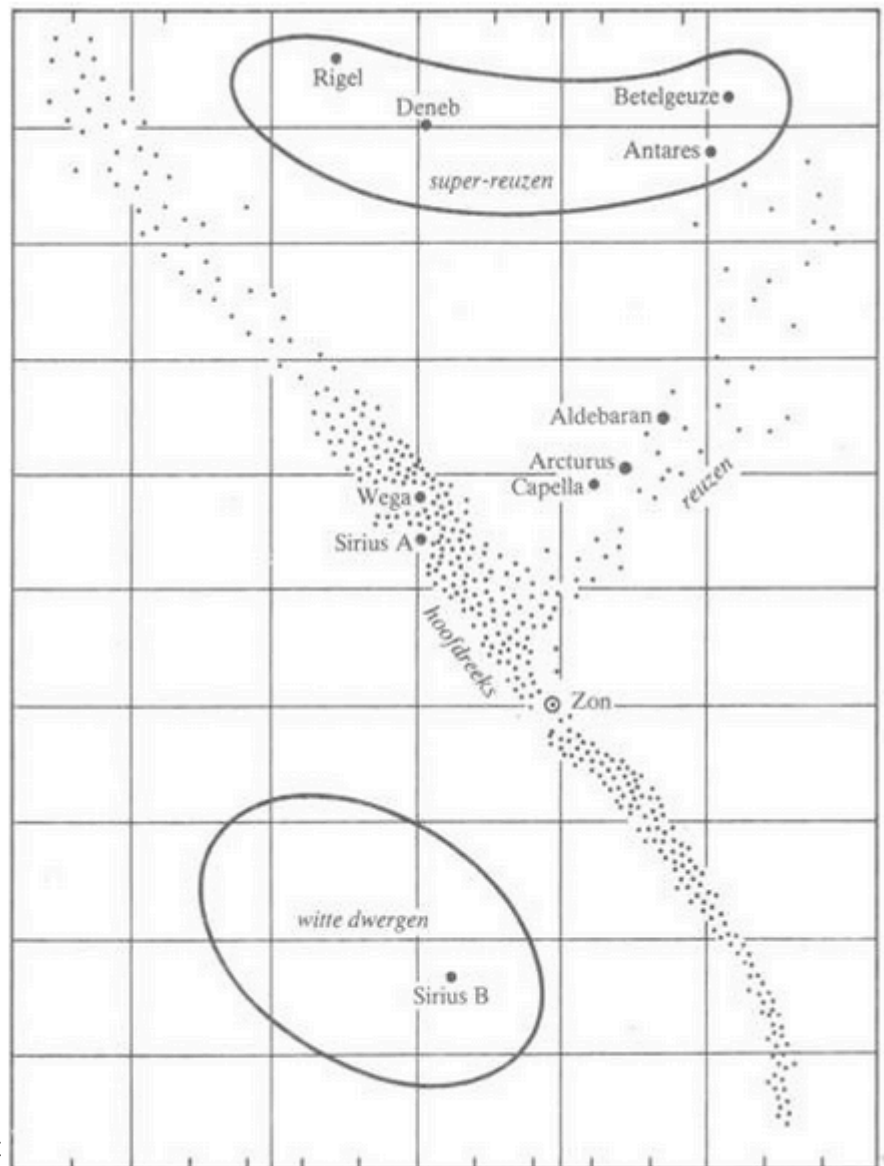


De grootte van de stip is een maat voor de helderheid van de ster, groter is helderder.

Hoe groter de afmeting en hoe hoger de oppervlaktetemperatuur van een ster zijn, des te groter is het uitgezonden stralingsvermogen. Dit stralingsvermogen noemen we de lichtsterkte ( $L$ ) van een ster. Op aarde kunnen we de stralingsintensiteit ( $I$ ) van een ster meten: het waargenomen stralingsvermogen per vierkante meter. Als we ook de afstand ( $r$ ) tot de ster weten, is de lichtsterkte van een ster te berekenen met de gemeten stralingsintensiteit en de afstand. Voor relatief dichtbij geleiden sterren is de afstand te bepalen uit de parallax van deze sterren over een periode van zes maanden. Hoe kleiner deze beweging is, des te verder weg staat de ster.

In het begin van de vorige eeuw combineerden E. Hertzsprung en H.N. Russell de kennis over alle sterren waarvan de stralingsintensiteit en de afstand - en dus de lichtsterkte - bekend was in het diagram (zie hiernaast). Dit is het Hertzsprung-Russell diagram. Langs de verticale as staat de lichtsterkte, langs de horizontale as de oppervlaktetemperatuur van de sterren. Uit dit diagram blijkt dat de meeste sterren (waaronder de zon) zich op de zogenaamde hoofdreeks bevinden: de strook van rechtsonder naar linksboven. Een kleiner aantal sterren wijkt van die regelmaat af: de *reuzen*, de *superreuzen* en de *witte dwergen*.

Langs de verticale as staat de lichtsterkte  $L$ , uitgedrukt in de bekende lichtsterkte van de zon ( $L_{\text{zon}}$ ). Langs de horizontale as staat de oppervlaktetemperatuur  $T$  van een ster. Beide schaalverdelingen zijn niet lineair. Dat maakt het aflezen van waarden in het diagram wat lastig. Bovendien is de schaalverdeling langs de horizontale as wat ongebruikelijk: langs de as neemt de temperatuur van links naar rechts af.



Het Hertzsprung- Russell diagram. (bron: Malmberg)

In het volgende diagram kun je de levensloop van een ster zoals onze zon volgen in het HR diagram: van geboorte in een wolk van waterstofgas en andere stoffen tot zijn dood als zwarte dwerg.



<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/a1bb253e3d1a3556432f7c313b102cba.s wf>



### Webopgave 121

1. Hoe lang duurt deze reis van geboorte tot dood van een ster? Zie: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Zon>
2. Bij welke temperatuur is een ster het helderst?
3. Wat gebeurt er met de ster na de variabele fase?



### Webopgave 122 - Invuloefening

Lees de tekst hierboven aandachtig door en vul de ontbrekende woorden in.

- Hoe groter de afmetingen hoe hoger de oppervlaktetemperatuur van een ster zijn, des te groter is het uitgezonden stralingsvermogen per  van een ster.
- Opaar de kunnen we de  (  ) van een ster meten: het waargenomen stralingsvermogen per  .
- Als we ook de  (  ) tot de ster weten, is de  van een ster te berekenen met de gemeten stralingsintensiteit en de afstand.
- Voor relatief dicht bij gelede sterren is de afstand te bepalen uit de  van deze sterren overeenperiode van zes maanden. Hoe kleiner deze beweging is, des te verder weg staat de ster.
- In het begin van de vorige eeuw combineerden E. Hertzsprung en H. N. Russell de kennis over alle sterren waarvande  en de afstand - en dus de lichtsterkte - bekend was in het diagram (zie onder). Dit is het Hertzsprung-Russell diagram.
- Langs de verticale as staat de lichtsterkte, langs de horizontale as de  van de sterren.
- Uit dit diagram blijkt dat de meeste sterren (waaronder de zon) zich op de zogenaamde  bevinden: de strook van rechtsonder naar linksboven. Een klein aantal sterren wijkt van die regelmaat af: de  de  en de .

### Parallaxmethode

Voor sterren die ver weg liggen is een afstandsbepaling met de parallaxmethode niet mogelijk: de parallax is zo klein dat die niet is waar te nemen. Maar in dat geval is die afstand met het Hertzsprung-Russell diagram te bepalen. Uit het waargenomen sterspectrum volgt met de wet van Wien de oppervlaktetemperatuur. Uit het Hertzsprung-Russell diagram is dan de lichtsterkte  $L$  van die ster af te lezen. De aanname daarbij is dat de ster op de hoofdreeks ligt. Astronomen kunnen uit de eigenschappen van het sterspectrum opmaken of dat het geval is. Uit de zo bepaalde lichtsterkte  $L$  en de

op aarde waargenomen stralingsintensiteit  $I$  van de ster is dan de afstand  $r$  te berekenen. Want: als het - zoals eerder gezegd - mogelijk is om uit  $I$  en  $r$  de lichtsterkte  $L$  te berekenen, dan is het ook mogelijk om uit  $L$  en  $I$  de afstand  $r$  te berekenen. Op deze manier kunnen we dus een beeld krijgen van de lichtsterkte, de oppervlaktetemperatuur en de afstand van de sterren die we aan de hemel zien. Astronomen kunnen daaruit bovendien de grootte en de massa van sterren afleiden.



### Webopgave 123

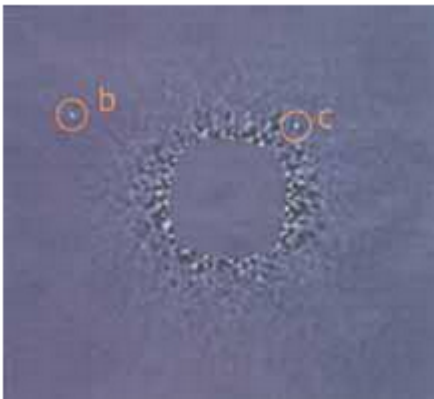
Gegeven een hoofdreeks-ster met  $\lambda_{\max}$  bij 580nm. De waargenomen stralingsintensiteit is 400 keer kleiner dan die van de zon. Als de afstand van een ster twee keer zo groot wordt, wordt de intensiteit van de straling vier keer zo klein.

1. Wat is zijn lichtsterkte?
2. Hoe ver staat de ster van ons af?



### Webopgave 124 - Extra: Exoplaneten

De zon heeft een stelsel van planeten om zich heen. Men heeft zich lang afgevraagd of de zon de enige ster is met zo'n planetenstelsel. De zoektocht naar planeten bij andere sterren heeft inmiddels zo'n 300 zogenaamde exoplaneten opgeleverd. Aanwijzingen voor de aanwezigheid van een exoplaneet bij een ster zijn heel kleine variaties in de snelheid en lichtsterkte van die ster. De snelheidsvariaties zijn alleen goed te meten bij zware exoplaneten die met grote snelheid in een kleine baan rondom de ster draaien. En om de lichtsterktevariaties te kunnen meten, moeten we vanaf de aarde tegen de zijkant van het stelsel aankijken, zodat de exoplaneet voor de ster langs beweegt.



In 2008 zijn de eerste exoplaneten ook echt op telescoopbeelden te zien: de ster HR8799 met zijn planetenstelsel. De ster staat op een afstand van 128 ly. Op de foto zijn twee van de drie reuzenplaneten te zien, met omlooptijden van 100, 190 en 460 jaar. Bij het maken van de foto is het licht van de ster zelf afgeschermd, omdat de planeten anders niet zichtbaar zouden zijn. (bron: Malmberg)

#### Opdracht:

Beschrijf in eigen woorden ten minste 3 methoden om een exoplaneet te ontdekken.



Meer weten? Je kunt deze site als bron gebruiken : [website wikipedia over exoplaneten](https://nl.wikipedia.org/wiki/Exoplaneet)

## 4.1 - Ons Melkwegstelsel



Lees eerst de lesstof van hoofdstuk 4 paragraaf 4.1 Maak daarna de vragen op deze pagina.

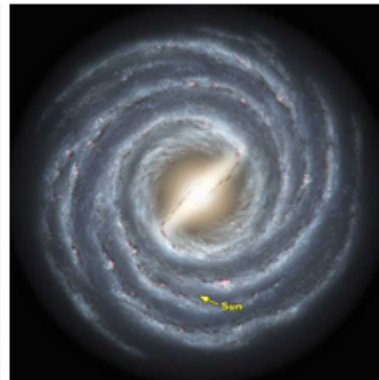


<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/f/fc43133f1b8cb78d1333b335a8ac0eba.docx>

De zon, met al haar planeten en bijbehorende manen, maakt deel uit van het Melkwegstelsel. We zien de melkweg als een lichte band over de hemel. Het is voor astronomen niet gemakkelijk geweest om zich een beeld te vormen van de structuur van het Melkwegstelsel, want wij zitten er middenin.



(bron wikipedia)



(bron wikipedia)

Het Melkwegselsel bestaat uit zo'n 200 tot 400 miljard sterren in een discussvormige schijf (zie figuur). Het Melkwegstelsel wordt bijeen gehouden door de gravitatiekracht en roteert om zijn middelpunt. Met de **gravitatiewet van Newton** heeft men berekend, dat de massa in het centrum van het Melkwegstelsel ongeveer 100 miljard zonsmassa's bedraagt. De totale massa van het Melkwegstelsel is nog veel groter.



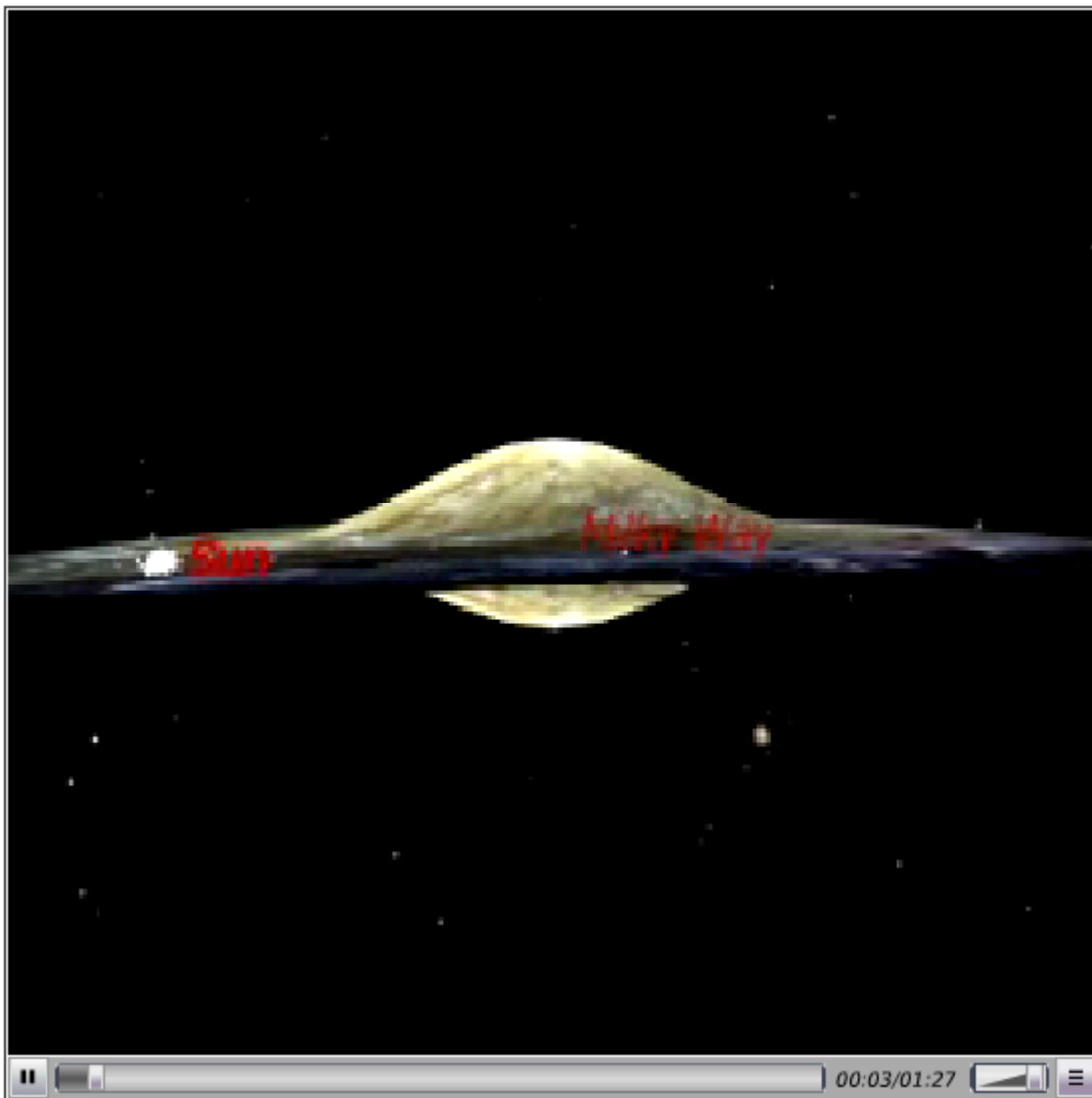
### Webopgave 125 - Newton

Hoe kun je met de gravitatiewet berekenen hoe groot de massa in het centrum is? Schrijf de stappen één voor één op. (Tip: denk aan de middelpuntzoekende kracht op een ster  $F_{mpz} = mv^2/r$  die geleverd wordt door de  $F_g = G \cdot m \cdot M/r^2$ )



Een impressie van de vorm van ons Melkwegstelsel zie je in dit videofragment.





[Klik hier voor film.](#)



**Webopgave 126 - Meerkeuzevraag**



webopgave 126  
<https://maken.wikiwijs.nl/p/questionnaire/standalone/1031648>

## Algemene Informatie

**Titel** webopgave 126  
**Aantal Vragen** 2

Vul het goede antwoord in.

MAIN\_SECTION

Waarom weten we niet zeker dat de melkweg er zo uit ziet?

- ☐ aan de hemel zie je alleen sterren en geen sterrenstelsels, daarom weten we niet zeker.
- ☐ We zitten in de melkweg en kunnen dus niet zien hoe de melkweg ervan buiten uitziert.
- ☐ We zitten in de melkweg en kunnen dus niet zien hoe de melkweg ervan buiten uitziert.

Uit hoeveel sterren bestaat de melkweg ongeveer en hoe weten we dat?

- ☐ Ongeveer 100 miljard en sterrenkundigen hebben ze één voor één geteld.
- ☐ De massa is berekend met de gravitatiewet van Newton en het aantal sterren is dan te berekenen met de aanname dat ze allen even zwaar zijn als de zon, dan kom je op gemiddeld 200 miljard.
- ☐ Ongeveer 500 miljard sterren, dat bepaal je doordat je weet dat de melkweg een gemiddeld sterrenstelsel is en een gemiddeld sterrenstelsel heeft 500 miljard sterren. Dat is namelijk gemeten.

### 4.1 - Sterrenstelsels



De Andromedanevel (bron: Malmberg)

Ons melkwegstelsel lijkt erg op een van onze 'buren' in het heelal: de Andromedanevel. De Amerikaanse astronoom Edwin Hubble was in staat om de afstand tot de Andromedanevel te bepalen. Hij vond een afstand die veel groter was dan de afmetingen van ons Melkwegstelsel. In latere metingen is vastgesteld dat de Andromedanevel zelf een sterrenstelsel is, met een structuur en afmetingen die sterk op ons eigen Melkwegstelsel lijken. De Andromedanevel staat op 2,2 miljoen lichtjaar van de aarde, bevat 200 miljard sterren en is voor ons het dichtstbijzijnde sterrenstelsel in het heelal.



### Webopgave 127 - Hubble

Een satelliet zoals de Hubble bestaat uit heel veel verschillende onderdelen. Om je te laten zien dat we in de natuurkunde allerlei onderwerpen combineren maak je deze opgave waarin de optica een grote rol speelt. Een satelliet 'kijkt' toch op een wat andere manier naar de verre ruimte. Voor de telescoop is het niet zo handig een grote dikke lens te gebruiken. Het grote gewicht en de afwijkingen van de beeldvorming zijn behoorlijk bezwaarlijk. De oplossing ligt in het gebruik van holle spiegels, die kunnen het licht ook bundelen en zo een beeld vormen in de opname apparatuur.

Hier zie je een animatie van de Space Telescope Hubble.



<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/89db83e308a52dbea8b319eafee1c1e6.s wf>

Ga naar 'model' en vereenvoudig het plaatje totdat je de spiegels kunt zien. Beschrijf kort, met een tekening, hoe het licht van de ver weg gelegen sterrenstelsels op de camera van de Hubble terecht komt.



#### Meer weten?

[http://nl.wikipedia.org/wiki/Ruimtetelescoop\\_Hubble](http://nl.wikipedia.org/wiki/Ruimtetelescoop_Hubble)

### Afstanden van sterrenstelsels

Het op een betrouwbare manier bepalen van de afstanden van sterrenstelsels in het heelal is een probleem. De parallax van sterrenstelsels is zo klein, dat deze niet is waar te nemen. Daarom gebruikt men de waargenomen stralingsintensiteit van een speciaal soort sterren: de Cepheïden. Dit zijn veranderlijke sterren die genoemd zijn naar hun prototype: de ster Delta Cephei. Uit de lichtsterkte  $L$  en de op aarde gemeten stralingsintensiteit  $I$  de afstand  $r$  van de Cepheïde te berekenen. Deze methode werd door Hubble gebruikt om de afstand tot de Andromedanevel te bepalen. (zie ook: <http://nl.wikipedia.org/>)



### Webopgave 128 - Afstandbepaling met Cepheïde



<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/abda194dfafa5fcd0234bfdf92f97dc1.swf>

Hoe kon Hubble de geweldig grote afstand tot de andromedanevel meten? Beschrijf kort zijn methode.  
( zie ook <http://nl.wikipedia.org/wiki/Cephe%C3%AFde>)



**Webopgave 129 - Stellingen.**



Webopgave 129 - Stellingen.

<https://maken.wikiwijs.nl/p/questionnaire/standalone/1031656>

#### Algemene Informatie

**Titel** Webopgave 129 - Stellingen.  
**Aantal Vragen** 5

Waar of niet waar?

---

#### MAIN\_SECTION

Een cepheïde is een ster met constante lichtkracht.

☐

waar

☐

niet waar

---

De andromedanevel lijkt op de melkweg.

☐

waar

☐

niet waar

---

Henrietta Leavitt wist de afstand tot de andromedanevel op te meten met parallax.

- ☐ waar
- ☐ niet waar
- 

De melkweg bestaat uit 200-400 miljard sterren.

- ☐ waar
- ☐ niet waar
- 

Onze zon ligt op ongeveer 100 000 lichtjaar van het centrum van de melkweg.

- ☐ waar
- ☐ niet waar
- 

## 4.2 Evolutie van het heelal

### Samenvatting

Kosmologen proberen de vraag te beantwoorden hoe het heelal is ontstaan, hoe het heelal zich heeft ontwikkeld en hoe de toekomst van het heelal eruit ziet. Volgens de moderne inzichten ontstond het heelal ongeveer 13,7 miljard jaar geleden met de oerknal. Hiervoor is een aantal aanwijzingen, waaronder de waargenomen uitdijning van het heelal (volgens de wet van Hubble) en het bestaan van de kosmische achtergrondstraling. De wet van Hubble geeft het verband tussen de vluchtsnelheid  $v$  en de afstand  $d$  van sterrenstelsels:  $v = H \cdot d$ . In een relatief korte periode na de oerknal konden quarks zich verbinden tot protonen en neutronen, gevolgd door de vorming van eerst de atoomkernen en later de atomen van de lichtste elementen. Ruwweg 1 miljard jaar na de oerknal klonterde deze materie onder invloed van de gravitatiekracht samen tot de eerste sterren en sterrenstelsels. De atomen van de zwaardere elementen zijn later door kernfusieprocessen in de sterren ontstaan en bij supernova-explosies door het heelal verspreid. Het licht van een ster of sterrenstelsel heeft tijd nodig om de afstand naar de aarde te overbruggen. Wanneer wij dat licht waarnemen, kijken we dus naar het verleden.



Lees eerst de lesstof van hoofdstuk 4 paragraaf 4.2 t/m 'de vorming van zwaardere elementen'. Maak daarna de vragen op deze pagina.



<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/2/224b28cf1dbda34114e9d34c52a4db21.docx>

**Hoe is het heelal ontstaan, hoe heeft het heelal zich ontwikkeld en hoe ziet de toekomst van het heelal eruit?**

### Kosmologie

Beantwoord na het lezen van de leerstof de volgende vragen.



#### Webopgave 130 - Invuloefening

Vul de juiste woorden in.

- Isotroop betekent in alle richting dezelfde .
- is de studie naar het ontstaan en de structuur van het heelal.
- betekent vanzelfde aard of samenstelling.
- Het studieobject van kosmologie is het .



#### Webopgave 131 - Oerknal

### Wat is de oerknaltheorie?

De bekendste theorie over het ontstaan van het heelal wordt de oerknaltheorie, ook wel de Big Bang-theorie genoemd.



Bekijk de volgende film over de oerknal.

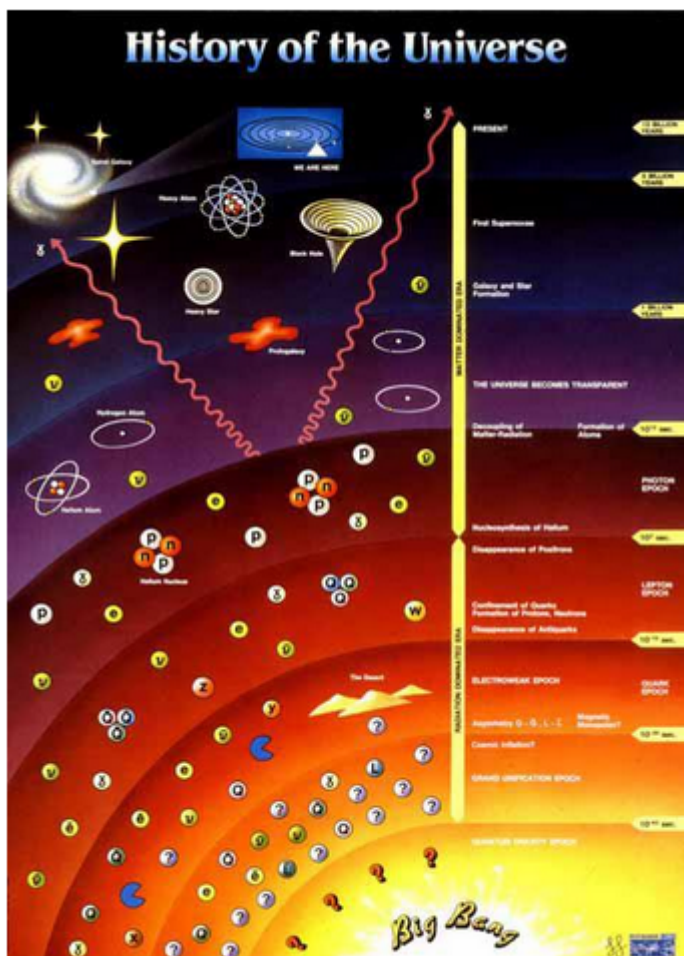


<http://www.youtube.com/embed/OZPmQMyJnGc>

Bron: <http://www.youtube.com/watch?v=OZPmQMyJnGc>

## Vragen:

1. Hoe lang duurt het voordat de eerste protonen en neutronen ontstaan?
2. Hoe lang duurt het vanaf de oerknal voordat de mensen op de aarde ontstaan?
3. Hoe heten de vier fundamentele krachten van de natuur?
4. Waarom kijk je eigenlijk naar het 'verleden' als je naar ver weg gelegen sterren kijkt?



Schematische voorstelling van de oerknal. (bron: Malmberg)

## Verloop van de oerknal

De oerknal of Big Bang begon met een hete en zeer dichte oersoep van quarks. Na ongeveer een milliseconde had het heelal de omvang van het zonnestelsel. Door de dalende temperatuur konden de quarks zich verbinden tot protonen en neutronen. Na 100 seconden werden de atoomkernen van de lichtste elementen gevormd, eerst waterstof en na verdere afkoeling ook helium (twee protonen en twee neutronen) en lithium (drie protonen en drie neutronen).

Na zo'n 300 000 jaar was het heelal zó ver afgekoeld, dat de elektronen en atoomkernen in atomen werden gebonden. Licht kan nu vrij bewegen. Na 1 miljard jaar klonterde materie onder invloed van de gravitatiekracht samen tot de eerste sterren en sterrenstelsels. We leven nu ongeveer 13,7 miljard jaar na de oerknal, schattingen lopen uiteen van 10 tot 20 miljard jaar.



## Webopgave 132 - Tijdlijn oerknal

Bekijk de animatie (in het engels) en maak een gedetailleerde tijdlijn van de gebeurtenissen na de Big Bang.



