

12 Sterrenkunde

havo

12.1 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?

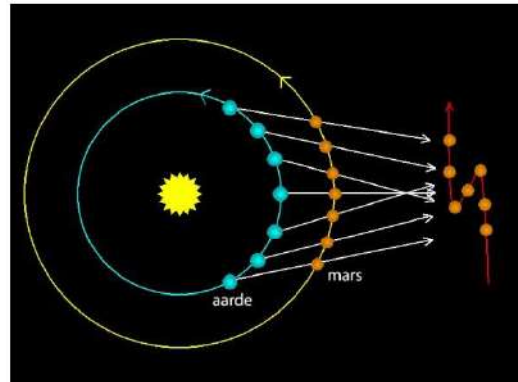
10* De banen van de planeten bewegen niet allemaal in hetzelfde platte vlak. Ten opzichte van het vlak waarin de aarde om de zon draait heeft het vlak waarin een planeet beweegt een bepaalde hoek. Dit noem je de helling ten opzichte van de ecliptica.

- 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.

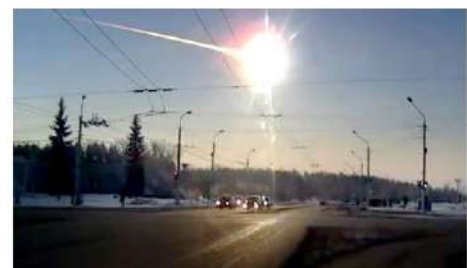
- a** Bereken de gemiddelde snelheid van New Horizons. Schat het aantal dagen tussen de twee data en gebruik het verschil in baanstraal als afstand.



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.

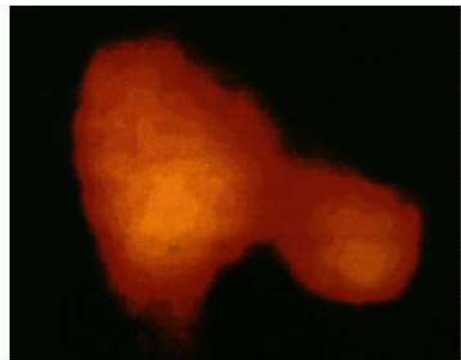
- c** Bereken de snelheid waarmee de meteoriet in de dampkring kwam.

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?

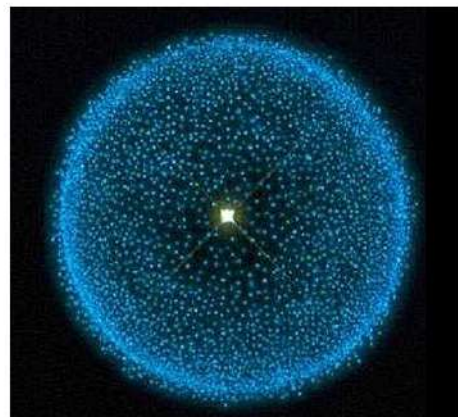


15*** De Oortwolk (genoemd naar de Nederlandse astronoom Jan Oort) is een bolvormig gebied met brokstukken op een afstand van 10.000 tot 100.000 astronomische eenheden (AE) van de zon. Eén astronomische eenheid is gelijk aan de afstand van de aarde tot de zon.

- 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?



12.2 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?

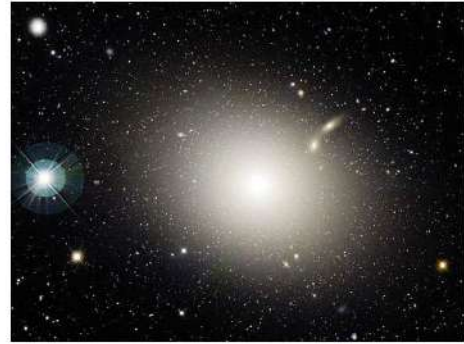


- 5** Het Andromeda-stelsel staat op een afstand van 2,54 miljoen lichtjaar van de zon. Met een telescoop speuren we naar intelligent leven dat zich mogelijk in dit stelsel bevindt.

- 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.

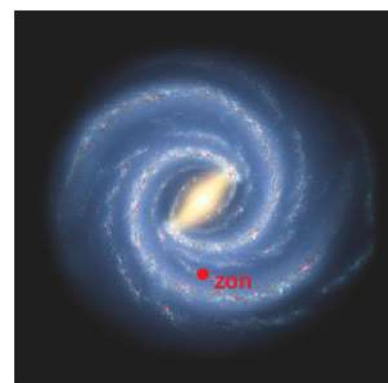
- a** Hoe groot is de gemiddelde afstand tussen twee sterren in de buurt van de zon?

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.



12.3 Cirkelbeweging

Cirkelbeweging op aarde

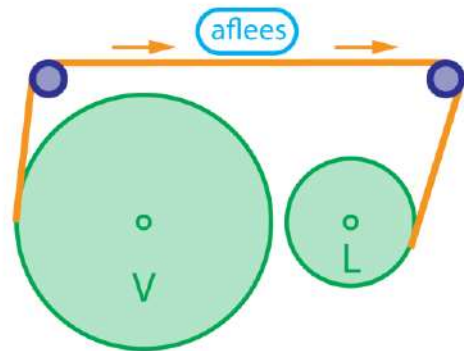
- 1***
- a** Wat is een eenparige cirkelbeweging?
 - b** Waarom is er voor een eenparige cirkelbeweging een kracht nodig?
 - c** Hoe heet deze kracht en wat weet je van deze kracht?
- 2****
- Waar komt de middelpuntzoekende kracht in onderstaande gevallen vandaan?
- a** Een steen aan een touw die horizontaal 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.
- 3****
- 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** Waarom is er een middelpuntzoekende kracht?
- 4****
- Een tandartsboortje heeft een toerental van $2,5 \cdot 10^5$ toeren per minuut (RPM). De diameter van het boortje is 1,5 mm.
- a** Bereken de baansnelheid van de buitenkant van het boortje.
- 5****
- Je rijdt met je fiets 100 meter in 13 seconden. 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.
- 6*****
- Een wasmachine heeft tijdens het centrifugeren een toerental van 1200 rotaties per minuut.
- a** Bereken de (rotatie) 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 ervoor zorgt dat de handdoek droger wordt.
- f** Leg uit of F_{mpz} tijdens het centrifugeren groter wordt, kleiner wordt of gelijk blijft.

