

19 Sterrenkunde

vwo

19.1 Het zonnestelsel

- 1*** De zon staat twee keer per jaar precies boven de evenaar.
- a** Welk jaargetijde begint 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.
- 4***
- a** Hoe ziet de maan eruit bij nieuwe maan en hoe bij volle maan?
 - b** Hoe ontstaat springtij?
 - c** Waarom is het twee keer per maand springtij?
- 5**** De maan en de aarde bewegen niet precies in hetzelfde vlak. De vlakken maken een hoek van 5,1 graden.
- 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.
- 6*** 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.

7* 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.

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

- c Controleer of Henk gelijk heeft.

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

- d Controleer of Truus gelijk heeft.

8** De rotatieperiode van de aarde gezien vanaf de zon heet een zonnedag en duurt 24 uur. Dit is de tijd die de aarde nodig heeft om een volledige draaiing te maken waardoor de zon weer op dezelfde plek aan de hemel staat. Dit verschilt van de siderische rotatieperiode (sterrendag) waarbij de aarde weer in dezelfde positie ten opzichte van de sterren staat.

De siderische rotatieperiode van de aarde is 23 uur, 56 minuten en 4 seconden.

- a Leg uit waarom de siderische rotatieperiode van de aarde minder is dan 24 uur.

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 gasballen en worden daarom "gasplaneten" genoemd. Voor het volume van een bol geldt: $V = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3$.

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

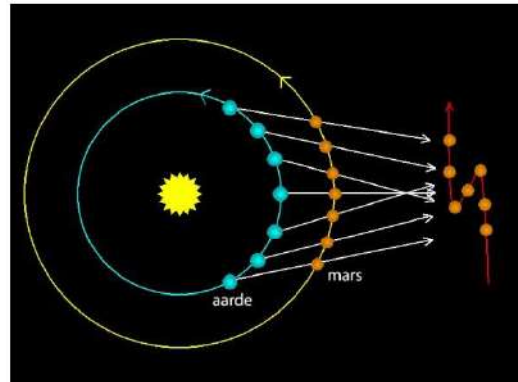
10* De banen van de planeten bewegen niet allemaal in hetzelfde platte vlak. Ten opzichte van het vlak waarin de aarde om de zon draait heeft het vlak waarin een planeet beweegt een bepaalde hoek. Dit noem je de helling ten opzichte van de ecliptica.

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

- 11***** 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

- a** 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.

- b** Geef hiervoor een verklaring.

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

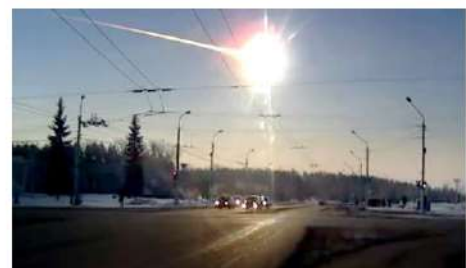
- a** Bereken de gemiddelde snelheid van New Horizons. Schat het aantal dagen tussen de twee data en gebruik het verschil in baanstraal als afstand.



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

- b** Verklaar het verschil met de uitkomst van vraag a.

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



De vrijgekomen energie bij de explosie komt overeen met 450 kiloton TNT. Dit is 30 keer meer dan bij de atoombom op Hiroshima (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.

Neem aan dat de vrijgekomen energie gelijk is aan de kinetische energie waarmee de meteoriet in de dampkring kwam. Eén kiloton TNT is $4,184 \cdot 10^{12}$ J energie.

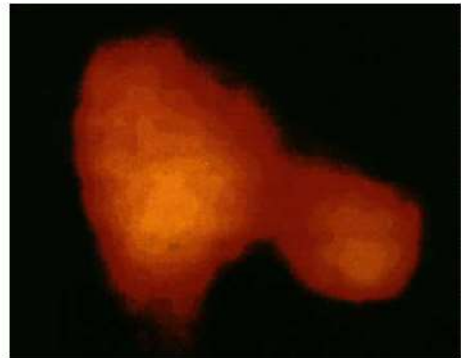
- c** Bereken de snelheid waarmee de meteoriet in de dampkring kwam.

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

- a** Waar bevindt zich de Kuiper gordel?

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?

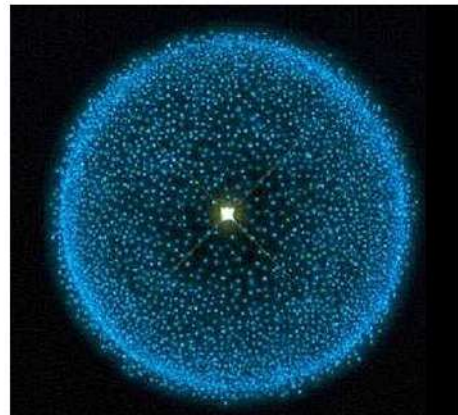


15*** De Oortwolk (genoemd naar de Nederlandse astronoom Jan Oort) is een bolvormig gebied met brokstukken op een afstand van 10.000 tot 100.000 astronomische eenheden (AE) van de zon. Eén astronomische eenheid is gelijk aan de afstand van de aarde tot de zon.

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

De dichtstbijzijnde ster Proxima Centauri staat op een afstand van $4,0 \cdot 10^{16}$ meter van de zon.

- b** Hoeveel AE is de afstand tussen de zon en 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 zandkorrel op het strand heeft een volume van $0,015 \text{ mm}^3$. De Melkweg heeft 100 – 400 miljard sterren. Stel dat er 300 miljard sterren zijn in de Melkweg.

- a Bereken hoeveel kubieke meter strandzand 300 miljard zandkorrels bevat.

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 2000 miljard sterrenstelsels met gemiddeld 200 miljard sterren in een sterrenstelsel.

- 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 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?

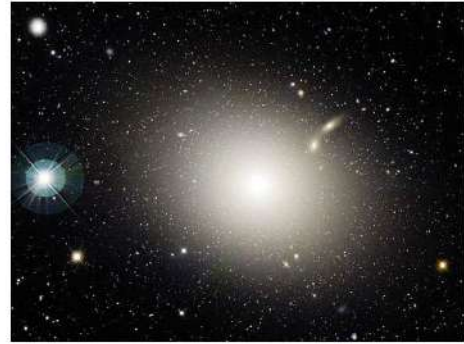


- 5**
- Het Andromeda-stelsel staat op een afstand van 2,54 miljoen lichtjaar van de zon. Met een telescoop speuren we naar intelligent leven dat zich mogelijk in dit stelsel bevindt.