Klik op de play knop rechts onder.



<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/dad1a88ff2d4b138a92572a1246e0866.s wf>

## Hoe zijn de zwaardere elementen gevormd?



Lees eerst de lesstof van hoofdstuk 4 paragraaf 4.2 vanaf 'de vorming van zwaardere elementen'. Maak daarna de vraag op deze pagina.



<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/8/8e69984cb8585754fce8ac2107e1af20.docx>

De zware elementen zijn ontstaan bij de explosie van zware sterren: die explosies zijn waar te nemen als nova's of de grotere supernova's..



In 1987 was er een supernova (links), een paar dagen voor de explosie is er op die plaats alleen een gewone ster te zien (rechts).



### Webopgave 133

1. Lees de tekst en geef in maximaal 10 zinnen weer hoe de elementen als zuurstof, koolstof en bijvoorbeeld zwavel in het heelal ontstaan zijn.
2. Waarom zegt men wel dat wij allemaal bestaan uit sterrenstof? Is de uitspraak helemaal juist?

## 4.2 - Bewijs voor de oerknal



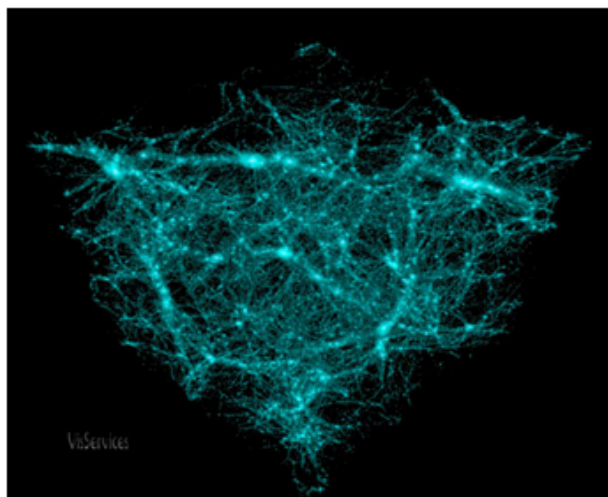
Lees eerst de lesstof van hoofdstuk 4 paragraaf 4.2 t/m de samenvatting. Maak daarna de vragen op deze pagina.



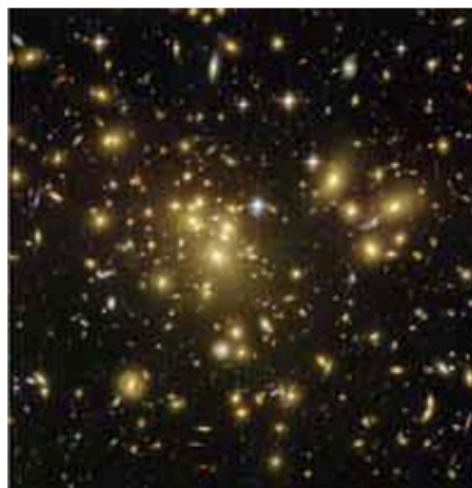
<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/1/148801264a14f524201cb5d55f99ddc0.docx>



Om de theorie van de oerknal weerleggen moet men één of ander verschijnsel waarnemen dat in strijd is met de uitgangspunten van deze theorie. We zouden een ster kunnen waarnemen die ouder is dan de het moment van de eerste stervorming, zoals voorspeld door de oerknaltheorie. Of we zouden een waarneming kunnen doen waaruit blijkt dat de verdeling van de Melkwegstelsels over het heelal niet homogeen is. Bijvoorbeeld over de 'donkere materie'.



Donkere materie (bron: Kennislink)



Opgave van de Hubble ruimte telescoop (bron: Malmberg)



Meer weten? Maar dat dat niet altijd tot eenduidige resultaten leidt kun je lezen in het volgende artikel over donkere materie: [kosmologen-tasten-in-het-duister](#) en [http://nl.wikipedia.org/wiki/Donkere\\_materie](http://nl.wikipedia.org/wiki/Donkere_materie)



### Webopgave 134 - Donkere materie

1. Wat is donkere materie?
2. Hoe hebben de kosmologen de donkere materie ontdekt? Welke waarnemingen hebben ze daarvoor gedaan?

### De wet van Hubble

Een belangrijke voorspelling van de oerknaltheorie is de uitdijning van het heelal. In 1929 nam de astronoom Edwin Hubble de uitdijning van het heelal daadwerkelijk waar. Aan de hand van zijn metingen stelde hij vast dat alle Melkwegstelsels zich van elkaar af bewegen. Bovendien geldt dat hoe verder ze van ons verwijderd zijn, des te groter is hun snelheid. Zijn resultaten vatte hij samen in een formule, die de wet van Hubble is gaan heten: volgens de wet van Hubble verwijderen sterrenstelsel zich van ons af met een snelheid die gegeven wordt door:

$$v = H \cdot d$$

waarin geldt:

- $v$  is de snelheid van een Melkwegstelsel in meters per seconde ( $\text{ms}^{-1}$ )
- $H$  is de afstand van het Melkwegstelsel tot ons in meters (m)
- $d$  is een constante; deze wordt de constante van Hubble genoemd. De huidige waarde is:  $2,31 \cdot 10^{-8}$ .



### Webopgave 135 - Video Edwin Hubble

Edwin Hubble ontdekte dat het heelal heel groot was. Met zijn wet beschreef hij ook het uitdijende heelal.



Bekijk de video.



[//www.youtube.com/embed/hVApTLE7Csc](http://www.youtube.com/embed/hVApTLE7Csc)

Bron: <http://www.youtube.com/watch?v=hVApTLE7Csc>

#### Vragen :

1. Leg uit wat redshift (roodverschuiving) is.
2. Hoe kwam Edwin Hubble achter zijn wet?
3. Leg uit dat de wet van Hubble een argument is, dat de oerknal theorie waar kan zijn.
4. Welke eenheid hoort er bij de Hubble constante d?
5. Op welke hoogte hangt de Hubble telescoop? (reken het aantal miles om naar km.)

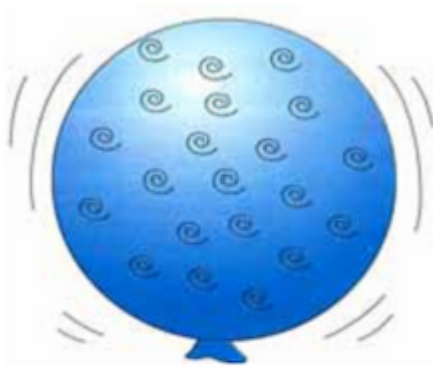
Door de onzekerheid in de afstandsschaal is er echter ook de waarde van de Hubble constante niet precies bekend en daarmee in de leeftijd van het heelal.

Als de Hubble constante groot is, dijt het heelal sneller uit en moet de huidige toestand sneller bereikt zijn. De leeftijd van het heelal is dus evenredig met het omgekeerde van de Hubble constante. De wet van Hubble wil overigens niet zeggen, dat ons sterrenstelsel zich in het centrum bevindt. Dat wordt ook het kosmologisch principe genoemd.



### Webopgave 136

1. Beschrijf in het kort wat dit principe inhoudt, zie ook: [http://nl.wikipedia.org/wiki/Kosmologisch\\_principe](http://nl.wikipedia.org/wiki/Kosmologisch_principe)
2. Waarom bevinden wij ons dus niet in het midden van het heelal?



Stel je eens voor dat we op de ballon van de onderstaande figuur leven en dat de stippen op de ballon de sterrenstelsels voorstellen. Als de ballon wordt opgeblazen, drijft het gehele heelal (het oppervlak) uit en "ziet" elke stip de andere stippen van zich af bewegen. Vanuit elk punt lijkt het dus alsof jij je in het middelpunt van het heelal bevindt. Probeer het maar eens uit!



### Webopgave 137 - Krentenbol

Verwijderende sterrenstelsels op een ballon (bron: Malmberg)

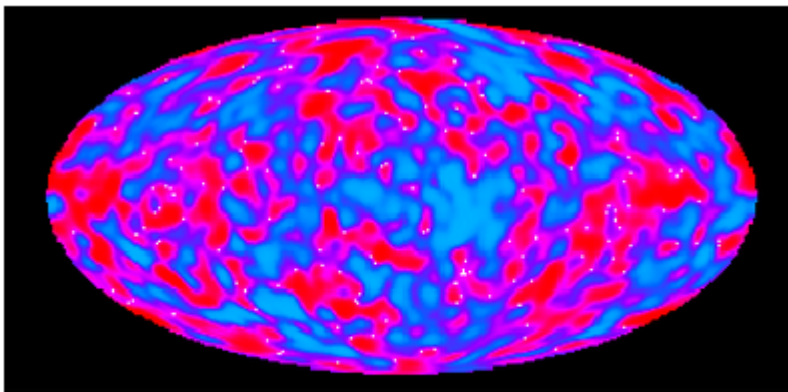
Soms nemen we ook wel een ander voorbeeld: een bol deeg met daarin wat krenten. Als het deeg rijst.....

Waarom is dit voorbeeld beter dan het balonnetje?

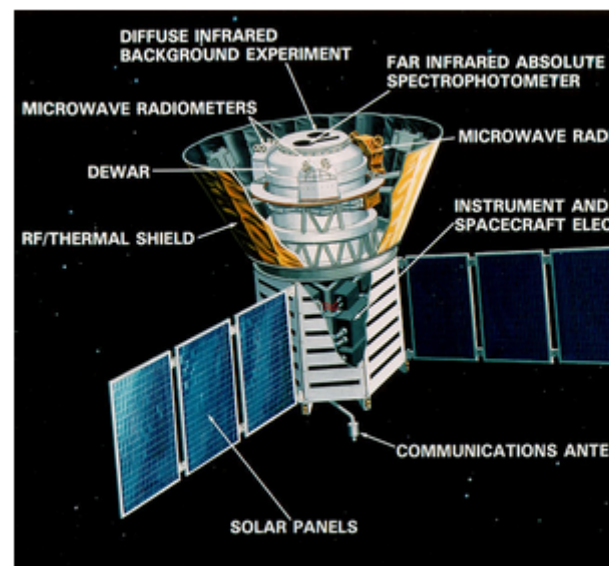
[klik hier](#)

## Kosmische achtergrondstraling

De kosmische achtergrondstraling geeft ons informatie over de begintijd van het Heelal. Deze microgolfstraling werd in 1965 door Arno Penzias en Robert Wilson ontdekt. Met de satelliet Cobe (COsmic Background Explorer) werd in 1992 de kosmische achtergrondstraling nauwkeurig in kaart gebracht. Deze straling bleek - zoals voorspeld door de oerknaltheorie - heel gelijkmatig te zijn, met slechts minimale variaties.



Kosmische achtergrondstraling, zoals waargenomen door de COBE satelliet. (bron: Wikipedia)



De Cosmic Background Explorer



### Webopgave 138 COBE keek dus naar de achtergrondstraling van ons Heelal.

1. Wanneer is die straling uitgezonden?
2. Waarom geven de kleine variaties in de straling aan dat er sterrenstelsels gevormd kunnen zijn?

## 4.3 Opgaven

### 4.3 - Opgaven paragraaf 4.1 a



#### Webopgave 139 - Orion

De onderstaande figuur laat het sterrenbeeld Orion zien met de heldere sterren Betelgeuze en Rigel. Betelgeuze is roodachtig van kleur en Rigel blauwachtig. Van welke ster is de oppervlaktetemperatuur het hoogst? Leg uit waarom.



Figuur - sterrenbeeld Orion (bron: Malmberg)



#### Webopgave 140 - Warmtestraling

Alle voorwerpen in je omgeving stralen - net als een ster - energie uit.

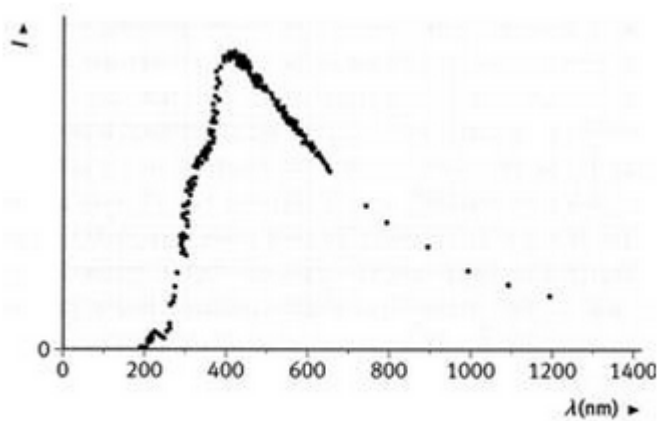
1. Waarom kun je deze voorwerpen dan in het donker niet zien?
2. Bereken de golflengte van de piek in het stralingsspectrum van deze voorwerpen. In welk gebied van het elektromagnetisch spectrum ligt deze straling?



#### Webopgave 141 - Oppervlaktetemperatuur van een ster

De onderstaande figuur geeft het stralingsspectrum weer van een ster.

Bepaal met de grafiek de oppervlaktetemperatuur.



Figuur - Het stralingsspectrum van een ster (bron: Malmberg)



#### Webopgave 142 - Zwakke en heldere sterren

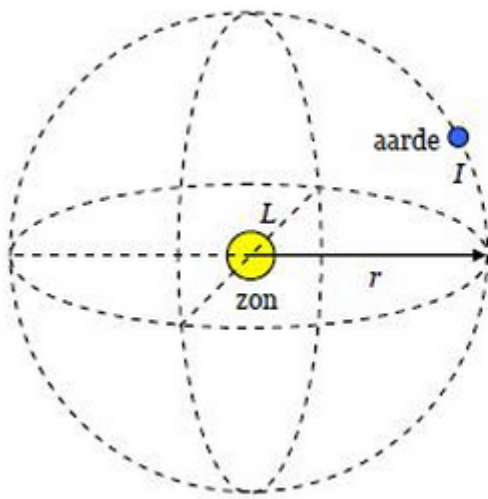
Een ster met een grote lichtsterkte kan voor ons op aarde zwakker zijn dan een ster met een kleine lichtsterkte. Verklaar dit.



#### Webopgave 143 - Lichtsterkte van de zon

De stralingsintensiteit  $I$  van de zon hier op aarde is  $1,40 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$ . We noemen dit de zonneconstante. Met dit gegeven is de lichtsterkte of het stralingsvermogen van de zon te berekenen. Het door de zon uitgezonden stralingsvermogen  $L_{\text{zon}}$  verspreidt zich in alle richtingen over een boloppervlak in de ruimte (figuur). Ter plaatse van de aarde is dat het oppervlak van een bol met een straal  $r$  die gelijk is aan de afstand zon-aarde. En op dat boloppervlak is de stralingsintensiteit  $I$  van de zon bekend: de zonneconstante.

1. Bereken het oppervlak van de bol om de zon waarop de aarde ligt.  
*Aanwijzing: Het oppervlak  $A$  van een bol met straal  $r$  wordt gegeven door  $A = 4 \cdot \pi \cdot r^2$ .*
2. Bereken met dat boloppervlak en de zonneconstante het door de zon uitgestraalde vermogen  $L_{\text{zon}}$ . Controleer je antwoord met Binas.
3. Laat zien dat je de lichtsterkte  $L_{\text{zon}}$  bepaald hebt met de volgende formule:  
$$L_{\text{zon}} = I_{\text{zon}} \cdot 4 \pi r^2$$
  
In deze formule is  $I_{\text{zon}}$  de zonneconstante (de stralingsintensiteit van de zon op aarde) en  $r$  de afstand zon-aarde.



boloppervlak in de ruimte (bron: Malmberg)



#### Webopgave 144 - Lichtsterkte van de ster Sirius

Op aarde is de stralingsintensiteit van de ster Sirius  $1,33 \cdot 10^{-7} \text{ W/m}^2$ . De afstand van de aarde tot Sirius is bekend:  $8,1 \cdot 10^{16} \text{ m}$ .

*Aanwijzing: ga op dezelfde wijze te werk als in webopgave 143.*

1. Bereken de lichtsterkte van de ster Sirius.
2. Hoeveel keer zo groot is de lichtsterkte van de ster Sirius, vergeleken met de lichtsterkte van de zon?

#### 4.3 - Opgaven paragraaf 4.1 b

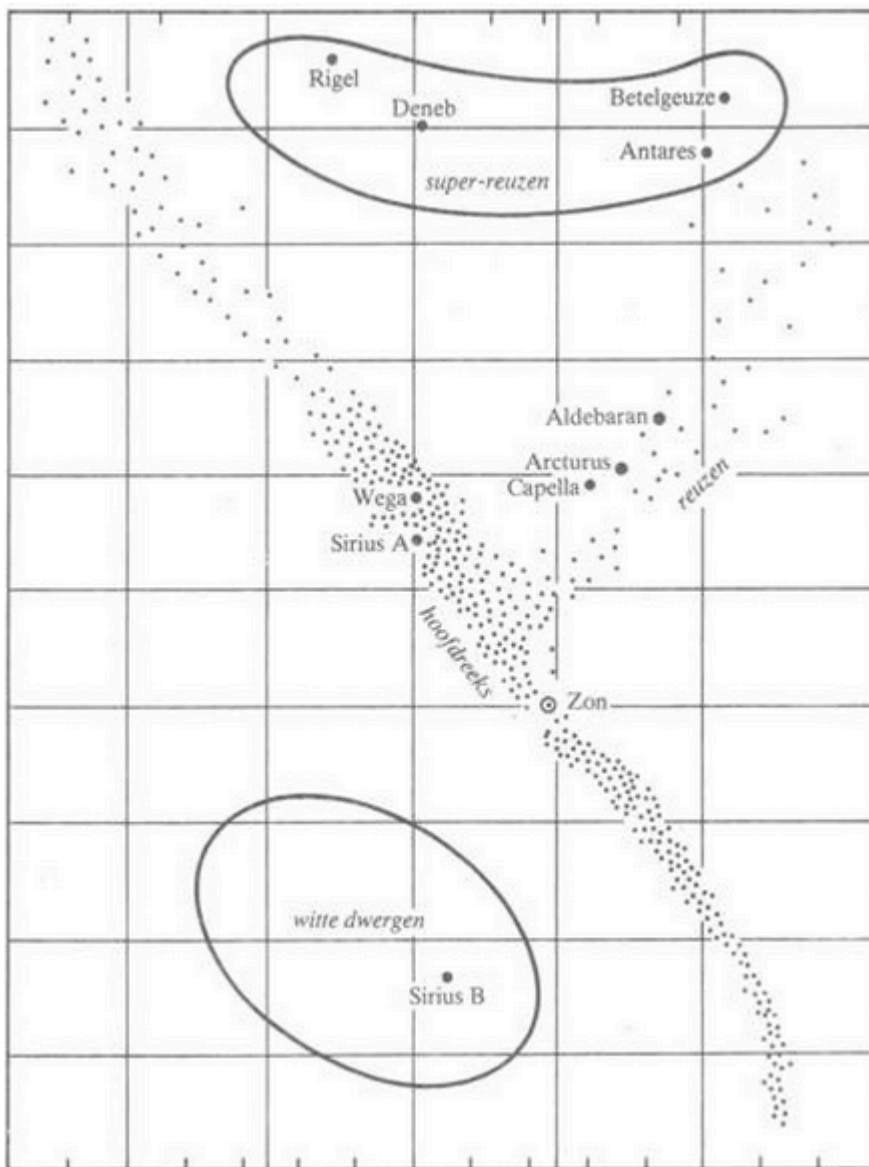


#### Webopgave 145 - Het Hertzsprung-Russel diagram

In het Hertzsprung-Russel diagram hieronder staan de sterren waarvan de lichtsterkte  $L$  en de oppervlaktetemperatuur  $T$  bekend is.

1. Welke gegevens van een ster hebben we nodig om de lichtsterkte van die ster te kunnen bepalen? En hoe bepalen we dan die lichtsterkte?
2. Welke gegevens van een ster hebben we nodig om de oppervlaktetemperatuur van die ster te kunnen bepalen? En hoe bepalen we dan die oppervlaktetemperatuur?





Hertzsprung-Russel diagram (bron: Malmberg)



#### Webopgave 146 - Afstandbepaling met het Hertzsprung-Russel diagram

Met behulp van het Hertzsprung-Russel diagram van de figuur hierboven is de afstand van een ster te bepalen, als die ster te ver weg ligt voor het gebruik van de parallaxmethode.

De aanname hierbij is dat de ster op de zogenaamde hoofdreeks ligt.

Voor deze manier van afstandbepaling moet het stralingsspectrum van de ster worden gemeten.

1. Leg uit waarom dit een redelijke aanname is.
2. De piek van het stralingsspectrum van deze ster ligt bij een golflengte van 290 nm. Bereken de oppervlaktetemperatuur van deze ster.
3. Bepaal met deze oppervlaktetemperatuur en het Hertzsprung-Russel diagram van de figuur hierboven de lichtsterkte van deze ster.  
De stralingsintensiteit van deze ster is op aarde  $1,4 \cdot 10^{-9} \text{ W/m}^2$ .
4. Bereken de afstand van deze ster.

*Aanwijzing: ga op dezelfde wijze te werk als in webopgave 143, maar dan in omgekeerde volgorde: je weet nu de lichtsterkte  $L$  en de stralingsintensiteit  $I$  van de ster, maar niet de*

afstand  $r$ .



### Webopgave 147 - Exoplaneet

Lees eerst het onderstaande deel van een krantenartikel over de speurtocht naar exoplaneten: planeten bij andere sterren dan de zon.

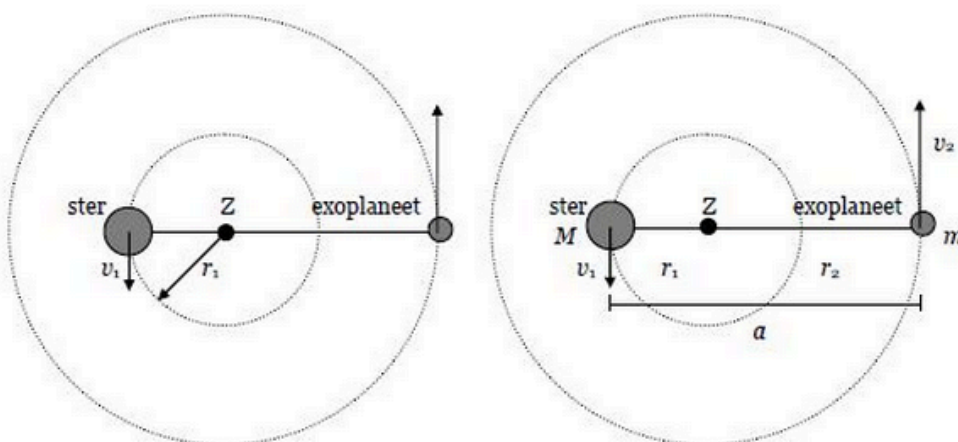
#### Planeet in zicht

*Over het bestaan van planeten bij andere sterren (exoplaneten) wordt al eeuwenlang gespeculeerd. Christiaan Huygens rekende al voor dat je ze met een telescoop nooit kunt zien: een planeet weerkaatst maar een heel klein beetje licht van zijn moederster, en zo'n zwak lichtstipje wordt volledig door de ster overstraald. Toch zijn er sinds 1995 ruim honderd exoplaneten gevonden. Hun bestaan is afgeleid uit kleine, periodieke snelheidsvariëaties van de ster waar ze omheen draaien: de ster schommelt een beetje door de geringe zwaartekracht van de planeet. Op die manier worden vooral zware planeten in kleine omloopbanen gevonden - die veroorzaken de grootste snelheidsvariëaties.*

**Bron: de Volkskrant, 9 augustus 2003.**

In deze opgave ga je na hoe astronomen de massa en de baanstraal van zo'n exoplaneet bepalen. Een voorbeeld van een exoplaneet is die bij de ster HD 209458. Van deze ster is de massa  $M$  bekend:  $M = 2,1 \cdot 10^{30}$  kg.

Uit het spectrum van deze ster blijkt, dat deze afwisselend naar ons toe en van ons af beweegt. Die beweging wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van een exoplaneet. Planeten draaien namelijk niet in (ruwweg) een cirkelbaan rond een ster, maar zowel de planeet als de ster draaien beide in een cirkelbaan rond hun gemeenschappelijk zwaartepunt  $Z$ . Dat is in bovenaanzicht - en nogal overdreven - weergegeven in de onderstaande figuur. Als we aannemen dat de aarde zich in hetzelfde vlak bevindt als het baanvlak van de exoplaneet, zal de ster zich regelmatig in zijn baan rond het punt  $Z$  naar de aarde toe en van de aarde af bewegen.

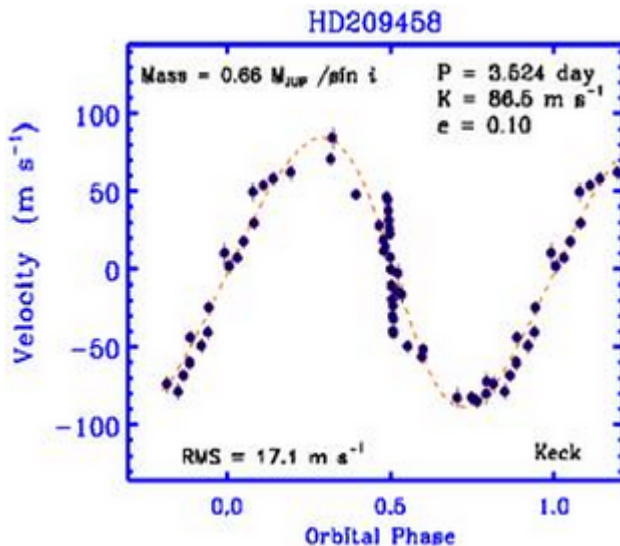


Figuur **Links** - De ster HD 209458 en zijn exoplaneet draaien in cirkelbanen rond hun gemeenschappelijke zwaartepunt  $Z$ .

Figuur **Rechts** - De ster HD 209458 en zijn exoplaneet draaien in cirkelbanen met stralen  $r_1$  en  $r_2$  rond hun gemeenschappelijk zwaartepunt  $Z$ . De afstand  $a$  tussen ster en exoplaneet is de som van de twee baanstralen. (bron: Malmberg)

Uit het spectrum van de ster is met de theorie van het dopplereffect de snelheid van de ster te berekenen. Het resultaat staat in de onderstaande figuur.





De snelheid  $v$  van de ster HD 209458 ten opzichte van de aarde in de loop van de tijd  $t$ . (bron: Malmberg)

1. Bepaal uit het diagram de baansnelheid  $v_1$  en de omlooptijd  $T$  van de ster.
2. Bereken met behulp van de baansnelheid  $v_1$  en de omlooptijd  $T$  de straal  $r_1$  van de cirkelbaan van de ster rond het gemeenschappelijk zwaartepunt Z.  
 Met behulp van de bekende gegevens van de ster zijn nu de massa  $m$  en de baanstraal  $r_2$  van de exoplaneet te bepalen. In figuur 95 zijn nogmaals de banen van de ster en de exoplaneet weergegeven. Beide massa's beschrijven in dezelfde omlooptijd  $T$  cirkelbanen rond hun gemeenschappelijke zwaartepunt Z. De relatie tussen de onderlinge afstand  $a$  en de omlooptijd  $T$  van de planeet rond de ster wordt gegeven door de derde wet van Kepler:

$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{G \cdot M}{4 \cdot \pi^2}$$

3. Aanwijzing: De massa  $M$  van de ster is bekend: zie het begin van deze opgave.

Voor de massa's van de ster en de exoplaneet geldt de volgende formule:

4. Bereken met de derde wet van Kepler de onderlinge afstand  $a$  tussen de ster en de exoplaneet.

Bereken nu met  $a$  en  $r_1$  de baanstraal  $r_2$  van de exoplaneet.

$$\frac{M}{m} = \frac{r_2}{r_1}$$

5. Bereken met deze formule de massa  $m$  van de exoplaneet.

6. Vergelijk de baanstraal van de exoplaneet met die van de aarde: staat de exoplaneet dichterbij zijn ster dan de aarde bij de zon?