7*** Bij een cassette recorder wordt muziek opgenomen op een dunne opgerolde magneetband. Tijdens het afspeken loopt de band met een snelheid van 5,00 cm/s van een volle spoel V naar een lege spoel L.



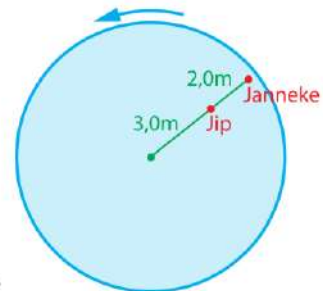
Aan de zijkanten zijn twee wieltjes om de band langs de afleeskop te geleiden. Deze wieltjes hebben een diameter van 8,0 mm. De speelduur van de cassette is 45,0 min.

- a** Bereken de lengte van de cassetteband.
- b** Bereken de omlooptijd van een geleidingswieltje.

De volle spoel heeft een diameter van 4,50 cm en de lege spoel heeft een diameter van 2,00 cm.

- c** Bereken de omlooptijd van de volle spoel.
- d** Hoeveel omlopen maakt de lege spoel in één omloop van de volle spoel?

8*** Jip en Janneke zitten naast elkaar in een draaimolen die 10 rondjes per minuut maakt. Jip zit op 3,0 meter van de draaias en Janneke op 5,0 m.



- a** Bereken de omlooptijd en de omloopfrequentie van de draaimolen.
- b** Bereken de baansnelheden van Jip en van Janneke.
- c** Bereken de afstanden die Jip en Janneke in 1,0 minuut afleggen.

Voor een cirkelbeweging met constante baansnelheid is de resulterende kracht gelijk aan de middelpuntzoekende kracht. De middelpuntzoekende versnelling a_{mpz} geeft aan hoeveel de richting van de snelheid per seconde verandert. Hiervoor geldt:

$$a_{mpz} = \frac{v_{baan}^2}{r}$$

- d** Leid deze formule af met formules uit Binas.
- e** Bereken de middelpuntzoekende versnelling a_{mpz} van Jip en van Janneke.

Janneke beweert dat F_{mpz} op haar even groot is als op Jip.

- f** Leg uit of ze daarin gelijk kan hebben.

9*** 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** Waarom is er een middelpuntzoekende kracht?



Daarna komt er een scherpe bocht met een straal van $5,0 \text{ m}$. 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: $a_{\text{mpz}} = F_{\text{mpz}} / m$. 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} 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?

10**** Vera ($m = 47 \text{ kg}$) zit op een schommel met touwen van $2,4 \text{ meter}$ 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 $3,0 \text{ m/s}$ 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.

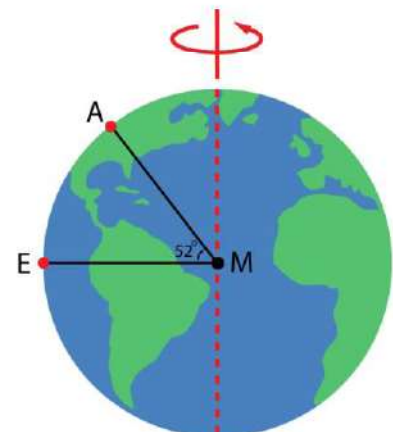


11**** De aarde draait in 24 uur om haar as.

- 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** Waarom is er een middelpuntzoekende kracht?

Amsterdam ligt op 52 graden noorderbreedte, zie figuur.

- e** Is de baansnelheid in Amsterdam groter, kleiner of even groot als 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 op de evenaar?
- h** Bereken F_{mpz} op een persoon van 70 kg in Amsterdam.

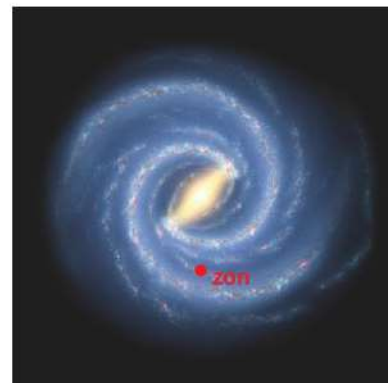
Cirkelbeweging in de ruimte

- 12**** De maan draait in 27,32 dagen om de aarde. De afstand van de maan tot de aarde is $384,4 \cdot 10^3$ km.
- a** Bereken de omlooptijd en de omloopfrequentie van de maan.
 - b** Bereken de baansnelheid van de maan.
- 13***** De planeten maken 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.
 - 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?

- 14***** 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.
- 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 gehad?
- d** Hoeveel galactische jaren wordt de zon oud?



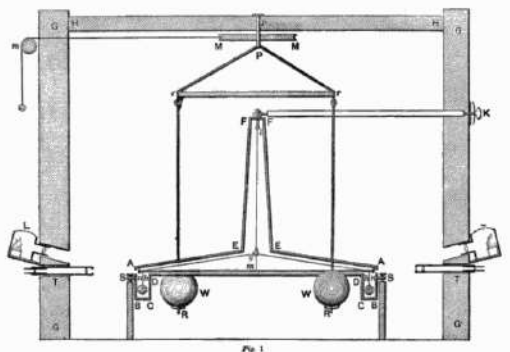
12.4 Gravitatie

- 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.

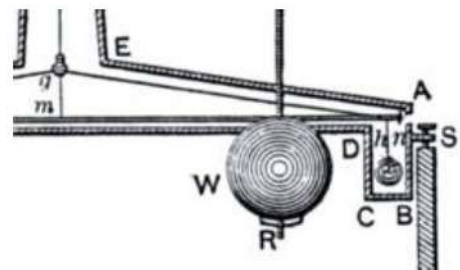
In gedachten laten we de stenen krimpen tot een punt. Je spreekt dan van een puntmassa.