- a Stel dat we geen intelligent leven waarnemen, is er dan ook geen intelligent leven in dit stelsel?



- 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 $5,2 \cdot 10^{23}$ m. Dinosaurussen zijn 66 miljoen jaar geleden uitgestorven.
- a** Stel dat op dit moment op een planeet ergens in het Messier 87 stelsel intelligent leven met een supertelescoop naar de aarde zou kijken, kunnen ze 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 grammofoonopname 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.



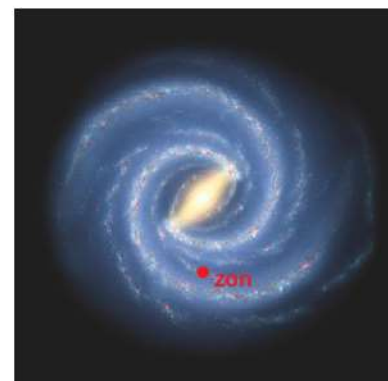
Hoewel het reisdoel van de Voyagers niet gericht is op een bepaalde ster, zal de Voyager 1 over 40.000 jaar in de nabijheid zijn van de ster Gliese 445 op een afstand van 17,42 lichtjaar.

- 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.



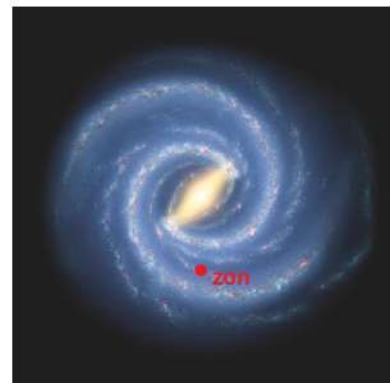
Tenslotte gaan we er van uit dat op één procent van de aardachtige planeten een bepaalde vorm van leven is ontstaan.

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

19.3 Cirkelbeweging

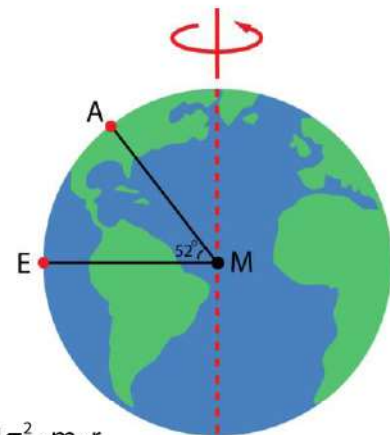
- 1*** De planeten maken vrijwel een cirkelbeweging om de zon.
- Bereken de baansnelheid van de aarde om de zon.
 - Bereken de middelpuntzoekende kracht die de zon op de aarde uitoefent.
 - Bereken de middelpuntzoekende kracht die de zon op Saturnus uitoefent.
 - Is F_{mpz} die op Saturnus wordt uitgeoefend groter of kleiner dan F_{mpz} die op de aarde wordt uitgeoefend?
 - Is de baansnelheid van Saturnus groter of kleiner dan de baansnelheid van de aarde?

- 2*** De zon heeft een cirkelvormige baan om het centrum van de Melkweg. Eén omloop duurt 225 miljoen jaar. De afstand van de zon tot het centrum van de Melkweg is 27 duizend lichtjaar.
- Bereken de baansnelheid van de zon.
 - 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.
- Hoeveel galactische jaren heeft de zon gehad?
 - Hoeveel galactische jaren wordt de zon oud?

- 3**** De aarde draait in 24 uur om haar as.
- Hoe groot is de baansnelheid op de noordpool?
 - Hoe groot is de baansnelheid op de evenaar?
 - Hoe groot is de middelpuntzoekende kracht op een persoon van 70 kg op de evenaar?
 - Waar komt de middelpuntzoekende kracht vandaan?



- Amsterdam ligt op 52 graden noorderbreedte, zie figuur.
- Is de baansnelheid in Amsterdam groter, kleiner of even groot als op de evenaar?

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

- Toon dit aan.
- Is de middelpuntzoekende kracht op een persoon van 70 kg in Amsterdam groter, kleiner of even groot als op de evenaar?
- Bereken F_{mpz} op een persoon van 70 kg in Amsterdam.

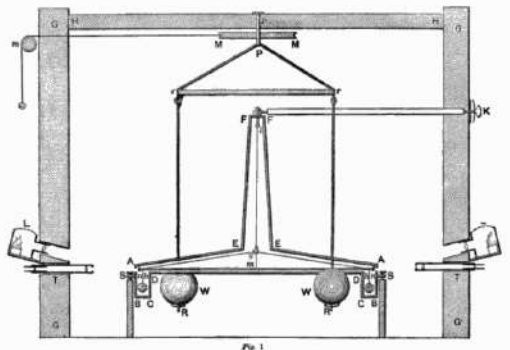
19.4 Gravitatie

- 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 gravitatiekracht die deze stenen op elkaar uitoefenen.

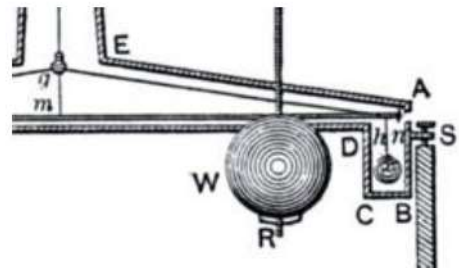
In gedachten laten we de stenen krimpen tot een punt. Je spreekt dan van een puntmassa.

- b** Bereken de afstand tussen twee puntmassa's van 1,0 kg die een gravitatiekracht van 1,0 N op elkaar uitoefenen.
- 2**** De gravitatieversnelling heeft als symbool g en de gravitatieconstante symbool G .
- a** Leid de formule af voor g die volgt uit de gravitatiewet van Newton.
- b** Leid de eenheid af van de gravitatieconstante G in basiseenheden.
- c** Leid de eenheid van g af uit de gravitatiewet van Newton in basiseenheden.