7. Vergelijk de massa van de exoplaneet met die van de aarde: hoeveel keer groter is de massa van de exoplaneet? Op welke planeet uit ons zonnestelsel lijkt de exoplaneet waarschijnlijk het meest?



**Extra:** exoplaneet ontdekt door Leidse studenten.

Leidse sterrenkundigen laten voor het eerst zien dat een planeet rondom een andere ster dan de zon net zulke schijngestalten vertoont als onze maan. De exoplaneet, CoRoT-1b, staat op zo'n 1600 lichtjaar afstand in het sterrenbeeld Eenhoorn, en is ontdekt door de Frans/Europese CoRoT-satelliet. De resultaten van de Leidse onderzoekers worden aanstaande donderdag gepubliceerd in het tijdschrift Nature.

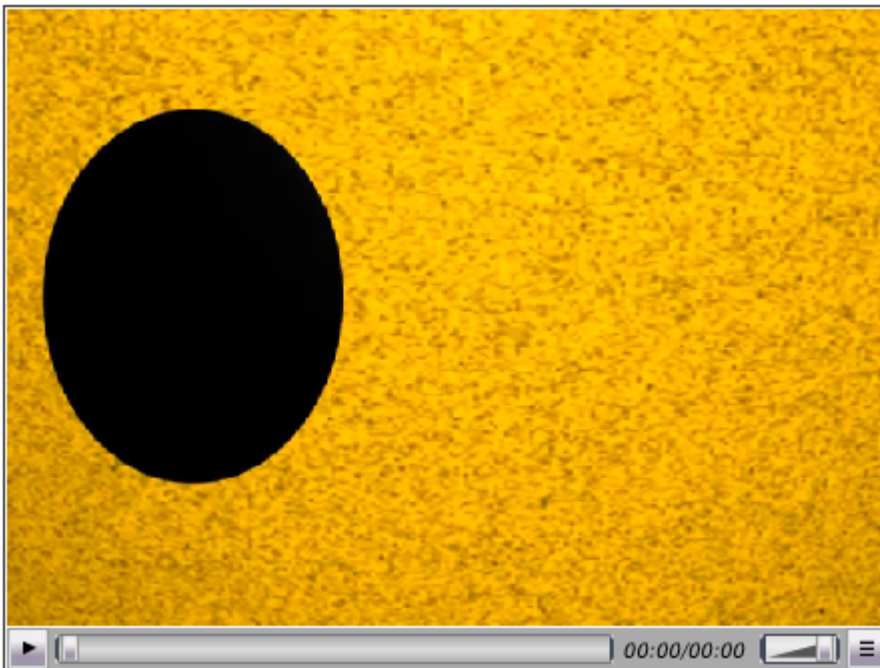
Uit de waarnemingen van CoRoT maken de astronomen op dat de nachtzijde van de planeet compleet donker is, terwijl de dagzijde sterk wordt verwarmd door de ster, tot waarschijnlijk zo'n 2000 graden celsius.

"De afstand van CoRoT-1b tot de ster is dan ook minder dan 3 procent van de afstand aarde-zon", zegt Ignas Snellen, die het onderzoek heeft geleid. Gedurende de 36 uur dat de planeet om de ster draait, zien de astronomen afwisselend de lichte dagzijde en de donkere nachtzijde van de planeet. Omdat de ster zo'n 10.000 keer helderder is dan de planeet, zien ze het systeem bij elkaar steeds éénhonderdste van een procent lichter en donkerder worden. "Een ongelooflijk precieze meting, waarvoor het team rondom de CoRoT-satelliet alle credit moet krijgen", aldus Snellen.

Het gemeten effect lijkt erg op de schijngestalten bij hemellichamen in ons eigen zonnestelsel, zoals bij onze maan, waarbij de zon steeds van een andere kant op de maan schijnt terwijl deze om de aarde draait. Al gaat het hierbij wel om gereflecteerd zonlicht, terwijl het bij CoRoT-1b waarschijnlijk om warmtestraling gaat. Een interessant detail is dat 2009 door de Verenigde Naties is uitgeroepen tot Internationaal Jaar van de Sterrenkunde. Dit jaar wordt herdacht dat 400 jaar geleden, in 1609, Galileo Galilei voor het eerst met een (in Nederland uitgevonden) telescoop de sterrenhemel bestudeerde. Een van de eerste waarnemingen van de Italiaanse astronoom waren de schijngestalten van Venus, waarmee hij de ware aard van ons zonnestelsel blootlegde. Precies 400 jaar later is nu voor het eerst hetzelfde effect waargenomen voor een hemellichaam buiten ons zonnestelsel.



Bekijk het filmpje.





[Klik hier voor film.](#)



#### **Webopgave 148 - Opdracht:**

Het waarnemen van schijngestalten bij een hemellichaam is dus opnieuw wereldnieuws en leidt tot nieuwe ontdekkingen.

1. Waarom waren de schijngestalten die Galilei waarnam bij Venus ook alweer zo belangrijk?
2. Probeer uit te zoeken op internet welke technieken de leidse astronomen gebruiken om de schijngestalten waar te nemen.

#### **4.3 - Opgaven paragraaf 4.2**



#### **Webopgave 149 - Oerknal**

In de onderstaande figuur staat een schematische weergave van de oerknaltheorie.

1. Wat houdt de oerknaltheorie in?
2. Maak een tijdlijn van de geschiedenis van het heelal vanaf de oerknal tot nu. Geef op die tijdlijn de volgende gebeurtenissen aan: de vorming van protonen en neutronen, de vorming van atomen, de vorming van sterren en sterrenstelsels en de eerste supernova-explosies.

Hint: website [met een animatie van de big bang](#)



#### **Webopgave 150 - Vluchtende sterrenstelsels**

In 1912 onderzoekt C. Slipher het spectrum van een groot aantal sterrenstelsels. Uit zo'n spectrum is met behulp van de theorie van het dopplereffect de snelheid van een sterrenstelsel te bepalen. Uit Slipher's metingen blijkt dat alle sterrenstelsels zich van ons Melkwegstelsel verwijderen.

En dat de grootste snelheden optreden bij zeer lichtzwakke sterrenstelsels.

a. Op welk (kwalitatief) verband tussen de vluchtsnelheid en de afstand van de onderzochte sterrenstelsels wijst dit?

In 1936 gebruikt Edwin Hubble de door hem gemeten afstand van een aantal sterrenstelsels om de relatie tussen vluchtsnelheid en afstand in een formule vast te leggen. Zijn metingen staan in de onderstaande tabel.

b. Zet in een diagram de vluchtsnelheid (verticaal) uit tegen de afstand (horizontaal) voor minstens vijf sterrenstelsels uit de tabel.

Het verband tussen vluchtsnelheid en afstand blijkt recht evenredig te zijn, en kan dus worden uitgedrukt in de volgende formule:  $v = H \cdot d$

In deze formule is  $v$  de vluchtsnelheid (in m/s) van een sterrenstelsel en  $d$  de afstand (in m) tot ons Melkwegstelsel. De evenredigheidsconstante  $H$  noemen we de constante van Hubble.

c. Bepaal uit het getekende diagram de waarde van de Hubble-constante.

d. De huidige waarde van de Hubble-constante  $H$  is  $2,31 \cdot 10^{-18} \text{ s}^{-1}$ . Verklaar het verschil met de waarde waarop Hubble zelf uitkwam (vraag c).

Sterrenstelsel	Snelheid ( $10^3 \text{ km/s}$ )	Afstand ( $10^8 \text{ ly}$ )
Virgo	1,2	0,07
Coma	6,7	0,41
U Ma I	15,0	0,92
Leo	19,5	1,20
Cr B	21,5	1,32
Gem	23,4	1,44
Boo I	39,3	2,42
U Ma II	40,0	2,46
Hydra	60,9	3,75

Tabel - Vluchtsnelheid en afstand van een aantal sterrenstelsels volgens Hubble in 1936.



#### Webopgave 151 - Bewegend sterrenstelsel

Een sterrenstelsel beweegt met de helft van de lichtsnelheid van ons af.  
Hoe ver weg staat dit sterrenstelsel?



#### Webopgave 152 - Ouderdom van het heelal

De schatting van de ouderdom van het heelal berust op de veronderstelling dat de vluchtsnelheid van een sterrenstelsel steeds constant is geweest.

1. Een sterrenstelsel bevindt zich op een afstand van  $2,0 \cdot 10^{25} \text{ m}$  van het Melkwegstelsel. Bereken de vluchtsnelheid van dit sterrenstelsel met de formule van Hubble.
2. Bereken de tijd, die dit sterrenstelsel nodig heeft gehad om deze afstand met constante snelheid af te leggen.
3. Hoe groot is dan naar schatting de ouderdom (in jaren) van het heelal?
4. Laat met een berekening of een redenering zien dat de ouderdom van het heelal gelijk is aan het omgekeerde van de Hubble-constante.



#### Webopgave 153 - Achtergrondstraling

De kosmische achtergrondstraling is te vergelijken met die van een stralend object met een temperatuur van 2,73 K.

1. Bij welke golflengte ligt de piek in het spectrum van de kosmische achtergrondstraling?
2. In welk gebied van het elektromagnetisch spectrum ligt deze piek?

### Groepsopdrachten



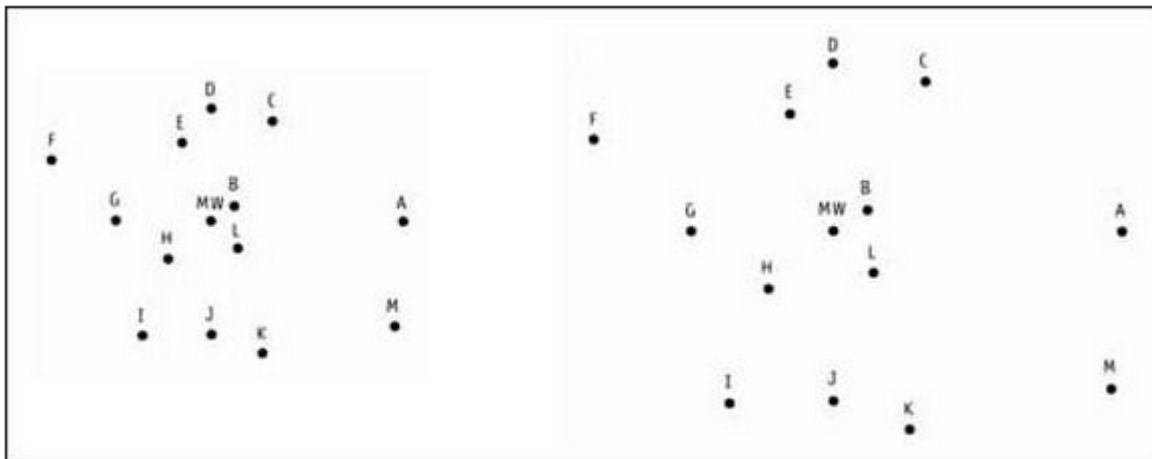
### Webopgave 154 - Sterrenstelsels in soorten

Een sterrenstelsel kan de vorm hebben van een spiraal, zoals het Melkwegstelsel en het Andromedastelsel. Deze soort sterrenstelsels noemen we spiraalstelsels. Maar er zijn ook sterrenstelsels met andere vormen. Ga naar de website van [Astronomical Picture of the Day](https://www.astronomicalpictureoftheday.com/). Zoek minstens drie sterrenstelsels met duidelijk van elkaar verschillende vormen en beschrijf elk van die vormen.



### Webopgave 155 - Een uitdijend heelal

Op de twee kaarten van de onderstaande figuur zie je het Melkwegstelsel (MW) en enkele relatief dichtbij gelegen sterrenstelsels. Links is de huidige situatie getekend, rechts de situatie over 6 miljard jaar.



Sterrenstelsels in de buurt van ons Melkwegstelsel (MW). (bron: Malmberg)

Welke twee gegevens over de sterrenstelsels zijn gebruikt om de twee kaarten te maken?

Maak een kopie van de rechterkaart op een vel doorzichtig plastic (bijvoorbeeld een transparant voor de overheadprojector). Bestand om het plaatje om uit te printen.



[om te printen](#)

Leg de kopie over de linkerkaart en laat het Melkwegstelsel op beide kaarten samenvallen. Beschrijf hoe vanuit het Melkwegstelsel gezien het heelal uitdijt.

Kies een willekeurig ander sterrenstelsel en laat dat sterrenstelsel op de twee kaarten samenvallen. Beschrijf hoe vanuit dit sterrenstelsel gezien het heelal uitdijt.

Kun je nu ook zeggen in welk punt de Big Bang is begonnen? Leg uit waarom wel of niet.

# 5 Cirkelbanen

## 5.1 Van cirkelbanen naar Kepler

Eerder hebben we gezien dat de Maan om de Aarde draait en dat de Aarde om de zon draait. In dit gedeelte gaan we kijken naar de banen die planeten afleggen.

Daarvoor gebruiken we de wis- en natuurkunde voor cirkelvormige banen en voor ellipsen. Als je deze leerstof begrijpt kun je straks gaan meten en rekenen aan de banen van sterren rond ons vermoedelijke zwarte gat SgrA\*.

Een voorwerp dat je horizontaal weggooit beschrijft een kromme (parabool-) baan. De snelheid verandert voortdurend van grootte en richting, omdat de zwaarte- of gravitatiekracht op het voorwerp werkt. De snelheid neemt toe omdat de val ook in de richting van de zwaartekracht gaat: het voorwerp valt ook naar beneden. (Beneden moet je trouwens lezen als: in de richting van het middelpunt van de aarde want voor onze tegenvoeters in Australië is die richting dan natuurlijk "omhoog".)

Deze beschrijving klopt alleen maar als je niet te hard gooit, en je aanneemt dat het aardoppervlak horizontaal is. Newton liet al zien dat als de beginsnelheid van de worp maar groot genoeg is, je het voorwerp in een cirkelbaan om de aarde kunt brengen, het aardoppervlak buigt dan voortdurend onder het voorwerp weg. De snelheid van je voorwerp verandert dan alleen nog maar van richting en niet meer van grootte. Dat komt omdat de gravitatiekracht bij een cirkelbaan altijd loodrecht staat op de snelheid, en die kracht kan dus geen arbeid verrichten. De bewegingsenergie van je voorwerp blijft dus constant, en daarmee natuurlijk ook de snelheid.

### Opdracht 12

In de volgende simulatie kun je zien hoe een en ander in zijn werk gaat: sleep de snelheid naar de juiste waarde voor een cirkelbeweging rond de aarde. Die waarde kun je vinden door gewoon uitproberen, maar je kunt hem ook berekenen met de formules voor een cirkelbeweging. De stipjes geven informatie over de grootte van de snelheid want ze worden met een vast tijdsinterval  $\Delta t$  getekend.

Zoals je wel kunt nagaan is de animatie zelf niet op schaal gemaakt: de straal van de aarde is  $6,4 \cdot 10^3$  km, dus de berg zou in deze tekening wel erg hoog zijn!



<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/b3c95f7fac4ffa7cedfd509f05c39414.swf>

Maak deze opdracht in je schrift.

- Welke snelheid geeft een goede cirkelbaan?
- Welke kracht zorgt ervoor dat de snelheid van je voorwerp steeds van richting verandert?
- Wat gebeurt er als je de snelheid iets groter maakt?

### Meerkeuzevraag

Waarom verandert de grootte van de snelheid van een voorwerp in een baan rond de aarde niet, er werkt immers wel een kracht op?

- ☐ De werkende kracht is te klein op deze afstand van de aarde.
  - ☐ De werkende kracht heeft niet de goede richting.
- 

Om de juiste snelheid te geven kun je hier ook een eenvoudige berekening toepassen. Voor elke cirkelbeweging heb je een kracht nodig die de snelheid van richting verandert: de middelpuntzoekende kracht  $F_{mpz}$ .

**Let op:** dit is zelf geen échte kracht, hij wordt altijd geleverd door een van de bestaande krachten zoals de gravitatiekracht, de wrijvingskracht, een spankracht...

In dit voorbeeld wordt de  $F_{mpz}$  geleverd door de gravitatiekracht  $F_g$ .

In formulevorm:

$$F_{mpz} = F_g$$

$$m \cdot v^2 / r = G \cdot m_A \cdot m / r^2$$

Waarin  $m$  de massa van je voorwerp,  $m_A$  de massa van de aarde,  $r$  de afstand van je voorwerp tot het midden van de aarde,  $G$  de gravitatieconstante en  $v$  de snelheid.

Na omschrijven vind je:

$$v = \sqrt{(G \cdot m_A / r)}$$



**Wat denk je?**

Klopt de waarde die jij gevonden had in de simulatie met deze analytische oplossing?

Plaats hier je muis

## 5.2 Opdrachten cirkelbanen

### Opdracht 13

Maak onderstaande opdrachten in je schrift.

Vier rijstkorrels liggen op een schaal in een magnetron. De schaal draait rond en doet er 18 seconden over om één keer rond te draaien. Eén rijstkorrel ligt precies in het midden. De andere drie liggen op 2,7 cm, 4,9 cm en 7,5 cm afstand van het middelpunt van de schaal.

a. Bereken bij iedere straal van de cirkelbaan ( $r$ ) de snelheid waarmee de rijstkorrel beweegt ( $v$ ). Vul de volgende tabel in:



$r \text{ (cm)}$	$v \text{ (cm/s)}$
2,7	
4,9	
7,5	

b. Teken een  $(v,r)$ -diagram ( $v$  op de y-as en  $r$  op de x-as) van de beweging.

Je hebt nu laten zien dat voor deze rijstkorrels geldt dat  $v$  recht evenredig is met  $r$ :  $v \sim r$ .

c. Probeer nu aan te tonen dat in deze situatie altijd  $v \sim r$  geldt. Gebruik in je bewijs de formule voor de cirkelomtrek en de letter voor de omlooptijd  $T$ .

In werkelijkheid zijn de meeste planetenbanen geen cirkels maar ellipsen. Daarom laten we je nu eerst wat opgaven over deze wiskundige figuren maken. Wat een ellips precies is lees je in 'De wetten van Kepler' op de volgende bladzijde.

# 6. De wetten van Kepler

## 6.1 De wetten van Kepler



*Johannes Kepler*

Johannes Kepler was een Duitse astronoom, astroloog, wis- en natuurkundige, die vooral bekend werd door zijn studie van de hemelmechanica en met name de berekening van de planeetbewegingen. In dit hoofdstuk wordt daar dieper op in gegaan.

In de 17e eeuw ontdekte Johannes Kepler dat de banen van de planeten niet precies cirkels zijn, maar ellipsen. Met behulp van de aantekeningen van Tycho Brahe zette hij de Zon en de banen van de verschillende planeten op papier. Dat hij dit met hoge precisie heeft gedaan blijkt wel uit het feit dat zijn model gedurende de daarop volgende vier eeuwen niet gewijzigd is. Keplers wetten blijken zeer algemeen te gelden. Je kunt ze toepassen op alle relatief lichte objecten die om relatief zware objecten heen draaien. Wij passen de wetten van Kepler toe op de beweging die ster S2 om radiobron SgrA\* maakt.

We noemen nu alvast de drie wetten die Kepler heeft gevonden, maar we bekijken ze later één voor één.

**De eerste wet:** Planeten bewegen in elliptische banen rond de Zon. De Zon staat hierbij in een brandpunt van de ellips.

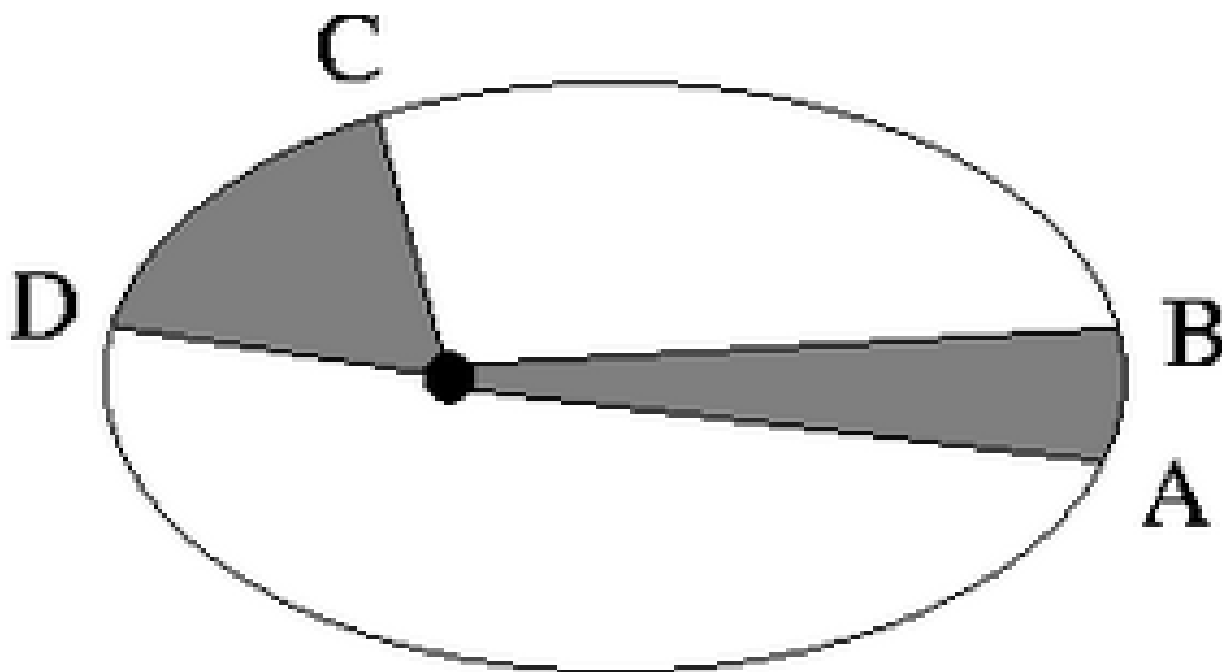
**De tweede wet:** De voerstraal van de Zon naar de planeet (een denkbeeldige lijn tussen het middelpunt van de Zon en het middelpunt van een planeet) beschrijft in gelijke tijden Dt gelijke oppervlakten DA:

$$DA/Dt = \text{constant}$$

waarin:

- DA = de door de voerstraal beschreven oppervlakte in vierkante meters (m<sup>2</sup>)
- Dt = de tijd in seconden (s)

Deze oppervlakten worden ook wel perken genoemd. Daarom wordt de tweede wet van Kepler ook wel de perkenwet genoemd.



*De perkenwet: Als een planeet in dezelfde tijd van A naar B als van C naar D gaat, zijn de gearceerde oppervlakten even groot*

**De derde wet:** De derde machten van de halve lange assen  $a$  van de planeetbanen verhouden zich als de kwadraten van hun omlooptijden  $T$  in jaren. Later werd aangetoond dat de omlooptijd  $T$  berekend kan worden door:

$$T^2 = (4\pi^2 / G(M+m)) \cdot a^3$$

waarin:

- $T$  = de omlooptijd in s

- $G$  = de gravitatieconstante in  $\text{N m}^2 \text{kg}^{-2}$
- $M$  = de massa van de Zon in  $\text{kg}$
- $m$  = de massa van de planeet in  $\text{kg}$
- $a$  = de halve lange as in  $\text{m}$

Maak nu eerst de opdrachten over ellipsen op de volgende pagina.

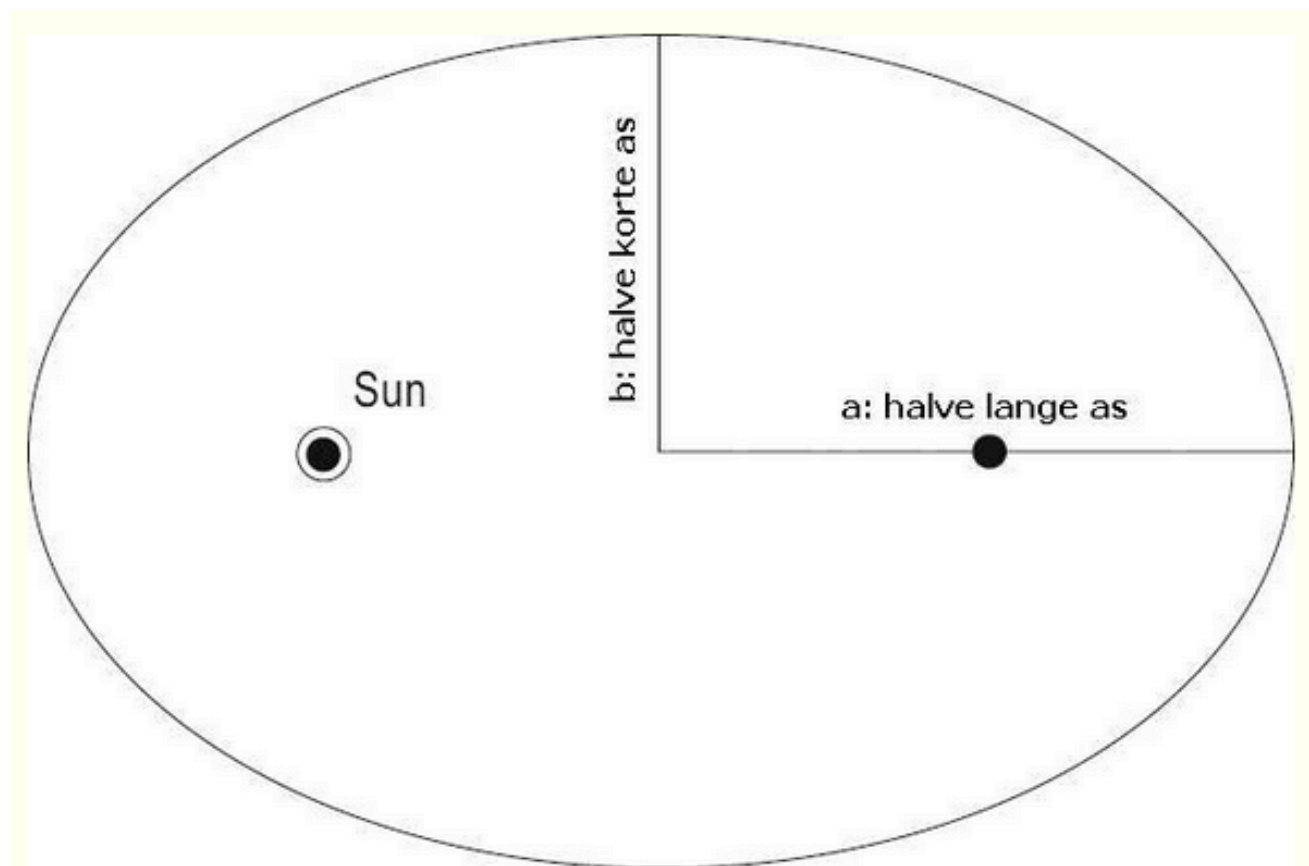
## 6.2 Opdrachten ellipsen

Om je te laten wennen aan de berekeningen die straks nodig zijn voor de bewegingen in ons melkwegstelsel laten we je nu eerst een paar opgaven maken over ellipsen.

### Opdracht 14

Maak deze opdracht in je schrift.

In deze figuur zie je een ellips, met een aantal onderdelen aangegeven. Een ellips heeft twee brandpunten. (In het geval van het zonnestelsel zitten de planeten in een ellipsbaan rond de zon, met de zon in een van de brandpunten.)