- 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 grondeenheden.
- c Leid de eenheid van g af uit de gravitatiewet van Newton in grondeenheden.

- 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: $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$.

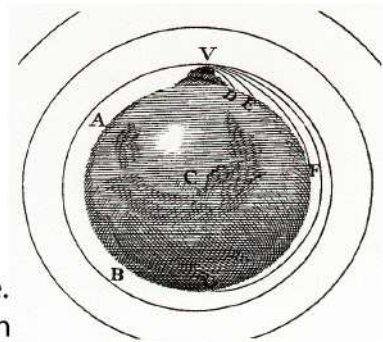
Voor de gravitatieversnelling op aarde geldt: $g = G \cdot \frac{m_{\text{aarde}}}{r_{\text{aarde}}^2}$

- 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 snelheid waarbij de kogel een rondje om de aarde maakt geldt:

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

- b Toon dit aan.
- c Bereken de snelheid 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.

Als je deze formule combineert met $v = \frac{2\pi \cdot r}{T}$ kun je de derde wet van Kepler afleiden:

$$\frac{r^3}{T^2} = \frac{G \cdot M}{4\pi^2} \quad \text{de derde wet van Kepler}$$

b Toon dit aan.

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

a Bereken de snelheid waarmee Mars om de zon draait.

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.

9*** 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.

10*** 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.

11*** 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.



12*** De Europese weersatellieten MetOP hebben een polaire baan om de aarde.

a Leg uit wat met een polaire baan wordt bedoeld.

Een MetOP satelliet heeft een snelheid van $7,44 \cdot 10^3$ m/s.

b Bereken de baanstraal van een MetOP satelliet.



- c Hoeveel kilometer staat een MetOp satelliet boven het aardoppervlak?
- d Bereken de omlooptijd van een MetOP satelliet in minuten.
- e Hoeveel omlopen maakt een MetOP satelliet per dag?
- f Hoeveel graden is de aarde gedraaid tussen twee omlopen van een MetOP satelliet?

13*** 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.
- 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?

14*** 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.



Om de baanstraal van een geostationaire satelliet te berekenen moet je de derde wet van Kepler gebruiken:

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

- c Bereken de baanstraal van een geostationaire satelliet.
- d Bereken hoe hoog een geostationaire satelliet boven het aardoppervlak staat.
- e Bereken de baansnelheid van een geostationaire satelliet.

15*** 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.

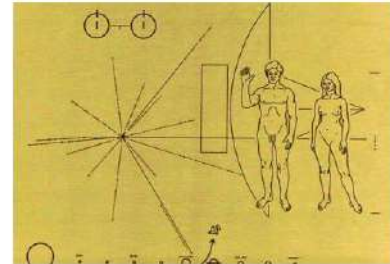
- Bereken de kracht die de zon op Pioneer-10 uitoefent op een afstand van $6,2 \cdot 10^{12}$ m.
- Op welke afstand van de aarde is de Pioneer-10 in 2030? Ga er van uit dat de Pioneer-10 vanaf de lancering in 1971 een constante snelheid heeft?

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

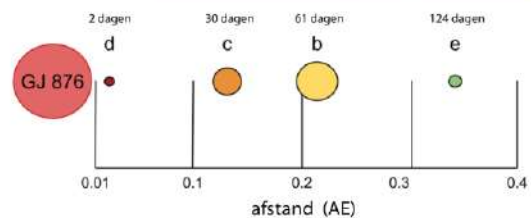
- Hoeveel jaar doet de Pioneer-10 om bij Aldebaran aan te komen?

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.

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



- 16***** 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.

- 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.

- Bereken de straal van Gliese b.
- 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.

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

- 17****** 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 omloofrequentie 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?

12.5 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

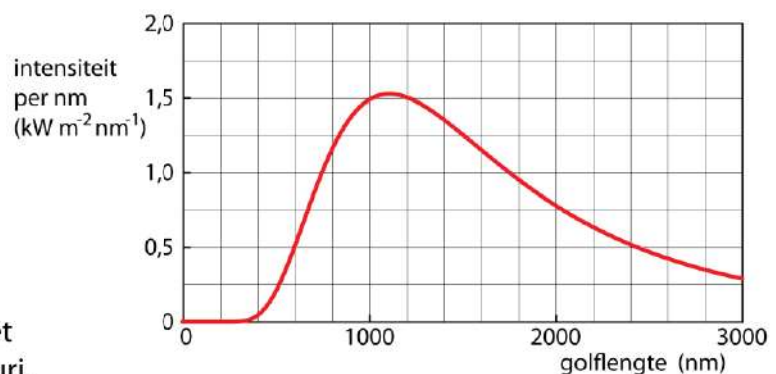
5*** De zon zendt licht met een golflengte van 501 nm het meeste uit.

a Bereken de temperatuur van het oppervlak van de zon.

De ster die het dichtst bij de zon staat is Proxima Centauri. Hiernaast zie je het continue spectrum van het licht dat door Proxima Centauri wordt uitgestraald.

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

c Bepaal de temperatuur van het oppervlak van Proxima Centauri.



6*** Betelgeuze is een reusachtige ster in het sterrenbeeld Orion op 50 lichtjaar afstand van de aarde.

a Bereken de straal van Betelgeuze.

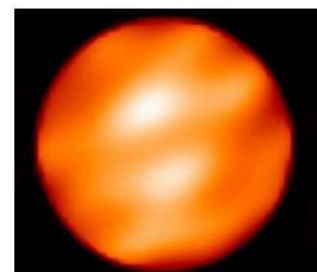
b Bereken hoe vaak de zon in Betelgeuze past.

Het oppervlak van Betelgeuze is $4,9 \cdot 10^5$ keer zo groot als het oppervlak van de zon.

