

19 Sterrenkunde

vwo

19.1 Het zonnestelsel

- 1*** De zon staat twee keer per jaar precies boven de evenaar.
- a** Welk jaargetijde begint er op het noordelijk halfrond als de zon boven de evenaar staat komen vanaf het zuidelijk halfrond.
 - b** Welk jaargetijde begint er dan op het zuidelijk halfrond?
- 2*** Sommige mensen denken dat in december de dagen korter zijn dan in de zomer.
- a** Leg uit waarom deze mensen geen gelijk hebben.
- 3**** De baan van de aarde om de zon is bijna cirkelvormig. De aarde ontvangt daardoor iedere dag ongeveer evenveel energie van de zon. Toch is de temperatuur in de zomer hoger dan in de winter.
- a** Leg uit waarom het in de zomer warmer is dan in de winter.
 - b** Leg uit of dit temperatuurverschil te maken heeft met de afstand van de aarde tot de zon.
- Vanwege de verandering van de afstand tussen de aarde en de zon is het temperatuurverschil tussen zomer en winter op het zuidelijk halfrond groter dan op het noordelijk halfrond.
- c** Leg uit waarom dit het geval is.
- 4***
- a** Hoe ziet de maan eruit bij nieuwe maan en hoe bij volle maan?
 - b** Wanneer is het springtij, bij nieuwe maan, bij volle maan of bij zowel nieuwe- als volle maan. Verklaar je antwoord.

5* In de christelijke traditie vieren we Pasen op de zondag na de eerste volle maan in de lente. De datum van Pasen verschilt dus per jaar.

- a** Zoek op internet de datum van de eerste volle maan van de lente op en controleer op de zondag erop inderdaad Pasen is.

6** **a** Leg uit waarom er niet iedere maand een maansverduistering en een zonsverduistering is.

Een maansverduistering komt vaker voor dan een zonsverduistering.

- b** Leg uit waarom een zonsverduistering zeldzamer is dan een maansverduistering. Maak bij je uitleg gebruik van een schets.

7* Iedere planeet in het zonnestelsel heeft zijn eigen jaar (de omlooptijd om de zon) en zijn eigen dag (de omlooptijd om zijn eigen as).

- a** Zoek op welke planeet het kortste jaar heeft en welke het langste jaar.

- b** Zoek op welke planeet de kortste dag heeft en welke de langste dag.

8* Alle planeten draaien zowel om de zon als om hun eigen as. Bij één planeet duurt een dag langer dan een jaar.

- a** Zoek op welke planeet dit is.

Bij twee planeten is de rotatie om de as tegengesteld aan de rotatie om de zon.

- b** Zoek op welke planeten dit zijn.

Oom Henk beweert dat hoe verder een planeet van de zon staat hoe langer een jaar voor deze planeet duurt.

- c** Controleer of oom Henk gelijk heeft.

Tante Truus beweert dat hoe verder een planeet van de zon staat hoe langer een dag voor deze planeet duurt.

- d** Controleer of tante Truus gelijk heeft.

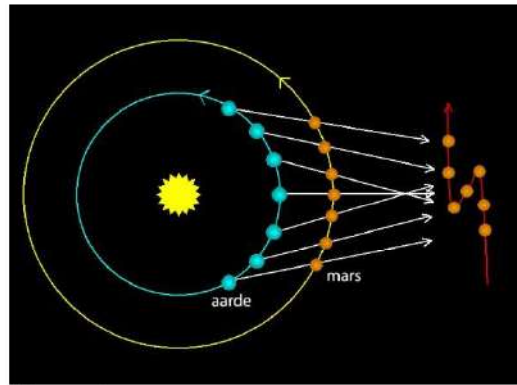
9*** De binnenste vier planeten: Mercurius – Venus – Aarde – Mars hebben een dichtheid van ongeveer $5,5 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ en hebben een vast oppervlak. Ze worden ook wel "steenplaneten" genoemd. De dichtheid van de buitenste vier planeten: Jupiter – Saturnus – Uranus – Neptunus is vijf keer kleiner en ze hebben geen vast oppervlak. Het zijn gasbollen en worden daarom "gasplaneten" genoemd. Voor het volume van een bol geldt: $V = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3$.

- Stel dat de aarde zou veranderen in een gasplaneet. Hoeveel keer groter zou het volume (de inhoud) van de aarde dan zijn?
- Hoe groot zou de straal van de aarde dan zijn?

10*** Planeet Mars heeft vanaf de aarde gezien een merkwaardige baan. De bewegingsrichting lijkt om te keren, zie figuur 1. De verklaring voor dit verschijnsel wordt gegeven in figuur 2.



Figuur 1



Figuur 2

- Leg met behulp van figuur 2 uit hoe het komt dat gezien vanaf de aarde de bewegingsrichting van Mars lijkt om te keren.

Je ziet in figuur 1 ook dat de baan van Mars een lus heeft.

- Geef hiervoor een verklaring.

11* De banen van de planeten bewegen niet allemaal in hetzelfde platte vlak. Ten opzichte van het vlak waarin de aarde om de zon draait heeft het vlak waarin een planeet beweegt een bepaalde hoek. Dit noem je de helling ten opzichte van de ecliptica.

- Bij welke van de planeten is de helling ten opzichte van de ecliptica het grootst en hoe groot is deze grootste hellingshoek?
- Hebben de dwergplaneten Ceres en Pluto een grotere of een kleinere hellingshoek?

- 12***** De ruimtesonde New Horizons is op 19 januari 2006 gelanceerd met als doel dwergplaneet Pluto en de Kuipergordel te onderzoeken. Op 14 juli 2015 kwam de sonde aan bij Pluto. De New Horizons is daarna verdergegaan naar de Kuipergordel.



- a** Bereken de gemiddelde snelheid van New Horizons. Schat hiertoe het aantal dagen tussen de twee gegeven data.

In werkelijkheid is de maximale snelheid van New Horizons is 16,3 km/s.

- b** Is dit in overeenstemming met je antwoord op vraag a? Zo niet, verklaar het verschil.

- 13**** Op 15 februari 2013 is de Russische stad Tsjeljabinsk getroffen door een meteoriet. De meteoroïde met een diameter van 17 meter en een massa van 9000 ton kwam de atmosfeer binnen met een snelheid van 54.000 km/h. Op 30 km hoogte explodeerde de meteoroïde.



De vrijgekomen energie bij de explosie komt overeen met 500 kiloton TNT. Ter vergelijking: de atoombom die boven Hiroshima ontplofte had een explosiekracht van "slechts" 15 kiloton TNT. De schokgolf van de inslag was zo hevig dat de golf twee rondjes om de aarde heeft gemaakt.

Zo'n grote meteoriet komt gemiddeld eens in de 50 jaar op aarde voor. Ongeveer 2% van het aardoppervlak wordt door mensen bewoond.

- a** Hoeveel jaar zit er gemiddeld tussen twee inslagen van zo'n grote meteoriet in bewoond gebied?
- b** Maak een schatting hoeveel jaar er gemiddeld zit tussen twee inslagen van zo'n grote meteoriet in Nederland.

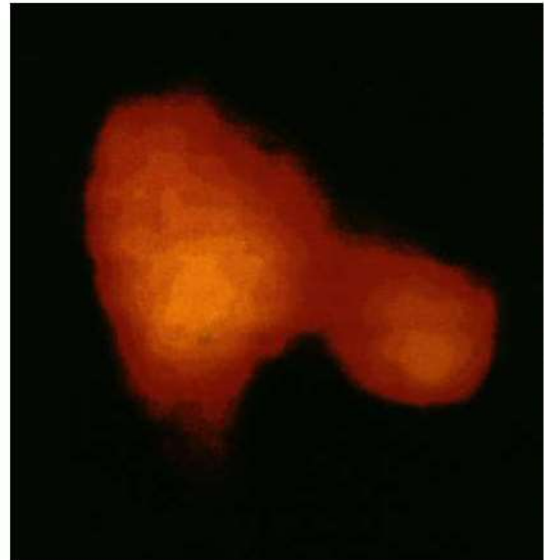
14** De komeet van Halley komt iedere 76 jaar voorbij en is afkomstig uit de Kuiper-gordel.

a Waar bevindt zich de Kuipergordel?

De komeet heeft de vorm van een pinda (zie figuur), is $15 \times 8 \times 8$ km groot en heeft een massa van $2,2 \cdot 10^{14}$ kg.

b Bereken de dichtheid van de komeet van Halley.

c Kan de komeet van Halley volledig uit steen of uit ijzer bestaan?