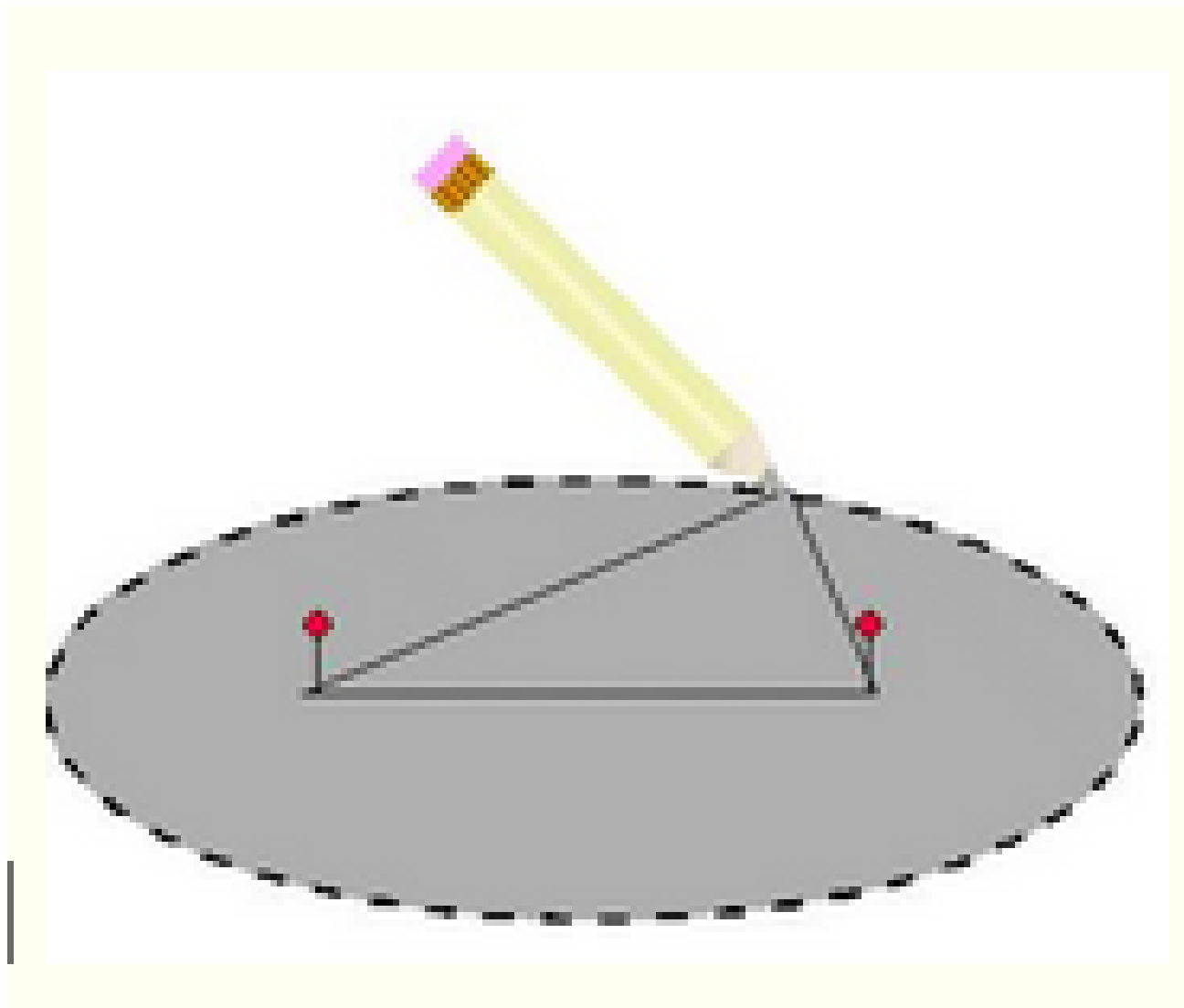


- $a$  = halve lange as
- $b$  = halve korte as
- $c$  = afstand van middelpunt ellips tot brandpunt

Een ellips is de verzameling van alle punten, waarvan de som van de afstanden tot twee punten (de brandpunten) gelijk is. Deze som is gelijk aan de lengte van de lange as ( $= 2a$ ) van de ellips.

Bovendien geldt:  $a^2 = b^2 + c^2$ .

a. Teken op een vel millimeterpapier een assenstelsel waarbij de x-as en de y-as beide van -10 cm tot 10 cm gaan. Prik het vel met punaises op een stuk zachtboard. Prik twee punaises vast in de punten (-8, 0) en (8, 0). De twee punaises vormen de brandpunten van de ellips.



b. Maak een touwtje met een lengte van iets meer dan 20 cm vast aan de beide punaises: knoop de ene kant van het touwtje aan de eerste punaise en de andere kant van het touwtje aan de tweede punaise. Zorg ervoor dat tussen beide punaises het touw precies 20 cm lang is. Trek met het potlood het touw strak en teken een ellips door rond te gaan met het potlood.

c. Bepaal  $a$ ,  $b$  en  $c$  van de door jou getekende ellips.

d. Laat met behulp van de  $a$  die je net hebt bepaald, zien dat de lengte van het touw gelijk is aan  $2a$  (de lengte van de lange as van de ellips).

e. Bewijs algemeen dat geldt: touwlengte =  $2a$ .

f. Laat met behulp van de  $a$ ,  $b$  en  $c$  die je net hebt bepaald, zien dat:  $a^2 = b^2 + c^2$ .

g. Bewijs dat voor een ellips geldt:  $a^2 = b^2 + c^2$ .

### Opdracht 15

Maak deze opdrachten in je schrift.

### Bloemperk

Je wilt in de tuin een ellipsvormig bloemperk maken, met een lange as van 6,5 meter lang. De korte as moet 3,5 meter lang zijn. Je zet de ellips uit met een touw en twee paaltjes die je in de grond slaat.

- Hoe lang moet het touw zijn?
- Bereken hoe ver de beide paaltjes uit elkaar moeten staan.

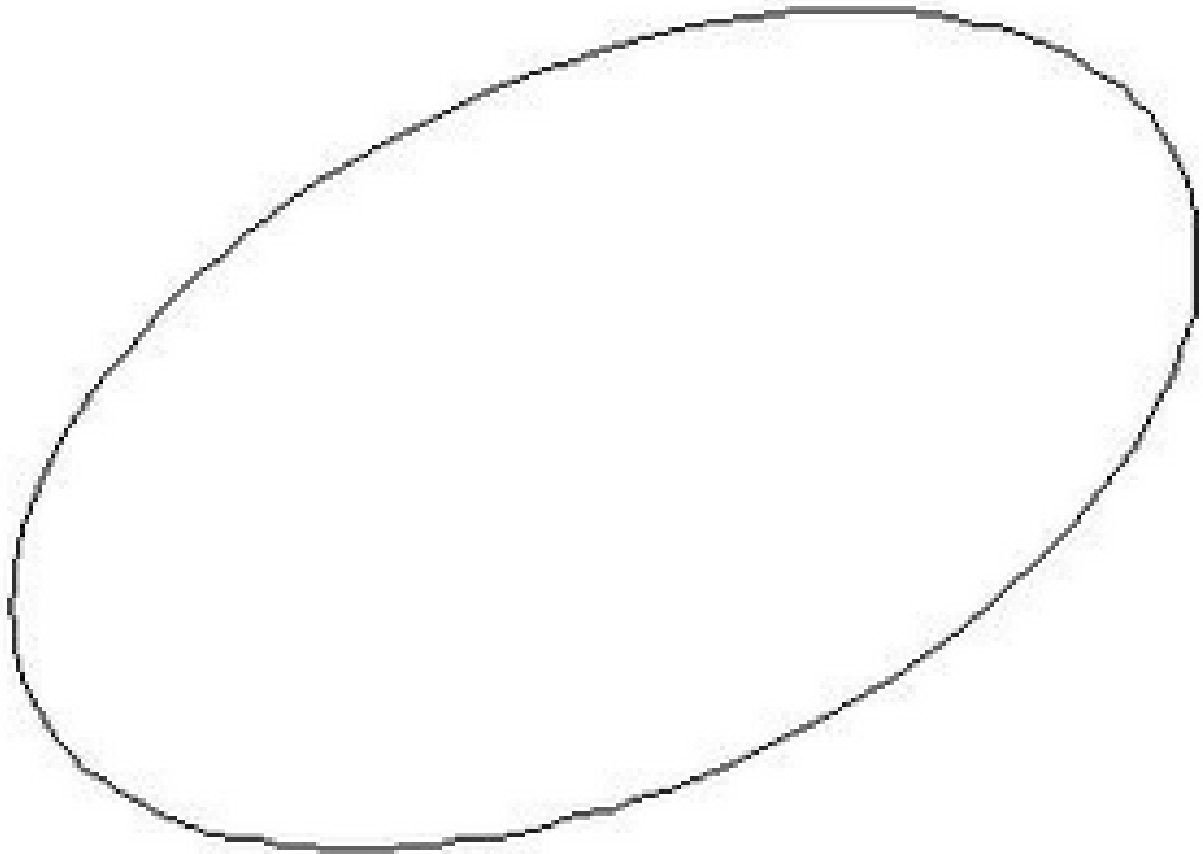
### **Ellips met twee boompjes**

Twee boompjes staan 15 meter uit elkaar. Je maakt een stuk touw zo aan beide boompjes vast dat zich tussen de boompjes 20 meter touw bevindt. Daarmee construeer je een ellips. Bereken de lengte van de korte as van de ellips.

### **Ellips 1**

Hieronder zie je een tekening van een ellips. De tekening is op ware grootte.

- Bepaal  $a$  en  $b$  van deze ellips (in centimeters).
- Bepaal  $c$  van deze ellips.
- Teken de beide brandpunten op de goede plaats in de ellips. Laat zien hoe je dat doet.



### **Ellips 2**

Voor de bovenste helft van een ellips geldt de formule:

$$y = b \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}}$$

en voor de onderste helft:

$$y = -b \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}}$$

- Laat zien dat de functie voor de bovenste helft klopt.
- Teken de ellips met  $a = 10$  en  $b = 6$ .
- Teken de beide brandpunten in de ellips.
- Plot de ellips op je grafische rekenmachine. Zorg ervoor dat de schaalverdelingen langs de x-as en de y-as even groot zijn. Laat zien hoe je dit hebt gedaan.

## 6.3 De eerste wet van Kepler

De eerste wet van Kepler zegt dat alle planeten zich rond de zon bewegen in elliptische banen, waarbij de zon zich in één van de brandpunten van de ellips bevindt. Uit de eigenschappen van een ellips volgt dat de som van de afstanden van de planeet naar beide brandpunten overal op de ellips gelijk is.

Ellipsen zijn belangrijke meetkundige vormen in de astronomie. Niet alleen de banen van planeten rond een ster beschrijven ellipsen, ook de baan die een ster volgt rond een superzwaar zwart gat is een ellips. In dat geval staat dus het zwarte gat in een brandpunt van de ellips. We hebben gezien dat de lijn met lengte  $a$  de halve lange as wordt genoemd. De lijn met lengte  $b$  wordt de halve korte as genoemd. Een ellips met midden  $(0,0)$  wordt beschreven door de volgende relatie:



$$\left(\frac{x}{a}\right)^2 + \left(\frac{y}{b}\right)^2 = 1$$

waarin:

- x = de positie op de x-as
- y = de positie op de y-as
- a = de lengte van de halve lange as
- b = de lengte van de halve korte as

**Waar / niet waar-vraag**

Een ellips lijkt enigszins op een cirkel. Het is mogelijk de vergelijking van de ellips te veranderen zodat hij een cirkel beschrijft.

☐

waar

☐

niet waar

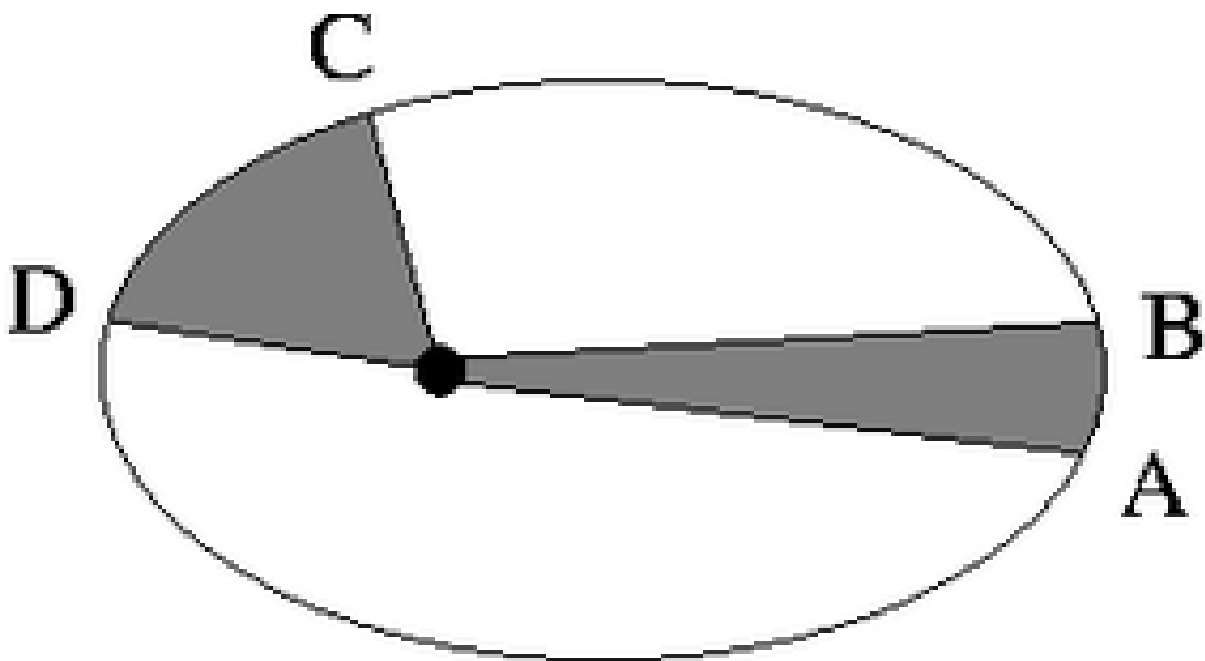
---

## 6.4 De tweede wet van Kepler

De tweede wet van Kepler, ook wel de Perkenwet, houdt in dat de voerstraal van de Zon naar de planeet in gelijke tijden (dt) gelijke oppervlakten (dA) beschrijft. De voerstraal is een denkbeeldige lijn tussen het middelpunt van de (relatief zware) Zon en het middelpunt van een (relatief lichte) planeet. In formulevorm kan dat worden weergegeven als:

$$\frac{\Delta A}{\Delta t} = \text{constant}$$

In de figuur hieronder zie je twee even grote perken, die in een gelijke tijd doorlopen zijn. Dit heeft tot gevolg dat de baansnelheid van de planeet zal variëren. Het stuk van C naar D zal namelijk in dezelfde tijd moeten worden afgelegd als het stuk van A naar B: de planeet gaat sneller tussen C en D.



*Keplers perkenwet in beeld*

Kepler leidde zijn wetten af voor de planeten om de Zon. Hierin was de omlooptijd  $T$  van een planeet de tijd om een volledige ellipsbaan om de Zon te beschrijven. Keplers wetten gelden zeer algemeen; óók voor de baan van ster S2 om middelpunt van de Melkweg SgrA\*. Je gaat zo meteen met behulp van de tweede wet van Kepler de omlooptijd van S2 bepalen. In de tijd dat de ster één keer rond het zwarte gat gaat, doorloopt de voerstraal, de lijn tussen het zwarte gat en de ster, de totale oppervlakte van de ellips. De oppervlakte  $A_{\text{ell}}$  van een ellips is:

$$A_{ell} = \pi \cdot a \cdot b$$

waarin:

- $A_{ell}$  = de oppervlakte van de ellips in vierkante meters ( $m^2$ )
- $a$  = de halve lange as in meters (m)
- $b$  = de halve korte as in meters (m)

De tweede wet van Kepler zegt dat de voerstraal tussen het zwarte gat en de ster in gelijke tijdseenheden stukken met een gelijke oppervlakte doorloopt. Uit formule 4 volgt dus:

$$\frac{A_1}{T} = \frac{A_2}{T}$$

waarin  $T$  de omlooptijd voorstelt.

Bijvoorbeeld: na de helft van de omlooptijd ( $Dt=T/2$ ), zal de voerstraal de helft van de oppervlakte van de ellips ( $A_{ell}/2$ ) doorlopen hebben.

Algemeen geldt dus dat de voerstraal in een tijd  $\Delta t$  die de ster erover doet om van positie 1 naar positie 2 te bewegen, een oppervlakte doorloopt van:

$$\Delta A = \frac{\Delta t}{T} \cdot A_{\text{ell}}$$

waarin:

- $\Delta A$  = de door de voerstraal doorlopen oppervlakte in vierkante meters ( $\text{m}^2$ )
- $\Delta t$  = de tijd in seconden (s) tussen de twee gemeten posities
- $T$  = de omlooptijd in seconden (s)
- $A_{\text{ell}}$  = de oppervlakte van de gehele ellips in vierkante meters ( $\text{m}^2$ ).

Om de omlooptijd  $T$  met behulp van deze formule te bepalen, moet je dus eerst  $\Delta A$ ,  $\Delta t$  en  $A_{\text{ell}}$  bepalen.



**Wat denk je?**

Waar moet de snelheid van een planeet 't grootst zijn om aan de perkenwet te voldoen?

**Plaats hier je muis**

## 6.5 De derde wet van Kepler

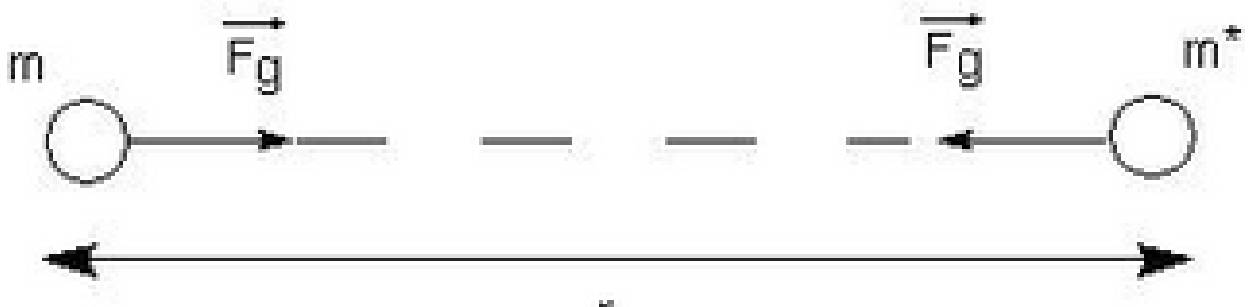
Volgens Kepler verhouden de derde machten van de halve lange assen  $a$  van de planeetbanen zich als de kwadraten van hun omlooptijden  $T$  in seconden. Later werd aangetoond dat de omlooptijd  $T$

berekend kan worden door:

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{G(M + m)} \cdot a^3$$

De omlooptijd  $T$  van een planeet is de tijd die nodig is om een volledige ellipsbaan om de Zon te beschrijven. In Keplers derde wet heb je twee van de volgende drie grootheden (de omlooptijd  $T$ , de halve lange as  $a$  en de totale massa  $M + m$ ) nodig om de ontbrekende grootheid te kunnen berekenen.

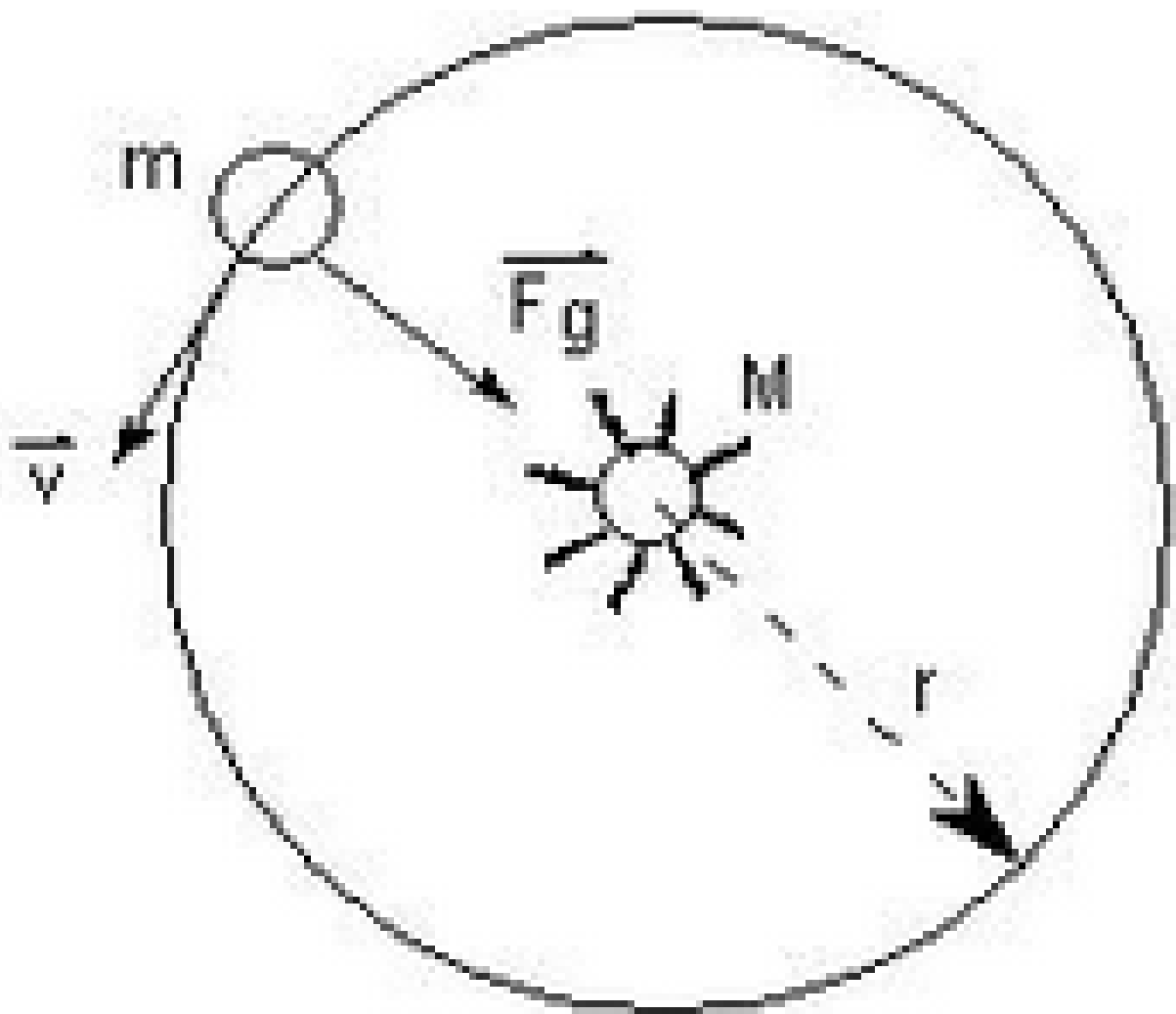
Kepler publiceerde zijn wetten in 1609 en 1619. Een kleine 70 jaar later, in 1687, liet Isaac Newton zien dat je de drie wetten van Kepler kunt afleiden uit de universele gravitatiewet (zie figuur 18). Deze wet beschrijft de aantrekkende gravitatiekracht tussen 2 voorwerpen die allebei een massa hebben.



De gravitatie laat een steen op de Aarde vallen, houdt de Maan in haar baan om de Aarde, houdt de Aarde in haar baan om de Zon en sterren in hun baan om een zwart gat.

In feite is de beweging van de planeten om de Zon onderworpen aan slechts één wet, de gravitatiewet. Hiermee toonde Newton aan dat de 'aardse' wetten van de mechanica ook voor hemellichamen gelden, wat voor zijn tijdgenoten zeer opmerkelijk was.

Het is niet eenvoudig om de wetten van Kepler af te leiden uit de gravitatiewet, maar als je uitgaat van een cirkelvormige baan van een planeet is dit wel mogelijk. Je gaat daarbij uit van een planeet met massa  $m$  die een cirkelvormige baan met straal  $r$  beschrijft om de Zon, die een massa  $M$  heeft (zie ook de figuur hieronder).



*Gravitatiekracht op een planeet*

De middelpuntzoekende kracht die ervoor zorgt dat de planeet in zijn baan blijft, wordt geleverd door de gravitatiekracht, zodat geldt:

$$F_{\text{mpz}} = F_g \quad \text{ofwel:} \quad \frac{m \cdot v^2}{r} = \frac{G \cdot m \cdot M}{r^2}$$

waarin:

- $F_{\text{mpz}}$  = de middelpuntzoekende kracht in Newton (N)
- $F_g$  = de gravitatiekracht in Newton (N)
- $m$  = de massa van het eerste voorwerp (planeet) in kilogrammen (kg)
- $v$  = de baansnelheid van het eerste voorwerp (planeet) in meters per seconde (m/s)
- $r$  = de straal van de baan in meters (m)

- $G$  = de gravitatieconstant in  $\text{N m}^2 \text{ kg}^{-2}$
- $M$  = de massa van het tweede voorwerp (Zon) in kilogrammen (kg).

In het bovenstaande voorbeeld wordt uitgegaan van de Zon en een planeet. De derde wet van Kepler geldt echter ook weer voor de beweging van ster S2 om SgrA\*. Ook nu heb je immers te maken met een relatief grote massa waar een kleinere massa omheen beweegt.

Hoe je de derde wet van Kepler afleidt, lees je hieronder in de extra stof.



**Wat denk je?**

Wat moet je weten om met deze formule de massa van het zwarte gat te berekenen?

**Plaats hier je muis**

### Extra: Afleiding van Keplers derde wet voor cirkelbanen

De middelpuntzoekende kracht die ervoor zorgt dat de planeet in zijn baan blijft, wordt geleverd door de gravitatiekracht, zodat

$$F_{\text{mpz}} = F_g \quad \text{ofwel:} \quad \frac{m \cdot v^2}{r} = \frac{G \cdot m \cdot M}{r^2}$$

waarin:

- $F_{\text{mpz}}$  = de middelpuntzoekende kracht in Newton (N)
- $F_g$  = de gravitatiekracht in Newton (N)
- $m$  = de massa van het eerste voorwerp (planeet) in kilogrammen (kg)
- $v$  = de baansnelheid van het eerste voorwerp (planeet) in meters per seconde (m/s)
- $r$  = de straal van de baan in meters (m)
- $G$  = de gravitatieconstante in  $\text{N m}^2 \text{ kg}^{-2}$
- $M$  = de massa van het tweede voorwerp (Zon) in kilogrammen (kg)

Als de planeet de volledige baan van de cirkel beschreven heeft, dan heeft hij een afstand  $2\pi r$  afgelegd. Dit doet hij in een omlooptijd  $T$ .

Aangezien geldt  $v = s/t$  kun je  $v$  ook schrijven als:  $(2\pi r)/T$

Als je dit invult in formule 10 krijg je:

$$\frac{m \cdot \left( \frac{2\pi r}{T} \right)^2}{r} = \frac{m \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot r^2}{r \cdot T^2} = \frac{G \cdot m \cdot M}{r^2}$$

Kruislings vermenigvuldigen levert:  $m \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot r^2 \cdot r^2 = r \cdot T^2 \cdot G \cdot m \cdot M$

Wegdelen van m en r geeft:  $4 \cdot \pi^2 \cdot r^3 = T^2 \cdot G \cdot M$

Als je  $T^2$  over wilt houden moet je delen door  $G \cdot M$ .

Je krijgt dan:

$$T^2 = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot r^3}{G \cdot M}$$

waarin:

- T = de omlooptijd in seconden (s)
- r = de straal van de baan in meters (m)
- G = de gravitatieconstante in  $\text{N m}^2 \text{kg}^{-2}$
- M = de massa van het tweede voorwerp (Zon) in kilogrammen (kg)

Je ziet dat deze formule vrijwel overeen komt met de derde wet van Kepler. Omdat je hier te maken hebt met een cirkelvormige baan is de halve lange as a gelijk aan de straal r van de cirkel. Het blijkt dus dat de gravitatiewet van Newton universeel bruikbaar is.



## 6.6 Opdrachten wetten van Kepler

### Eenheden in de sterrenkunde

In de sterrenkunde hebben we te maken met zeer grote afstanden. Het is daarom verstandig om voor deze afstanden aparte eenheden af te spreken.