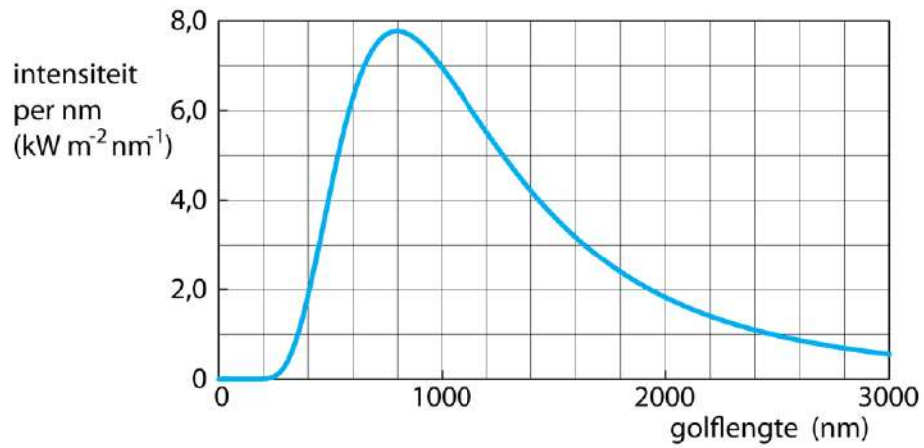
c Toon dit aan.

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

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



Hieronder zie je het continue spectrum van het licht dat door Betelgeuze wordt uitgestraald.



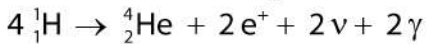
e Bepaal de temperatuur van het oppervlak van Betelgeuze.

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

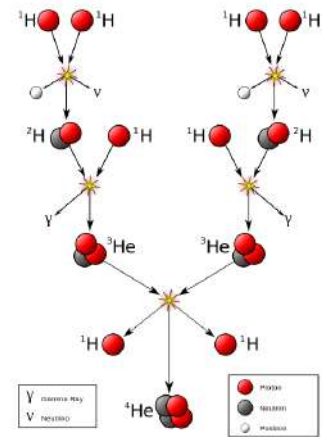
f Is de temperatuur bij deze vlekken hoger of lager dan buiten deze vlekken?

12.6 De levensloop van sterren

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



- ${}^1_1\text{H}$ 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 $3,954 \cdot 10^{-12}$ J energie vrij. Hierbij wordt massa omgezet in energie, waarvoor geldt: $E = m \cdot c^2$. In deze beroemde formule van Einstein is E de energie die ontstaat (J), m de massa die verdwijnt (kg) en c de lichtsnelheid (m/s).

a Bereken hoeveel massa er verdwijnt in één reactiecyclus.

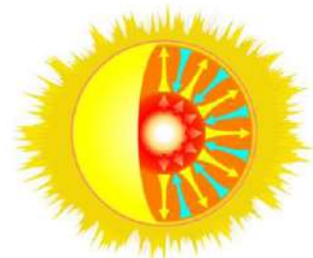
De zon heeft een stralingsvermogen van $3,828 \cdot 10^{26}$ W.

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 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*** 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?

4*** 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.

De ontsnappingsnelheid van een hemellichaam is de minimale snelheid waarmee een projectiel vanaf het oppervlak moet worden weggeschoten, om aan de gravitatie van dit hemellichaam te kunnen ontsnappen. Hiervoor geldt:

$$v_{\text{ontsnap}} = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{r}}$$

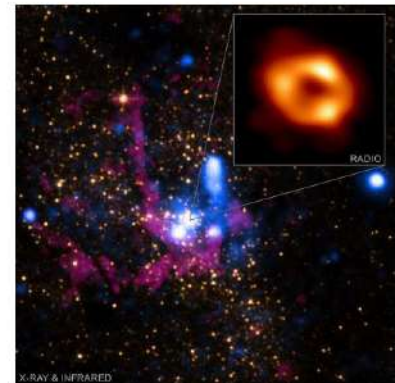
b Toon aan dat $\sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{r}}$ de eenheid m s^{-1} heeft.

c Bereken de ontsnappingsnelheid van deze neutronenster.

5*** 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.



12.7 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. Voor de dopplerverschuiving geldt:

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

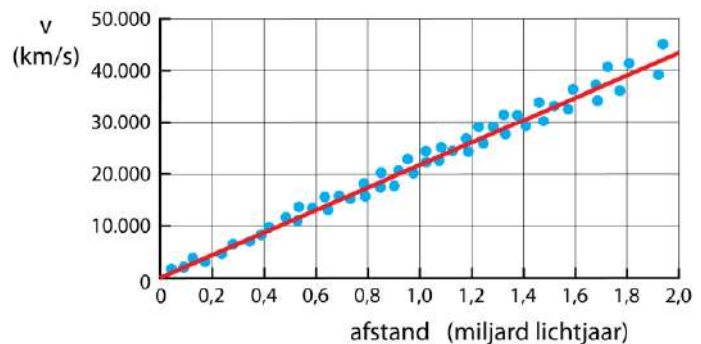
- $\Delta\lambda$ is de verandering van de golflengte
- λ_0 is de golflengte bij een stilstaande bron
- v is de snelheid van de bron
- c is de lichtsnelheid

De waargenomen golflengte wordt groter als de bron van je vandaan beweegt en kleiner als de bron naar je toe beweegt.

- a** Bereken de golflengte die je waarneemt als deze spectrale lijn wordt uitgezonden door een sterrenstelsel dat met 18.000 km/s van je vandaan beweegt.

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

- b** Bereken de golflengte van de 656,28 nm spectrale lijn 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 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 spectrale lijn 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 $\lambda = 486,1 \text{ nm}$ als je een waarneming doet aan dit stelsel?



Examenvragen havo

Nieuwe exoplaneet ontdekt

Op 3 februari 2009 meldde ESA (European Space Agency) de ontdekking van de exoplaneet Corot-exo-7b. Een exoplaneet is een planeet die niet om de zon maar om een (andere) ster draait, een planeet in een ander zonnestelsel dus. In de tabel hieronder staat een aantal gegevens van deze planeet en zijn 'zon'.