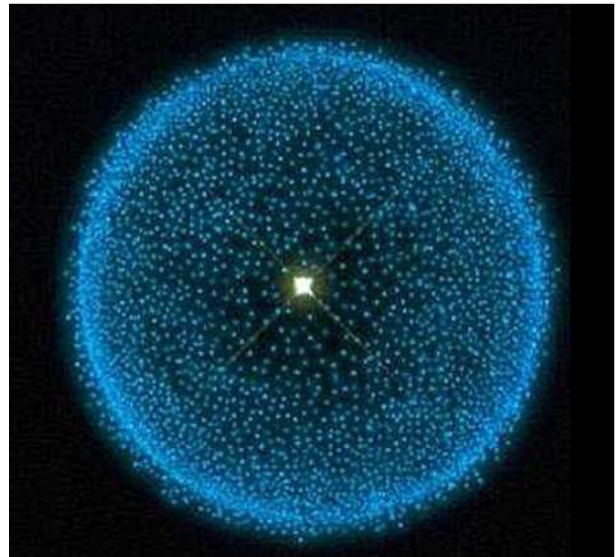


15** De Oortwolk (genoemd naar de Nederlandse astronoom Jan Oort) is een bolvormig gebied met brokstukken op een afstand van 10.000 tot 100.000 astronomische eenheden (AE) van de zon. Eén astronomische eenheid (AE) is gelijk aan de afstand van de aarde tot de zon.

a Op hoeveel AE van de zon bevindt zich dwergplaneet Pluto zich gemiddeld?

b Op hoeveel AE van de zon bevindt zich de dichtstbijzijnde ster Proxima Centauri?

c Bevindt de Proxima Centauri zich in de Oortwolk?



19.2 Sterren en sterrenstelsels

- 1****
- a Hoeveel seconden heeft licht nodig om van de maan naar de aarde te reizen?
 - b Hoeveel uur heeft licht nodig om van de zon naar dwergplaneet Pluto te reizen?
 - c Hoeveel jaar heeft licht nodig om naar het middelpunt van de Melkweg te reizen?

2** Een zandkorreltje heeft een volume van $0,015 \text{ mm}^3$.

- a Hoeveel kubieke meter zand bevat evenveel zandkorrels als dat er sterren in de Melkweg zijn?

Een zandzak heeft de vorm van een cilinder met een straal van 15 cm en een hoogte van 40 cm.

- b Hoeveel zandzakken kun je vullen met het zand van vraag a?

3** Het heelal bevat ongeveer 100 miljard sterrenstelsels met in ieder stelsel ongeveer 100 miljard sterren.

- a Hoeveel sterren zijn er in totaal?

De zon heeft een massa van $1,9884 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ en is een gemiddelde ster. We gaan er van uit dat sterren grotendeels uit waterstofatomen bestaan.

- b Hoeveel waterstofatomen zijn er dan ongeveer in het heelal?

4** Behalve sterren bevat het heelal ook nevels. In sommige nevels, zoals de Arendnevel (zie figuur), ontstaan nieuwe sterren. De Arendnevel staat op $6,62 \cdot 10^{16} \text{ km}$ van de zon.

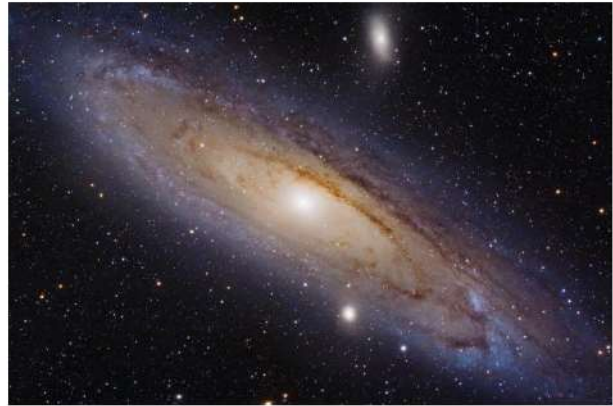
- a Over hoeveel jaar zien we de sterren die op dit moment in de Arendnevel worden geboren?



- 5** Het Andromeda-stelsel staat op een afstand van 2,54 miljoen lichtjaar van de zon.

Met een telescoop speuren we naar intelligent leven dat zich mogelijk in dit stelsel bevindt.

- a Stel dat we geen intelligent leven waarnemen, betekent dat dan dat er ook geen intelligent leven is?



- 6** Het sterrenstelsel Messier 87 bevindt zich in de Virgo cluster en is in 1781 door de Franse astronoom Charles Messier ontdekt. De afstand van dit sterrenstelsel tot de zon is 53,5 miljoen lichtjaar.

- a Stel dat je op dit moment op een planeet ergens in het Messier 87 stelsel met een supertelescoop naar de aarde zou kijken, zou je dan dinosaurussen zien rondlopen?



- 7** De ruimtesondes Voyager 1 en 2 zijn in 1977 gelanceerd met als doel om de gasplaneten Jupiter – Saturnus – Uranus – Neptunus en om daarna de buitenste regionen van ons zonnestelsel te onderzoeken. Intussen hebben de Voyagers ons zonnestelsel verlaten en bevinden ze zich in de interstellaire ruimte.

Aan boord van de Voyagers bevindt zich een gouden grammofoon-opname met geluid en beelden die geselecteerd zijn om de diversiteit van het leven en de cultuur op aarde zo goed mogelijk weer te geven. Ze zijn bedoeld als boodschap aan buitenaardse levensvormen.



Hoewel het reisdoel van de Voyagers niet gericht is op een bepaalde ster, zal de Voyager 1 over 40.000 jaar in de nabijheid zijn van de ster Gliese 445 op een afstand van 17,42 lichtjaar.

- a Bereken de gemiddelde snelheid van de Voyager 1 ruimtesonde.

8***

In Melkweg is de gemiddelde afstand tussen twee sterren niet overal gelijk. In de buurt van de zon is er ongeveer één ster in een volume van 250 kubieke lichtjaar.

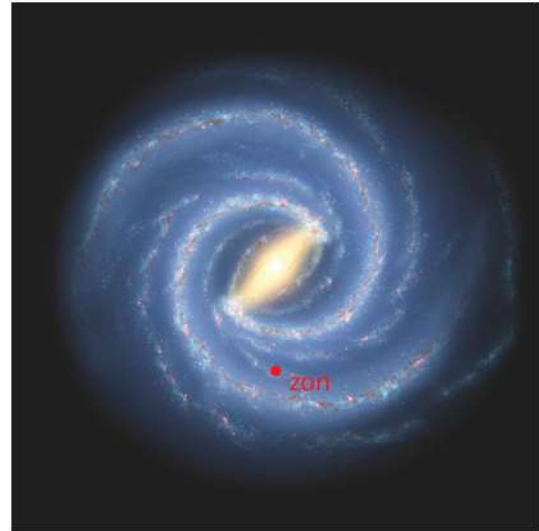
- a Hoe groot is de gemiddelde afstand tussen twee sterren in de buurt van de zon?

We gaan er van uit dat gemiddeld iedere ster één planeet heeft. Verder gaan we er van uit dat op één procent van de planeten de omstandigheden vergelijkbaar zijn met die op aarde.

- b Bereken de gemiddelde afstand in lichtjaar tussen de aarde en de meest nabije aardachtige planeet.

Tenslotte gaan we er van uit dat op één procent van de aardachtige planeten een bepaalde vorm van leven is ontstaan.

- c Bereken de gemiddelde afstand in lichtjaar tussen de aarde en de meest nabije planeet met buitenaards leven.



19.3 Cirkelbeweging

Cirkelbeweging op aarde

- 1***
- a** Wat is een eenparige cirkelbeweging?
 - b** Waarom is er voor een eenparige cirkelbeweging een kracht nodig?
 - c** Hoe heet deze kracht en wat weet je van deze kracht?
- 2****
- Waar komt de middelpuntzoekende kracht in onderstaande gevallen vandaan?
- a** Een steen aan een touw die horizontaal wordt rondgeslingerd.
 - b** Een steen aan een touw die verticaal wordt rondgeslingerd.
 - c** Een zitje van een draaiende zweefmolen.
 - d** De was in een horizontaal draaiende centrifuge.
 - e** De was in een verticaal draaiende centrifuge.
 - f** Een satelliet die om de aarde draait.
- 3****
- Je rijdt met je fiets 100 meter in 13 seconde. De omtrek van je fietswiel is 2,2 meter.
- a** Hoe groot is de baansnelheid van je fietsband?
 - b** Bereken de straal van je fietswiel.
 - c** Bereken de omlooptijd van je fietswiel.
 - d** Bereken de (draai) frequentie van het wiel.
- 4****
- Een vrachtauto met een massa van 10 ton rijdt met 80 km/h door een bocht. De bocht heeft een straal van 300 m.
- a** Bereken de middelpuntzoekende kracht op de vrachtauto.
 - b** Waar komt de middelpuntzoekende kracht vandaan?

5*** Een wasmachine heeft tijdens het centrifugeren een toerental van 1200 omlopen per minuut.

- a** Bereken de (omloop) frequentie van de trommel tijdens het centrifugeren.

De trommel heeft een diameter van 45 cm. Een natte handdoek van 600 gram wordt tegen de trommelwand rondgeslingerd.

- b** Waarom "plakt" tijdens het centrifugeren de natte handdoek tegen de trommelwand?
- c** Bereken de baansnelheid van de natte handdoek tijdens het centrifugeren.
- d** Bereken de middelpuntzoekende kracht op de natte handdoek tijdens het centrifugeren.
- e** Leg uit hoe de centrifuge er voor zorgt dat de handdoek droger wordt.
- f** Leg uit of F_{mpz} tijdens het centrifugeren groter wordt, kleiner wordt of gelijk blijft.