#### **Astronomische Eenheid**

De Astronomische Eenheid (A.E.) is een afstandsmaat die vooral gebruikt wordt om afstanden binnen het zonnestelsel aan te geven. Afgesproken is dat de gemiddelde afstand van de Aarde tot de Zon precies één astronomische eenheid bedraagt. Deze afstand is nauwkeurig bekend en bedraagt 149.597.870,69 km.

#### **Lichtjaar**

Omdat de afstanden van de Aarde tot de sterren vele malen groter zijn dan de afstand van de Aarde tot de Zon is het gebruik van de astronomische eenheid voor deze afstanden niet erg praktisch. Een meer voor de hand liggende eenheid is het lichtjaar. Eén lichtjaar is de afstand die het licht in één jaar aflegt. Eén lichtjaar is  $9,4607 \cdot 10^{12}$  km.

#### **Parsec**

Voor nog grotere afstanden wordt de parsec (afkorting pc) als afstandsmaat gebruikt. Een ster of ander voorwerp staat op een afstand van 1 parsec tot de Zon als de afstand Aarde - Zon (de Astronomische Eenheid (zie hierboven)) vanaf die ster een zichthoek van 1 boogseconde heeft. Eén parsec komt overeen met 3,26 lichtjaar. Voor afstanden tussen sterrenstelsels wordt vaak de megaparsec (1 Mpc =  $10^6$  pc) gebruikt.

#### **Zonsmassa**

Sterren en sterrenstelsels hebben een zo grote massa dat bij gebruik van de S.I.-eenheid kilogram de waarden erg groot zijn. Het is in de astronomie gebruikelijker om de massa van de zon als eenheid te nemen. Eén zonsmassa  $m_{\text{zon}}$  komt overeen met  $1,989 \cdot 10^{30}$  kg.

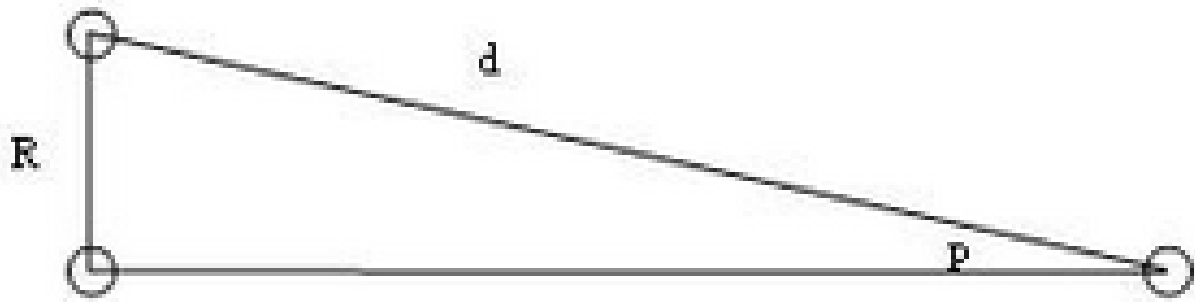
#### **Boogseconde**

Bij waarnemingen wordt vaak de hoek gemeten waarin een ster of ander bewegend voorwerp ten opzichte van de Aarde verschuift.

Deze verschuivingen worden in boogseconden uitgedrukt. Een boogseconde is een zestigste deel van een boogminuut. Een boogminuut is weer een zestigste deel van een graad. Een boogseconde is dus een klein deel van een graad.

Eén boogseconde is  $\frac{1}{3600}$  deel van 1 graad en dus  $\frac{1}{360 \cdot 60 \cdot 60} = \frac{1}{1296000}$  deel van een cirkel.

Als een ster zich aan de hemel beweegt, kun je met behulp van de hoek  $p$  in boogseconden bepalen welke afstand  $R$  de ster heeft afgelegd. Je hebt dan ook de afstand  $d$  van de Aarde tot de ster nodig. Zie de figuur hieronder.



Omdat de hoek erg klein is, zullen de schuine zijde en de aanliggende zijde van hoek  $p$  vrijwel even lang zijn. Met behulp van de volgende formule kun je de waarde van  $R$ , de afstand die de ster heeft afgelegd, uitrekenen als  $p$  en  $d$  bekend zijn.

$$\sin p = \frac{R}{d}$$

- p = de hoek in graden(°)
- R = de afstand die de ster heeft afgelegd in meters (m)
- d = de afstand van de Aarde tot de ster in meters (m).

Maak nu de volgende opdrachten in je schrift.



### Opdracht 16

- Reken na, met behulp van Binas, dat één lichtjaar overeenkomt met  $9,4607 \cdot 10^{12}$  km (Een jaar duurt gemiddeld 365,25 dagen).
- Hoe vaak kun je in één jaar van de Aarde naar de Zon en weer terug vliegen als je raket met de lichtsnelheid zou vliegen?
- Hoe vaak kun je in één jaar om de Aarde vliegen op een hoogte van 250 km boven de evenaar? De snelheid van je raket is gelijk aan de lichtsnelheid.

### Opdracht 17

- Bereken hoeveel lichtjaar er in 1pc zitten. Geef je antwoord in 4 decimalen .
- Voor een ster op een afstand van 8000 pc (dat is 8,0 kpc) komt 2 boogseconden ongeveer overeen met 92 lichtdagen. Reken dat met behulp van bovenstaande informatie uit.
- Reken uit hoeveel radialen 2 boogseconden zijn ( $360^\circ = 2\pi$  radialen).
- Bij zeer kleine hoeken geldt dat de waarde van de sinus gelijk is aan de waarde van de hoek in radialen. Ga dit na voor de hoek van 2 boogseconden.
- Leid met behulp van vraag b en c de volgende formule af (p in boogseconden):

$$p = 206264,8 \cdot \frac{R}{d}$$



### Opdracht 18

### Bepaling van de omlooptijd

In opdracht 14 construeer je een ellips. De nauwkeurigheid van deze methode kun je vergroten door de ellips eerst op een stuk karton te plakken en dan pas uit te knippen. Let er wel op dat je de lijm goed verdeelt. Ook kun je de ellips vooraf vergroten met een kopieerapparaat.

- Knip met behulp van een schaar de ellips van opdracht 14 uit. Weeg de uitgeknipte ellips op een weegschaal met een nauwkeurigheid van tenminste 0,01 g. Hiermee kun je (de massa van)  $A_{\text{ell}}$  bepalen.
- Knip vervolgens de oppervlakte die nog niet gepasseerd was door de voerstraal weg, en weeg het overgebleven papier opnieuw. Op deze manier krijg je (de massa van) DA. Als je echte oppervlaktes wilt bepalen, dan moet je de massa's van het papier omzetten in vierkante boogseconden. Omdat je echter alleen de verhouding tussen DA en  $A_{\text{ell}}$  nodig hebt, is hier nu geen reden voor.
- Bereken T door gebruik te maken van de massa's van de verschillende delen van de ellips. Bepaal de waarde van Dt en vergelijk het verkregen resultaat met dat van je docent.



### Opdracht 19

#### Vraag: de massa van de Zon en de Aarde

Bereken de gezamenlijke massa van de Zon en de Aarde door gebruik te maken van Keplers derde wet. Neem voor de halve lange as van de ellips die de Aarde beschrijft 150 miljoen kilometer en de omlooptijd is 1 jaar.

Middels verschillende opdrachten en animaties over de tweede wet van Kepler en over de derde wet van Kepler ben je meer te weten gekomen over de wetten van Kepler.

De docent is erg benieuwd naar de grafieken die jullie gemaakt hebben en jullie antwoorden op de vragen.

Upload voor de vervaldatum je ingevulde [werkdocument](#).



<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/a/ab7a7828d32fa4d9835ea963fab20a840a8a5305.doc>

## 6.7 Toepassingen

In de volgende oefeningen moet je gebruik maken van de theorie die je zojuist hebt geleerd. De opgaven moet je in een apart werkdocument maken dat je hier kunt vinden: [werkdocument\\_II\\_Kepler](#).



[Werkdocument II Kepler](#)

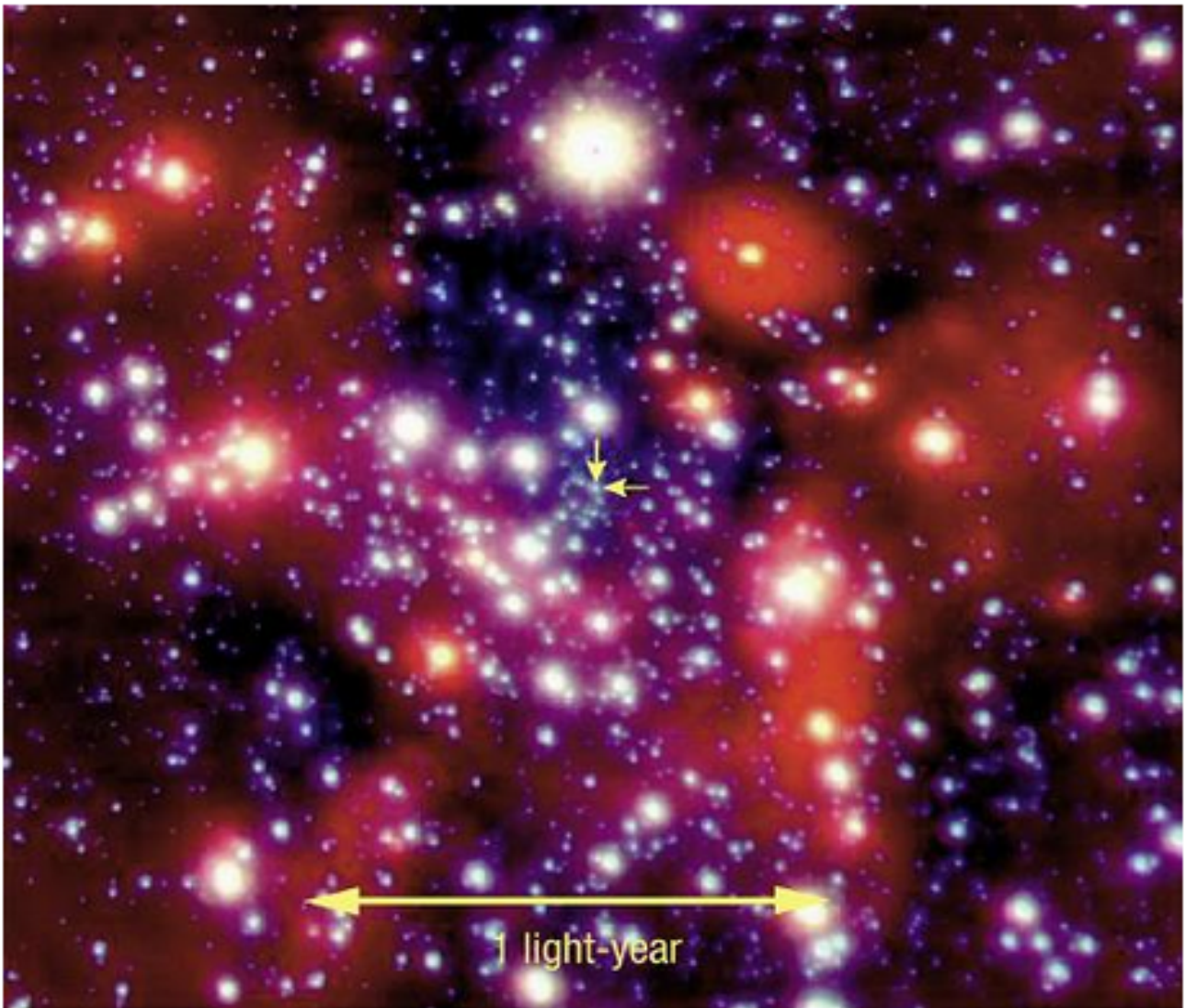
### Opdrachten waarneming S2

#### Opdracht 20: waarneming S2

##### Toepassingen van de eerste wet van Kepler

Om de baan van een ster rond het centrum van de Melkweg te bepalen, moeten er veel problemen opgelost worden. Het is zeer moeilijk om sterren in de buurt van het centrum van de Melkweg waar te nemen doordat er grote hoeveelheden sterren, gaswolken en stof tussen de Aarde en het midden van de Melkweg zitten.

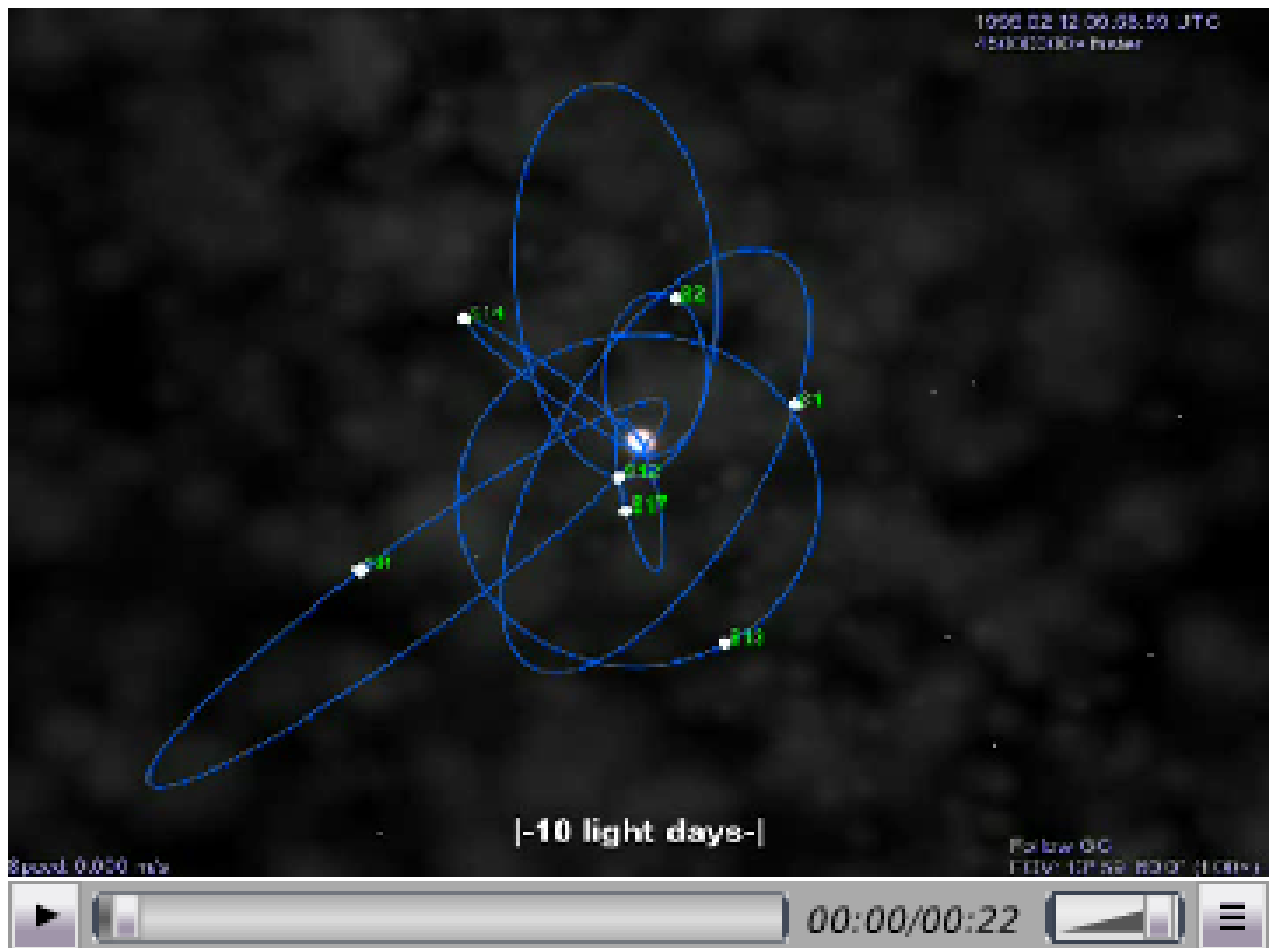
Hierdoor wordt het waargenomen beeld mistig. Je probeert als het ware om 's nachts door een bewolkte lucht naar de sterren te kijken. Met zichtbaar licht is dit niet of nauwelijks mogelijk. Infrarood licht heeft een grotere golflengte dan zichtbaar licht. Hierdoor wordt infrarood licht minder tegengehouden door de (gas)wolken in onze Melkweg. Zo kan het infrarode licht vanuit het centrum van de Melkweg ons gewoon bereiken. Op foto's van het centrum van de Melkweg, genomen op achtereenvolgende tijden, is te zien dat de sterren in de buurt van het centrum zich verplaatsen. Een probleem bij het bepalen van de baan van een ster om het centrum van de Melkweg is de omlooptijd. Zo is de omlooptijd van de Zon om het centrum van de Melkweg ongeveer 230 miljoen jaar. In een mensenleven kun je dus maar een heel klein stukje echt meten.



Een infrarood foto van het centrum van de Melkweg. De twee pijltjes in het midden markeren de positie van zwart gat kandidaat Sagittarius A\* in het centrum van de Melkweg. De onderste gele balk geeft de hoekafstand van 1 lichtjaar (ongeveer 8 boogseconden) aan.

bron: ESO, European Organization for Astronomical Research in the Southern Hemisphere

De rest moet je via berekeningen bepalen. Eén ster in het bijzonder, genaamd S2, heeft een veel kortere omlooptijd om het centrum van de Melkweg. S2 heeft namelijk een omlooptijd van minder dan 16 jaar waardoor het wél mogelijk is om een volledige rondgang te meten. De baan van S2 en nog enkele andere sterren in de buurt van SgrA\* kun je zien in het volgende filmpje.



[klik hier voor film](#)



In je werkdocument Kepler vind je een spreadsheet met de coördinaten van S2. Met deze coördinaten kun je de halve lange as  $a$  van de ster bepalen. Maak de volledige opdracht 20 in het werkdocument. Sla dit weer op op een USB stick of op je mail zodat je het later aan kunt vullen.

## Opdracht perkenwet

## Opdracht 21: Perkenwet

Maak de volgende vragen weer in je Werkdocument\_Kepler.



[Werkdocument II Kepler](#)

### De tweede wet van Kepler

In de vorige opdracht heb je de halve lange as van een ellips bepaald. In onderstaande animatie gaan we kijken wat nu de invloed is van de halve lange as op de baan van een planeet. Door de halve lange as te wijzigen kunnen we de planeet een andere baan om (in dit geval) de zon geven.

In onderstaande animatie kun je de waarde van de halve lange as variëren van 0.5 AE tot en met 1.5 AE. Vul een willekeurige waarden tussen de 0.5 en 1.5 in en klik daarna op het 'start'knopje om de planeet in de baan te laten lopen. Houd de snelheid nog even op 20 km/s. Kijk wat er gebeurt bij de verschillende waarden voor de halve lange as.



<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/7354ed35114861a724d60a7391884637.swf>

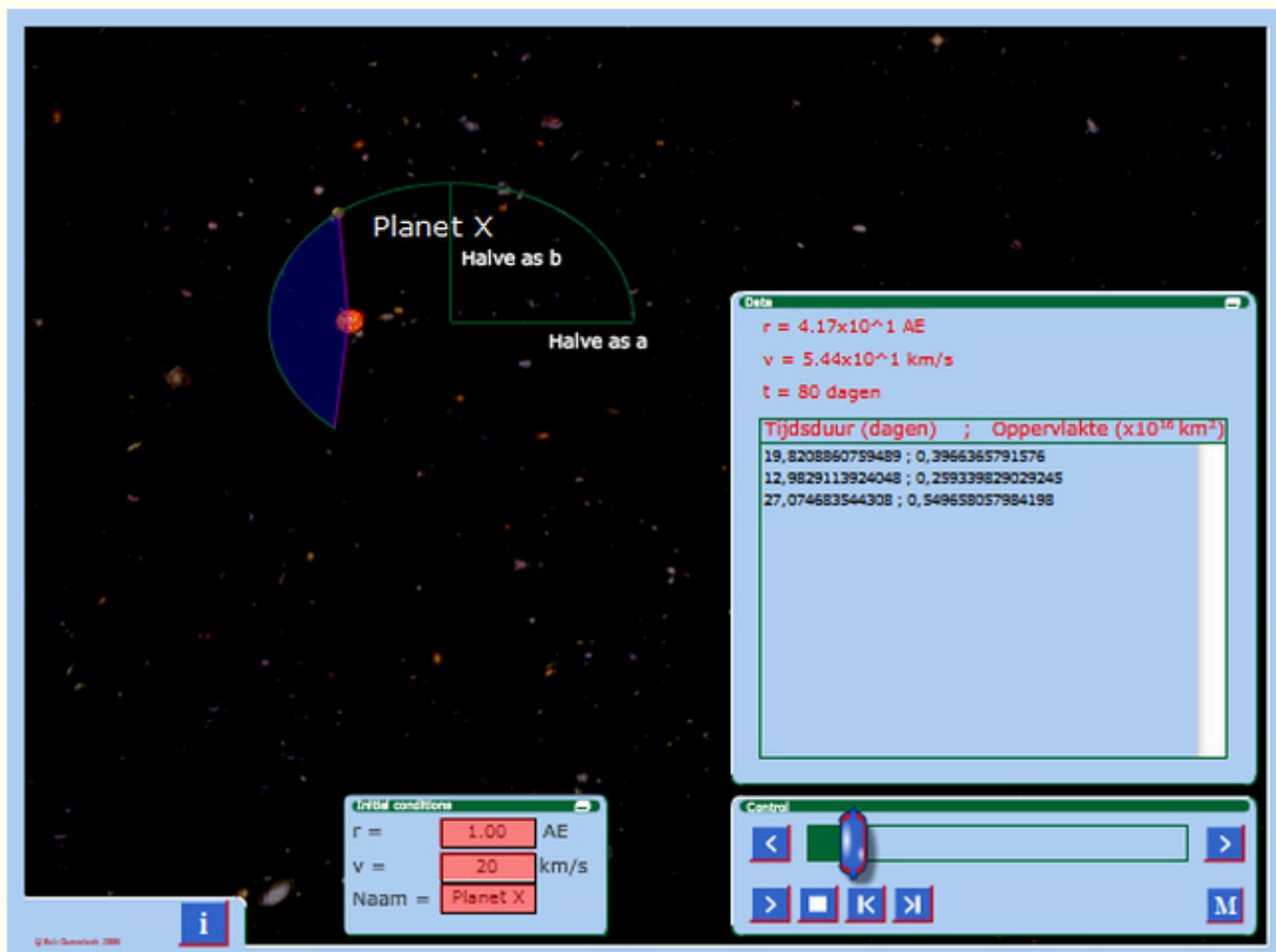
### Opdracht 21

Kies een waarde voor de halve lange as, waar je de rest van de opdracht mee gaat werken. Kies nu een snelheid tussen de 6 en 35 km/s. Je zult zien dat niet alle snelheden bij alle waarden voor de halve lange as in de animatie passen. Dat geeft de animatie aan. Kies in dat geval een nieuwe waarde voor de snelheid. Als je een snelheid hebt gevonden, waarbij de animatie loopt, noteer je de waarden in je werkdocument. Geef je planeet een naam en noteer deze naam ook in je werkdocument.

Terwijl je planeet rustig in zijn baan om de zon circuleert, kunnen we een aantal metingen verrichten. Met deze animatie kunnen we het verband tussen de tijd en het oppervlak die een planeet in de baan aflegt bekijken. Hoe verzamel je je meetpunten:

- Klik op een willekeurig punt op de pauzeknop.
- Klik vervolgens op de 'M'-knop om je beginpunt vast te stellen.
- Laat de animatie verder lopen door op de 'start'knop te klikken.
- Om je metingen te laten eindigen klik je weer op de 'M'knop.
- Je ziet nu het volgende verschijnen:





In het beeld zie je het oppervlak dat de planeet heeft afgelegd paars kleuren (zie Figuur 1). Door weer op de 'M'-knop te klikken worden de waarden vastgelegd. In je animatie zie je rechts een scherm verschijnen met daarin de waarden voor de tijdsduur en de oppervlakte.

*Oefen dit nu eerst een paar keer.*

Als je goed met de animatie overweg kan, kun je nu je meetwaarden gaan verzamelen. Verzamel 10 meetpunten, waarin je zo veel mogelijk probeert te variëren in de tijdsduur en oppervlakte. Wanneer je 10 meetwaarden hebt kun je je gegevens exporteren naar Excel door op de 'S'-knop te klikken. Een nieuw scherm opent zich met jouw waarden erin. Kopieer deze waarden naar je werkdocument en maak daar de opdracht verder af.

### Opdracht derde wet van Kepler

#### Opdracht 22: Derde wet van Kepler

Maak de volgende opdracht weer in je Werkdocument\_Kepler



[Werkdocument II Kepler](#)

Je hebt gezien dat het verband tussen de omlooptijd en het oppervlak binnen de ellips dat een planeet

daarbij aflegt een constante is. In onderstaande opdracht gaan we kijken naar het verband tussen de grootte van de halve lange as en de omlooptijd. Door de grootte van de halve lange as te veranderen, kunnen we de planeet een grotere of kleinere baan om (in dit geval) de zon geven.

In onderstaande animatie kun je de waarde van de halve lange as variëren van 0.3 AE tot en met 1.7 AE. Vul een willekeurige waarden tussen de 0.3 en 1.7 in. De excentriciteit (De excentriciteit kan gezien worden als de mate waarin een baan afwijkt van een cirkel) kun je variëren van 0 tot 0.7. Kies een waarde voor de excentriciteit en vul een willekeurige waarde voor de halve lange as. Kijk wat er gebeurt, door op het startknopje te klikken. Doe hetzelfde bij een vaste waarde voor de halve lange as en willekeurige waarden voor de excentriciteit.



<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/3f486405bbd8e3240141df209e18e3f0.swf>



## Opdracht 22

Zo verzamel je meetpunten:

- Kies een waarde voor de excentriciteit. Deze waarde laat je de gehele meting constant.
- Kies een willekeurige waarde voor de halve lange as.
- Klik op de 'start'knop en de animatie begint te lopen
- Klik op een willekeurig moment op de 'M'-knop om de omlooptijd van de planeet te bepalen. De omlooptijd wordt weergegeven in de tijd die de planeet erover doet om één ronde af te leggen. Het maakt daarom niet uit op welk moment je op de 'M'-knop klikt.
- Kies een andere waarde voor de halve lange as, laat de waarde van de excentriciteit hetzelfde en laat je planeet nog een keer bewegen.
- Laat de animatie ook bij deze waarde een berekening doen van de omlooptijd.

Verzamel 10 meetpunten, waarin je varieert in de waarde van de halve lange as. Laat de waarde van de excentriciteit gelijk! Wanneer je 10 meetwaarden hebt kun je je gegevens exporteren naar Excel door op de 'S'-knop te klikken. Een nieuw scherm opent zich met jouw waarden erin. Kopieer deze waarden naar je werkdocument en maak daar de opdracht verder af.