Naam ster	Corot-exo-7	Naam planeet	Corot-exo-7b
afstand	140 pc	ontdekt in	2009
type	K0V	massa	$5 \text{ à } 10 M_{\text{aarde}}$
schijnbare magnitude	11,7	straal planeet	$1,8 R_{\text{aarde}}$
leeftijd	$1,1 \cdot 10^9$ jaar	straal planeetbaan	$2,54 \cdot 10^9$ m
effectieve temperatuur	5300 K	omlooptijd	0,83 dagen

De afstand tussen ons en de ster is uitgedrukt in parsec (pc). Behalve de parsec wordt ook de eenheid lichtjaar gebruikt om afstanden in het heelal aan te geven.

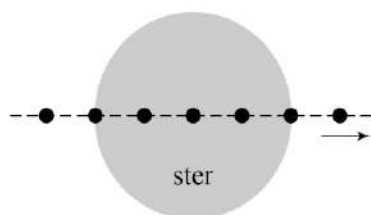
- 2p **1** Reken met behulp van Binas de afstand tot Corot-exo-7 om in lichtjaar.

Corot-exo-7b is de kleinste exoplaneet die tot nu toe is waargenomen. Zijn straal is maar 1,8 maal zo groot als die van de aarde. Voor het volume van een bol met straal r geldt $V = \frac{4}{3}\pi \cdot r^3$.

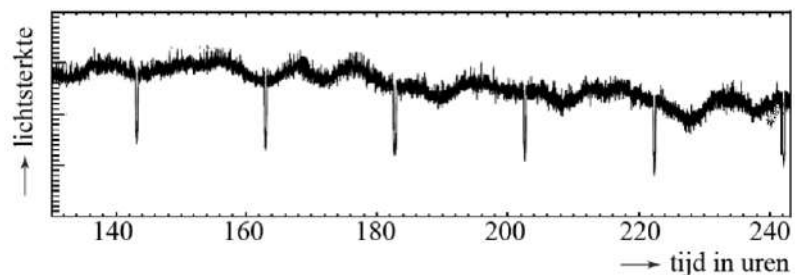
Over de massa van de planeet bestaat nog veel onzekerheid. Zie de tabel. Veronderstel dat de exoplaneet 'aardachtig' is, dat wil zeggen dat de dichtheid van de planeet (ongeveer) gelijk is aan die van de aarde.

- 3p **2** Hoe groot is in dat geval de massa van de planeet, uitgedrukt in de massa van de aarde? Licht je antwoord toe.

Corot-exo-7b is ontdekt met behulp van de transitmethode. Telkens als de planeet in zijn baan voor de ster langs komt (zie figuur 1), dekt hij een klein deel van de ster af. Daardoor verandert de lichtsterkte van de ster periodiek. Zie figuur 2.



Figuur 1



Figuur 2

Een 'jaar' duurt op deze planeet erg kort.

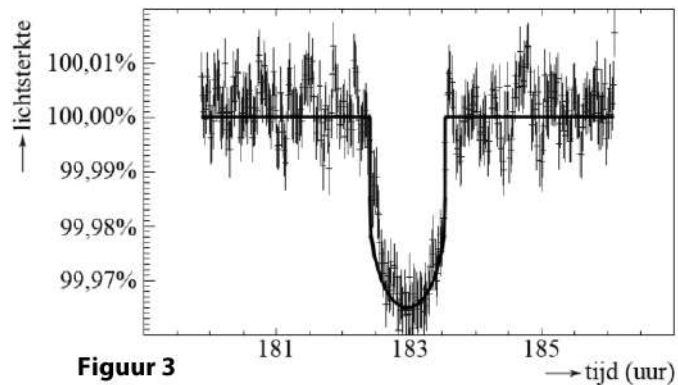
- 3p **3** Bepaal met behulp van figuur 2 hoelang een 'jaar' op deze planeet duurt. Ga na of je antwoord overeenkomt met de waarde die in de tabel is opgegeven.

Uit de gegevens in de tabel kan men berekenen dat de baansnelheid van de exoplaneet $2,2 \cdot 10^2$ km/s is.

- 3p **4** Voer die berekening uit.

In figuur 3 is een deel van figuur 2 uitvergroot. De getrokken lijn is de trendlijn door de meetpunten.

- 3p **5** Bepaal met behulp van figuur 3 de diameter van de ster. Neem daarbij aan dat de diameter van de planeet te verwaarlozen is ten opzichte van de diameter van de ster.



In de tabel staat de effectieve temperatuur (oppervlaktetemperatuur) van de ster waar de planeet omheen draait.

- 3p **6** Is de kleur van deze ster roder of blauwer dan die van de zon? Licht je antwoord toe.

Blauw oog voor Jupiter (aangepast)

Op 20 juli 2009 werd de planeet Jupiter getroffen door een onbekend object. Alex en Inge lazen de volgende dag een artikel in de krant over deze inslag. Lees dit artikel en bekijk de foto.

'Blauw oog' voor Jupiter

De planeet Jupiter heeft sinds enkele dagen een litteken, nadat een onbekend object met grote snelheid vlakbij de zuidpool is ingeslagen. De diameter van het litteken is groter dan de diameter van de aarde. Astronomen denken dat het object een komeet met een diameter van 40 km en een massa van $2 \cdot 10^{12}$ kg geweest zou kunnen zijn. Men schat dat hij met een snelheid van ongeveer 30 kilometer per seconde tegen Jupiter is gebotst.



In het artikel wordt beweerd dat de diameter van het litteken van de inslag groter is dan de diameter van de aarde. Alex en Inge willen aan de hand van de foto nagaan of deze bewering klopt. In het werkboek is deze foto vergroot weergegeven. Het litteken van de inslag is hierop met een pijltje aangegeven.

- 4p **1** Ga met behulp van de figuur in het werkboek na of de diameter van het litteken groter is dan de diameter van de aarde. [werkboek](#)

Veronderstel dat alle kinetische energie van de komeet die bij de inslag vrijkomt, gebruikt zou kunnen worden als elektrische energie. Een Nederlands huishouden gebruikt per jaar gemiddeld 4500 kWh elektrische energie. Er zijn 6 miljoen huishoudens in Nederland.

- 4p **2** Hoe lang zouden alle Nederlandse huishoudens samen met de energie die vrijkomt bij de inslag kunnen doen?