6*** Sanne ($m = 63 \text{ kg}$) rijdt op haar scooter met een snelheid van 45 km/h door een bocht met een straal van 20 meter.

- a** Voelt Sanne dat ze een bocht neemt?
- b** Bereken F_{mpz} op Sanne.
- c** Waar komt de middelpuntzoekende kracht vandaan?



Daarna komt er een scherpe bocht met een straal van 5,0 m. Sanne wil de bocht nemen met dezelfde middelpuntzoekende kracht.

- d** Met welke snelheid moet Sanne de scherpe bocht nemen?

De middelpuntzoekende versnelling vind je door de middelpuntzoekende kracht te delen door de massa: $a_{mpz} = \frac{F_{mpz}}{m}$. Om niet uit de bocht te vliegen mag de middelpuntzoekende versnelling niet groter zijn dan de valversnelling $9,81 \text{ m/s}^2$.

- e** Bereken de maximale snelheid waarmee Sanne de bocht mag nemen.

Als de weg na een regenbui glad is mag F_{mpz} (en ook a_{mpz}) maximaal de helft zijn dan anders.

- f Moet Sanne dan ook met de helft van de snelheid de bocht nemen?
Zo niet, met welke snelheid dan wel?

7**** Vera ($m = 47 \text{ kg}$) zit op een schommel met touwen van 2,4 meter lang. De massa van de touwen en van de zitplank wordt verwaarloosd.

- a Bereken de spankracht in één touw als Vera nog niet aan het schommelen is.

Vera gaat schommelen waarbij ze met een snelheid van $3,0 \text{ m/s}$ het de evenwichtsstand (het onderste punt) passeert.

- b Is de spankracht in een touw groter, kleiner of gelijk aan de spankracht als Vera stil hangt.
- c Bereken de middelpuntzoekende kracht als Vera het onderste punt passeert.
- d Bereken de spankracht in één touw als Vera het onderste punt passeert.

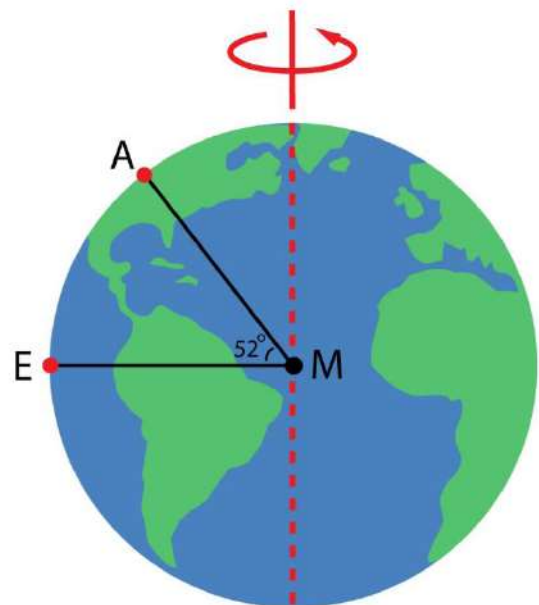


8**** De aarde draait in 24 uur om haar as.

- a Hoe groot is de baansnelheid op de Noordpool?
- b Hoe groot is de baansnelheid op de evenaar?
- c Hoe groot is de middelpuntzoekende kracht op een persoon van 70 kg op de evenaar?
- d Waar komt de middelpuntzoekende kracht vandaan?

Amsterdam ligt op 52 graden noorderbreedte, zie figuur.

- e Is de baansnelheid in Amsterdam groter, kleiner of even groot als v_{baan} op de evenaar?



Voor de middelpuntzoekende kracht geldt: $F_{\text{mpz}} = \frac{m \cdot v_{\text{baan}}^2}{r} = \frac{4\pi^2 \cdot m \cdot r}{T^2}$

f Toon dit aan.

g Is de middelpuntzoekende kracht op een persoon van 70 kg in Amsterdam groter, kleiner of even groot als F_{mpz} op de evenaar?

h Bereken F_{mpz} op een persoon van 70 kg in Amsterdam.

Cirkelbeweging in de ruimte

9** De aarde maakt vrijwel een cirkelbeweging om de zon.

a Bereken de baansnelheid van de aarde om de zon.

b Bereken de middelpuntzoekende kracht die de zon op de aarde uitoefent.

Voor de middelpuntzoekende kracht geldt: $F_{\text{mpz}} = \frac{m \cdot v_{\text{baan}}^2}{r} = \frac{4\pi^2 \cdot m \cdot r}{T^2}$

c Bereken de middelpuntzoekende kracht die de zon op Saturnus uitoefent.

d Is F_{mpz} die op Saturnus wordt uitgeoefend groter of kleiner dan F_{mpz} die op de aarde wordt uitgeoefend?

e Is de baansnelheid van Saturnus groter of kleiner dan de baansnelheid van de aarde?

10*** De zon heeft een cirkelvormige baan om het centrum van de Melkweg. Eén omloop duurt 245 miljoen jaar. De afstand van de zon tot het centrum van de Melkweg is 26 duizend lichtjaar.

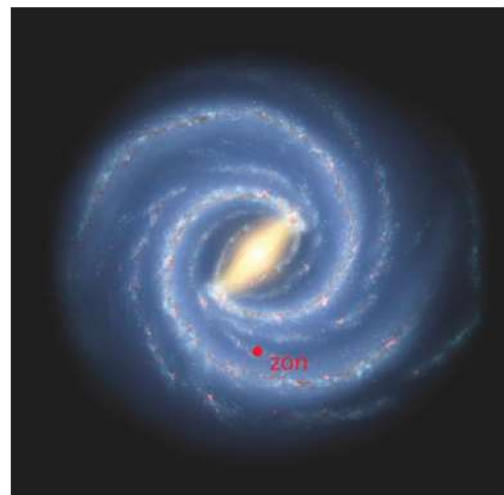
a Bereken de baansnelheid van de zon.

b Bereken F_{mpz} die op de zon wordt uitgeoefend.

De tijd waarin de zon éénmaal rond het centrum van de Melkweg draait heet een galactisch jaar. De zon is ongeveer 4,5 miljard jaar oud en is nu op de helft van haar leven.

c Hoeveel galactische jaren heeft de zon ongeveer gehad?

d Hoeveel galactische jaren wordt de zon oud?



19.4 Gravitatie

1** Twee stenen hebben beide een massa van 1,0 kg. De zwaartepunten van de stenen bevinden zich op 1,0 m afstand van elkaar.

a Bereken de aantrekkende gravitatiekracht die deze stenen op elkaar uitoefenen.

In gedachten laten we de stenen krimpen tot een punt. Je spreekt dan van een puntmassa.

b Bereken de afstand tussen twee puntmassa's van 1,0 kg die een gravitatiekracht van 1,0 N op elkaar uitoefenen.

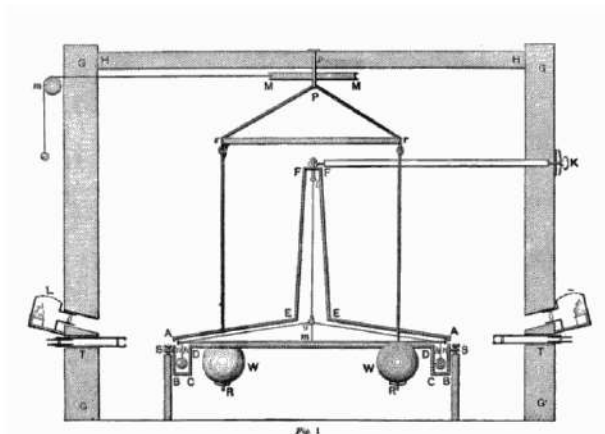
2** De valversnelling heeft als symbool g en de gravitatieconstante G .

a Leid de formule af voor g die volgt uit de gravitatiewet van Newton.

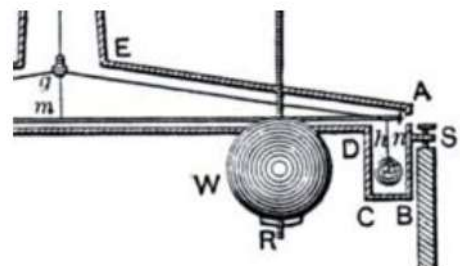
b Geef de eenheid af van de gravitatieconstante G in basiseenheden.

c Leid de eenheid van g af uit de gravitatiewet van Newton.

3*** Omdat de gravitatiekracht tussen twee massa's erg zwak is kost het bepalen G veel moeite. In 1798 lukte het Henry Cavendish om met een ingenieus meetinstrument voor G een waarde van $6,754 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$ te bepalen. In zijn meetinstrument bevinden zich twee loden bollen. Zie figuur 1.



Figuur 1



detail met de loden bollen

De grote bol heeft een diameter van 300 mm en de kleine bol een diameter van 51 mm. Voor het volume van een bol geldt: $V = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3$

- a Bereken de massa's van de twee loden bollen.
- b Bereken de gravitatiekracht tussen de twee bollen als de afstand tussen de bollen gemeten vanaf de buitenkant 1,0 cm is.