- 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 gravitatieversnelling g kan de dichtheid van de aarde worden berekend. Voor het volume van een bol geldt $V = \frac{4}{3} \pi r^3$. Gemiddeld is de gravitatieversnelling op aarde: $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$.

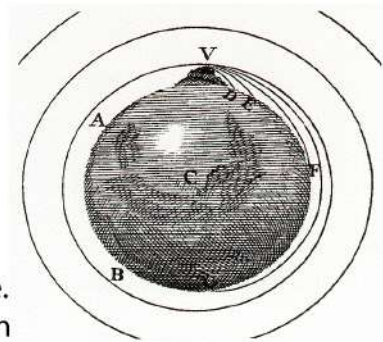
Voor de gravitatieversnelling op aarde geldt: $g = G \cdot \frac{m_{\text{aarde}}}{r_{\text{aarde}}^2}$

- 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 cm⁻³. De dichtheid van veel voorkomende metalen zoals ijzer, tin en zink zit tussen 7,0 en 9,0 g cm⁻³.

- 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 baan van de maan om de aarde. Hij verduidelijkt dit met een gedachtenexperiment. Met een kanon schiet je een kogel horizontaal weg. Het kanon bevindt zich vlak boven zeeniveau. Als de beginsnelheid toeneemt wordt de kogel steeds verder weggeschoten. Stel dat er geen luchtweerstand is, dan maakt de kogel bij een bepaalde beginsnelheid een rondje om de aarde. In de figuur zie je de illustratie van dit gedachtenexperiment in Newtons 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 de kogel een rondje om de aarde maakt.
- d Bereken de omlooptijd van de kogel in uur.

- 6****
- a Zoek de massa van de aarde, de massa van de maan en de afstand tussen de aarde en de maan op in Binas.
 - b Bereken de gravitatiekracht die de aarde op de maan uitoefent.
 - c Bereken de gravitatiekracht die de maan op de aarde uitoefent.
 - d Bereken de baansnelheid van de maan.

7*** Als de gravitatiekracht gelijk is aan de middelpuntzoekende kracht volgt voor de

baansnelheid: $v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{r}}$.

- a Toon dit aan.

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

de derde wet van Kepler

a 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 snelheid waarmee Mars om de zon draait. **HINT gebruik de derde wet van Kepler om de afstand tussen Mars en de zon te berekenen.**

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 zo klein mogelijk 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 in km / h.

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 zonnemassa.

11*** Een ruimtecapsule draait in een cirkelvormige baan 112 km boven het maanoppervlak. De omlooptijd is 119 minuten.

a Bereken de (baan) snelheid van de ruimtecapsule.

b Bereken de massa van de maan.

12*** De Europese weersatellieten MetOP hebben 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 twee keer per dag in kaart.

b Bereken de baanstraal van de MetOP satelliet.

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 snelheid van de ISS.
- c Bereken de omlooptijd van de ISS.



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 20.229 km boven het oppervlak van de aarde.

- a Bereken de omlooptijd van een GPS-satelliet.
HINT bereken eerst de snelheid OF gebruik de derde wet van Kepler.
- 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.

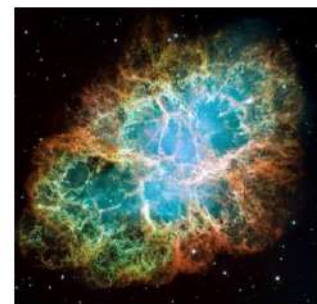
- a Leg uit wat met een geostationaire baan wordt bedoeld.



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.
HINT gebruik de derde wet van Kepler.
- 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 $6,15 \cdot 10^{19}$ m van de aarde.



- 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 snel roteert en veel elektromagnetische straling uitzendt. De omlooptijd van de Krabpulsar is 33,4 ms.

- c** Bereken de omloopfrequentie van de Krab-pulsar.

De massa van de Krabpulsar is 1,4 keer de massa van de zon. De Krabpulsar heeft een straal van 10 km. Stel je voor dat er een steen met een massa van 60 kg op het oppervlak van de Krabpulsar ligt.

- d** Hoe groot is dan de gravitatiekracht op deze steen?

Als deze steen op de evenaar van de Krabpulsar ligt werkt er een middelpuntzoekende kracht.

- e** Bereken deze middelpuntzoekende kracht.
f Wordt vanwege de snelle rotatie de steen 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 bevindt 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.

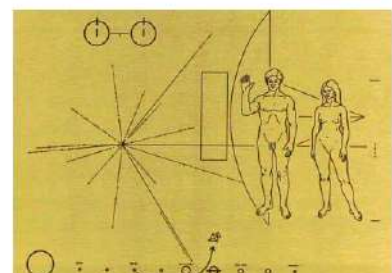
- a** Bereken de kracht die de zon op Pioneer-10 uitoefent op een afstand van $6,2 \cdot 10^{12}$ m.
b Op welke afstand van de aarde is de Pioneer-10 in 2030? Ga er van uit dat de Pioneer-10 vanaf de lancering in 1971 een constante snelheid heeft?

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

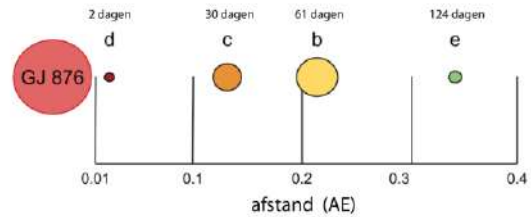
- c** Hoeveel jaar doet de Pioneer-10 om bij Aldebaran aan te komen?

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 een ster die dicht 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 $1,0 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$. 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 Bereken hoeveel energie er nodig is 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 zijn 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 met astronauten weegt 16 ton.

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

- 21***** Een meteoroïde met een massa van 8,0 kiloton vliegt met een snelheid van 2,0 km/s door de ruimte. Na een lange reis komt hij in de buurt van de maan. Door de gravitatiekracht van de maan valt de meteoroïde met grote snelheid op het oppervlak van de maan.
- a** Bereken met welke snelheid de meteoroïde op de maan valt.