Alex en Inge willen naar aanleiding van deze gebeurtenis meer te weten komen over Jupiter. Inge berekent de snelheid waarmee een punt op de evenaar van de aarde rond-draait. Zij vindt daarvoor $1,7 \cdot 10^3$ km/h. Een punt op de evenaar van Jupiter draait rond in 0,413 d. Inge beweert dat de snelheid van een punt op de evenaar van Jupiter groter is dan $1,7 \cdot 10^3$ km/h.

- 4p **3** Beredeneer (of bereken) of Inge gelijk heeft.

Zowel de aarde als Jupiter draaien om de zon. Alex neemt aan dat de banen cirkelvormig zijn. Hij berekent dat de aarde met een snelheid van 30 km/s om de zon draait. Alex beweert dat Jupiter met een grotere snelheid om de zon draait dan de aarde.

- 4p **4** Beredeneer (of bereken) of Alex gelijk heeft.

Jupiter heeft een veel grotere massa dan de aarde en staat veel verder weg van de zon dan de aarde.

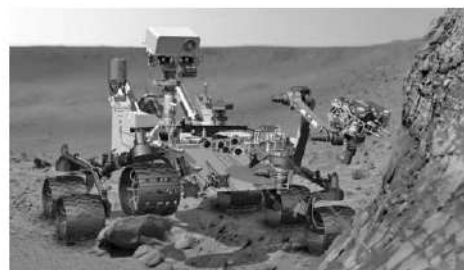
- 4p **5** Beredeneer (of bereken) of de gravitatiekracht van de zon op Jupiter groter of kleiner is dan de gravitatiekracht van de zon op de aarde.

Inge heeft thuis een weegschaal die 62 kg aanwijst als zij er op staat. In de weegschaal zit een veer die wordt ingedrukt bij belasting. Inge vraagt zich af wat de weegschaal zou aanwijzen als zij op het oppervlak van Jupiter op deze weegschaal zou kunnen staan.

- 3p **6** Beantwoord de volgende vragen:
- Hoe groot is de massa van Inge op Jupiter?
 - Bereken hoeveel de weegschaal op Jupiter zou aanwijzen als Inge er daar op zou kunnen staan.

Curiosity (aangepast)

Op 26 november 2011 werd vanaf Cape Canaveral in Florida, een raket naar Mars gelanceerd. Aan boord van de raket bevond zich de Curiosity, (zie figuur 1) die gegevens moest verzamelen over de omstandigheden op Mars, over de geschiedenis van de planeet en over een mogelijke bemande ruimtevlucht naar Mars. Na een reis van 567 miljoen kilometer in 255 dagen landde de Curiosity in 2012 op Mars.



Figuur 1

- 3p **1** Bereken de gemiddelde snelheid tijdens deze ruimtereis in m s^{-1} .

Bij de landing werd een nieuwe techniek gebruikt: een vliegende 'kraan' bleef 7 meter boven het Marsoppervlak hangen, terwijl de Curiosity voorzichtig met een constante snelheid naar beneden werd getakeld. Zie figuur 2.

De massa van de kraan en het voertuig samen is $3,6 \cdot 10^3 \text{ kg}$.



Figuur 2

- 2p **2** Bereken de zwaartekracht die tijdens de landing op het geheel werkt.

Uit de vier openingen van de kraan stroomden verbrandingsgassen die de kraan op constante hoogte hielden. De vier uitstroomopeningen staan een beetje schuin. In figuur 2 is de stuwkracht getekend die de gassen uit opening A op de kraan uitoefenen. De stuwkrachten van de gassen bij de overige openingen zijn even groot als de stuwkracht bij A en zijn ook schuin omhoog gericht.

Vergelijk in figuur 2 de stuwkracht bij A met de zwaartekracht op het geheel.

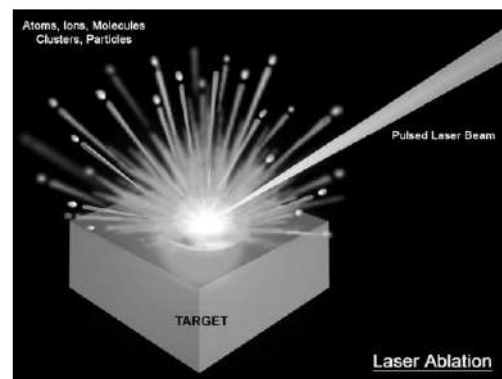
- 1p **3** Welke bewering is juist?

- A $F_{\text{stuw}} = F_Z$
- B $F_{\text{stuw}} = \frac{1}{4} F_Z$
- C $F_{\text{stuw}} < \frac{1}{4} F_Z$
- D $F_{\text{stuw}} > \frac{1}{4} F_Z$

Door de grote afstand duurt het enige tijd voordat een signaal van de Curiosity de aarde bereikt.

- 3p **4** Bereken hoe lang het signaal er minstens over zal doen om de aarde te bereiken.

Na het succesvol testen van alle systemen ging de Curiosity de planeet verkennen. Tijdens één van de experimenten werd een stukje van een steen van $0,0015 \text{ mm}^3$ beschoten met een laser. Zie figuur 3. Elke laserpuls had een energie van 14 mJ en duurde $5,0 \text{ ns}$. Hierdoor werd het stukje steen sterk verhit en zond een lichtflits uit. Deze lichtflits werd geanalyseerd door een spectrometer zodat de chemische samenstelling van de steen kon worden onderzocht: het bleek om graniet te gaan.



Figuur 3

- 2p **5** Bereken het vermogen van één laserpuls.

Graniet begint te smelten bij $1,5 \cdot 10^3 \text{ K}$.

- 4p **6** Toon met een berekening aan dat het stukje graniet door één laserpuls kan smelten.

Rosetta (aangepast)

In 1969 is de komeet Churyumov-Gerasimenko ontdekt. Wetenschappers hebben een eerste schatting kunnen maken van de massa en de dichtheid van de komeet:

- De massa ligt tussen $0,9 \cdot 10^{13}$ kg en $1,1 \cdot 10^{13}$ kg;
- De dichtheid ligt tussen 500 kg m^{-3} en 550 kg m^{-3} .