4** Met behulp van de waarde van G en de valversnelling g kan de dichtheid van de aarde worden berekend. Voor het volume van een bol geldt $V = \frac{4}{3} \pi r^3$. De omtrek van de aarde is 40.030 km. Gemiddeld is de valversnelling op aarde: $g = 9,817 \text{ m/s}^2$.

Voor de valversnelling op aarde geldt: $g = G \cdot \frac{M_{\text{aarde}}}{r_{\text{aarde}}^2}$

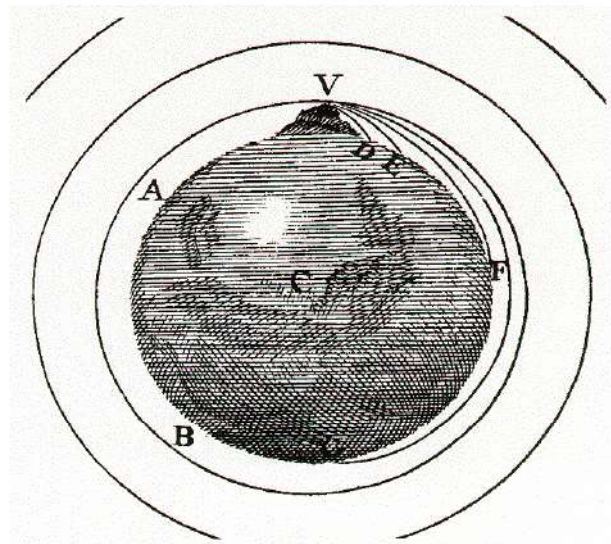
- a Bereken de massa van de aarde.
- b Bereken het volume van de aarde.
- c Bereken de gemiddelde dichtheid van de aarde.

De dichtheid van natuurstenen zoals graniet en marmer zit tussen 1,8 en 3,0 g / cm³. De dichtheid van veel voorkomende metalen zoals ijzer, tin en zink zit tussen 7,0 en 9,0 g / cm³. **HINT** 1 g/cm³ = 1000 kg/m³

- d Welke conclusie kun je trekken uit bovenstaande gegevens in combinatie met het antwoord op vraag c?

5*** Isaak Newton legt voor het eerst het verband tussen het vallen van een voorwerp (een appel) en de cirkelbaan van de maan om de aarde. Hij verduidelijkt dit met het volgende gedachtenexperiment.

Met een kanon wordt een kogel horizontaal weggeschoten. Het kanon bevindt zich vlak boven zeeniveau. Naarmate de beginsnelheid van de kogel toeneemt wordt de kogel steeds verder weggeschoten. Als de luchtweerstand mag worden verwaarloosd maakt de kogel bij een bepaalde beginsnelheid een rondje om de aarde.



In de figuur zie je de illustratie van dit gedachtenexperiment in Newton's boek "Philosophiae Naturalis Principia Mathematica" Deel 3 "Het systeem van de wereld".

- a Welke kracht werkt in dit gedachtenexperiment als middelpuntzoekende kracht?

Voor de beginsnelheid waarbij de kogel een rondje om de aarde maakt geldt:

$$v = \sqrt{g \cdot r_{\text{aarde}}}$$

- b** Toon dit aan.
- c** Bereken de beginsnelheid waarbij dit het geval is. Luchtwrijving wordt verwaarloosd.
- d** Bereken de omlooptijd van de kogel in uur.

6** De massa van de aarde is $5,972 \cdot 10^{24}$ kg en de massa van de maan is $0,0735 \cdot 10^{24}$ kg. De afstand van de maan tot de aarde is $384,4 \cdot 10^6$ m.

- a** Bereken de gravitatiekracht die de Aarde op de Maan uitoefent.
- b** Bereken de gravitatiekracht die de Maan op de Aarde uitoefent.
- c** Bereken de baansnelheid van de maan.

7**** De derde wet van Kepler luidt: $\frac{r^3}{T^2} = \frac{G \cdot M}{4\pi^2}$

- r is de straal van de cirkelbaan (m)
- T is de omlooptijd (s)
- G is de gravitatieconstante ($\text{N m}^2 \text{kg}^{-2}$)
- M is de massa in het middelpunt van de cirkel (kg)

Deze wet krijg je door de gravitatiekracht gelijk te stellen aan de middelpuntzoekende kracht.

- a** Toon dit aan.

Voor de (baan) snelheid geldt: $v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{r}}$.

- b** Toon dit aan.

8** De omlooptijd van de maan om de aarde (de siderische maand) duurt 27,321 dagen. De massa van de aarde is $5,972 \cdot 10^{24}$ kg.

- a** Bereken de afstand tussen de aarde en de maan.
HINT gebruik de derde wet van Kepler

9** Planeet Mars heeft een omlooptijd om de zon van 687,0 dagen.

a Bereken de afstand tussen Mars en de zon.

HINT gebruik de derde wet van Kepler

Omdat de planeten Aarde en Mars beide om de zon draaien verandert de afstand tussen Aarde en Mars voortdurend. Wil je een bemande ruimtevlucht naar Mars maken dan moet je een gunstig moment van vertrek kiezen, zodat de afstand niet al te groot is.

b Bereken de kortste afstand tussen Aarde en Mars.

Stel dat in een ruimtevlucht naar Mars de kortste afstand tussen Aarde en Mars wordt afgelegd en dat de reis 245 dagen duurt (8 maanden).

c Bereken de gemiddelde snelheid van de raket.

10** De afstand van de zon tot het centrum van de Melkweg is $2,5 \cdot 10^{20}$ meter. De omlooptijd van de zon is $2,45 \cdot 10^8$ jaar.

a Bereken de massa van het centrum van de Melkweg uitgedrukt in aantal keer de zonmassa. **HINT** gebruik de derde wet van Kepler

De massa die je hebt berekend is niet helemaal goed.

b Verwacht je dat de werkelijke massa groter of kleiner is dan de berekende massa? Leg je antwoord uit.

11*** Een ruimtecapsule draait in een cirkelvormige baan 112 km boven het maanoppervlak. De omlooptijd is 119 minuten. De straal van de maan is $1,738 \cdot 10^6$ meter.

a Bereken de (baan) snelheid van de ruimtecapsule.

b Bereken de massa van de maan. **HINT** $F_G = F_{mpz}$

12*** De Europese weersatelliet MetOP heeft een polaire baan om de aarde.

a Leg uit wat met een polaire baan wordt bedoeld.



De MetOP satelliet heeft een omlooptijd van 101 minuten en brengt de aarde ongeveer twee keer per dag vrijwel volledig in kaart.

b Bereken de afstand van de MetOP satelliet tot het middelpunt van de aarde.

HINT gebruik de derde wet van Kepler

c Hoeveel kilometer staat de MetOp satelliet boven het aardoppervlak?

13***

Het internationale ruimtestation ISS bevindt zich op een hoogte van 370 km.

a Bereken de omtrek van de baan van de ISS.

b Bereken de omlooptijd van de ISS in zijn baan om de aarde.

c Bereken de snelheid van de ISS in zijn baan om de aarde.



14***

Om de positie op aarde te bepalen is sinds de jaren '80 van de vorige eeuw het GPS (Global Positioning System) in gebruik. Momenteel bestaat het GPS systeem uit 32 satellieten. Op ieder moment zijn er vanaf iedere plaats op aarde 9 GPS satellieten zichtbaar. Omdat een minimum van 4 zichtbare GPS satellieten vereist is om een positie vast te leggen is het systeem betrouwbaar. Ook als er een paar satellieten uitvallen blijft het GPS-systeem werken.

Een GPS satelliet staat op een hoogte van 26.600 km gerekend vanaf het middelpunt van de aarde.

a Bereken de omlooptijd van de GPS satelliet.

b Bereken hoeveel graden de aarde om haar as is gedraaid in de omlooptijd van een GPS satelliet.

c Hoeveel omlopen maakt een GPS satelliet per dag om de aarde?



15*** De Europese weersatellieten Meteosat, hebben een geostationaire baan om de aarde.

a Leg uit wat met een geostationaire baan wordt bedoeld.

Een geostationaire satelliet bevindt zich altijd boven de evenaar.

b Leg uit waarom dit noodzakelijk is.

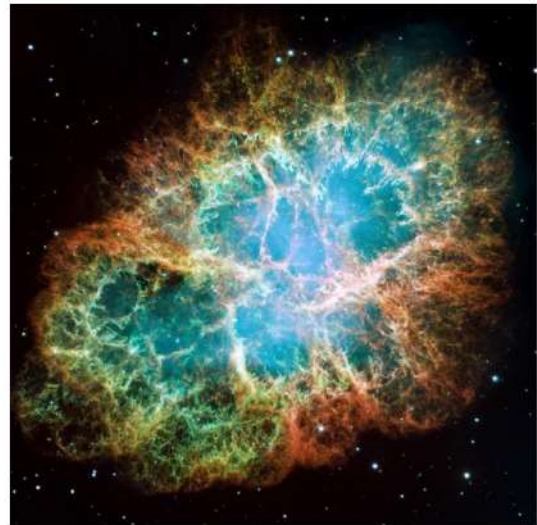
c Bereken de afstand van een geostationaire satelliet tot het middelpunt van de aarde.

d Bereken hoe hoog een geostationaire satelliet zich boven het aardoppervlak bevindt.

e Bereken de baansnelheid van een geostationaire satelliet.



