12 Sterrenkunde

havo

12.1 Het zonnestelsel

1* **a** Welk jaargetijde begint er op het noordelijk halfrond als de zon boven de evenaar staat komen vanaf het zuidelijk halfrond.

- dan begint op het noordelijk halfrond de lente

b Welk jaargetijde begint er dan op het zuidelijk halfrond?

- dan begint op het zuidelijk halfrond de herfst

2* **a** Leg uit waarom deze mensen geen gelijk hebben.

- een dag duurt 24 uur (86400 seconden)
- ze bedoelen dat het aantal uur daglicht in december minder is dan in de zomer

3** **a** Leg uit waarom het in de zomer warmer is dan in de winter.

- het gaat om de hoogte van de zon boven de horizon
- in de zomer komt de zon hoger dan in de winter
- hierdoor valt het zonlicht onder een kleinere hoek op het oppervlak waardoor het warmer wordt

b Leg uit of dit temperatuurverschil te maken heeft met de afstand van de aarde tot de zon.

- op 4 januari staat de zon het dichtst bij de aarde maar is het winter op het noordelijk halfrond
- de afstand van de aarde tot de zon heeft geen merkbare invloed op de temperatuur

4* **a** Hoe ziet de maan eruit bij nieuwe maan en hoe bij volle maan?

- bij nieuwe maan is de maan nauwelijks te zien omdat de zon de andere kant van de maan verlicht en je alleen de niet beschenen kant ziet
- bij volle maan verlicht de zon de zichtbare kant van de maan en zie je de maan volledig

b Hoe ontstaat springtij?

- springtij ontstaat als de zon, de maan en de aarde op één lijn staan

c Waarom is het twee keer per maand springtij?
- het is springtij bij nieuwe maan als de maan tussen de aarde en de zon staat
- en het is springtij bij volle maan als de aarde tussen de zon en de maan staat

5** **a** Leg uit waarom er niet iedere maand een maansverduistering en een zonsverduistering is.
- de maan en de aarde bewegen niet precies in hetzelfde vlak
- hierdoor valt de schaduw van de aarde niet iedere maand op de maan (maansverduistering) en de schaduw van de maan niet iedere maand op aarde (zonsverduistering)

b Leg uit waarom een zonsverduistering zeldzamer is dan een maansverduistering.
- omdat de maan kleiner is dan de aarde is de schaduw van de maan ook kleiner
- de kans dat de aarde in de schaduw van de maan komt is hierdoor kleiner

6* **a** Zoek op welke planeet het kortste jaar heeft en welke het langste jaar.
- kortste jaar: Mercurius (87,97 dagen)
- langste jaar: Neptunus (164,8 jaar)

b Zoek op welke planeet de kortste dag heeft en welke de langste dag.
- kortste dag: Jupiter (0,413 dagen)
- langste dag: Venus (243 dagen, met tegengestelde draairichting)

7* **a** Zoek op welke planeet dit is.
- Venus: een jaar duurt 224,7 dagen en een dag duurt 243 dagen (met tegengestelde draairichting)

b Zoek op welke planeten dit zijn.
- Venus en Uranus

c Controleer of Henk gelijk heeft.
- Henk heeft gelijk

d Controleer of Truus gelijk heeft.
- Truus heeft geen gelijk

8** **a** Leg uit waarom de siderische rotatieperiode van de aarde minder is dan 24 uur.
- behalve rotatie om haar as draait de aarde ook om de zon
- in één dag verplaats de aarde een beetje ten opzichte van de zon
- omdat de draairichting om de as hetzelfde is als de draairichting om de zon duurt een siderische dag korter

9* **a** Stel dat de aarde zou veranderen in een gasplaneet. Hoeveel keer groter zou het volume (de inhoud) van de aarde dan zijn?

- $\rho = \frac{m}{V} \quad \rightarrow \quad V = \frac{m}{\rho}$
- de dichtheid ρ wordt 5 keer kleiner en de massa m blijft gelijk
- volume V wordt 5 keer zo groot

b Hoe groot zou de straal van de aarde dan zijn?

- $V = \frac{4}{3}\pi \cdot r^3 \quad \rightarrow \quad V_{aarde} = \frac{4}{3}\pi \cdot (6{,}371 \cdot 10^6)^3 = 1{,}083207 \cdot 10^{21}\ m^3$
- $5 \cdot V_{aarde} = 5{,}416035 \cdot 10^{21}\ m^3$
- $5{,}416035 \cdot 10^{21} = \frac{4}{3}\pi \cdot r^3 \quad \rightarrow \quad r = 1{,}089426 \cdot 10^7 = 1{,}089 \cdot 10^7\ m$

OOK GOED

- $V = \frac{4}{3}\pi \cdot r^3$
- V wordt 5 keer zo groot $\rightarrow$ r^3 wordt 5 keer zo groot
- r wordt $\sqrt[3]{5} = 1{,}71$ keer zo groot
- $1{,}71 \cdot 6{,}371 \cdot 10^6 = 1{,}089 \cdot 10^7\ m$

10* **a** Bij welke van de planeten is de helling ten opzichte van de ecliptica het grootst en hoe groot is deze grootste hellingshoek?