Zij willen berekenen wat de grootste waarde is die het volume van de komeet zou kunnen hebben.

- 1p **1** Welke waarden moeten zij dan in hun berekening gebruiken?
- A De grootste massa en de grootste dichtheid.
 - B De grootste massa en de kleinste dichtheid.
 - C De kleinste massa en de grootste dichtheid.
 - D De kleinste massa en de kleinste dichtheid.

Om Churyumov-Gerasimenko van dichtbij te kunnen onderzoeken is de ruimtesonde Rosetta gelanceerd. Na een reis van 10 jaar en 6,5 miljard kilometer is Rosetta aangekomen bij de komeet.

- 3p **2** Bereken de gemiddelde snelheid in km s^{-1} van Rosetta tijdens de reis.

Rosetta draait in een cirkelvormige baan rondom de komeet. De baan heeft een straal van $20 \cdot 10^3$ m. De komeet heeft een massa van $M = 1,0 \cdot 10^{13}$ kg.

- 4p **3** Bereken de baansnelheid van Rosetta.

Rosetta doet vanuit haar baan metingen aan de komeet. Zo is de temperatuur van de komeet bepaald met behulp van de straling die door de komeet wordt uitgezonden. De straling die de komeet het meest uitzendt heeft een golflengte van $1,6 \cdot 10^{-5}$ m.

- 3p **4** Bereken de temperatuur van de komeet in $^{\circ}\text{C}$.

Vanuit Rosetta is de komeetlander Philae naar de komeet afgedaald. Zie figuur 1. De landing op de komeet is anders verlopen dan van tevoren was bedacht. Philae zou na de landing verankerd worden aan het oppervlak van de komeet. Dat is echter niet gebeurd, zodat Philae weer omhoog is gestuiterd na de landing. Zie figuur 2. De snelheid vlak voor de landing is $1,1 \text{ m s}^{-1}$. Vlak na het opstuiten is de snelheid $0,38 \text{ m s}^{-1}$.



Figuur 1



Figuur 2

- 3p **5** Bereken hoeveel procent van de kinetische energie van Philae na de landing nog over is.

De ontsnappingsnelheid is de snelheid die minimaal nodig is om te ontsnappen van een hemellichaam en er niet meer op terug te vallen. Hiervoor geldt:

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

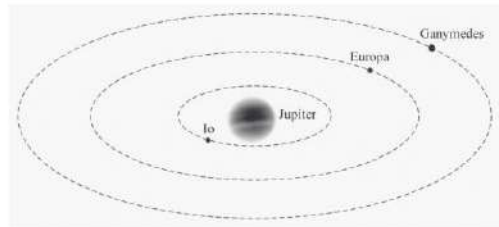
Hierin is G is de gravitatieconstante. Voor de komeet geldt:

- $R = 2,9 \text{ km}$;
- $M = 1,0 \cdot 10^{13} \text{ kg}$.

- 3p **6** Toon aan of Philae weer terug is gevallen naar de komeet.

De maan Europa (aangepast)

De planeet Jupiter heeft meerdere manen. Zie figuur 1. Deze figuur is niet op schaal. Een van deze manen heet Europa. Gegevens over de maan Europa zijn te vinden in Binas-tabel 31.



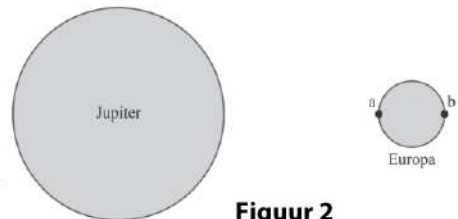
Figuur 1

- 3p **1** Bereken de baansnelheid van Europa rond Jupiter.

De oppervlaktetemperatuur van Europa is 173 K. Dit is bepaald door λ_{max} te meten van het infraroodspectrum dat deze maan uitzendt.

- 3p **2** Bereken de frequentie die hoort bij deze λ_{max} .

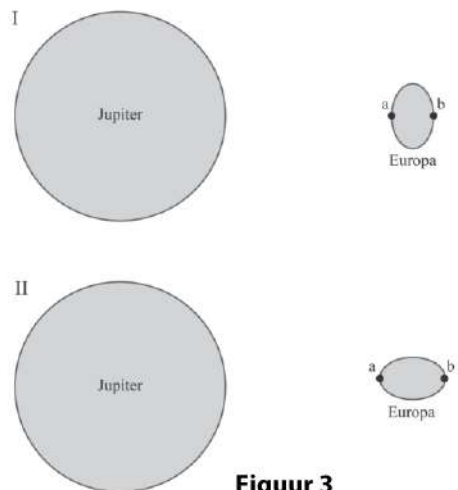
Sommige wetenschappers denken dat de temperatuur onder het oppervlak van Europa veel hoger is dan 173 K. Hun verklaring hiervoor is de voortdurende verandering van de gravitatiekracht op de maan Europa.



Figuur 2

In figuur 2 zijn Jupiter en Europa getekend. Deze figuur is niet op schaal. Op de maan Europa zijn twee punten gemarkeerd met 'a' en 'b'.

De gravitatiekracht die Jupiter op Europa uitoefent is in punt a niet even groot als in punt b. Hierdoor wordt Europa een beetje vervormd. Dit is schematisch weergegeven in figuur 3.



Figuur 3

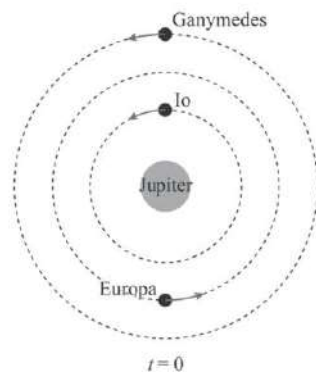
- 2p **3** Beredeneer met behulp van de formule voor de gravitatiekracht welke figuur (I of II) de vervorming van Europa het best weergeeft.