16*** Op 4 juli 1054 verscheen er in het sterrenbeeld Stier een nieuwe ster aan de hemel. In werkelijkheid was het geen nieuwe ster, maar een ster die aan het einde van zijn leven ontploft en als supernova zichtbaar wordt. In oude Chinese kronieken is deze gebeurtenis nauwkeurig opgeschreven, zodat de plaats van deze supernova goed bekend is. Kijken we nu naar deze plaats dan vinden we daar de Krabnevel. Met zekerheid kan gesteld worden dat de Krabnevel het restant is van de supernova uit 1054.



De Krabnevel staat op een afstand van 6500 lichtjaar van de zon.

a Denk je dat de ster die de supernova heeft veroorzaakt daadwerkelijk is ontploft op 4 juli 1054? Zo nee, wanneer dan wel?

De Krabnevel is bolvormig en heeft een straal van 5,5 lichtjaar.

b Hoe vaak past het zonnestelsel tot aan Pluto in de Krabnevel?
HINT gebruik de formule voor het volume van een bol

In het centrum van de Krabnevel bevindt zich de Krabpulsar, een neutronenster die bijzonder snel roteert en veel elektromagnetische straling uitzendt. De omlooptijd van de Krabpulsar is 33,4 ms.

c Bereken de omloofrequentie van de Krab-pulsar.

De massa van de Krabpulsar is 1,4 keer de massa van de zon. De straal van de Krabpulsar is $1,4378 \cdot 10^{-5}$ keer de straal van de zon. Stel je voor dat iemand met een massa van 60 kg op het oppervlak van de Krabpulsar zou staan.

d Hoe groot is dan de gravitatiekracht op deze persoon?

Als deze persoon op de evenaar van de Krabpulsar gaat staan werkt er een middelpuntzoekende kracht.

e Bereken deze middelpuntzoekende kracht.

f Wordt vanwege de snelle rotatie de persoon van de Krabpulsar afgeslingerd?

17**

De ruimtesonde Pioneer-10 is op 3 maart 1972 gelanceerd om de Planeten Jupiter en Saturnus te onderzoeken. Daarbij is hij door de planetoïdegordel gevlogen. Op 3 december 1973 passeert Pioneer-10 de planeet Jupiter. Daarna is hij verdergegaan en is in 1983 voorbij Pluto gekomen. In 2002 is het laatste signaal van de Pioneer-10 opgevangen.



In 1983 is de Pioneer-10 zich op een afstand van $6,2 \cdot 10^{12}$ m van de zon. Zelfs op deze afstand ondervindt de ruimtesonde nog een aantrekkende kracht van de zon. De Pioneer-10 heeft een massa van 240 kg.

a Bereken de kracht die de zon op Pioneer-10 uitoefent op een afstand van $6,2 \cdot 10^{12}$ m.

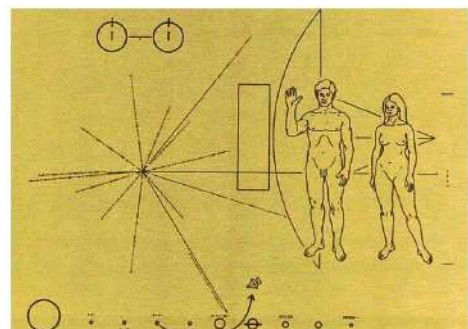
b Op welke afstand van de aarde is de Pioneer-10 nu ongeveer? Ga er van uit dat de Pioneer-10 vanaf de lancering in 1971 een constante snelheid heeft?

De Pioneer-10 beweegt in de richting van de ster Aldebaran.

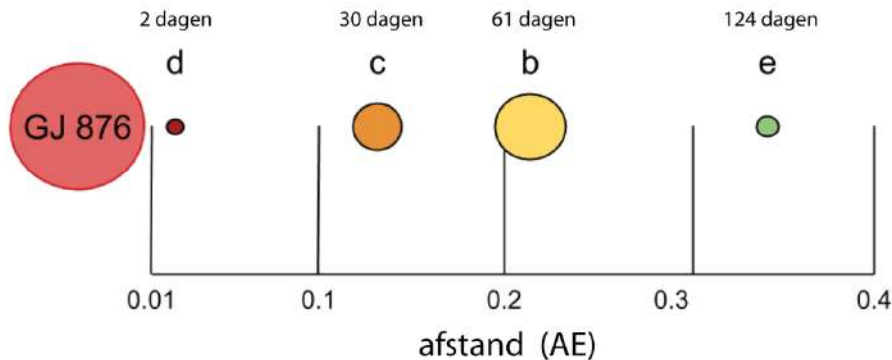
c Hoeveel jaar doet de Pioneer-10 om bij Aldebaran aan te komen?

Aan boord van de Pioneer-10 bevindt zich een gouden plakkaat, zie figuur. Mocht de sonde ooit aankomen bij intelligent buitenaards leven dan worden ze geïnformeerd over hoe mensen eruitzien en hoe groot ze zijn.

c Hoe kun je aan de afbeelding zien hoe groot mensen zijn?



- 18***** De Gliese 876 is de ster die het dichtst bij de zon staat en een planetair systeem heeft. De afstand tussen de zon en Gliese 876 is 15,2 lichtjaar. Gliese heeft vier planeten genaamd Gliese b, c, d, en e.



De planeet Gliese b is in 1998 als eerste ontdekt en heeft een omlooptijd van 61,0 dagen. De afstand tussen de ster Gliese en de planeet Gliese b is 0,21 AE.

- a** Bereken de massa van de ster Gliese.

De planeet Gliese b is een gasplaneet met een dichtheid van ongeveer $1,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$. De massa van Gliese b is 600 keer zo groot als de massa van de aarde.

- b** Bereken de straal van Gliese b.

- c** Is Gliese b groter of kleiner dan Jupiter?

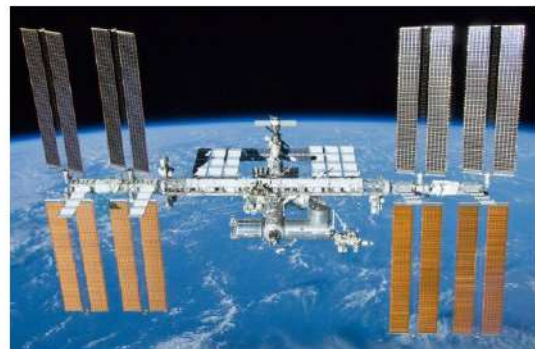
De ruimtesonde New Horizons is in 2006 gelanceerd met als doel dwergplaneet Pluto en de Kuipergordel te onderzoeken. In 2015 kwam de sonde aan bij Pluto en is daarna verdergegaan in de Kuipergordel. De snelheid van New Horizons is 16,3 km/s.

- d** Stel dat de New Horizon doorvliegt naar de planeet Gliese b. In welk jaar zou hij dan aankomen?

Gravitatie-energie

- 19***** Het internationale ruimtestation ISS bevindt zich op een hoogte van 370 km. Om de voorraden aan te vullen wordt een onbemande raket met een lading van 8000 kg naar het ISS gebracht.

- a** Hoeveel energie is er nodig om 8000 kg vanaf het aardoppervlak naar het ISS te brengen?



Als je de berekening uitvoert met de zwaarte-energie vind je een andere waarde.

b Leg uit of je dan een te grote of een te kleine waarde vindt.

c Bereken hoeveel procent de berekening met de zwaarte-energie afwijkt van de werkelijke waarde.

20 ***

Het Apolloprogramma is uitgevoerd tussen 1961 en 1972 met als doel mensen naar de maan te brengen. In totaal zijn er zes maanlandingen uitgevoerd, waarbij steeds twee astronauten op de maan zijn gezet en er één achterbleef in het ruimtevaartuig.

Om de astronauten van het vaartuig naar de maan te brengen en terug is een maanlander gebruikt. Bij de Apollo 11 missie in 1969 worden Neil Armstrong en Buzz Aldrin op de maan gezet waar ze 21,5 uur verblijven. De derde astronaut, Michael Collins blijft in het ruimtevaartuig op een gemiddelde hoogte van 112 km.



Ga ervan uit dat het ruimtevaartuig een cirkelbaan op gemiddelde hoogte uitvoert.

a Bereken het aantal omlopen van het ruimtevaartuig gedurende het verblijf van Armstrong en Aldrin op de maan.

Aan het einde van de missie vliegt de maanlander terug naar het ruimtevaartuig. De maanlander weegt 16 ton.

b Bereken hoeveel energie nodig is om de maanlander terug naar het ruimtevaartuig te brengen.