*Je kunt als je wilt nog een keer tien meetwaarden verzamelen bij een andere excentriciteit. Verander hiertoe de excentriciteit éénmaal en meet weer tien omlooptijden bij verschillende waarden voor de halve lange as.*

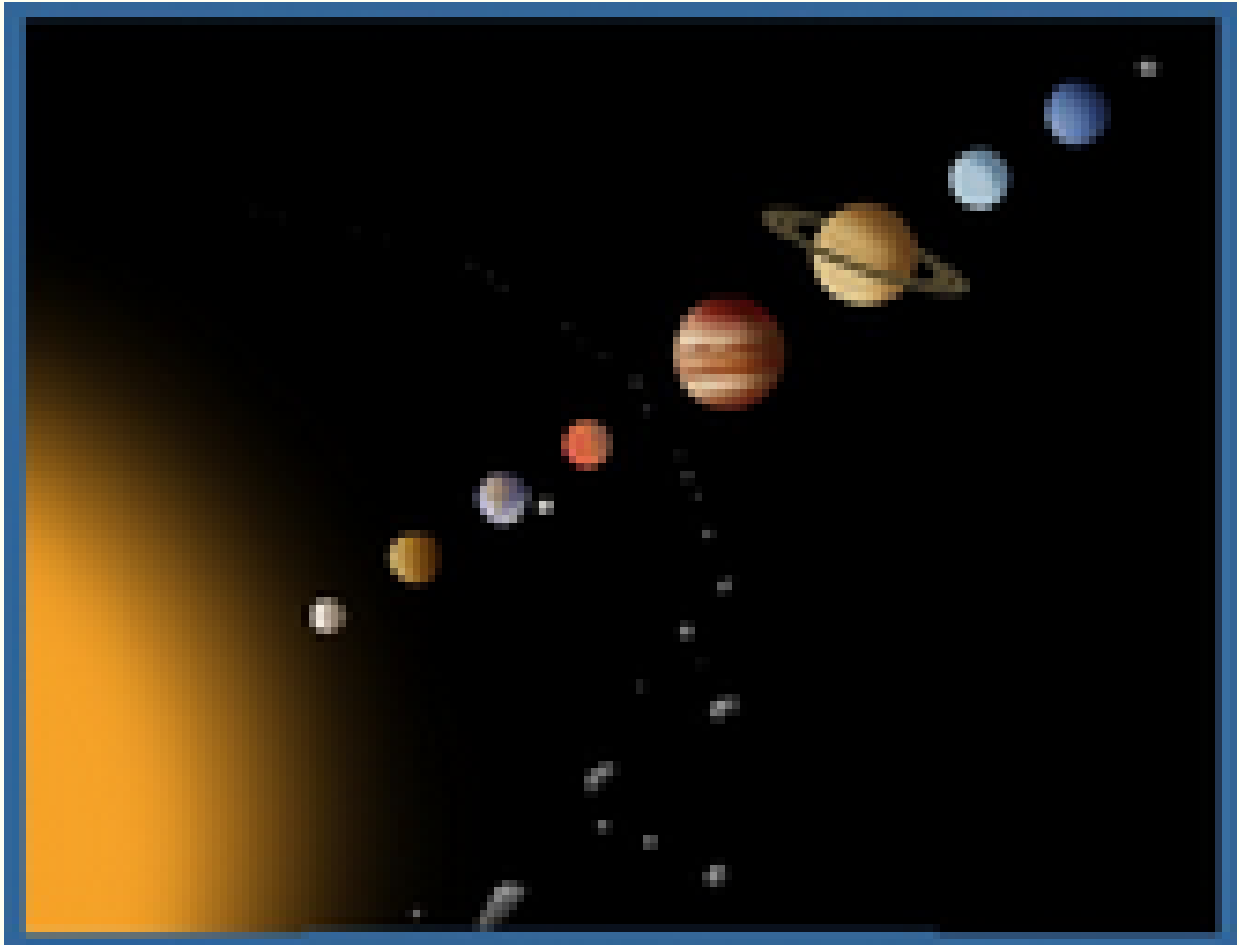
## Opdracht massa

### Opdracht 23: Massa

Nu is de omlooptijd niet zuiver en alleen afhankelijk van de grootte van de halve lange as. Ook de massa van de planeet en van het hemellichaam waar de planeet om draait speelt een belangrijke rol. Daar ga je in de opdracht Planeten in het programma Coach meer over leren. Maak de opdrachten weer in je werkdocument\_Keppler.

### Opdracht 23

Download nu eerst het Coach programma en installeer het op je computer: Planeten.exe



Ons zonnestelsel bestaat uit acht planeten. Vanaf de zon gezien zijn het Mercurius, Venus, Aarde, Mars, Jupiter, Saturnus, Uranus en Neptunus. Pluto heeft tegenwoordig de status van dwergplaneet. De planeten bewegen in ellipsen rond de zon, maar deze ellipsen zijn bijna cirkels. Hoe verder een planeet van de Zon staat, hoe langer zijn omlooptijd is. In deze activiteit onderzoek je het precieze verband tussen omlooptijd en baanstraal van een planeet.

### **Planeetgegevens**

- \* Open Coach en kies het project 'Planeten'.
- \* Open de activiteit 'Planeetgegevens'.

De afbeelding hieronder laat het wereldbeeld volgens Aristoteles zien.



a. Beschrijf zoveel mogelijk verschillen met het huidige wereldbeeld.

\* Bekijk bron 1: "Informatie over Johannes Kepler en zijn wetten".  
Beantwoord daarna onderstaande vragen.

b. Wat bedoelen we met de retrograde beweging van planeten?

c. Wat wordt bedoeld met de eerste wet van Kepler?

d. Hoe luidt de tweede wet van Kepler?

In 1619 kwam Johannes Kepler met het antwoord. In wiskundige vorm luidt dat antwoord:

$$T^2/R^3 = \text{constant}$$

Dit is de derde wet van Kepler. T is de omlooptijd en R de baanstraal.

e. Je hebt gelezen dat  $T^2/R^3$  = een constante. Bereken die constante. Gebruik de gegevens uit de tabel met planeetgegevens.

f. Welke twee planeten bevinden zich 'naast' de Aarde?

- g. Men vermoedt dat de tiende planeet een baanstraal heeft van 60 AE. Bereken die afstand in miljoenen kilometers.
- h. Bereken de omlooptijd van die tiende planeet.
- i. Bereken de afstand van de planeet die het dichtst bij de Zon staat. Druk die afstand uit in miljoenen kilometer.

### De derde wet van Kepler

In deze activiteit onderzoek je het volgende verband:

$$T^2/R^3 = \text{constant}$$

In de vorige activiteit heb je echter al ontdekt dat die constante gelijk is aan 1, omdat we T en R uitdrukken in aardse eenheden.

Dus we kunnen schrijven:

$$T = R^{3/2}$$

Voor Mars geldt  $R = 1,524$  (zie eventueel de activiteit 'Planeetgegevens').

- \* Controleer dat de omlooptijd van Mars gelijk is aan 1,881.
- \* Controleer het verband  $T = R^{3/2}$  voor een andere planeet.
- \* Open het modelvenster.

Je ziet het wiskundige model voor de derde wet van Kepler. Op welke regel vind je bovenstaand verband terug?

- \* Sluit het modelvenster.
- \* Start het model.

De grafiek geeft het verband tussen de omlooptijd T en de baanstraal R van een planeet.

In de activiteit: "Planeetgegevens" heb je een grafiek van de planeetgegevens gemaakt. Dat resultaat heb je bewaard.

- \* Importeer het resultaat in de modelgrafiek. Kies als lijnsoort 'geen' en als symbool 'Kruis'.

j. Komen de planeetgegevens overeen met de grafiek van het model? Waarom wel of niet?

Voor die constante is natuurlijk wel een getal bekend. Dat is het volgende:

$$T^2/R^3 = 4\pi^2/GM$$

G is de gravitatieconstante, M is de massa van de zon. Het belang van de wet van Kepler zit erin dat je door twee dingen te meten van afstand (namelijk de omlooptijd en de straal van de planeten), je de massa van de zon kunt achterhalen

k. Bereken de massa van zon.

l. Had het iets uitgemaakt als Jupiter twee keer zo zwaar was geweest voor zijn omlooptijd?



#### Reflectie

Schrijf hier de vraag. Maak een link van 'plaats hier je uw' en vul wel de title/mouseover, maar niet de URL. Bij mouseover wordt nu de antwoordindicatie getoond.

Plaats hier je muis

# 7 Massa

## 7. Over massa gesproken

Over massa gesproken - een lezing van prof. dr Piet Mulders



Het begrip 'massa' staat centraal in de wetten van beweging, van de beweging van elementaire deeltjes tot die van hele melkwegstelsels. Om het gedrag van extreme ophopingen van materie te kunnen voorspellen, moet de klassieke theorie van massa en gravitatie worden uitgebreid. De meeste bekende theorie hierover is de Algemene Relativiteitstheorie van Albert Einstein. Deze leidt tot modellen voor de te verwachte eigenschappen van zwarte gaten, maar ook van het heelal als geheel.

De lezing "Over massa gesproken" geeft een omvattend overzicht over wat wij wél en níet weten over massa. Hij bestaat uit drie delen, met eraan verbonden enkele opdrachten.

### **Uitleg en opdrachten bij de lezing "Over massa gesproken"**

De lezing is te zien als video met ernaast de presentatie. Hij heeft een totale lengte van bijna een uur en bestaat uit drie delen met bij elkaar elf onderwerpen. De delen kunnen apart worden bekeken. Het is mogelijk om te bladeren in de presentatie, de lezing gaat dan automatisch vanaf het gekozen punt door.

#### **Deel 1: Massa in de klassieke natuurkunde**

- *Massa = rustenergie*
- *Massa bepaalt response op kracht*
- *Massa = bron van kracht*
- *Bewegen in een zwaartekrachtveld*

In dit inleidende deel wordt er vanuit een aantal hoeken gekeken naar het fenomeen massa. Om te beginnen met de meer moderne kijk (vanuit de relativiteitstheorie) dat massa equivalent is aan energie. Daarna volgen de klassieke aspecten van massa: traagheid en zwaartekracht. De twee laatste staan centraal in de klassieke verklaring van de beweging van de hemellichamen, die in deze module veelvuldig aan bod komen.

Start deel 1 van "over massa gesproken"



Deel 1: Over massa gesproken

<http://av-media.vu.nl/VUmedia/viewer/?peid=243d96a5a7364e4fb92e05358803fc14>

Vanuit de klassieke concepten van trage en zware massa kunnen niet alleen de ellipsbanen van planeten worden verklaard (zie het vorige hoofdstuk over de wetten van Kepler). Er kan ook worden bepaald in welke omstandigheden een object aan de zwaartekracht van een ander object kan ontsnappen. Vanuit deze invalshoek word straks het bestaan van zwarte gaten beredeneerd.

#### **Deel 2: Massa en Algemene Relativiteitstheorie**

- *Equivalentieprincipe*
- *Kromming van ruimte en tijd*
- *Kromming in de buurt van de Aarde*
- *Zwarte gaten*

De stap naar een moderne zwaartekrachttheorie begint met het inzicht van de equivalentie van zware en trage massa. Dit leidt tot de Algemene Relativiteitstheorie, die centraal staat bij de voorspellingen van de eigenschappen van zwarte gaten.

start deel 2 van "over massa gesproken"



Deel 2: Over massa gesproken

<http://av-media.vu.nl/VUmedia/viewer/?peid=243d96a5a7364e4fb92e05358803fc14&PlayFrom=830000>

Het is vrij ingewikkeld om berekeningen met de Algemene Relativiteitstheorie te doen. Maar ook middels



de klassieke beschrijving van de zwaartekracht zouden er zwarte gaten bestaan.

### Deel 3: Bekende en onbekende massa in het heelal

- *Massa in melkwegstelsels*
- *Massa in het heelal*
- *De oorsprong van massa?*

In dit deel volgt verdere uitdieping van wat de moderne gravitatie-theorie wel en niet kan zeggen over de rol die massa speelt voor het heelal als geheel.  
Start deel 3 van "over massa gesproken"



Deel 3: Over massa gesproken

<http://av-media.vu.nl/VUmedia/viewer/?peid=243d96a5a7364e4fb92e05358803fc14&PlayFrom=2673000>

Om uit de waarneming van beweging van de hemellichamen conclusies te kunnen trekken over de gravitatiewetten, is het belangrijk om hun onderlinge afstanden te weten. Deze zijn niet zonder meer te meten; zij moeten worden bepaald met behulp van hun (schijnbare) helderheid, ofwel magnitude.

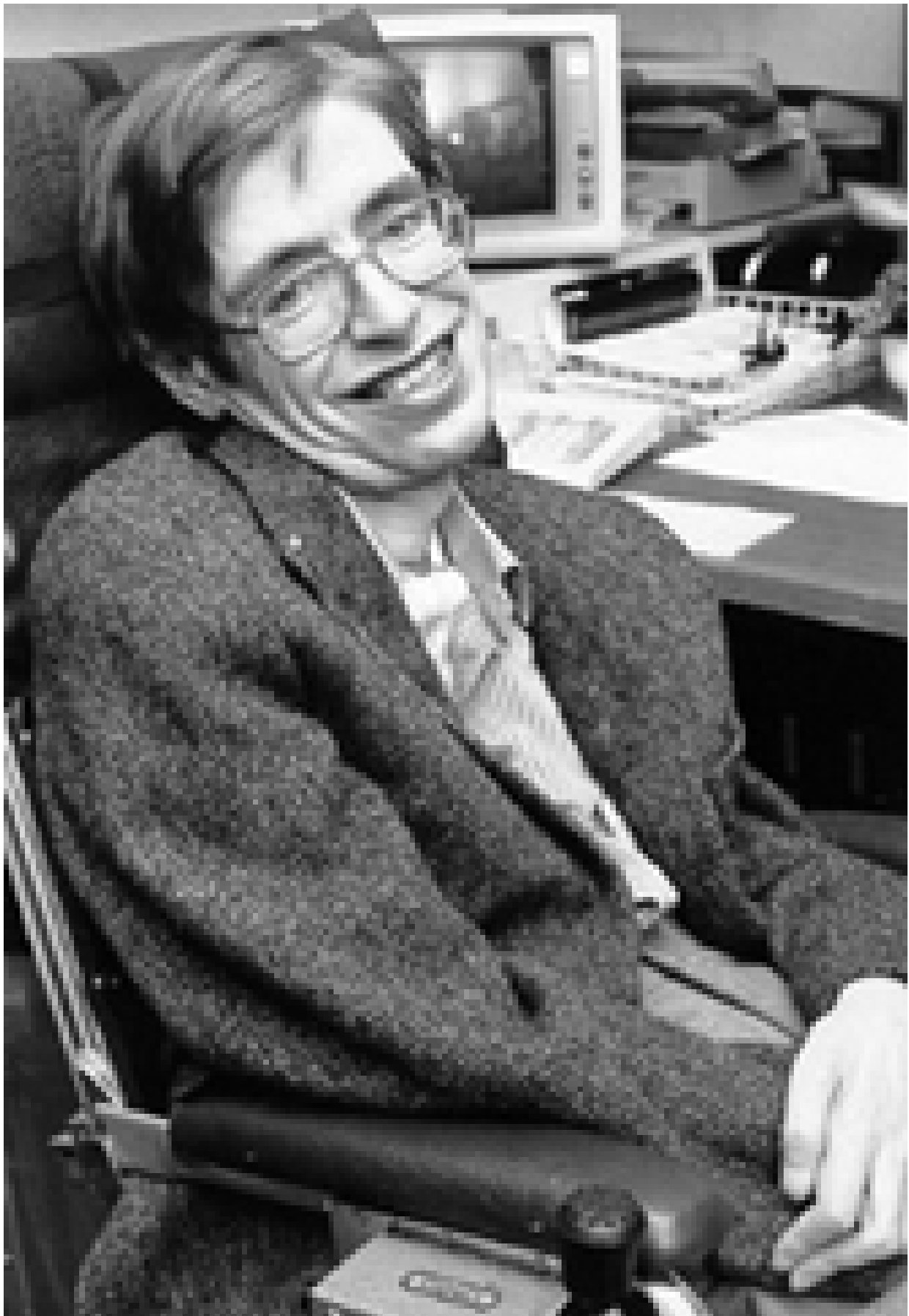
Bekijk nu dit hele college. Daarna moet je de bijbehorende opdrachten kunnen maken. Ga verder met hoofdstuk 8, waarin de opdrachten eerst nog verder worden ingeleid.

# 8 Het zwarte gat

## 8.1 Is er écht een zwart gat?

### 8.1 Is er écht een zwart gat?

Je hebt na al deze theorie een idee van hoe massa beweegt. On opdracht 3 heb je gezien dat er iets bijzonders aan de hand is rond SgrA\*. Kijk nog even terug naar die opdracht als je het niet meer weet. De vraag is nu of er een zwart gat in het centrum van ons melkwegstelsel staat. Deze vraag kunnen we met de kennis die we hebben beantwoorden.



*The questions are clear, and deceptively simple.  
Both the answers have always seemed well  
beyond our reach. Until now.  
Stephen Hawking (natuurkundige, 1942)*

Bij de metingen van S2 zagen we dat deze ster met een grote snelheid in een ellipsbaan om het centrum van de Melkweg beweegt (opdracht 20). De grote snelheid van de sterren in het centrum van de Melkweg wijst erop dat er een grote massa in het midden aanwezig is. Dit kan zowel een zwart gat zijn als een cluster van vele sterren. In dit hoofdstuk zullen we nagaan welke van de twee opties de meest waarschijnlijke is.

Metingen laten zien dat sterren massa's hebben in de orde van grootte van 0,08 tot 120 keer de massa van de Zon. De totale massa van het centrum van de Melkweg is veel groter. We zullen zo berekenen hoe groot die precies is. Onafhankelijk van het soort ster waar we mee te maken hebben, heeft de ster S2 een te verwaarlozen massa in vergelijking met de massa waar hij omheen draait. Dat er een zwart gat of een cluster van vele sterren in het midden van de Melkweg zit, is dus een zeer aannemelijke aanname. Het verschil tussen deze beide twee mogelijkheden is dat sterren licht uitzenden en een zwart gat niet.



### Wat denk je?

Waarom kijken we met deze meetmethode eigenlijk naar een zwart gat in onze directe nabijheid en niet in ver weg gelegen sterrenstelsels?

Plaats hier je muis

## 8.2 Magnitudes

### 8.2 Magnitudes

Als je op een heldere avond naar de sterrenhemel kijkt, zie je heldere en zwakke sterren. De helderheid van de ster wordt bepaald door het soort ster en door de afstand van de ster tot de Aarde. Sommige sterren zijn helder, maar lijken erg zwak doordat ze ver weg staan. Andere sterren zijn zwak, maar lijken juist heel helder doordat ze 'dichtbij' de Aarde staan. Als we vanaf de Aarde naar een ster kijken, zien we een puntje licht. Met een telescoop is het net zo. Er is geen structuur te zien, alleen maar licht. Het licht kan ons iets vertellen over het soort ster, de levensfase waarin de ster zich bevindt, de samenstelling van de ster en de afstand tot de Aarde. Om verschillen in sterren te bepalen maken we gebruik van een indeling in helderheidsklassen. We noemen dit een indeling in magnitudes. Hierbij geldt dat de zwakste sterren een hoge magnitude hebben en de helderste sterren een lage magnitude. De schijnbare magnitude  $m$  van een ster is een maat voor de helderheid zoals we deze vanaf de Aarde waarnemen. Je meet deze helderheid ten opzichte van een referentiester. Dit is een ster waarvan de helderheid bekend is. In formulevorm wordt de schijnbare magnitude gegeven door:

$$M = M_{ref} - 2,5 \log \left( \frac{I}{I_{ref}} \right)$$



*Het sterrenbeeld Orion, met Betelgeuze en Rigel. bron: NASA*

waarin:

- $m$  = de schijnbare magnitude van de ster (zonder eenheid)
- $m_{\text{ref}}$  = de schijnbare magnitude van de referentie ster (zonder eenheid)
- $I$  = de intensiteit van de ster in Watts per vierkante meter ( $\text{W/m}^2$ )
- $I_{\text{ref}}$  = de intensiteit van de referentie ster in Watts per vierkante meter ( $\text{W/m}^2$ )

Uit de formule is ook af te leiden dat zwakkere sterren (sterren met een kleine lichtintensiteit) hogere magnitudes hebben en heldere sterren lagere magnitudes.

Sirius is de helderste ster die we 's nachts met het blote oog kunnen zien. Sirius heeft een schijnbare

magnitude  $m$  van -1,4. Bij volle maan is de schijnbare helderheid van de maan ongeveer -12,7. Je kunt nu berekenen dat de maan ongeveer  $3,3 \cdot 10^4$  keer helderder is dan Sirius:

$$m = m_{ref} - 2,5 \log \left( \frac{I}{I_{ref}} \right) \rightarrow -12,7 = -1,4 - 2,5 \log \left( \frac{I_M}{I_S} \right)$$

Dus

$$2,5 \log \left( \frac{I_M}{I_S} \right) = 11,3$$

en daaruit volgt

$$\frac{I_M}{I_S} = 10^{4,52} \approx 33.113$$

Met de schijnbare magnitude beschrijf je de helderheid van een ster ten opzichte van een voor jou bekende ster. De schijnbare magnitude geeft aan hoe helder je een ster waarneemt, maar zegt niets over de eigenschappen van de ster. Om de eigenschappen van een ster goed te kunnen vergelijken, is het begrip absolute magnitude  $M$  ingevoerd. De absolute magnitude  $M$  van een ster is gedefinieerd als de schijnbare magnitude die de ster zou hebben als deze op een afstand van 10 parsec ten opzichte van de Zon zou staan.

Maak de volgende vragen in je Werkdocument\_Kepler.



[werkdocument II Kepler](#)



### Opdracht 24

Oefenen met de afstandsvergelijking

Op de afbeelding hierboven zie je het sterrenbeeld Orion. Linksboven zie je Betelgeuze, een rode koele ster bij de 'linkerschouder' van het Orion. Het is een rode superreus. Met het blote oog kun je zien dat de ster een duidelijk oranjerode tint heeft. Rechtsonder zie je Rigel, een blauwe hete ster.

Betelgeuze heeft een schijnbare magnitude van  $m = 0,45$  en een absolute magnitude van  $M = -5,14$ .

- Bereken de afstand  $D$  van de Aarde tot Betelgeuze.
- Hoeveel lichtjaar is dat?
- En hoeveel kilometer?

De absolute magnitude  $M$  is gedefinieerd als de schijnbare magnitude die een ster zou hebben als hij op een afstand van 10 parsec van de Zon staat.

- Zou het niet juister zijn om deze afstand ten opzichte van de Aarde te meten? Waarom maakt het niet uit of we de afstand ten opzichte van de Zon of van de Aarde meten?

Wega is de helderste ster in het sterrenbeeld Lier en maakt deel uit van de zogeheten Zomerdriehoek. Wega heeft een absolute magnitude van  $M = 0,58$ .

- Bereken de schijnbare magnitude van Wega als deze op 10 parsec zou staan (de afstand is in werkelijkheid 7,76 parsec).



### Opdracht 25

#### Een zwart gat of vele sterren?

De derde wet van Kepler geldt ook weer voor de beweging van ster S2 om SgrA\*. Ook nu heb je immers te maken met een relatief grote massa waar een kleinere massa omheen beweegt.

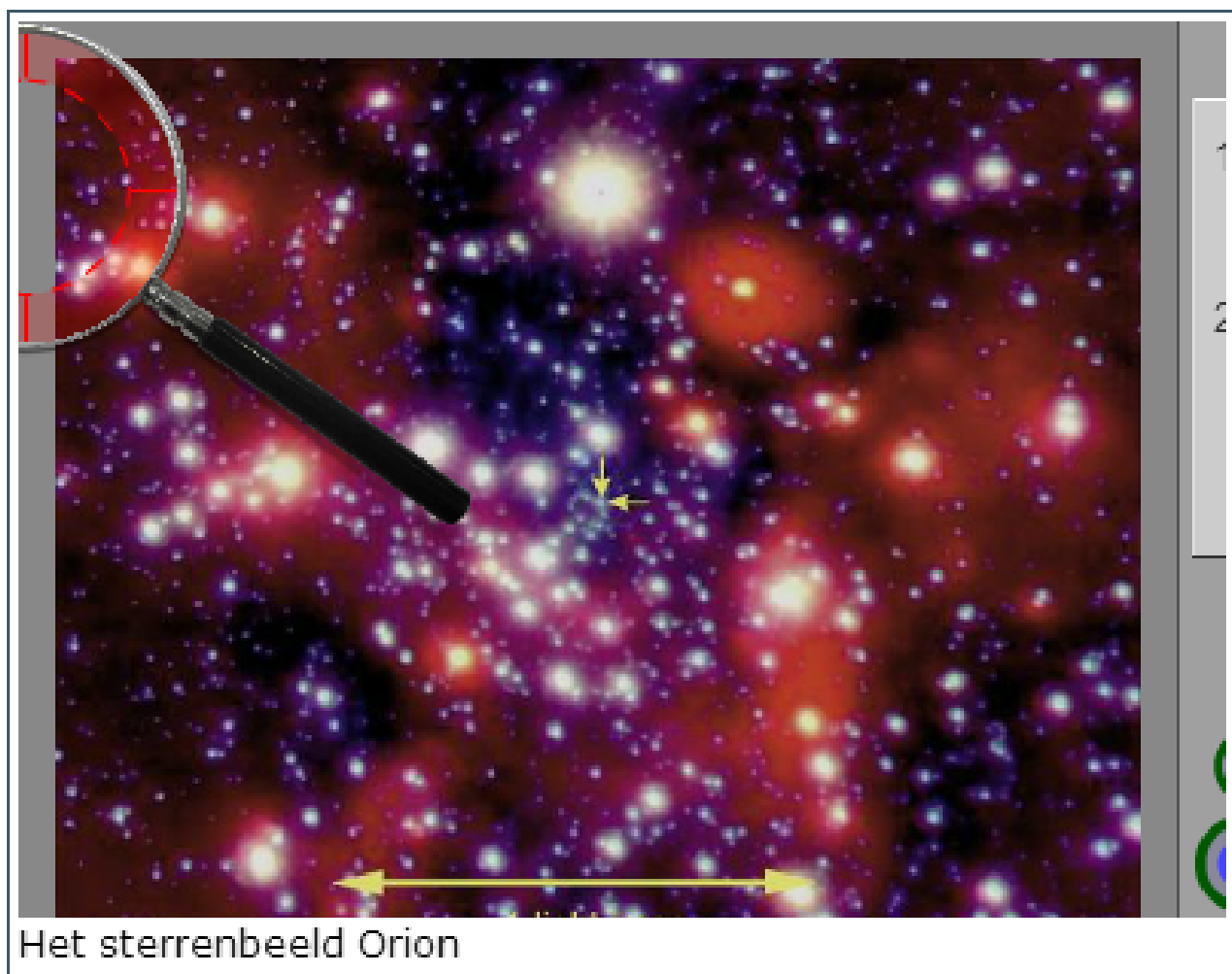
- Bereken met behulp van de derde wet van Kepler, de gevonden omlooptijd (uit opdracht 18) en de gevonden halve lange as (uit opdracht 20), de totale massa van het zwarte gat SgrA\* en de ster S2.

Voor een eerste bepaling kun je aannemen dat de massa die je berekend hebt toebehoort aan sterren met dezelfde eigenschappen als de Zon. De massa van de Zon is ongeveer  $1,989 \cdot 10^{30}$  kg.

- Hoeveel zonnen  $n_{\text{zon}}$  zijn nodig op de positie van SgrA\* (het midden van de Melkweg) om ervoor te zorgen dat de totale massa overeenkomt met de berekende massa?
- Het stralend vermogen van de Zon is ongeveer  $3,85 \cdot 10^{26}$  W. Welk stralend vermogen verwacht je bij de gemeten massa als je uitgaat van de aanname 'veel zonnen'?
- Bereken de schijnbare helderheid van de Zon als deze zich in het centrum van de Melkweg zou bevinden. Neem voor de afstand  $D$  tot het centrum van de Melkweg ongeveer 8,0 kpc. De absolute magnitude van de Zon is +4,83.
- Wat zou de schijnbare helderheid zijn als  $n_{\text{zon}}$  zonnen op positie SgrA\* aanwezig zijn?

Astronomen hebben gemeten dat er vrijwel geen licht afkomstig is vanuit het centrum van de Melkweg. Dit kun je ook zien in onderstaande figuur. Het licht afkomstig van positie SgrA\* is minder dan van de omliggende sterren.





Kijk met je vergrootglas naar het centrum van deze afbeelding.

### Opdracht 25 vervolg

e. Probeer nu aan de hand van je antwoord op vraag d en de schijnbare magnitude van de nog duidelijk zichtbare ster Betelgeuze uit opdracht 24 te beredeneren of er op positie SgrA\* een grote hoeveelheid sterren is of dat er sprake is van een zwart gat.