- 22****** Voor de ontsnappingsnelheid geldt: $v_{\text{ontsnap}} = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{r}}$
- v_{ontsnap} is de ontsnappingsnelheid (m/s)
 - G is de gravitatieconstante: $G = 6,6743 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$
 - M is de massa van het hemellichaam (kg)
 - r is de straal in meter (m)
- a** Toon dit aan met formules uit Binas.

- 23****** Voor de ontsnappingsnelheid geldt: $v_{\text{ontsnap}} = 2r \cdot \sqrt{\frac{2}{3} \pi \cdot \rho \cdot G}$
- v_{ontsnap} is de ontsnappingsnelheid (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 $v_{\text{ontsnap}} = 2r \cdot \sqrt{\frac{2}{3} \pi \cdot \rho \cdot G}$.

- 24****** Veel hemellichamen hebben een cirkelbaan, waarbij de middelpuntzoekende kracht gelijk is aan de gravitatiekracht. Hieruit volgt het viriaal-theorema: $E_G = -2 \cdot E_K$.
- a** Toon dit aan met formules uit Binas.

GPS-satellieten hebben een massa van 1600 kg en staan $20,23 \cdot 10^3$ km boven het aardoppervlak.

- b** Bereken met behulp van het viriaal-theorema de snelheid van een GPS-satelliet.

19.5 Informatie uit de ruimte

- 1**** De pupillen van het oog van een mens hebben 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-telescoop 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 in het juiste aantal significante cijfers.

- 3***** LOFAR (Low-Frequency Array) is een radiotelescoop die samengesteld is uit ongeveer 25.000 radioantennes verspreid over tientallen stations in Nederland en andere Europese landen. Het middelpunt bevindt zich op een terp bij Exloo in Drenthe. Via een glasvezelnetwerk zijn de antennes gekoppeld aan een computer waar de radio-signalen worden gecombineerd.



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

- α is de minimale hoek in graden waarmee EM-stralen van elkaar zijn te 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 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 licht met een golflengte van 501 nm het meeste uit.

a Bereken de temperatuur van het oppervlak van de zon.

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

b Bereken welke golflengte door Proxima Centauri het meest wordt uitstraald.

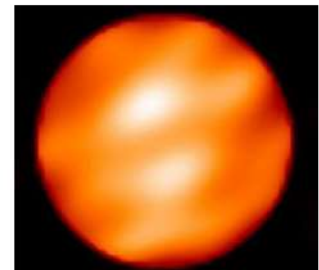
c Leg uit of je deze straling met het blote oog kunt zien.

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.

a Bereken hoe vaak de zon in Betelgeuze past.

Ondanks zijn enorme afmeting straalt Betelgeuze 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 gele vlekken.

d Is de temperatuur bij deze vlekken hoger of lager dan 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 oppervlak van de zon.

e Toon dit aan.

De wet van Stefan-Boltzmann

7*** Hiernaast zie je de uitgestraalde intensiteit per nanometer van een zwart lichaam met een temperatuur van 5000 K.

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

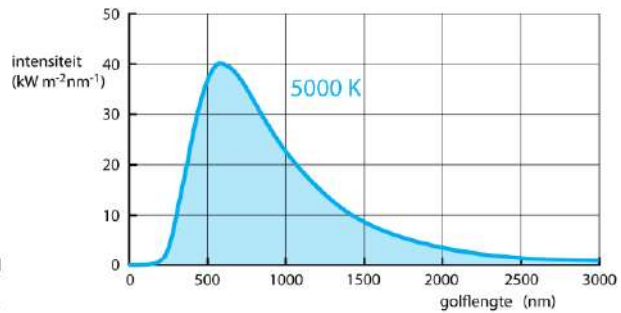
Op de verticale as is de intensiteit uitgezet in kilowatt per vierkante meter per nanometer.

b Wat is de natuurkundige betekenis van het oppervlak 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 het oppervlak 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 280 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.

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

Een gezin met 4 personen gebruikt in Nederland gemiddeld 4000 kWh elektrische energie per jaar.

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

9** In 2024 was het totale energieverbruik van de mensheid $6,0 \cdot 10^{20}$ J. Stel dat al deze energie moet worden opgewekt door zonnepanelen met een rendement van 18% 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 Saharawoestijn is dit 1350 uur per jaar en in Nederland maar 880 uur per jaar.

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

Nederland heeft een oppervlakte van 41543 km².

b Hoeveel keer de oppervlakte van Nederland is er in Australië nodig?

- 10***** De zonneconstante is het ontvangen stralingsvermogen per vierkante meter.
a Bereken de zonneconstante van de planeet Mars.

Mars heeft een albedo van 0,30. Dit betekent dat 30% van het ontvangen zonlicht door Mars wordt gereflecteerd en dat 70% wordt geabsorbeerd. Ga ervan uit dat het uitgestraalde vermogen gelijk is aan het opgenomen vermogen.

- b** Bereken de gemiddelde oppervlaktetemperatuur van Mars.

- 11***** De zon heeft een vermogen (lichtsterkte) van $3,828 \cdot 10^{26}$ W en een straal van $6,957 \cdot 10^8$ 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 minder vermogen heeft dan de zon.
b Hoeveel keer minder is het vermogen van Proxima Centauri ten opzichte van 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 golflengte λ_{\max} die het meest wordt uitgestraald door Antares A.

- 15***** Betelgeuze is een reusachtige ster op 50 lichtjaar afstand van de aarde.
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 300 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.