- grootste helling ten opzichte van de ecliptica: Mercurius (7,0 graden)
- kleinste helling ten opzichte van de ecliptica: Uranus (0,8 graden)

b Hebben de dwergplaneten Ceres en Pluto een grotere of een kleinere hellingshoek?

- Cerus: 10,6 graden | Pluto: 17,1 graden
- dus een grotere hellingshoek

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

- de aarde heeft een jaar van 365 dagen en mars heeft een jaar van 687 dagen
- tijdens de beweging om de zon haalt de aarde mars in
- vóór het inhalen zie je mars links aan de hemel en na het inhalen rechts aan de hemel
- het lijkt alsof mars van links naar rechts is bewogen

b Geef hiervoor een verklaring.

- het vlak waarin mars om de zon beweegt heeft een hoek van 1,8 graden ten opzichte van het vlak waarin de aarde om de zon beweegt
- terwijl de aarde mars inhaalt verschuift de plaats van mars een beetje

12*** **a** Bereken de gemiddelde snelheid van New Horizons.

- schat 9,5 jaar $\rightarrow$ $9{,}5 \cdot 365{,}25 = 3468$ dagen (in werkelijkheid 3457 dagen)
- 3457 dagen is $3457 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 2{,}987 \cdot 10^8$ s
- het verschil in baanstraal is $5{,}91 \cdot 10^{12} - 0{,}1496 \cdot 10^{12} = 5{,}7604 \cdot 10^{12}$ m
- $s = v_{gem} \cdot t \quad \rightarrow \quad 5{,}7604 \cdot 10^{12} = v_{gem} \cdot 2{,}987 \cdot 10^8 \quad \rightarrow \quad v_{gem} = 19{,}3 \cdot 10^3$ m/s

b Verklaar het verschil met de uitkomst van vraag a.

- pluto heeft geen cirkelvormige baan en staat soms dichter bij de aarde
- de kleinste afstand tussen de aarde en pluto is dus niet het verschil in baanstraal
- in werkelijkheid is de kleinste afstand tussen aarde en pluto $4{,}28 \cdot 10^{12}$ m
- $v_{gem} = \dfrac{4{,}28 \cdot 10^{12}}{2{,}987 \cdot 10^8} = 1{,}44 \cdot 10^4 \text{ m/s} = 14{,}4 \text{ km/s}$

13** **a** Hoeveel jaar zit er gemiddeld tussen twee inslagen van zo'n grote meteoriet in bewoond gebied?

- 2% bewoond gebied is 1/50 van het aardoppervlak
- van de 50 inslagen komt er één in bewoond gebied
- $50 \cdot 50 = 2500$ $\rightarrow$ er zit 2500 jaar tussen twee inslagen in bewoond gebied

b Maak een schatting hoeveel jaar er gemiddeld zit tussen twee inslagen van zo'n grote meteoriet in Nederland.

- Nederland heeft een oppervlakte van ongeveer 140 bij 300 km = 42.000 km^2
  (in werkelijkheid 41.543 km^2)
- oppervlak Aarde: $A = 4\pi \cdot r^2 \quad \rightarrow \quad A = 4\pi \cdot 6371^2 = 5{,}10064 \cdot 10^8$ km^2
- verhouding $\dfrac{A_{Aarde}}{A_{Nederland}} = \dfrac{5{,}10064 \cdot 10^8}{4{,}1543 \cdot 10^4} = 12278$
- van de 12278 inslagen komt er één in Nederland
- $12278 \cdot 50 = 6{,}139 \cdot 10^5 = 6{,}1 \cdot 10^5$ jaar

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

- 450 kiloton TNT is $450 \cdot 4{,}184 \cdot 10^{12} = 1{,}8828 \cdot 10^{15}$ J
- $E_K = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad \rightarrow \quad 1{,}8828 \cdot 10^{15} = \frac{1}{2} \cdot 9{,}0 \cdot 10^6 \cdot v^2$
- $v = 2{,}04548 \cdot 10^4 = 2{,}05 \cdot 10^4$ m/s (20,5 km/s)

14** **a** Waar bevindt zich de Kuipergordel?

- de Kuipergordel bevindt zich op de afstand van Pluto van de zon

b Bereken de dichtheid van de komeet van Halley.