19.5 Informatie uit de ruimte

1** De pupillen van het oog van een mens heeft een diameter van maximaal 9,0 mm. De Very Large Telescopen (VLT) in Chili hebben een spiegel met een diameter van 8,2 meter.

a Hoeveel meer licht kan de spiegel van één VLT telescoop per seconde opvangen vergeleken met onze twee ogen?

De toekomstige Extremely Large Telescope (ELT) krijgt een spiegel met een diameter van 39,3 m.

b Hoeveel meer licht kan de spiegel van de ELT telescope per seconde opvangen vergeleken met de spiegel van één VLT telescoop?

2** De Westerbork Synthese Radio Telescoop (WSRT) kan frequenties waarnemen tussen 350 MHz en 8,30 GHz.

a Bereken de maximale en minimale golflengte in centimeter die de WSRT telescoop kan waarnemen.

Waterstofgas zendt EM-straling uit met een golflengte van 21,106114 cm in vacuüm.



b Kan deze EM-straling door de WSRT telescoop worden waargenomen?

c Breken de frequentie van deze straling. Let op het aantal significante cijfers!

3*** LOFAR (Low-Frequency Array) is een radiotelescoop die samengesteld is uit ongeveer 20.000 radioantennes verspreidt over een gebied van 100 km in Nederland. Het middelpunt bevindt zich op een terp tussen Exloo en Buinen in Drenthe. Via een glasvezelnetwerk zijn deze antennes gekoppeld aan een supercomputer waar de opgevangen radiosignalen worden gecombineerd.



Voor theoretische resolutie van een telescoop geldt: $\alpha = 70 \cdot \frac{\lambda}{D}$

- α is de minimale hoek in graden waarmee opgevangen EM-stralen van elkaar kunnen worden onderscheiden. Bij een nog kleinere hoek vormen de EM-stralen één vlekje.
- λ is de golflengte van de EM-straling in meter (m)
- D is de diameter van de telescoop in meter (m)

- a** Wat is het voordeel van de LOFAR radiotelescoop ten opzichte van een radiotelescoop met één grote schotel?
- b** Noem twee nadelen van de LOFAR radiotelescoop ten opzichte van een radiotelescoop met één grote schotel.

Het frequentiebereik van de LOFAR radiotelescoop is tussen 10 MHz en 240 MHz. Het centrale deel van LOFAR, met ongeveer de helft van de antennes, heeft een diameter van 2,0 km.

- c** Bereken de maximale theoretische resolutie van het centrale deel van de LOFAR radiotelescoop.

4** De afstand tussen de aarde en de maan is $384,4 \cdot 10^3$ km.

- a** Hoeveel astronomische eenheden (AE) is dit?

De afstand tussen de zon en de Poolster (Polaris) is $410 \cdot 10^{16}$ m.

- b** Hoeveel parsec is dit?

De afstand naar de meest nabije ster Proxima Centauri is 4,22 lichtjaar.

- c** Hoeveel astronomische eenheden (AE) is dit?

- d** Hoeveel parsec is dit?

De wet van Wien

5** De zon zendt het meeste licht uit met een golflengte van 501 nm.

- a** Bereken de temperatuur van het oppervlak van de zon.

De ster die het dichtst bij de zon staat Proxima Centauri heeft een oppervlakte-temperatuur van $2,6 \cdot 10^3$ K.

- b** Bereken welke golflengte door Proxima Centauri het meeste wordt uitgestraald.

- c Leg uit of je het meest uitgestraalde licht van Proxima Centauri met het blote oog kunt zien.

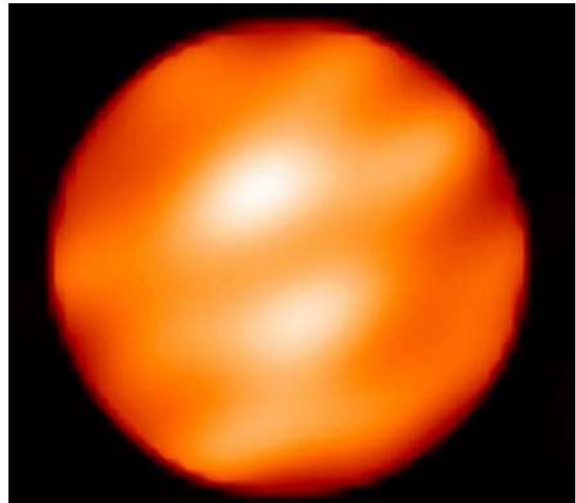
6** Betelgeuze is een reusachtige ster in het sterrenbeeld Orion op 50 lichtjaar afstand van de aarde. De straal van Betelgeuze is 700 keer die van de zon. Zie figuur.

Voor volume van een bol geldt:

$$V_{\text{bol}} = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3$$

- a Bereken hoe vaak de zon in Betelgeuze past.

Ondanks zijn enorme afmeting straalt Betelgeuze toch maar weinig licht uit. Dit komt omdat Betelgeuze een lage temperatuur heeft.



- b Hoe kun je aan de figuur zien dat Betelgeuze een lage temperatuur heeft?

De oppervlakte van Betelgeuze heeft een gemiddelde temperatuur van $3,6 \cdot 10^3$ K.

- c Bereken de golflengte λ_{max} van het licht dat Betelgeuze uitzendt.

De temperatuur van Betelgeuze is niet over het hele oppervlak hetzelfde. In het midden zie je twee vlekken.

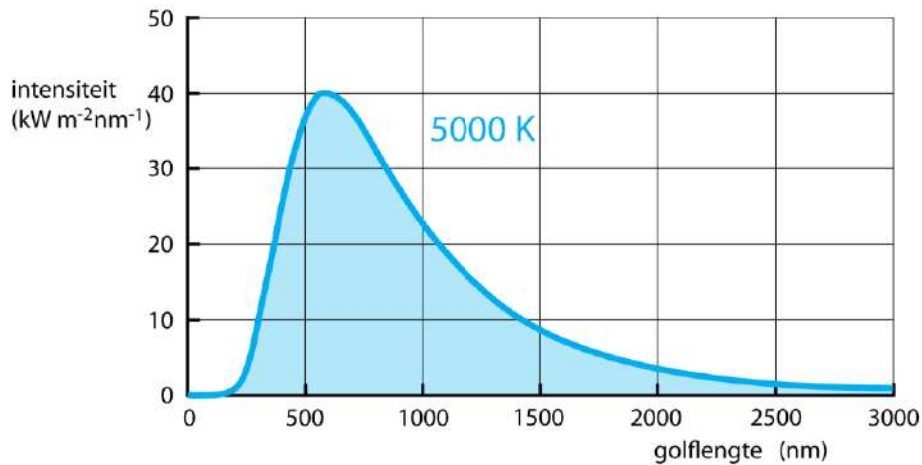
- d Is de temperatuur bij deze vlekken hoger of lager buiten deze vlekken?

Voor de oppervlakte van een bol geldt: $A = 4\pi \cdot r^2$. Hieruit volgt dat de oppervlakte van Betelgeuze $4,9 \cdot 10^5$ keer zo groot is als het oppervlakte van de zon.

- e Toon dit aan.

De wet van Stefan-Boltzmann

- 7***** Het uitgestraalde vermogen van een zwart lichaam met een temperatuur van 5000 K is gegeven in onderstaande figuur.



- a** Toon aan dat de grafiek in overeenstemming is met de wet van Wien.

Op de verticale as is de intensiteit uitgezet in kilowatt per vierkante meter per nanometer.

- b** Wat is de natuurkundige betekenis van het oppervlakte onder de grafiek?
- c** Toon aan dat de grafiek in overeenstemming is met de wet van Stefan-Boltzmann.
- d** Hoeveel keer groter is het oppervlak onder de grafiek bij een temperatuur van 10000 K?
- e** Hoeveel keer kleiner is de oppervlakte onder de grafiek bij een temperatuur van 300 K?

- 8**** Een paneel met zonnecellen van 1,65 m bij 1,00 m is gericht op de zon. Van het zonlicht dat invalt op de bovenkant van de atmosfeer bereikt 73% het zonnepaneel.

- a** Hoeveel zonne-energie valt er per seconde op het paneel?

Het zonnepaneel kan een maximaal vermogen leveren van 260 W.

- b** Bereken het rendement van het zonnepaneel?

In Nederland werkt een zonnepaneel ongeveer 880 uur per jaar op vol vermogen. Elektrische energie wordt vaak uitgedrukt in kilowattuur kWh. $1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$

- c** Hoeveel energie levert een zonnepaneel per jaar uitgedrukt in kWh?

Een gezin met 4 personen gebruikt in Nederland gemiddeld 4600 kWh elektrische energie per jaar.

- d** Hoeveel zonnepanelen heeft een gezin met 4 personen nodig om alle elektriciteit op te wekken?

9** In 2013 was het totale energieverbruik van de mensheid $4,0 \cdot 10^{20}$ J. Stel dat al deze energie moet worden opgewekt door zonnepanelen met een rendement van 15% opgesteld in Australië. Van het zonlicht dat invalt op de bovenkant van de atmosfeer bereikt 73% het zonnepaneel. In Australië schijnt de zon het meest en werkt een zonnepaneel gemiddeld 2900 uur per jaar op vol vermogen. In de Sahara woestijn is dit 1350 uur per jaar en in Nederland maar 880 uur per jaar.