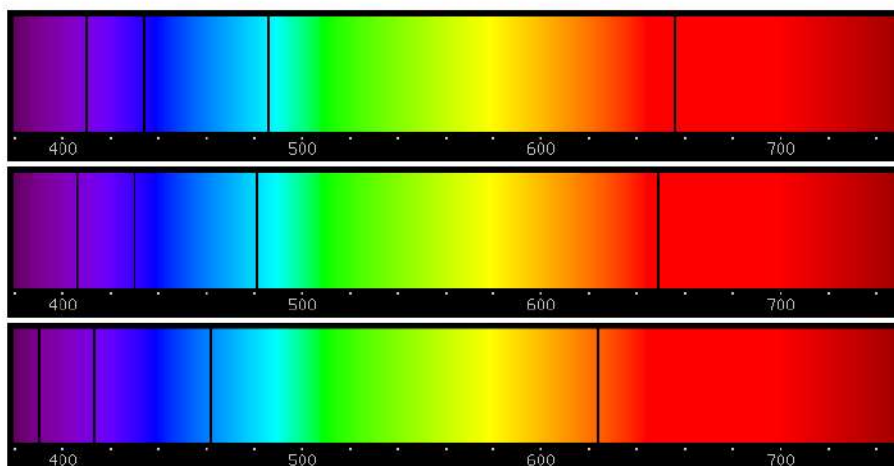


- Is de golflengte van de waargenomen EM-straling van waterstofgas groter, kleiner of gelijk aan 21,106114 cm?
- Bereken de golflengte van de waargenomen EM-straling van waterstofgas in het Andromedastelsel.

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

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

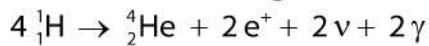
18*** In de figuur zie je drie keer het absorptiespectrum van waterstof.



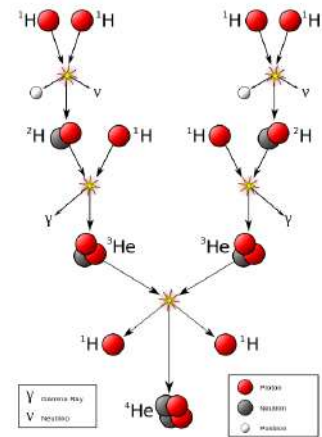
- Waarom zie je dat dit een absorptiespectrum is en geen emissiespectrum?
- Bij welke van deze drie spectra staat de stralingsbron stil ten opzichte van de waarnemer?
- Leg uit of de bron bij de twee andere spectra naar de waarnemer toe of van de waarnemer af bewegen.
- Bereken voor de twee andere spectra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



- $\text{}^1_1\text{H}$ is een proton
- $\text{}^4_2\text{He}$ 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 reactiecyclus?

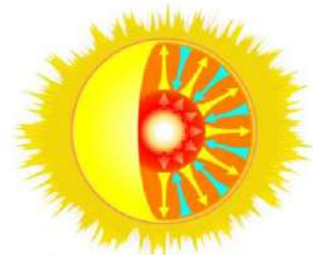
De zon heeft een stralingsvermogen van $3,828 \cdot 10^{26}$ W.

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 $4,259 \cdot 10^9$ 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 $1,9884 \cdot 10^{30}$ 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 Hoeveel jaar duurt het 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 hoofdreekssterren te vinden op de diagonaal van linksboven naar rechtsonder. Het maximum aantal jaren waarin een hoofdreeksster energie kan uitstralen is recht evenredig met de massa en omgekeerd evenredig met het uitgestraald vermogen.

a Leg dit uit.

Voor een hoofdreeksster geldt: $t = t_{\text{zon}} \cdot \frac{M_{\text{ster}} \cdot P_{\text{zon}}}{M_{\text{zon}} \cdot P_{\text{ster}}}$

- t_{ster} is de levensduur van de ster in jaar (y)
- t_{zon} is de levensduur van de zon ($1,0 \cdot 10^{10}$ jaar)
- M_{ster} is de massa van de ster (kg) | M_{zon} is de massa van de zon (kg)
- P_{ster} is het vermogen van de ster (W) | P_{zon} is het vermogen van de zon (W)

Het uitgestraald vermogen 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.

Het uitgestraald vermogen 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 dit nu is.

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

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

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

a Bereken de dichtheid van deze neutronenster.

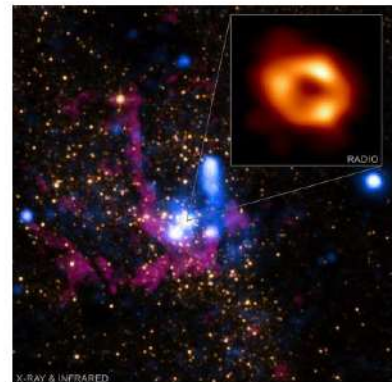
Voor de ontsnappingsnelheid geldt: $v_{\text{ontsnap}} = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{r}}$

b Bereken de ontsnappingsnelheid van deze neutronenster.

6*** In het centrum van de Melkweg bevindt zich het zwarte gat Sagittarius A met een massa van 3,7 miljoen keer die van de zon. De figuur is een foto van het centrum van de Melkweg.

Voor de Schwarzschildstraal geldt: $r_s = \frac{2 \cdot G \cdot M}{c^2}$.

a Bereken de Schwarzschildstraal van Sagittarius A.

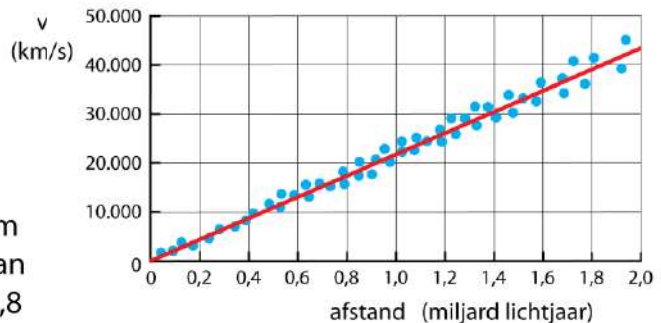


19.7 Het heelal

1*** Om de afstand van een sterrenstelsel te bepalen gebruik je de dopplerverschuiving van de spectraallijnen van waterstof. Vaak gebruik je hierbij de lijn met een golflengte van 656,28 nm.

a Bereken de golflengte van deze spectraallijn van waterstof als dit wordt uitgezonden door een sterrenstelsel dat met 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.



b Bereken de golflengte van de 656,28 nm spectraallijn van waterstof afkomstig van een sterrenstelsel op een afstand van 1,8 miljard lichtjaar.

c Leg uit of er een recht evenredig verband is 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 Hubbleconstante genoemd.

d Bepaal de Hubbleconstante in meter per seconde per meter (m/s per meter).

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 spectraallijn van helium 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 in lichtjaar.

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?