Behalve Jupiter oefenen ook de manen Ganymedes en Io een (kleine) gravitatiekracht uit op Europa. Omdat deze drie manen ten opzichte van elkaar in beweging zijn, veranderen deze gravitatiekrachten steeds. De wetenschappers denken dat de maan Europa zo 'gekneed' wordt. Hierbij zou dan warmte ontstaan waardoor de temperatuur in het inwendige van Europa kan stijgen.

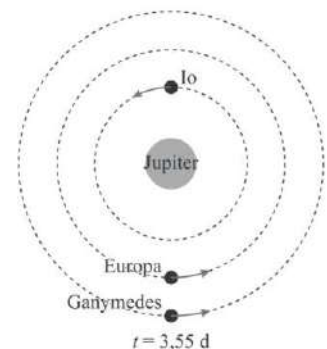
In figuur 4 is de stand van de drie manen op een bepaald moment $t = 0$ weergegeven. Neem aan dat Jupiter stilstaat en dat de drie manen in een cirkelbaan in de aangegeven richting bewegen.

Op $t = 3,55$ d heeft de maan Io 2,0 omwentelingen om Jupiter gemaakt en is de stand zoals in figuur 5. Figuur 4 en 5 zijn niet op schaal.

Vergelijk de resulterende kracht op (het zwaartepunt van) Europa in figuur 5 met die in figuur 4.



Figuur 4



Figuur 5

1p **4** Welke uitspraak is waar?

- A De resulterende kracht op Europa in figuur 5 is kleiner dan die in figuur 4.
- B De resulterende kracht op Europa in figuur 5 is even groot als die in figuur 4.
- C De resulterende kracht op Europa in figuur 5 is groter dan die in figuur 4.

De omlooptijden van de manen van Jupiter hebben een vaste verhouding tot elkaar. Er geldt:

$$T_{\text{Io}} : T_{\text{Europa}} : T_{\text{Ganymedes}} = 1 : 2 : 4$$

Figuur 4 en figuur 5 staan ook in het werkboek.

4p **5** Teken in de derde figuur in het werkboek de stand van de manen op $t = 5,32$ d. Leg je antwoord uit met behulp van een berekening. [werkboek](#)

Ruimtepuin

Versleten satellieten en brokstukken van gebotste satellieten vliegen als ruimtepuin rond de aarde. In 2018 heeft een kunstenaar geprobeerd om mensen bewust te maken van dit ruimtepuin, dat vanaf de aarde onzichtbaar is. Hij heeft met lasers vanaf de grond de positie van ruimtepuin op hoogtes tussen $2,0 \cdot 10^5$ m en $2,0 \cdot 10^7$ m aangeduid. Zie een artist's impression in figuur 1.

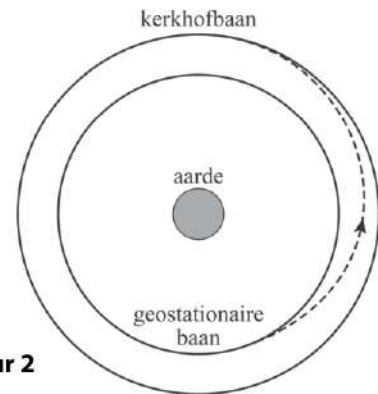


Figuur 1

In 2009 vond de eerste botsing tussen twee satellieten plaats. Door deze botsing ontstonden veel brokstukken die nu nog om de aarde cirkelen. De baansnelheid van een van de satellieten in zijn cirkelbaan voor de botsing was $7,75 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}$.

- 5p **1** Toon met een berekening aan of deze botsing plaatsvond op een hoogte die de kunstenaar met de lichten heeft aangeduid.

Om botsingen te voorkomen wordt tegenwoordig al vóór de lancering van nieuwe satellieten nagedacht over het opruimen ervan aan het einde van de levensduur. Een mogelijke oplossing voor een geostationaire satelliet is om hem aan het einde van zijn leven naar een speciale baan om de aarde te brengen: de kerkhofbaan. Zie figuur 2. Deze figuur is schematisch en niet op schaal.



Figuur 2

Voor de overgang van de geostationaire baan naar de kerkhofbaan moet $7,0 \text{ MJ}$ arbeid worden verricht. Deze arbeid wordt geleverd door een stuwaket die brandstof verbrandt met een rendement van 64% . De brandstof die wordt gebruikt, heeft een stookwaarde van $19,4 \cdot 10^6 \text{ J kg}^{-1}$. De orde van grootte van de massa van een kleine satelliet is 100 kg .

- 5p **2** Voer de volgende opdrachten uit:
- Bereken hoeveel kilogram brandstof nodig is om de satelliet in de kerkhofbaan te krijgen.
 - Leg uit op basis van deze hoeveelheid of dit een haalbare mogelijkheid is.

Voor brokstukken die zijn ontstaan na een botsing, is een kerkhofbaan sowieso geen oplossing. Een voorstel is om dit ruimtepuin op te ruimen door bestraling met zeer krachtige lasers vanaf de aarde. Door de bestraling met lasers neemt de snelheid van een brokstuk een beetje af. Hierdoor komt het dichterbij de aarde en zal het uiteindelijk door een snelle toename van temperatuur verdampen.

- 1p **3** Welke kracht is de directe oorzaak voor deze snelle toename van temperatuur?
- A gravitatiekracht
 - B luchtweerstandskracht
 - C middelpuntzoekende kracht
 - D zwaartekracht

De lasers verrichten arbeid en remmen hierdoor een brokstuk af. Dergelijke opruimacties zijn al gemodelleerd door wetenschappers, maar zouden de lasers van de kunstenaar ook krachtig genoeg zijn om een brokstuk voldoende af te remmen? De arbeid die deze lasers samen per seconde verrichten op het brokstuk is $1 \cdot 10^2 \text{ J}$. De snelheid van dit brokstuk ($m = 2 \text{ kg}$) moet worden verlaagd van $7,6 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}$ naar $7,5 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}$. De lasers raken het brokstuk in totaal 1 minuut.

- 4p **4** Leg met behulp van een berekening uit of deze lasers in dat geval genoeg arbeid verrichten om het brokstuk voldoende af te remmen.