Om bij deze opdracht 25e een conclusie te kunnen trekken moest je een flink aantal stappen doorlopen (klik op het plaatje voor een vergroting):

Stap	Opdracht	Doel	Nodig
1	12	Bepalen van de halve lange as a	metingen van S2 kenniskaart 'Ellipsen'
2	15	Bepalen van de omlooptijd T	Stap 1 2 <sup>e</sup> wet van Kepler, $\Delta A = \frac{\Delta t}{T} \cdot A_{ell}$
3	17	Bepalen van de totale massa in het centrum	Stap 1 en 2 3 <sup>e</sup> wet van Kepler, $T^2 = \frac{4\pi^2}{G(M+m)} \cdot a^3$
4	18.2 a, b	Bepalen bijpassend stralend vermogen	Stap 3 Gegevens van de zon
5	18.2 c, d	Bepalen bijpassende schijnbare helderheid	Stap 4 Afstandsvergelijking, $m - M = 5 \log D - 5$
6	18.2 e	Vergelijken en conclusie trekken	

## 8.3 Ontsnappingsnelheid

### 8.3 Ontsnappingsnelheid

#### Ontsnappingsnelheid

De snelheid die nodig is om aan een zwaar voorwerp, bijvoorbeeld een planeet of zwart gat, te ontsnappen, wordt ook wel de ontsnappingsnelheid genoemd. De snelheid die je moet hebben om aan een bolvormig lichaam met massa M en straal r te ontsnappen, kun je berekenen met de volgende formule:

$$V_{\text{ontsnapping}} = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

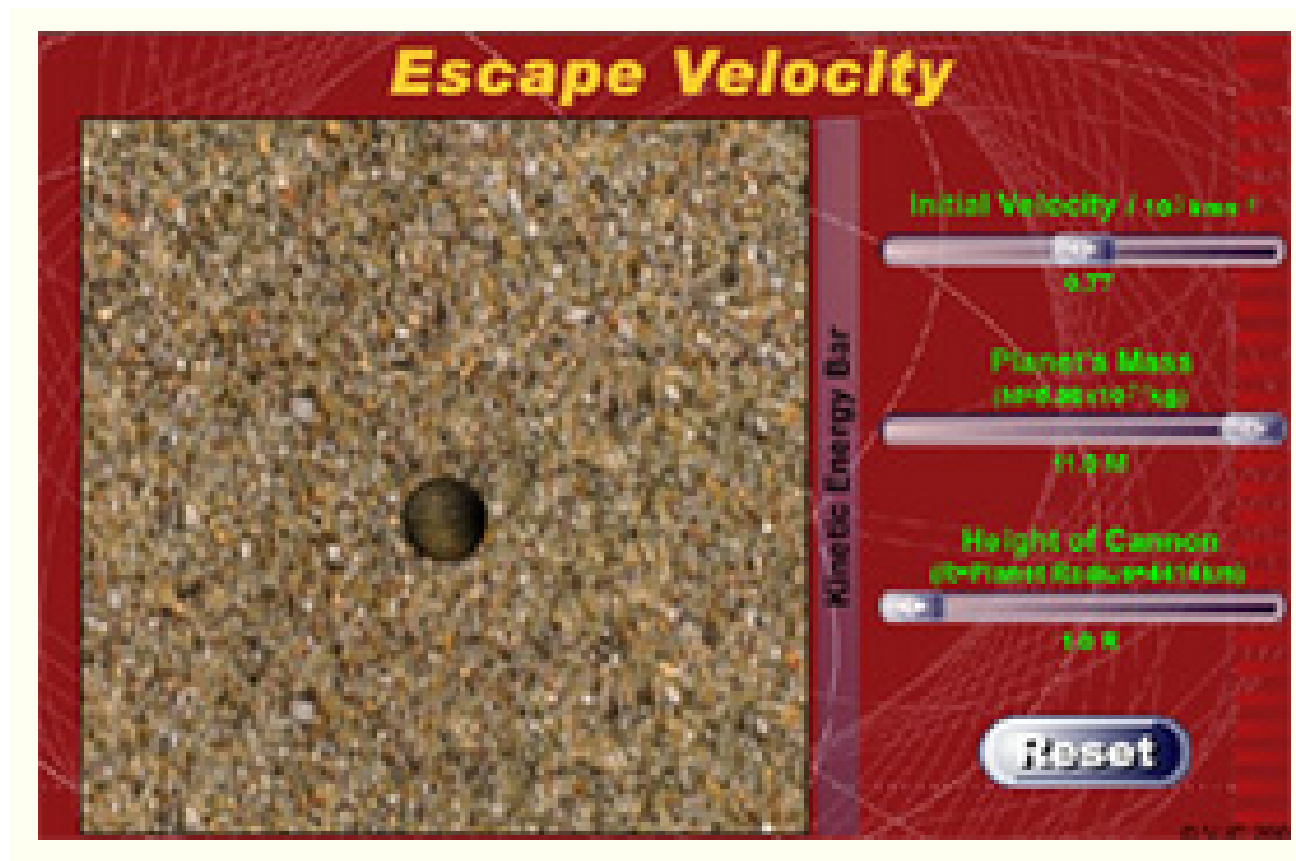
waarin:

-  $V_{\text{ontsnapping}}$  = de ontsnappingsnelheid in meters per seconde (m/s)

- $G$  = de gravitatieconstante in  $\text{N m}^2 \text{kg}^{-2}$
- $M$  = de massa van het bolvormige lichaam in kilogrammen (kg)
- $r$  = de straal van het lichaam in meters (m)

### Wat denk je?

Met de volgende applet kun je ontsnappen aan de wereld. Wat is de invloed van de massa van de planeet? Wat verandert er als je de hoogte van het kanon boven de aarde groter maakt?



Klik op het plaatje voor de applet. Je computer heeft wel de shockwave plugin voor internet explorer nodig. Die kun je [hier](#) ophalen.

Plaats hier je muis

### Achtergrondinformatie: Schwarzschildstraal

Eerder noemden we de waarnemingshorizon, een point of no return, een grens rondom het zwarte gat. Deze grens is met behulp van de formule te bepalen door voor vontsnapping de lichtsnelheid  $c$  in te vullen. De straal  $R_s$  die nu te bepalen is heet de Schwarzschildstraal. Binnen deze straal  $R_s$ , kan niets meer ontsnappen aan het zwarte gat. We vinden:

$$R_s = \frac{2GM}{c^2}$$

- $R_s$  = de Schwarzschildstraal in meters (m)
- $G$  = de gravitatieconstante in  $\text{N m}^2 \text{kg}^{-2}$
- $M$  = de massa in kilogrammen (kg)
- $c$  = de lichtsnelheid in meters per seconde (m/s)

### **Kenniskaart: ontsnappingssnelheid**

Leerlingen met natuurkunde kunnen onderstaande afleiding volgen, voor leerlingen zonder natuurkunde is vooral het resultaat van belang.

Een lichaam met massa  $m$  dat zich op een hoogte van  $h$  meter boven het aardoppervlak voortbeweegt met een snelheid van  $v$  m/s heeft zowel kinetische energie als zwaarte-energie. De formules voor kinetische energie en zwaarte-energie zijn:

$$E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2$$

$$E_z = mgh$$

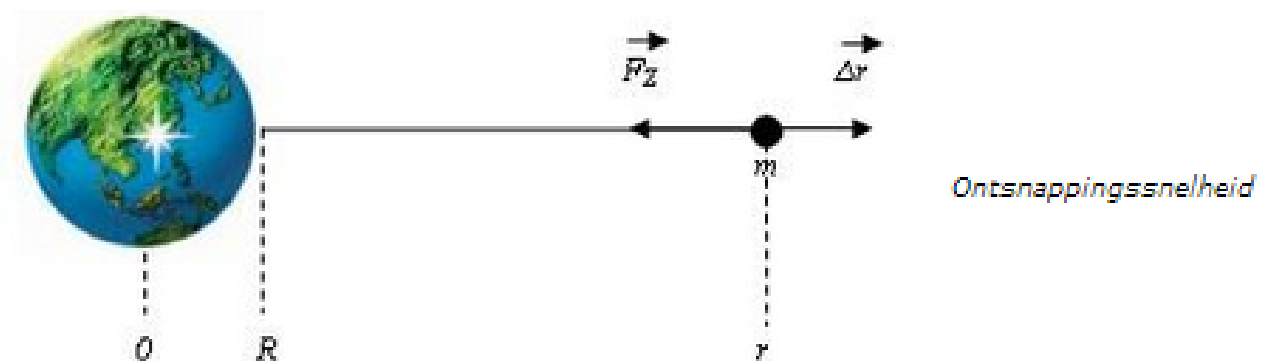
waarin:

- $E_{kin}$  = de kinetische energie in joules (J)
- $E_z$  = de zwaarte-energie in joules (J)
- $m$  = de massa in kilogrammen (kg)
- $v$  = de snelheid in meters per seconde (m/s)
- $g$  = de zwaartekrachtversnelling in meters per seconde kwadraat ( $m/s^2$ )
- $h$  = de hoogte in meters (m)

Als je een steentje omhoog gooit met een snelheid  $v$ , stijgt het tot een hoogte  $h$  en keert daarna weer terug doordat de zwaartekracht het omlaag trekt. Tijdens de tocht omhoog heeft de zwaartekracht (negatieve) arbeid verricht en is de kinetische energie omgezet in zwaarte-energie. Als  $h$  zeer groot is, neemt  $F_z$  af en mogen we  $mgh$  niet meer gebruiken voor de zwaarte-energie. De negatieve arbeid die de zwaartekracht over een kleine afstand  $Dr$  verricht is:

$$\Delta W = - \frac{GmM}{r^2} \cdot \Delta r$$

In dit geval gebruiken we  $\Delta r$  omdat we van het centrum van de Aarde uitgaan.  $M$  is de massa van de Aarde.



Tussen  $r = R$  en  $r = r$  verricht de zwaartekracht de arbeid:

$$W_z = - \int_R^r \frac{GmM}{r^2} dr = - \left[ - \frac{GmM}{r} \right]_R^r = \frac{GmM}{r} - \frac{GmM}{R}$$

Door deze arbeid verandert de zwaarte-energie  $E_z$ . Laten we  $r$  tot  $\infty$  naderen, dan volgt voor  $E_z$  op afstand  $r$  van het centrum:

$$E_z(r) = - \frac{GmM}{r} \text{ met } E_z(\infty) = 0$$

Een voorwerp met massa  $m$  heeft op het aardoppervlak ( $r = R$ ) dus een zwaarte-energie

$$E_z = - \frac{GmM}{R}$$

Het minteken staat erbij omdat we te maken hebben met een aantrekkende kracht. Een voorwerp kan alleen aan een planeet ontsnappen als het op het aardoppervlak voldoende kinetische energie bezit om de negatieve zwaarte-energie tot 0 te laten toenemen. Dan moet gelden:

$$\frac{1}{2}mv^2 > \frac{GmM}{R} \quad \text{ofte wel} \quad v \geq \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

De minimale snelheid die het voorwerp moet hebben wordt de ontsnappingssnelheid  $v_0$  genoemd. We vinden dus:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

waarin:

- $v_0$  = de ontsnappingssnelheid in meters per seconde (m/s)
- $G$  = de gravitatieconstante in  $\text{N m}^2 \text{kg}^{-2}$
- $M$  = de massa van de planeet in kilogrammen (kg)
- $R$  = de straal van de planeet in meters (m)

**Maak de volgende vragen in je schrift.**



### Opdracht 26

**Wanneer krijg je een zwart gat?**

- a. Bereken de ontsnappingssnelheid vanaf de Aarde. Maak gebruik van Binas.
- b. Bereken de ontsnappingssnelheid als de straal van de Aarde maar 0,5 cm is.
- c. Bereken tot slot de ontsnappingssnelheid als de Aarde weer z'n echte straal heeft, maar een massa van 2200 keer de massa van de Zon.

?



### Opdracht 27

**Als je zelf een zwart gat was...**

- a. Neem de massa van je eigen lichaam en bereken de straal die nodig is om een



ontsnappingsnelheid te krijgen die gelijk is aan de lichtsnelheid. Je moet jezelf tot een bol met een dergelijke straal samenpersen om jezelf in een zwart gat te veranderen.

b. Vergelijk het antwoord op vraag a met de straal van een atoom. De straal van een atoom is ongeveer  $10^{-10}$  m en van een kern is ongeveer  $10^{-15}$  m.  
Is het mogelijk om zelf een zwart gat te worden?

# 9 Presentaties

## 9.1 Presentaties

### 9.1 Presentaties

Je gaat in tweetallen een presentatie houden voor de klas over één van de volgende onderwerpen:

- *sterhopen*
- *zonnespectrum en fraunhoferlijnen*
- *spectraaltypen van sterren (Herzsprung-Russeldiagram)*
- *interstellaire materie, donkere materie*
- *het voorkomen van verschillende elementen in het heelal (abundantie)*
- *de toekomst van het heelal*

Achtergrondinformatie vind je door zelf op zoek te gaan naar bronnen (boeken, internet, wetenschappelijke bijlagen in kranten). Als startpunt kun je hoofdstuk 9.2 gebruiken. Je ondersteunt de presentatie met een powerpointvoorstelling. Deze links geven je extra informatie en ondersteuning bij het maken van een presentatie: [werkinstructie presenteren](#) en [werkinstructie powerpointpresentatie](#). Geef in je presentatie ook aan welke bronnen je hebt gebruikt.



[werkinstructie presenteren](#)



[werkinstructie powerpointpresentatie](#)

## 9.2 De levensloop van sterren

### 9.2 De levensloop van sterren

In het heelal bevinden zich ontelbaar veel sterren. Deze sterren zijn allemaal gevormd uit een ijle hoeveelheid materie. In miljarden jaren tijd vindt het proces plaats van geboorte, evolutie en sterven van de ster. Uiteindelijk zal de ster verworden tot een witte dwerg, een neutronenster of een zwart gat. De evolutie van een ster wordt ook wel de levensloop genoemd. De totale massa is bepalend voor de levensloop van de ster.

#### Het ontstaan van een protoster

In ons Melkwegstelsel bevinden zich tussen de sterren zeer ijle wolken of nevels, de zogenaamde interstellaire materie. De interstellaire materie bestaat voornamelijk uit gas (waterstof en helium) en deels uit zeer fijne stofdeeltjes (waaronder koolstof en silicaten). Door de lichtdruk van omliggende

sterren wordt zo'n ijle wolk een klein beetje ingedrukt. De deeltjes komen dichterbij elkaar en op een gegeven moment gaat de gravitatiekracht tussen de deeltjes een rol spelen. De deeltjes gaan elkaar aantrekken en in de ijle wolk ontstaan dichtheidsverschillen. In de verdichtingen komen de deeltjes steeds dichterbij elkaar te liggen. Ze botsen vaker en de snelheden nemen toe.



*De paardenkopnevel. bron:NASA*

Als de gemiddelde snelheid van de deeltjes toeneemt, stijgt de temperatuur in de wolk, waardoor de wolk warmtestraling gaat uitzenden. Dit is infrarode straling. Op het moment dat de wolk warmtestraling gaat uitzenden spreken we van het ontstaan van een protoster. Als de massa van de protoster groot genoeg is kan een ster ontstaan. Bedenk hierbij dat dit proces - van ijle gaswolk tot ster - wel 100 miljoen jaar kan duren! De nevels waarin sterren ontstaan worden wel eens interstellair kraamkamers genoemd. Een bekend voorbeeld hiervan is de Paardenkopnevel in het sterrenbeeld Orion. Wat er uiteindelijk met een protoster gebeurt, is afhankelijk van de massa van de krimpende gaswolk.

Als de massa klein is, wordt de temperatuur in de kern niet hoog genoeg om de fusiemotor op te

starten. Er ontstaat dan een bruine dwerg en het echte sterstadium wordt niet bereikt. De protoster blijft warmtestraling uitzenden maar zal uiteindelijk afkoelen en verworden tot een donkere massa in het heelal, een zogenaamde zwarte dwerg. Een bruine dwerg is een object groter dan een planeet en kleiner dan een ster.

De temperatuur varieert tussen 1000 en 3500 Kelvin. De massa van een bruine dwerg blijft onder de 0,08 zonsmassa's. Zodra de massa van de samentrekkende wolk groter is dan 0,08 zonsmassa's, kan de temperatuur in de kern boven de 10 miljoen Kelvin stijgen. Bij dergelijke temperaturen kan waterstof fuseren tot helium. In hoofdstuk 3 is dit fusieproces al beschreven. Zodra de fusiemotor start spreken we van de geboorte van een ster.

### **De lichte sterren**

Het eindstadium van alle lichte sterren is de ontwikkeling tot een witte dwerg. Witte dwergen zijn de naakte kernen van sterren. Er vindt geen kernfusie meer plaats. De witte dwergen stralen slechts overgebleven energie uit waardoor ze geleidelijk afkoelen en verworden tot zwarte dwergen. Witte dwergen hebben een grootte vergelijkbaar met de Aarde. De temperatuur varieert tussen 4000 en 85.000 Kelvin. De massa van een witte dwerg bevindt zich tussen 0,02 en 1,4 zonsmassa's. Er zijn tot nu toe ongeveer 300 witte dwergen ontdekt. In de zeer lichte sterren (tot 0,4 zonsmassa's) bereikt al het waterstof de hete kern waar het kan fuseren tot helium. Het helium verspreidt zich door stroming door de gehele ster.



*De Eskimonevel, NGC 2392. bron: NASA/ESA*

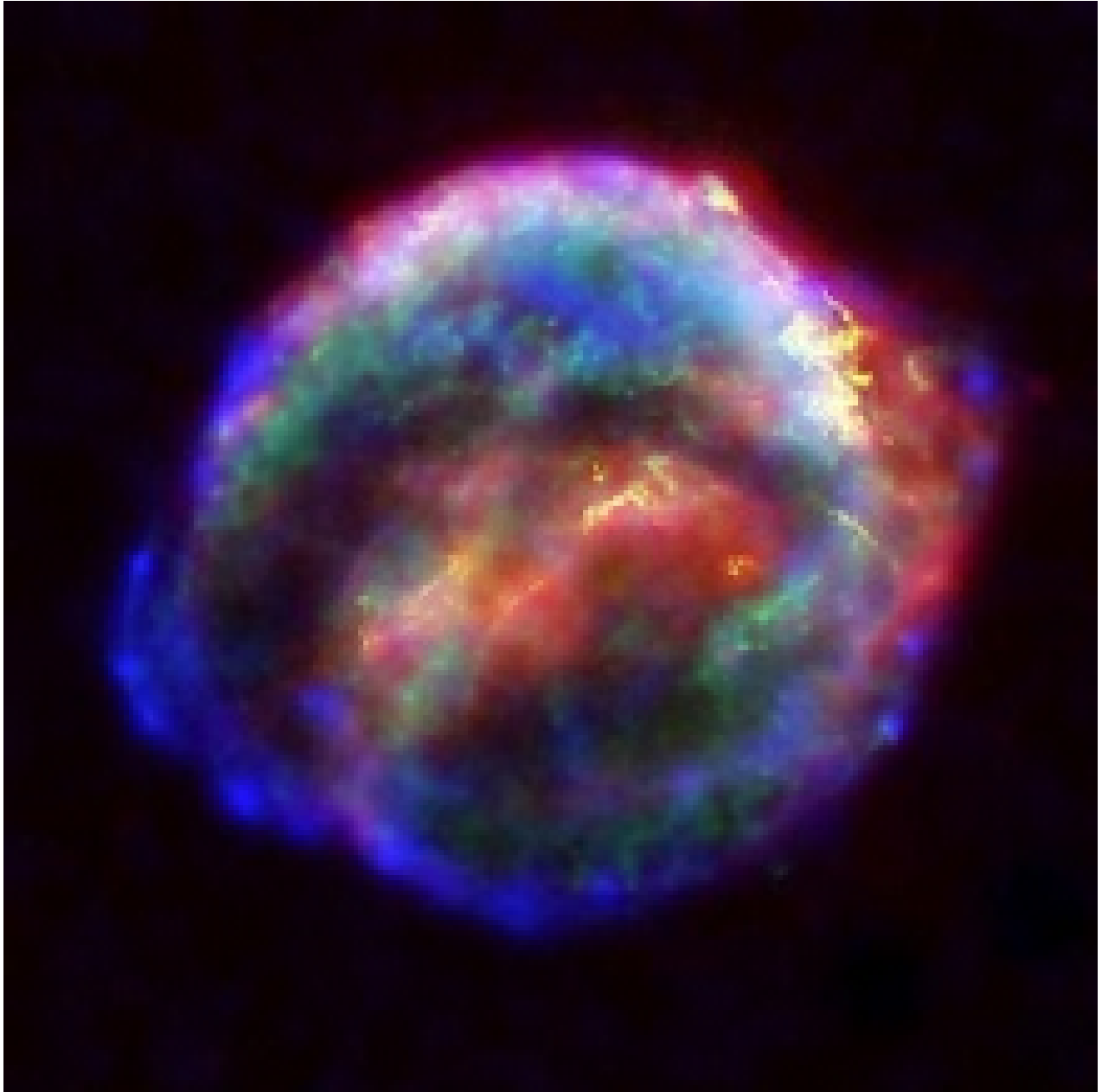
Zoals je gezien hebt in hoofdstuk 3, neemt bij elke fusie het aantal deeltjes af. Er zijn 4 waterstofkernen nodig voor de vorming van 1 heliumkern. Door de afname van het aantal deeltjes krimpt de ster en stijgt de temperatuur. Dit proces gaat door totdat er geen waterstof meer aanwezig is voor de waterstoffusie. De totale temperatuur in de kern wordt, door de geringe massa van de ster, niet hoog genoeg om heliumfusie te starten. Dit betekent, dat nadat de waterstoffusie is afgelopen de ster langzaam zal afkoelen. Dit stadium is al besproken; de ster is nu een witte dwerg.

In lichte sterren met hogere massa (tot 4 zonsmassa's) bereikt slechts een deel van de waterstof de kern om te fuseren tot helium. In de kern neemt door waterstoffusie het aantal deeltjes af waardoor de heliumkern krimpt. Doordat de kerntemperatuur sterk toeneemt, kan in de laag om de kern waterstoffusie starten. De fusie in deze schil zorgt ervoor dat de kern van extra helium voorzien wordt, waardoor deze zwaarder en heter wordt.

Sterren waar in een buitenste schil fusie optreedt, zwellen sterk op. We noemen deze sterk opgezwollen sterren rode reuzen. Zodra de kern van dergelijke sterren heet genoeg wordt, kan helium fuseren tot koolstof. De kern wordt nog heter en de ster expandeert. Hierdoor koelen de buitenste lagen in de ster af waardoor ze krimpen en vervolgens weer heter worden. Als er geen helium meer is, krimpt de koolstofkern sterk waardoor de temperatuur hoog genoeg wordt om in een schil rondom de kern heliumfusie te starten. De fusie in deze schil zorgt ervoor dat de kern van extra helium voorzien wordt.

Hierdoor wordt de kern zwaarder en heter, maar niet meer heet genoeg om koolstoffusie op te starten. Al met al ontstaat er een instabiele toestand van krimpen en uitzetten waarbij de buitenlagen van de ster uiteindelijk worden weggeblazen. Deze buitenlagen vormen vervolgens een planetaire nevel waarin nieuwe stergeboortes kunnen plaatsvinden. De overgebleven kern, waarin de fusie inmiddels is gestopt, is verworpen tot een witte dwerg en zal langzaam uitdoven.

Hierboven zie je een plaatje van de Hubble telescoop. Het betreft een planetaire nevel van een stervende zonachtige ster. De nevel is Eskimonevel genoemd omdat de vorm ervan lijkt op een gezicht in een muts met bontkraag.



*Supernova. bron: NASA*

### **De zwarte sterren**

Het eindstadium van alle zwaardere sterren is een neutronenster of een zwart gat. De levensloop van zware sterren gaat echter veel sneller. Zodra de fusie in de schil buiten de kern start, zwelt de ster op tot een super rode reus. De straal van zo'n super rode reus kan zo groot worden als de afstand van Saturnus tot de Zon. Een aantal fusieprocessen wisselen elkaar af. Na waterstoffusie en heliumfusie

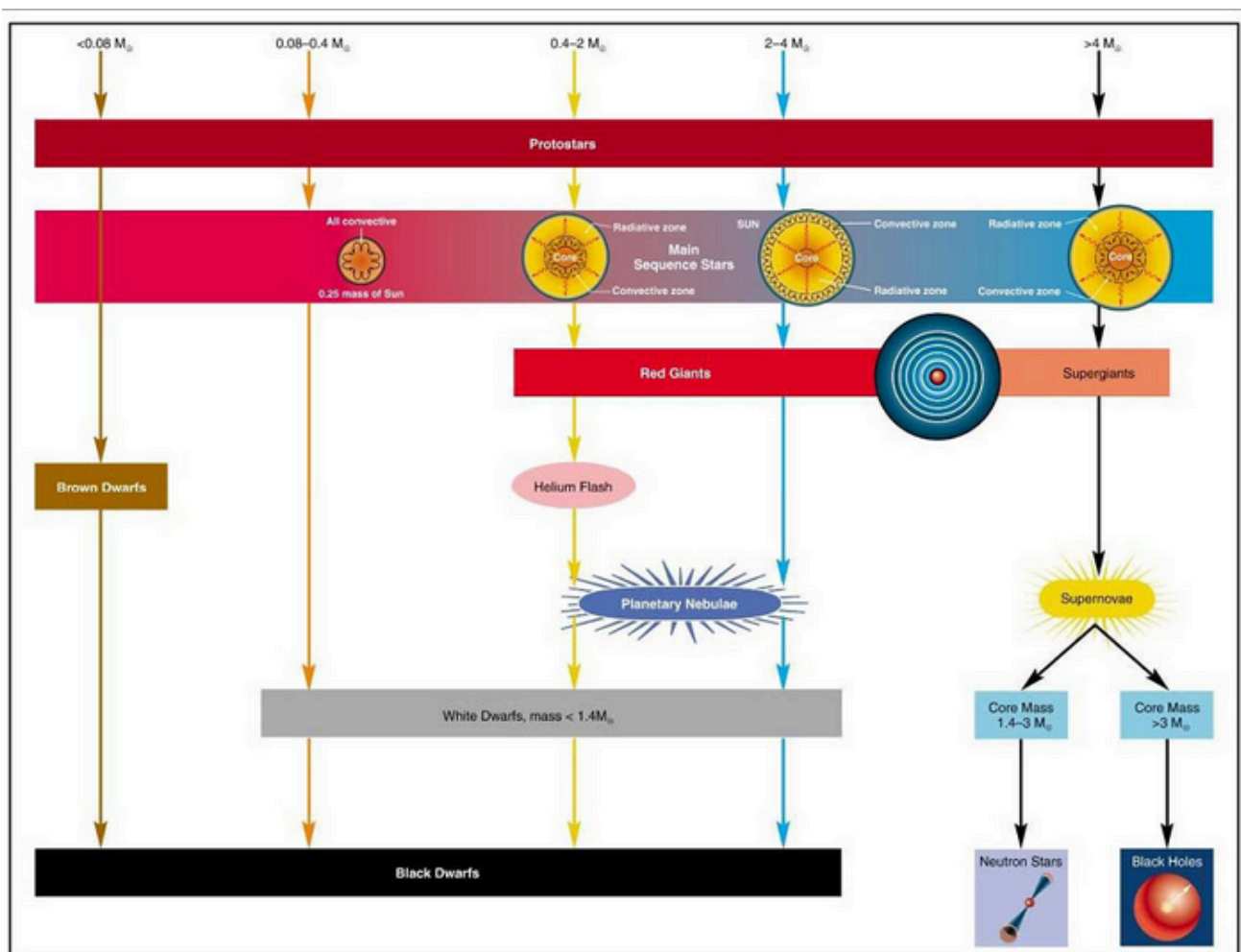
wordt koolstof tenslotte omgezet in zuurstof, neon, magnesium, silicium, zwavel en ijzer. De temperatuur die de kern bereikt kan ruim 1 miljard Kelvin zijn! Ijzer kan niet zomaar verder fuseren tot zwaardere kernen. De fusie in de kern stopt, waardoor de kern zeer instabiel wordt. Door de hoge gravitatiekracht stort de kern ineen. Zodra de massa van de kern groter wordt dan 1,4 zonsmassa stort deze binnen 1 seconde in elkaar. Protonen en elektronen worden op elkaar gedruwd en versmelten tot neutronen.