- a** Hoeveel vierkante meter zonnepanelen zijn er in Australië nodig om de energie van de hele mensheid op te wekken?

Nederland heeft een oppervlakte van 41543 km².

- b** Hoe verhoudt zich het met zonnecellen bedekte gebied in Australië met de oppervlakte Nederland?

10*** De zonneconstante is het ontvangen stralingsvermogen per vierkante meter.

- a** Bereken de zonneconstante van de planeet Mars.

Mars heeft een gemiddelde temperatuur van -63 °C.

- b** Bereken hoeveel procent van het ontvangen zonlicht door Mars wordt geabsorbeerd. Ga ervan uit dat de uitgestraalde vermogen gelijk is aan het opgenomen vermogen.

11*** De zon heeft een vermogen (lichtsterkte) van $3,85 \cdot 10^{26}$ W en een straal van $6,963 \cdot 10^8$ m.

- a** Bereken de temperatuur van het oppervlak van de zon.

Het vermogen (lichtsterkte) van de ster Regulus is 250 keer die van de zon. De oppervlaktetemperatuur van Regulus is $12,0 \cdot 10^3$ K.

- b** Hoe groot is de straal van Regulus ten opzichte van de straal van de zon?

12*** De ster die het dichtst bij de zon staat Proxima Centauri heeft een oppervlaktetemperatuur van $2,6 \cdot 10^3$ K. De straal van Proxima Centauri is 0,21 keer de straal van de zon.

- a Geef twee redenen waarom Proxima Centauri per seconde minder licht uitzendt dan de zon.
- b Bereken hoeveel keer minder licht Proxima Centauri uitstraalt dan de zon.

De ster Canopus heeft een oppervlaktetemperatuur van $8,4 \cdot 10^3$ K en een 24 keer zo grote straal als de zon.

- c Bereken de lichtsterkte (het vermogen) van Canopus ten opzichte van de lichtsterkte van de zon.

13*** De ster Castor heeft een oppervlaktetemperatuur van $9,5 \cdot 10^3$ K en een straal van 2,7 keer die van de zon. De ster Polaris (Poolster) staat 8,54 keer verder weg dan Castor en heeft een oppervlaktetemperatuur van $5,9 \cdot 10^3$ K en een straal van 47 keer die van de zon.

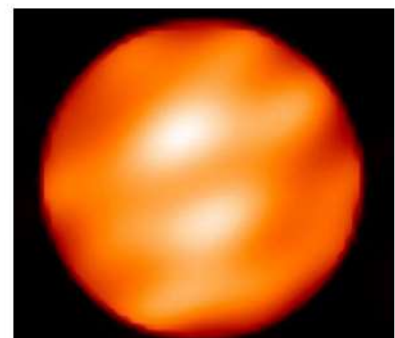
- a Welke van deze sterren heeft het grootste stralingsvermogen?
- b Bereken de verhouding tussen de op aarde waargenomen lichtintensiteit (W/m^2) van Castor en Polaris

14*** De straal van ster Antares A is 1100 keer die van de zon. De lichtsterkte van Antares A is 90000 keer die van de zon.

- a Bereken het uitgestraalde vermogen per m^2 van Antares A.
- b Bereken de oppervlaktetemperatuur van Antares A.
- c Bereken de maximaal uitgezonden golflengte λ_{max} van Antares A.

15*** Betelgeuze is een reusachtige ster in het sterrenbeeld Orion op 50 lichtjaar afstand van de aarde. De straal van Betelgeuze is 700 keer die van de zon. De oppervlakte van Betelgeuze heeft een gemiddelde temperatuur van $3,6 \cdot 10^3$ K.

- a Welke ster straalt per seconde de meeste energie uit, Betelgeuze of de zon?



Absorptie en emissiespectrum

GEEN OPGAVEN

Dopplerverschuiving

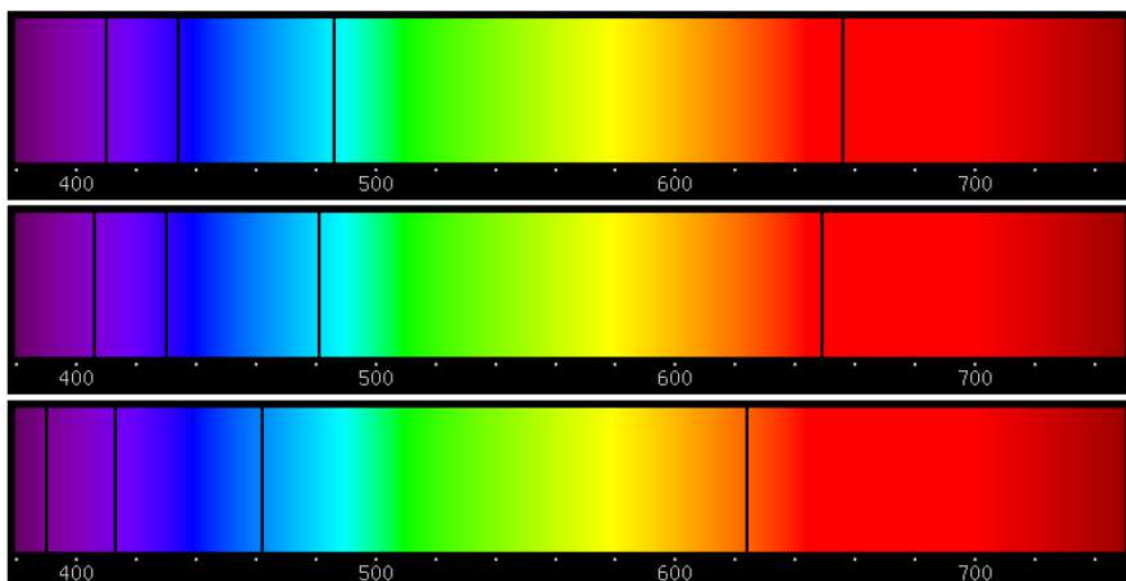
16*** Het Andromeda sterrenstelsel komt met een snelheid van 200 km/s dichterbij. Met een radiotelescoop wordt de EM-straling van waterstofgas in het Andromedastelsel waargenomen. Waterstofgas zendt bij stilstand EM-straling uit met een golflengte van 21,106114 cm in vacuüm.

- a Is de golflengte van de waargenomen EM-straling van waterstofgas groter, kleiner of gelijk aan 21,106114 cm?
- b Bereken de golflengte van de waargenomen EM-straling van waterstofgas in het Andromedastelsel.

17*** Van een sterrenstelsel is de helium absorptielijn van 587,562 nm verschoven naar 612,358 nm.

- a Beweegt dit stelsel naar ons toe of van ons vandaan?
- b Bereken de snelheid van dit sterrenstelsel.
- c Hoeveel procent van de lichtsnelheid is deze snelheid?

18*** In onderstaande figuur zie je drie keer het absorptiespectrum van waterstof.



- a** Waaraan zie je dat dit een absorptiespectrum is en geen emissiespectrum?
- b** Bij welke van deze drie spectra staat de stralingsbron stil ten opzichte van de waarnemer?
- c** Leg uit of de bron bij de twee andere spectra naar de waarnemer toe of van de waarnemer af bewegen.
- d** Bereken voor de twee andere spectra de snelheid van de bron.

19.6 De levensloop van sterren

1*** Sterren stralen energie uit vanwege de kernfusiereactie waarbij waterstof wordt omgezet in helium. De netto-reactie is:

$$4 {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + 2 e^+ + 2 \nu + 2 \gamma$$

- ${}^1_1\text{H}$ is een proton
- ${}^4_2\text{He}$ is een heliumkern
- e^+ is een positron (anti-elektron)
- ν is een neutrino
- γ is een gamma foton

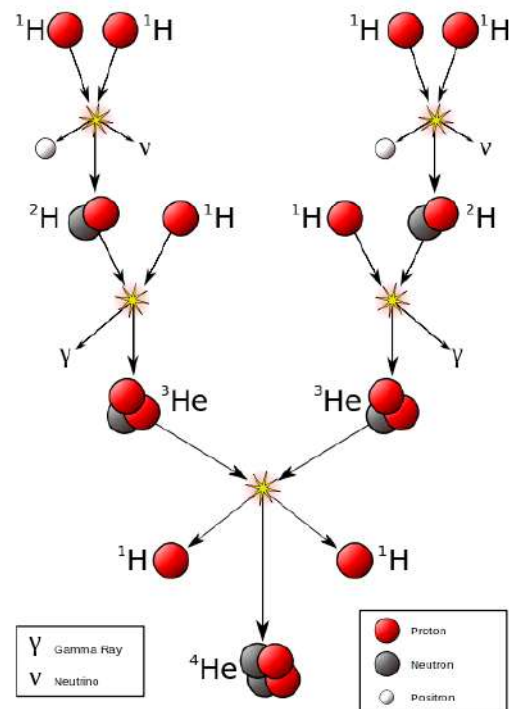
Per netto reactie komt er $3,954 \cdot 10^{-12}$ J vrij.

a Hoeveel massa verdwijnt er in één reactie cyclus?