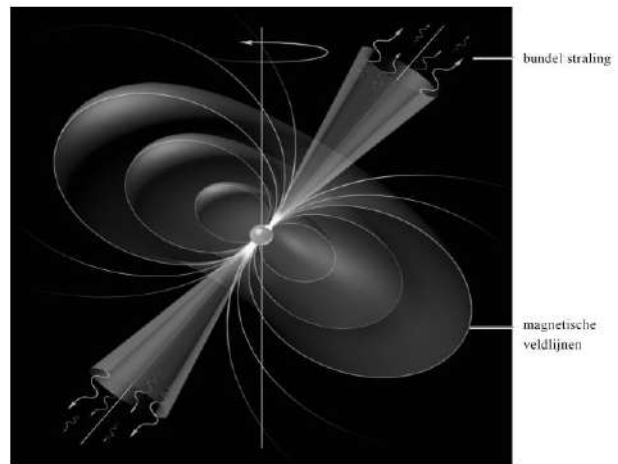
b Bij welke golflengte verwacht je de waterstoflijn met $\lambda = 486,1$ nm als je een waarneming doet aan dit stelsel?



Examenvragen vwo

Vuurtorens in de ruimte

Een pulsar ontstaat als een zware ster aan het eind van zijn leven met een supernova-explosie uit elkaar spat. Het binnenste gedeelte blijft over en stort onder zijn eigen gewicht in elkaar. Een pulsar bestaat daarvoor uit een compacte bal die vanuit zijn twee magnetische polen continu intense bundels straling uitzendt. Deze straling bestaat uit elektromagnetische straling en uit snelle geladen deeltjes. Zie figuur 1.



Figuur 1

Een pulsar draait tientallen keren per seconde om zijn as. Omdat de magnetische polen niet op de draaias liggen, zwiepen de bundels als vuurtorenbundels door de ruimte. Elke keer als zo'n bundel op de aarde valt, nemen astronomen op de aarde een puls waar: vandaar de naam pulsar.

Men schat dat er meer dan een kwart miljoen pulsars in ons melkwegstelsel zijn. Ondanks het feit dat de detectoren op aarde gevoelig genoeg zijn om de straling van een pulsar te meten, is op aarde slechts een klein deel van die pulsars waar te nemen.

1p **1** Geef de reden hiervoor.

Na het ineenstorten van de oorspronkelijke ster zijn er geen atomen meer: een pulsar bestaat uitsluitend uit neutronen en is dus een neutronenster.

2p **2** Geef de reactievergelijking voor de vorming van een neutron.

In 1967 ontdekten wetenschappers één van de eerste pulsars in de Krabnevel. Men schat dat de massa van die waargenomen pulsar 1,4 keer zo groot is als de massa van de zon. Met een modelberekening is de straal van de pulsar te berekenen. In dat model zien we een neutron als een bolletje met een straal van $1,25 \cdot 10^{-15}$ m. Bovendien gaan we ervan uit dat de dichtheid van het pulsarmateriaal even groot is als de dichtheid van een neutron. Op basis van deze schattingen en aannamen volgt dat de straal van de pulsar 15 km is.

4p **3** Laat dat met een berekening zien. Gebruik daarbij dat voor het volume van een bol geldt: $V = \frac{4}{3} \pi r^3$.

Van de ontdekte pulsar ontving men 30 keer per seconde een signaal.

3p **4** Bereken hiermee de baansnelheid van de evenaar van deze pulsar.

De 'kritische snelheid' van een pulsar is de baansnelheid van de evenaar waarbij de gravitatiekracht gelijk is aan benodigde middelpuntzoekende kracht. Als de baansnelheid van de evenaar groter is dan de kritische snelheid, vliegt de pulsar uit elkaar.

4p **5** Bereken de kritische snelheid van deze pulsar uitgedrukt in de lichtsnelheid.

Omdat de Krabnevel beweegt ten opzichte van de aarde met een snelheid van $1,5 \cdot 10^6 \text{ m s}^{-1}$, treedt het dopplereffect in het spectrum van de Krabnevel op. In een deel van de Krabnevel neemt men een waterstoflijn waar die een golflengte heeft van 653 nm.

4p **6** Voer de volgende opdrachten uit:

- Bereken de dopplerverschuiving in de golflengte $\Delta\lambda$.
Omdat de dopplerverschuiving relatief klein is, mag in de formule de waargenomen waarde van de golflengte ingevuld worden.
- Ga na om welke lijn in het waterstofspectrum in tabel 21 van Binas het gaat.
- Beredeneer of dit deel van de Krabnevel naar de aarde toe beweegt of van de aarde af.

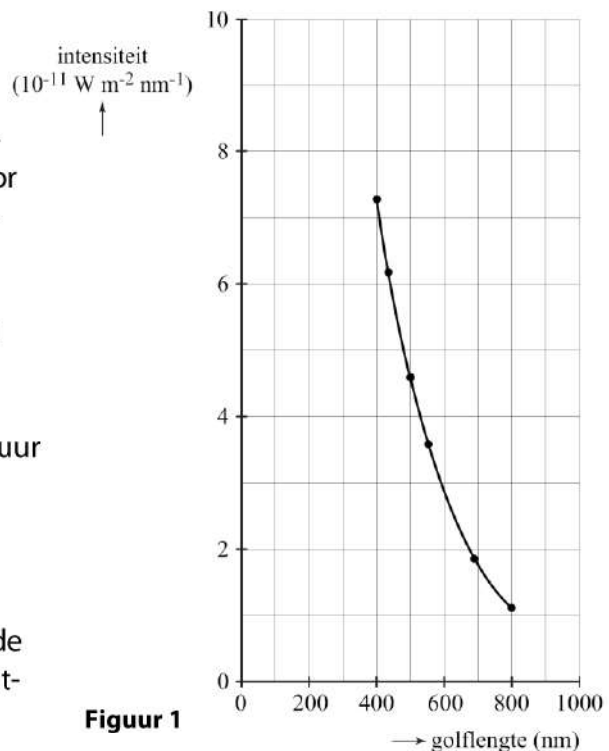
Wega

Wega is een heldere ster in het sterrenbeeld Lyra (Lier). Op grond van een analyse van de straling van Wega kunnen eigenschappen van de ster bepaald worden, zoals de temperatuur en het uitgestraald vermogen. Hiervoor heeft men op aarde heel nauwkeurig de ontvangen stralingsintensiteit (per golflengtegebied van 1 nm) in het zichtbare gebied als functie van de golflengte bepaald. In figuur 1 staan de resultaten.