Wat nu ontstaat, kun je het beste vergelijken met een groot gebouw waarbij je de onderste verdieping laat exploderen. Het fundament waar de rest van het gebouw op steunt verdwijnt waardoor ook de hoger gelegen verdiepingen zullen instorten. In de ster storten de buitenlagen ook in door het ineenstorten van de kern. De enorme hoeveelheid energie die daarmee gepaard gaat zorgt voor een drukgolf die de buitenlagen van de ster ver het heelal in blaast. Een dergelijke explosie van een ster noemen we een supernova. Een supernova-uitbarsting gaat gepaard met een enorme lichtkracht. De explosie is gigantisch. De ster vlamt op met de kracht van honderden miljoenen tot meer dan een miljard zonnen. Geschat wordt dat er in ons Melkwegstelsel gemiddeld één tot drie supernova's per eeuw optreden.

Als de massa van de overgebleven kern tussen 1,4 en 3 zonsmassa's ligt spreken we van het ontstaan van een neutronenster.

Wanneer de massa groter is, ontstaat een zwart gat.

In deze figuur zie je de evolutie van de sterren nog eens in schema uiteengezet.



# 10 Het debat

## 10.1 Wereldbeelden

### Wereldbeelden

#### Hoe was het vroeger: Het wereldbeeld van Aristoteles tot Kepler

##### Van geocentrisme naar heliocentrisme

In de afgelopen hoofdstukken heb je kunnen lezen hoe de moderne sterrenkunde het heelal ziet. Ongeveer 2000 jaar geleden dachten Aristoteles en Ptolemaeus ook al na over hoe het heelal in elkaar zit. Volgens hen stond de Aarde in het middelpunt van het universum. We noemen dit wereldbeeld het geocentrische wereldbeeld (Geo = Aarde). Zij hadden het volgende beeld van het universum:

- de Aarde staat onbeweeglijk in het middelpunt van het universum
- de hemellichamen draaien rond de Aarde en beschrijven zuivere, cirkelvormige banen
- het universum wordt begrensd door de sfeer (bol) van vaste sterren die in - tegenovergestelde richting van de planeten draaien
- de sterren staan allemaal op dezelfde afstand van de Aarde.



## Schema huius præmissæ diuisionis Sphærarum .



Het geocentrisch wereldbeeld. bron: *Cosmographia*, Antwerp, 1539

Niet alle Griekse filosofen onderschreven dit wereldbeeld. Een variatie is bijvoorbeeld dat de Aarde wel om zijn as draait, maar verder stilstaat in het middelpunt van het universum. Er was zelfs een filosoof, Aristarchus van Samos, die een heliocentrisch wereldbeeld voorstond. Hierbij staat de Zon (Helios = Zon) in het middelpunt en bewegen de planeten om de Zon. Maar ondanks deze andere modellen was het wereldbeeld van Ptolemaeus het overheersende wereldbeeld in de Middeleeuwen in Europa.

In de loop van de Middeleeuwen merkte men dat de posities van sterren ten opzichte van de Aarde veranderen en dat de planeten niet in exacte cirkelbanen bewegen. Een mogelijke verklaring hiervoor was dat de Aarde ook beweegt.

[Copernicus](#) was de eerste die in de moderne tijd vraagtekens zette bij het geocentrische wereldbeeld en in detail schreef over het heliocentrische wereldbeeld.

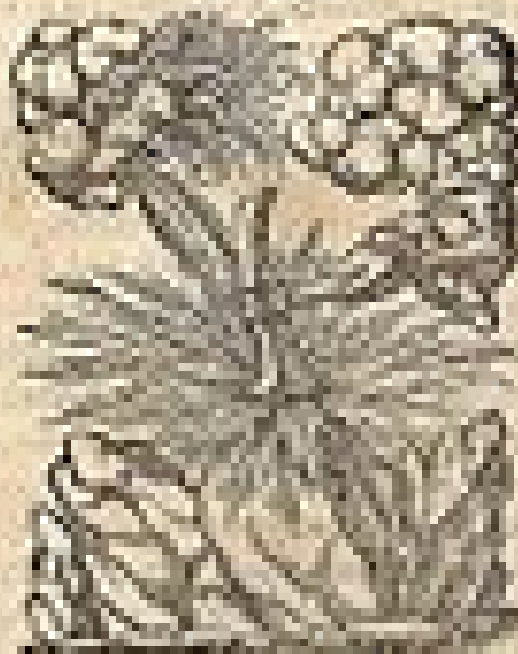
Rond 1530 schreef hij zijn belangrijkste werk over de omwentelingen van de hemelse sferen. Door de Zon als middelpunt te nemen, was Copernicus in staat om de dagelijkse beweging van de sterren te verklaren en de banen van de planeten eenvoudiger te beschrijven.

In zijn tijd was het zeer gevaarlijk om te beweren dat de Aarde slechts één van de vele planeten is. Dit werd gezien als godslastering. Daarom verborg Copernicus het manuscript en werd het pas gepubliceerd, toen Copernicus op zijn sterfbed lag.

NICOLAI  
COPERNICI  
RHENIENSIS DE REVOLUTIONE  
ORBIS COELESII,  
LIBRVS

[illegible]

Copyright Clearance Center, Inc., 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923. 0896-6460/96 \$05.00 + \$0.00 per copy.



**PARILEAR EX OFFICINA  
BENEFICENTIA**

Kort samengevat kan het heliocentrische wereldbeeld van Copernicus zo beschreven worden:

- de Zon staat in het middelpunt van het universum
- de Aarde staat niet stil, maar draait in 24 uur om haar as
- de Aarde en de planeten beschrijven een cirkelvormige baan om de Zon
- de Maan beschrijft een cirkelvormige baan om de Aarde
- de beweging van de sterren is slechts schijn.

Na Copernicus waren er meer astronomen die openlijk twijfelden aan het geocentrische wereldbeeld. Zij droegen daardoor bij aan een veranderend inzicht van de positie van de Aarde in de ruimte. Digges stelde in 1576 aan dat sterren niet allemaal op dezelfde afstand van de Aarde staan en dat het universum zich tot het oneindige uitstrekt. Wel gaf hij nog aan dat de buitenste sfeer van het universum identiek is aan de hemel.

Bruno schreef in 1584 een artikel over de oneindigheid van het universum. Daarin beweerde hij ook dat er vele werelden zijn. Door speculatief denken gaf hij in dat artikel aan dat:

- het universum oneindig is en dus geen welbepaald middelpunt heeft
- de sterren oneindig talrijk zijn en verspreid in de oneindige ruimte
- er een oneindig aantal werelden is verandering niet beperkt is tot het wereldse en geen teken van onvolmaaktheid is.

Hij moest zijn ideeën bekopen met acht jaar gevangenisstraf en de dood op de brandstapel na veroordeling voor ketterij.

### **Het heliocentrisme komt tot bloei**



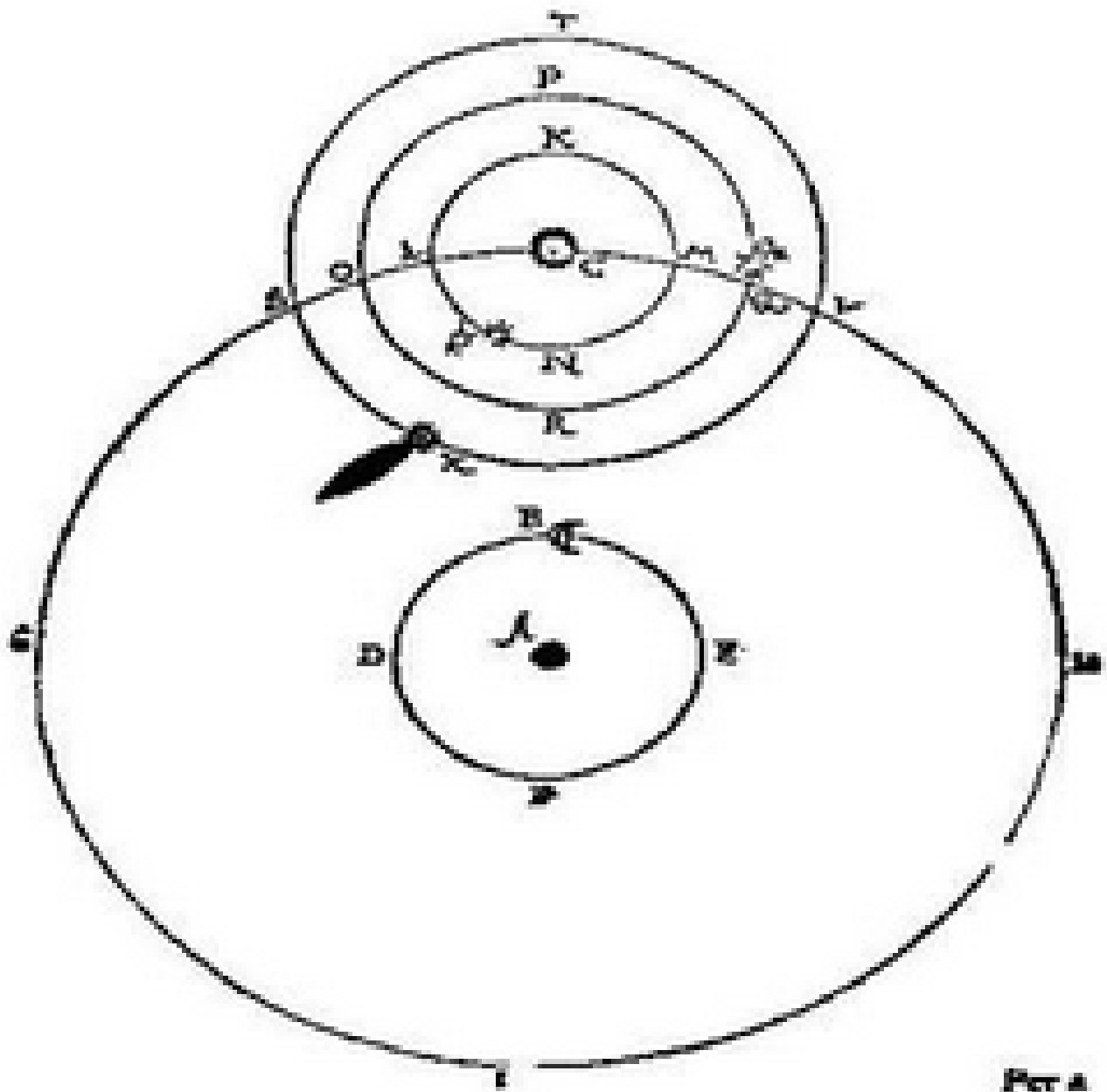
*Het heliocentrisch wereldbeeld. bron: Andreas Cellarius, Harmonia Macrocosmica, 1708*

[Tycho Brahe](#) leverde eind 16e eeuw een grote bijdrage aan de bepaling van de planeetbanen. Brahe en zijn team deden dit met een voor die tijd ongekende precisie. De instrumenten die ze gebruikten hadden ze zelf gemaakt. Die instrumenten hadden een nauwkeurigheid van 2 boogminuten. Dit was een enorme prestatie, vooral omdat Brahe geen lenzen of telescopen gebruikte.

Bij het uitwerken van de resultaten ging Brahe echter in de fout. Hij kwam in de knel tussen de twee theorieën van dat moment, de theorie van Ptolemaeus (ondersteund door de kerk) en de theorie van Copernicus (ondersteund door geleerden). Om niemand voor het hoofd te stoten bedacht hij een derde theorie. Dit Tychoonse systeem bevat de volgende gedachtegang:

- het universum bevat 2 centra: de Aarde en de Zon
- de Aarde staat onbeweeglijk in het centrum, daar omheen draaien de Maan, de Zon en de sterren
- de andere planeten draaien om de Zon.

Brahe vond het idee dat de Aarde draaide absurd. Om dit aan te tonen schoot hij twee kogels af met een kanon. De ene kogel schoot hij naar het westen en de andere naar het oosten. Als de Aarde zich gedurende de reis van de kanonskogels zich ook maar een beetje zou hebben bewogen, zouden de twee afstanden verschillend uitvallen. Aangezien ze echter gelijk uitvielen dacht Brahe het bewijs in handen te hebben dat de Aarde onbeweeglijk was.



**Pet 4**

*Het Tychoonse systeem*

Op zijn sterfbed vertrouwde Brahe het Tychoonse systeem toe aan zijn favoriete leerling, de jonge [Johannes Kepler](#). Deze was echter te zeer geboeid door de theorie van Copernicus om de theorie van de twee middelpunten te aanvaarden. Kepler zweeg hierover om de stervende Tycho te sparen, maar na zijn begrafenis maakte Kepler gebruik van Brahe's zeer nauwkeurige metingen om de beroemde wetten van Kepler te kunnen afleiden. In deze wetten worden de planeetbanen voor het eerste beschreven als ellipsen. Alle modellen tot dan toe gingen uit van cirkelbanen. De cirkel werd gezien als de perfecte figuur en men nam aan dat de hemelse sferen alleen door perfectie werden geregeerd. Het feit dat het uiteindelijk ellipsen blijken te zijn volgt uit de metingen van Brahe, maar was moeilijk te accepteren in eerste instantie door zelfs Kepler, die het toch zelf heeft bedacht.

## 10.2 Debatteren in de wetenschap

### 10.2 Debatteren in de wetenschap

## Hoe bepaal je wie gelijk heeft?

In de wetenschap kan niet altijd alles (op dat moment) met feiten gestaafd worden. Vaak zijn er verschillende modellen om een bepaald fenomeen te verklaren, modellen met elk verschillende mogelijkheden. Welk model kies je dan? In het geval van geocentrisme en heliocentrisme is er eeuwenlang gedebatteerd over de voors en tegens van deze modellen. Op het moment dat dit debat werd gevoerd waren de waarnemingen van de hemel ook niet voldoende overtuigend om het debat in één keer te beslissen.

Een nog veel gebruikte methode om een beslissing te nemen over welk model je prefereert is het zogenaamde 'scheermesprincipe van Ockham' (Willem van Ockham, Engelsman, leefde van ongeveer 1300 tot 1350). Dit komt erop neer dat men bij verschillende goede mogelijkheden de eenvoudigste kiest, of die waar de minste extra aannames voor hoeven te worden gemaakt.

Een andere manier om tot een keuze te komen welk model moet worden gekozen is het principe van 'elegant' of 'mooi'. We zagen dat principe bijvoorbeeld bij de hemelmodellen van Ptolemaeus en Copernicus, die uitgaan van cirkelbewegingen. Veel mensen vonden de cirkel de meest volmaakte en eenvoudigste vorm. Welk model uiteindelijk het model wordt is niet altijd een weloverwogen keuze.

Een heel 'menselijke' manier van overtuigen is 'welsprekendheid'. Iemand kan gelijk krijgen door de manier waarop hij praat, zonder dat hij betere argumenten hoeft te hebben. Een andere reden waarom iemands voorstel wordt aangenomen, kan het gezag zijn dat hij of zij uitstraalt. Een goed voorbeeld hiervan is natuurlijk de kerk, die lang tegen het heliocentrische model heeft geageerd.

## Debatopdracht

In het verleden konden wetenschappers geen keus maken tussen het geo- en het heliocentrische model. Je gaat nu een debat voeren, waarbij aanhangers van deze twee verschillende modellen proberen hun model te presenteren en verdedigen. Je gebuikt hiervoor argumenten uit de tijd dat het debat werd gevoerd. Tegenwoordig zijn telescoopwaarnemingen zo goed dat er geen discussie meer mogelijk is over dit thema, maar vlak na de Middeleeuwen lag dit wat anders. De geocentristen hadden een aantal goede argumenten voor hun standpunt.

### Rolverdeling

De groep wordt verdeeld in: geocentristen, heliocentristen, journalisten en twee debatleiders.

De **geocentristen** en de **heliocentristen** gaan in een debat respectievelijk het geocentrische wereldmodel van Ptolemaeus en het heliocentrische wereldmodel van Copernicus presenteren en verdedigen. Dat doen ze door verschillende waarnemingen, die vanaf de Aarde gedaan kunnen worden met hun model, zo overtuigend mogelijk te verklaren. Uiteraard vallen ze daarbij het wereldmodel van hun tegenstanders aan.

De **journalisten** volgen het debat en stellen kritische vragen aan beide partijen. Daarnaast maken ze korte aantekeningen over de gebruikte argumenten. Aan het eind van het debat bepalen de journalisten welke partij het debat gewonnen heeft.

De **debatleiders** zitten het debat voor en bewaken strikt de tijd. Ze houden de structuur en de spelregels in de verschillende rondes goed in de gaten. In rondes waar geïnterrupteerd mag worden, bepalen de debatleiders wie wanneer het woord krijgt.

Jij hebt van de docent een rol toegewezen gekregen.

Lees eerst de volgende twee bestanden en kijk daarna naar je rol om je goed voor te bereiden op het debat.



[Structuur van het debat](#)



[Lijst met waarnemingen](#)

## Geocentristen

### Vorbereiding

De verschillende groepen bereiden zich voor op het debat. Het debat wordt gedaan vanuit 16e eeuwse perspectief: de modernste waarnemingen uit de sterrenkunde kun je dus niet gebruiken. Bereid je als geocentrist als volgt voor:

- Lees (nogmaals) het eerste deel van hoofdstuk 10 over Wereldbeelden
- Bekijk deze [lijst met waarnemingen](#) die vanaf de Aarde gedaan kunnen worden en die dus vanuit de modellen verklaard moeten kunnen worden.
- Bekijk de [structuur van het debat](#).
- Ga op zoek op internet naar argumenten voor het geocentrische wereldbeeld, vanuit het perspectief van iemand in de 15e/16e eeuw. Wat wisten ze toen wel en wat niet? Neem hierbij de lijst met waarnemingen die je net hebt bekeken mee; het debat zal daaraan worden opgehangen.

Tijdens de voorbereiding dien je het volgende te kunnen/gedaan te hebben:

- Beschrijven hoe het geocentrische wereldbeeld in elkaar zit.
- De verschillende waarnemingen die vanaf de Aarde gedaan kunnen worden verklaren met het eigen wereldbeeld/model.
- Argumenten aandragen waarom het eigen model beter is dan het andere. Probeer je daarbij ook in te leven in de tegenstanders om tegenargumenten paraat te hebben.
- Afspreken wie in welke ronde van het debat het woord gaat voeren. Daarbij is het heel goed mogelijk verschillende 'experts' in te zetten bij het verklaren van de verschillende waarnemingen.

## Heliocentristen

### Vorbereiding

De verschillende groepen bereiden zich voor op het debat. Het debat wordt gedaan vanuit 16e eeuwse perspectief: de modernste waarnemingen uit de sterrenkunde kun je dus niet gebruiken. Bereid je als heliocentrist als volgt voor:

- Lees (nogmaals) het eerste deel van hoofdstuk 10 over Wereldbeelden
- Bekijk deze [lijst met waarnemingen](#) die vanaf de Aarde gedaan kunnen worden en die dus vanuit de modellen verklaard moeten kunnen worden.
- Bekijk de [structuur van het debat](#).
- Ga op zoek op internet naar argumenten voor het heliocentrische wereldbeeld, vanuit het perspectief van iemand in de 15e/16e eeuw. Wat wisten ze toen wel en wat niet? Neem hierbij de lijst met waarnemingen die je net hebt bekeken mee; het debat zal daaraan worden opgehangen.

Tijdens de voorbereiding dien je het volgende te kunnen/gedaan te hebben:

- Beschrijven hoe het heliocentrische wereldbeeld in elkaar zit.
- De verschillende waarnemingen die vanaf de Aarde gedaan kunnen worden verklaren met het eigen wereldbeeld/model.
- Argumenten aandragen waarom het eigen model beter is dan het andere. Probeer je daarbij ook in te leven in de tegenstanders om tegenargumenten paraat te hebben.
- Afspreken wie in welke ronde van het debat het woord gaat voeren. Daarbij is het heel goed mogelijk verschillende 'experts' in te zetten bij het verklaren van de verschillende waarnemingen.

## Debatleiders



## Vorbereiding

De verschillende groepen bereiden zich voor op het debat. Het debat wordt gedaan vanuit 16e eeuwse perspectief: de modernste waarnemingen uit de sterrenkunde kunnen dus niet worden gebruikt. Bereid je als debatleider als volgt voor:

- Lees (nogmaals) het eerste deel van hoofdstuk 10 over Wereldbeelden
- Bekijk deze [lijst met waarnemingen](#) die vanaf de Aarde gedaan kunnen worden en die dus vanuit de modellen verklaard moeten kunnen worden.
- Bekijk de [structuur van het debat](#).
- Lees je nog wat meer in door informatie te zoeken op internet, vooral met het oog op het perspectief van de 15e/16e eeuw: Wat wist men toen al wel en wat niet?

Tijdens de voorbereiding dien je het volgende te kunnen/gedaan te hebben:

- Van beide modellen weten hoe ze in elkaar zitten.
- Weten (en snappen!) welke waarnemingen er verklaard moeten worden.
- De structuur en het tijdschema van het te voeren debat precies kennen en op zo'n manier voor jezelf opschrijven dat daar tijdens het debat te allen tijde op teruggegrepen kan worden.
- Een inleidend praatje voor de opening van het debat voorbereiden.
- Afspreken wie tijdens het debat wat gaat doen (voorzitten, tijd bewaken, verklaarde verschijnselen doorstrepen).

## Journalisten

### Vorbereiding

De verschillende groepen bereiden zich voor op het debat. Het debat wordt gedaan vanuit 16e eeuwse perspectief: de modernste waarnemingen uit de sterrenkunde kunnen dus niet gebruikt worden. Bereid je als journalist als volgt voor:

- Lees (nogmaals) het eerste deel van hoofdstuk 10 over Wereldbeelden
- Bekijk deze [lijst met waarnemingen](#) die vanaf de Aarde gedaan kunnen worden en die dus vanuit de modellen verklaard moeten kunnen worden.
- Bekijk de [structuur van het debat](#).
- Ga op zoek op internet naar argumenten voor het geocentrische en het heliocentrische wereldbeeld, vanuit het perspectief van iemand uit de 15e/16e eeuw. Wat wisten ze toen wel en wat niet? Neem hierbij de lijst met waarnemingen die je net hebt bekeken mee; het debat zal daaraan worden opgehangen.

Tijdens de voorbereiding dien je het volgende te kunnen/gedaan te hebben:

- Van beide modellen weten hoe in elkaar zitten.
- Bij beide modellen kritische vragen kunnen stellen, zowel over de verklaringen van de verschijnselen als over de andere gebruikte argumenten. Daarvoor is het nodig van te bedenken welke verklaringen en argumenten je kunt verwachten.
- Afspreken wie tijdens het debat wat gaat doen: vragen stellen of aantekeningen maken.

# Tenslotte

## Afsluiting

Bij de metingen van S2 zagen we dat deze ster met een grote snelheid in een ellipsbaan om het centrum van de Melkweg beweegt. De grote snelheid van de sterren in het centrum van de Melkweg wijst erop dat er een grote massa in het midden aanwezig is. In de antwoorden op de vragen 25 en 26 heb je gevonden dat er dus wel degelijk sprake is van een groot zwart gat in het centrum van ons melkwegstelsel.

Niet veel mensen maken zich daar erg ongerust over. Maar bij de start van een grote versneller in CERN bij Genève was er toch wel wat ongerustheid over het ontstaan van een zwart gat bij het inschakelen. Er werd gespeculeerd dat dit zwarte gat de Aarde op zou slokken: [Kosmische ramp deeltjesversneller CERN weerlegd](#).

# D-toets

# Eindopdracht

# Over deze module

Docentenhandleidingen en toetsen zijn voor docenten verkrijgbaar via de bètasteunpunten: zie colofon.

# Over dit lesmateriaal

## Colofon

<b>Auteurs</b>	Bètapartners
<b>Team</b>	Wikiwijs Maken Auteurs
<b>Laatst gewijzigd</b>	7 mei 2015 om 15:04
<b>Licentie</b>	De Nederlandse Creative Commons 3.0 licentie waarbij de gebruiker het werk mag kopiëren, verspreiden en doorgeven en afgeleide werken mag maken onder de voorwaarden: Naamsvermelding en Gelijk Delen, zie <a href="http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/nl/">http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/nl/</a> . <a href="#">Meer informatie over de CC Naamsvermelding-GelijkDelen 3.0 Nederland licentie licentie.</a>

## Aanvullende informatie over dit lesmateriaal

Van dit lesmateriaal is de volgende aanvullende informatie beschikbaar:

<b>Leerniveaus</b>	VWO 6, HAVO 5, VWO 5
<b>Leerinhoud en doelen</b>	Aarde, natuur en heelal, Natuur, leven en technologie
<b>Eindgebruiker</b>	leerling/student
<b>Studiebelasting</b>	40 uur en 0 minuten
<b>Trefwoorden</b>	e-klassen rearrangeerbaar

## Bronnen

[//www.youtube.com/embed/IHHTKOUrgIs](http://www.youtube.com/embed/IHHTKOUrgIs)  
[//www.youtube.com/embed/IHHTKOUrgIs](http://www.youtube.com/embed/IHHTKOUrgIs)

lunar eclips  
<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/440366973219f36ef45076b28347c152.swf>

<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/a99a3740ceda5ca46732e344e9d7db6f.swf>  
<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/a99a3740ceda5ca46732e344e9d7db6f.swf>

[//www.youtube.com/embed/nsKGvTmu-Jw](http://www.youtube.com/embed/nsKGvTmu-Jw)  
[//www.youtube.com/embed/nsKGvTmu-Jw](http://www.youtube.com/embed/nsKGvTmu-Jw)

<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/b3fdb2b867c2ae442a04481beca59a.swf>  
<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/b3fdb2b867c2ae442a04481beca59a.swf>

<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/a1bb253e3d1a3556432f7c313b102cba.swf>  
<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/a1bb253e3d1a3556432f7c313b102cba.swf>

<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/89db83e308a52dbea8b319eafee1c1e6.swf>  
<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/89db83e308a52dbea8b319eafee1c1e6.swf>

<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/abda194dfafa5fcd0234bdfd92f97dc1.swf>  
<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/abda194dfafa5fcd0234bdfd92f97dc1.swf>

<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/dad1a88ff2d4b138a92572a1246e0866.swf>  
<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/dad1a88ff2d4b138a92572a1246e0866.swf>

<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/b3c95f7fac4ffa7cedfd509f05c39414.swf>  
<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/b3c95f7fac4ffa7cedfd509f05c39414.swf>

<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/7354ed35114861a724d60a7391884637.swf>  
<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/7354ed35114861a724d60a7391884637.swf>

<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/3f486405bbd8e3240141df209e18e3f0.swf>  
<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/3f486405bbd8e3240141df209e18e3f0.swf>

Deel 1: Over massa gesproken  
<http://av-media.vu.nl/VUmedia/viewer/?peid=243d96a5a7364e4fb92e05358803fc14>

Deel 2: Over massa gesproken  
<http://av-media.vu.nl/VUmedia/viewer/?peid=243d96a5a7364e4fb92e05358803fc14&PlayFrom=830000>

Deel 3: Over massa gesproken  
<http://av-media.vu.nl/VUmedia/viewer/?peid=243d96a5a7364e4fb92e05358803fc14&PlayFrom=2673000>

### **Gebruikte Wikiwijs Arrangementen**

*Metten aan melkwegstelsels (2014)*

**Link:** <https://maken.wikiwijs.nl/45887/>

**Auteur:** , Bètapartners