De zon heeft een stralingsvermogen van $3,85 \cdot 10^{26}$ W.

b Hoeveel netto reacties vinden er per seconde in de zon plaats?

c Hoeveel massa verdwijnt er per seconde?

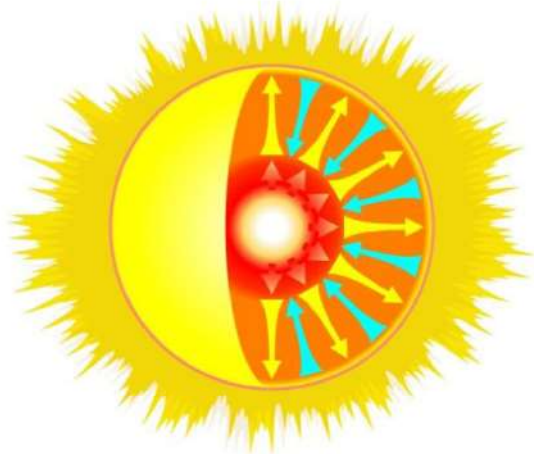


2*** De zon zet iedere seconde $6,0 \cdot 10^{11}$ kg waterstof om in helium. Hierbij wordt $4,27 \cdot 10^9$ kg materie omgezet in energie. Met de beroemde formule van Einstein $E = m \cdot c^2$ kun je uitrekenen hoeveel energie de zon per seconde produceert.

a Voer deze berekening uit.

De zon heeft een massa van $1,99 \cdot 10^{30}$ kg. Alleen in het centrum van de zon is de temperatuur hoog genoeg om via kernfusie massa in energie om te zetten. In het centrum bevindt zich 14% van de massa van de zon waarvan 70% waterstof is.

b Bereken hoeveel jaar het duurt tot al het waterstof in het centrum van de zon is verbruikt.



3*** Een ster waarbij de energieproductie tot stand komt door de fusie van waterstof heet een hoofdreksster. In het Hertzsprung-Russell-diagram zijn de hoofdreks-sterren te vinden op de diagonaal van linksboven naar rechtsonder.

Het maximum aantal jaren waarin een hoofdreksster energie kan uitstralen is recht evenredig met de massa en omgekeerd evenredig met de lichtsterkte.

a Leg dit uit.

Voor een hoofdreksster geldt:
$$t = t_{\text{zon}} \cdot \frac{\frac{M}{M_{\text{zon}}}}{\frac{L}{L_{\text{zon}}}}$$

- t is de levensduur van de ster in jaar (y)
- t_{zon} is de levensduur van de zon ($1,0 \cdot 10^{10}$ jaar)
- M is de massa van de ster (kg) | M_{zon} is de massa van de zon (kg)
- L is de lichtsterkte van de ster (J/s) | L_{zon} is de lichtsterkte van de zon (J/s)

De lichtsterkte van Algol is 110 keer die van de zon. De straal van Algol is 3,5 keer zo groot als die van de zon. Ga ervan uit dat Algol en de zon dezelfde dichtheid hebben.

b Bereken de levensduur van Algol.

De lichtsterkte van Wolf 359 is 0,0013 keer die van de zon. De straal van Wolf 359 is 0,20 keer zo groot als die van de zon. Ga ervan uit dat Wolf 359 en de zon dezelfde dichtheid hebben.

c Bereken de levensduur van Wolf 359.

4*** Als de kernfusie in de zon stopt verandert de zon in een witte dwerg. Deze witte dwerg is krijgt een diameter van $14 \cdot 10^3$ km en bevat de helft van de huidige massa van de zon.

a Bereken de dichtheid van de zon zoals zij nu is.

b Bereken de dichtheid van de witte dwerg die de zon gaat worden.

c Hoeveel massa bevat 1 cm^3 van deze witte dwerg?

5*** Een neutronenster heeft een massa van 1,4 keer die van de zon en heeft een straal van 10 km.

a Bereken de dichtheid van deze neutronenster.

b Bereken de ontsnappingssnelheid van deze neutronenster.

6*** Voor de ontsnappingssnelheid geldt:

$$v_{\text{ontsnap}} = 2r \cdot \sqrt{\frac{2}{3} \pi \cdot \rho \cdot G}$$

- v_{ontsnap} is de ontsnappingssnelheid (m/s)
- r is de straal in meter (m)
- ρ is de dichtheid (kg/m^3)
- G is de gravitatieconstante ($\text{N m}^2 \text{kg}^{-2}$)

a Toon aan dat $2r \cdot \sqrt{\frac{2}{3} \pi \cdot \rho \cdot G}$ de eenheid m/s heeft.

b Toon aan dat $v_{\text{ontsnap}} = 2r \cdot \sqrt{\frac{2}{3} \pi \cdot \rho \cdot G}$.

7*** In het centrum van de Melkweg bevindt zich een zwart gat met een massa van 3,7 miljoen maal die van de zon. De figuur is een foto van het centrum van de Melkweg met het zwarte gat in de buurt van de heldere puntbron in het midden.

a Bereken de schwarzschildstraal van dit zwarte gat.



19.7 Kosmologie

- 1*** Om de afstand van een sterrenstelsel te bepalen wordt gebruik gemaakt van het dopplereffect. Voor de verschuiving van de golflengte geldt:

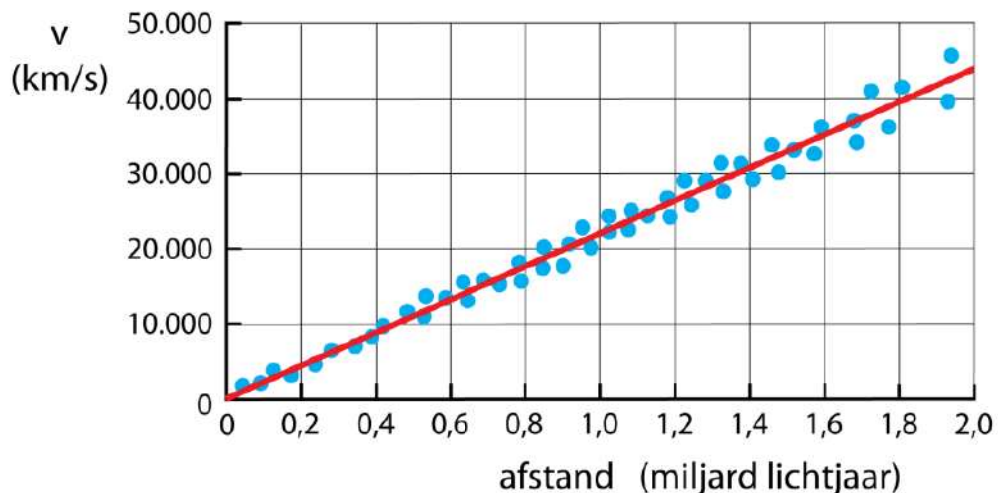
$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$$

- $\Delta\lambda$ is de verandering van de golflengte
- λ_0 is de golflengte bij een stilstaande bron
- v is de snelheid van de bron
- c is de lichtsnelheid

Vaak wordt gekeken naar de absorptielijn van waterstof met een golflengte van 656,3 nm.

- a Bereken de golflengte van deze waterstoflijn uitgezonden door een sterrenstelsel dat met een snelheid van 18.000 km/s van ons vandaan beweegt.

Het Hubble diagram toont de relatie tussen de snelheid van een sterrenstelsel en de afstand van dit stelsel tot de zon. Zie figuur 1.



Figuur 1

- b Bereken de golflengte van de 656,3 nm waterstoflijn afkomstig van een sterrenstelsel op 1,8 miljard lichtjaar afstand.
- c Is er een recht-evenredig verband tussen de verandering van de golflengte $\Delta\lambda$ en de afstand van een sterrenstelsel?

De richtingscoëfficiënt van de grafiek in het Hubble-diagram wordt de Hubble constante genoemd.

- d Bepaal de Hubble constante.

Volgens het Hubble diagram is op een afstand van 13,8 miljard lichtjaar is de snelheid van een sterrenstelsel gelijk aan de lichtsnelheid.

e Toon dit aan.

f Welke conclusie kun je hieraan verbinden?

2*** Van een sterrenstelsel is de helium absorptielijn van 587,562 nm verschoven naar 612,358 nm.

a Beweegt dit stelsel naar ons toe of van ons vandaan?

b Bereken de snelheid van dit sterrenstelsel.

c Hoeveel procent van de lichtsnelheid is deze snelheid?

d Bereken met de Hubble-relatie de afstand van dit sterrenstelsel.

3*** Het windmolenstelsel M101 bevat ongeveer 1000 miljard sterren en staat op een afstand van 21 miljoen lichtjaar. Dit enorme stelsel beweegt met een snelheid van 241 km/s van ons vandaan.

a Voldoet dit stelsel aan de Hubble-relatie?

b Bij welke golflengte verwacht je de waterstoflijn met $\lambda = 486,1 \text{ nm}$ als je een waarneming doet aan dit stelsel?