Hieruit kan worden afgeleid dat de temperatuur van Wega hoger is dan 7000 K.

3p **1** Laat dat zien.

Met behulp van figuur 1 kan de grootte van de stralingsintensiteit in het gebied van het zichtbare licht geschat worden.



Figuur 1

Men heeft ook de totale stralingsintensiteit van Wega gemeten die per seconde bij de aarde aankomt. Over het gehele spectrum gemeten is dit $2,9 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2}$. Een percentage hiervan ligt in het zichtbare gebied.

4p **2** Bepaal dit percentage.

Het uitgestraald vermogen van Wega is groter dan het uitgestraald vermogen van de zon.

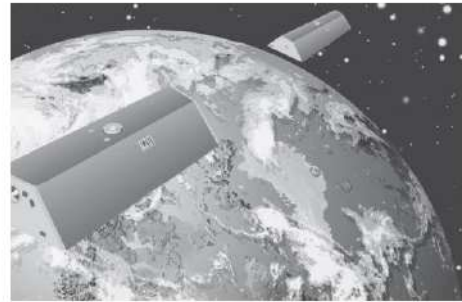
4p **3** Bereken hoeveel maal zo groot. Je hoeft geen rekening te houden met absorptie in de atmosfeer.

GRACE

Lees het volgende artikel.

De valversnelling is niet overal gelijk.

De valversnelling is niet overal op aarde precies gelijk. Dit kan een gevolg zijn van de draaiing en de afplating van de aarde, maar ook van specifieke eigenschappen van de aardkorst. Bergen, zware gesteenten of olievelden veroorzaken permanente afwijkingen in de plaatselijke zwaartekracht. Aardverschuivingen, getijdenwerkingen en het smelten van poolkappen leveren daarentegen tijdelijke afwijkingen op. Om dit alles te kunnen meten, zijn twee identieke satellieten gelanceerd: GRACE A en GRACE B. Zie figuur 1.



Figuur 1

De twee satellieten draaien achter elkaar aan om de aarde op een hoogte van 485 km met een onderlinge afstand van 220 km. Kleine afwijkingen in de gravitatiekracht beïnvloeden de onderlinge afstand tussen de satellieten. De satellieten leggen per etmaal ongeveer 15 rondjes om de aarde af.

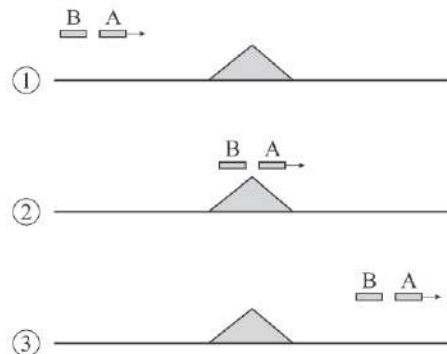
4p **1** Toon dit aan.

Hint: Bereken daartoe eerst de snelheid en de omlooptijd van de satellieten.

We bekijken de situatie waarin de twee satellieten A en B na elkaar over een grote berg gaan, zoals aangegeven in figuur 2. Hierbij verandert de onderlinge afstand AB.

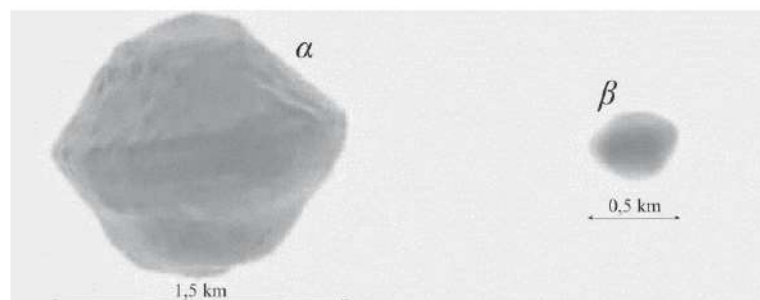
2p **2** Leg uit dat de onderlinge afstand AB:

- eerst groter wordt;
- uiteindelijk de oorspronkelijke waarde heeft.



Dubbel-planetoïde 1999 KW4 (aangepast)

Planetoïden, soms ook asteroïden genoemd, zijn brokstukken die zich net als planeten in een baan om de zon bewegen. Hun doorsnede varieert van veel minder dan 1 km tot zo'n 1000 km. De titel van deze opgave verwijst naar de dubbel-planetoïde die, voor zover nu bekend, het dichtste bij de zon komt. Uit radarbeelden blijkt dat deze dubbel-planetoïde uit twee brokstukken bestaat die om elkaar heen draaien. De grote wordt α genoemd, de kleine β . Zie figuur 1.



Figuur 1

Hieronder zijn een aantal onderzoeksgegevens over 1999 KW4 te vinden.

- De massa van α is $2,6 \cdot 10^{12}$ kg.
- De (maximale) diameter van α is 1,5 km.
- De (maximale) diameter van β is 0,5 km.
- De omlooptijd van β om α is 17,4 uur.
- De gravitatieversnelling op de evenaar van α is $4,3 \cdot 10^{-4} \text{ m s}^{-2}$.
- De rotatietijd van α (de tijd waarin hij om zijn as draait) is 2,5 uur.

Sommige hemellichamen blijken voornamelijk uit ijzer te bestaan.

- 3p **1** Ga met behulp van een schatting na of dat voor α aannemelijk is.

De benodigde middelpuntzoekende kracht om β in zijn baan om α te houden, wordt geleverd door de gravitatiekracht. Voor de omlooptijd T van β geldt de wet van Kepler:

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

- M is de massa van α
- r is de afstand tussen α en β
- T is de omlooptijd.

- 3p **2** Bewijs deze wet met formules uit Binas zonder daarbij gebruik te maken van de wet van Kepler die ook in Binas staat.

De massa van α die in het kader staat, is berekend met de wet van Kepler uit de waargenomen afstand tussen de zwaartepunten van α en β .

- 3p **3** Bereken hoe groot de afstand tussen α en β is. Geef je antwoord in het juiste aantal significante cijfers.

De wetenschapsjournalist Karel Knip schrijft in het NRC-Handelsblad dat α bij deze rotatietijd net niet "uit elkaar spat". Bij een kleinere rotatietijd zou dat net wel gebeuren. Bij die rotatietijd T_{rot} zouden losliggende stenen op de evenaar niet blijven liggen.

- 3p **4** Bereken rotatietijd T_{rot} .

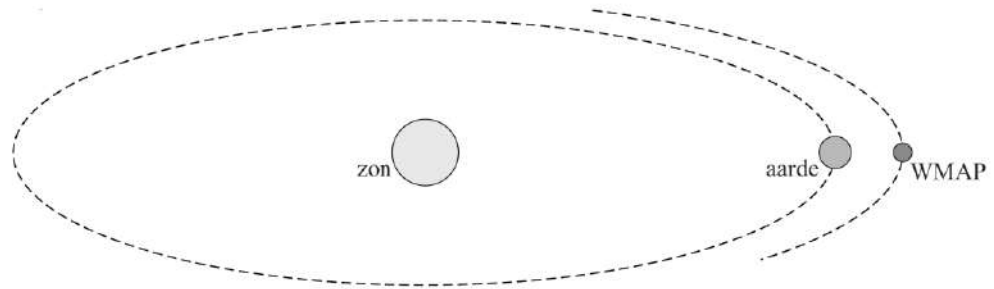
WMAP

In 2001 werd de satelliet genaamd WMAP gelanceerd die tot taak had nauwkeurige metingen van de kosmische achtergrondstraling te verrichten (WMAP = Wilkinson Microwave Anisotropy Probe). Zie figuur 1.

WMAP is gestationeerd in het zogenoemde Lagrangepunt 2; dat punt bevindt zich aan de zijde van de aarde die niet door de zon verlicht wordt op 1,5 miljoen kilometer afstand van de aarde. Zie figuur 2. Deze figuur is niet op schaal.



Figuur 1



Figuur 2

Een satelliet die zich in het Lagrangepunt 2 bevindt, gedraagt zich niet als een ‘kunstmaan’ die rond de aarde cirkelt, maar draait met de aarde mee om de zon. De zon, de aarde en WMAP bevinden zich hierbij steeds op één lijn. Om dit meedraaien te bereiken moet op WMAP (massa 840 kg) een resulterende kracht werken ter grootte van 5,0 N.

4p **1** Toon dat aan.

WMAP ondervindt een gravitatiekracht van de aarde en een gravitatiekracht van de zon. Die krachten leveren samen de resulterende kracht van 5,0 N.

3p **2** Ga na welke van de twee gravitatiekrachten hieraan de grootste bijdrage levert.

WMAP heeft een detector die de intensiteit van elektromagnetische straling met golflengtes in het mm-gebied meet. Bij de metingen is het belangrijk dat de gemeten straling echt vanuit de kosmische ruimte komt en niet van bronnen zoals de zon.

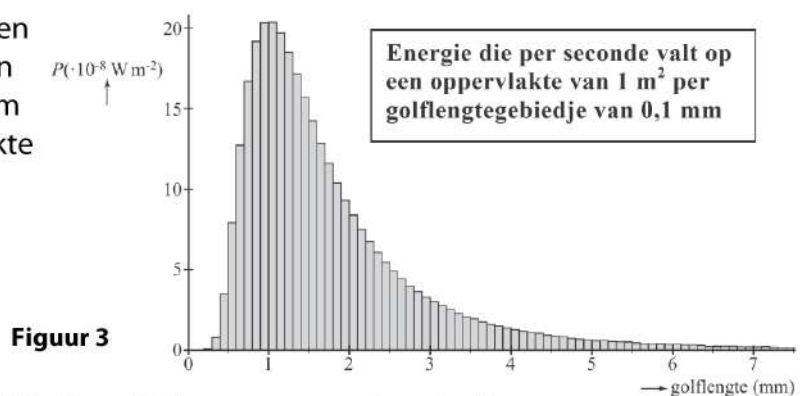
3p **3** Ga na of WMAP volledig in de schaduw van de aarde zit of dat er toch straling van de zon rechtstreeks WMAP bereikt.

Neem aan dat WMAP zich op de lijn door de middelpunten van de aarde en de zon bevindt.

De metingen van WMAP worden gecorrigeerd voor de invloed van alle storende bronnen, zodat alleen de kosmische achtergrondstraling overblijft. Uit de gecorrigeerde metingen is figuur 3 afgeleid.

Hieronder staan vier schattingen van het aantal fotonen met een golflengte tussen 1,0 en 2,0 mm dat per seconde een oppervlakte van 1,0 m² treft.

- a $1 \cdot 10^{10}$
- b $1 \cdot 10^{13}$
- c $1 \cdot 10^{16}$
- d $1 \cdot 10^{19}$



Figuur 3

3p **4** Welke schatting is de beste? Motiveer je keuze met een berekening.

Bij de stralingskromme van figuur 3 hoort een temperatuur van 2,6 K.

2p **5** Toon dat aan.

De gemeten achtergrondstraling heeft vanuit alle richtingen van het heelal hetzelfde spectrum en dezelfde intensiteit. Dit duidt erop dat de straling is ontstaan vóóordat de sterren gevormd werden en elektronen werden gebonden in atomen. De straling is dus afkomstig van het vroege heelal, toen het 'doorzichtig' werd bij een temperatuur van zo'n 3000 K.

Vrijwel alle fotonen 'van toen' zijn nu nog steeds onderweg, alleen is hun 'kleur' veranderd in ver infrarood. Er is dus sprake van 'roodverschuiving'. Hieronder staan twee verklaringen voor deze roodverschuiving.

- Dopplerverschuiving ten gevolge van de radiale snelheid van de bron.
- Kosmologische roodverschuiving vanwege de uitdijning van het heelal.

Dopplerverschuiving kan niet de verklaring zijn omdat daaruit een snelheid volgt die groter is dan de lichtsnelheid.

3p **6** Toon dat aan.