- $V = 15 \cdot 8 \cdot 8 = 960 \text{ km}^3 = 960 \cdot 10^9 \text{ m}^3$
- $\rho = \dfrac{m}{V} \quad \rightarrow \quad \rho = \dfrac{2{,}2 \cdot 10^{14}}{960 \cdot 10^9} = 229{,}167 = 2{,}3 \cdot 10^2 \text{ kg/m}^3$

c Kan de komeet van Halley volledig uit steen of uit ijzer bestaan?
- nee want daarvoor is de dichtheid veel te klein

15* a** Op hoeveel AE van de zon bevindt dwergplaneet Pluto zich gemiddeld?
- baanstraal Pluto $= 5{,}91 \cdot 10^{12}$ m | baanstraal Aarde $= 0{,}1496 \cdot 10^{12}$ m
- afstand Pluto in AE is $\dfrac{5{,}91 \cdot 10^{12}}{0{,}1496 \cdot 10^{12}} = 39{,}5$ AE

b Hoeveel AE is de afstand tussen de zon en Proxima Centauri?
- Proxima Centauri staat op een afstand van $4{,}0 \cdot 10^{16}$ m
- afstand Proxima Centauri in AE is $\dfrac{4{,}0 \cdot 10^{16}}{0{,}1496 \cdot 10^{12}} = 2{,}6738 \cdot 10^{5} = 2{,}7 \cdot 10^{5}$ AE

c Bevindt de Proxima Centauri zich in de Oortwolk?
- nee want de Oortwolk strekt zich uit tot maximaal 100.000 AE
- Proxima Centauri bevindt zich op meer dan de dubbele afstand

12.2 Sterren en sterrenstelsels

1[**] **a** Hoeveel seconden heeft licht nodig om van de maan naar de aarde te reizen?

- $s = 384,4 \cdot 10^6$ m | $v = c = 2,99792458 \cdot 10^8$ m/s | $t = \ldots$ s
- $s = v_{gem} \cdot t \;\rightarrow\; 384,4 \cdot 10^6 = 2,99792458 \cdot 10^8 \cdot t \;\rightarrow\; t = 1,28222 = 1,282$ s

b Hoeveel uur heeft licht nodig om van de zon naar dwergplaneet Pluto te reizen?

- $s = 5,91 \cdot 10^{12}$ m | $v = c = 2,99792458 \cdot 10^8$ m/s | $t = \ldots$ s
- $s = v_{gem} \cdot t \;\rightarrow\; 5,91 \cdot 10^{12} = 2,99792458 \cdot 10^8 \cdot t \;\rightarrow\; t = 1,97136 \cdot 10^4$ s
- $1,97136 \cdot 10^4$ s $= 5,47601 = 5,48$ uur

c Hoeveel jaar heeft licht nodig om naar het middelpunt van de Melkweg te reizen?

- $s = 2,5 \cdot 10^{20}$ m | $v = c = 2,99792458 \cdot 10^8$ m/s | $t = \ldots$ s
- $s = v_{gem} \cdot t \;\rightarrow\; 2,5 \cdot 10^{20} = 2,99792458 \cdot 10^8 \cdot t \;\rightarrow\; t = 8,3391 \cdot 10^{11}$ s
- $8,3391 \cdot 10^{11}\text{ s} = \dfrac{8,3391 \cdot 10^{11}}{365,25 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} = 2,6425 \cdot 10^4 = 2,6 \cdot 10^4$ jaar

2[**] **a** Bereken hoeveel kubieke meter zand 300 miljard zandkorrels bevat.

- $300 \cdot 10^9 \cdot 0,015 = 4,5 \cdot 10^9$ mm³
- $1\text{ mm}^3 = 1 \cdot 10^{-9}\text{ m}^3$
- $4,5 \cdot 10^9\text{ mm}^3 = 4,5\text{ m}^3$

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

- $r = 0,15$ m | $h = 0,40$ m | $V = \ldots$ m³
- volume cilinder: $V = \pi r^2 \cdot h \;\rightarrow\; V = \pi \cdot 0,15^2 \cdot 0,4 = 2,8274 \cdot 10^{-2}\text{ m}^3$
- $\dfrac{4,5}{2,8274 \cdot 10^{-2}} = 159$ zandzakken

3[**] **a** Hoeveel sterren zijn er in totaal?

- $2000 \cdot 10^9 \cdot 200 \cdot 10^9 = 4,0 \cdot 10^{23}$ sterren

b Hoeveel waterstofatomen zijn er dan ongeveer in het heelal?

- massa waterstofatoom $1,007825$ u
- $1,007825\text{ u} = 1,007825 \cdot 1,660539 \cdot 10^{-27} = 1,673533 \cdot 10^{-27}$ kg
- waterstofatomen in één ster: $\dfrac{1,9884 \cdot 10^{30}}{1,673533 \cdot 10^{-27}} = 1,1881 \cdot 10^{57}$
- waterstofatomen in het heelal: $1,1881 \cdot 10^{57} \cdot 4,0 \cdot 10^{23} = 4,75 \cdot 10^{80}$ H-atomen

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

- $s = 6{,}62 \cdot 10^{19}$ m | $v = c = 2{,}99792458 \cdot 10^{8}$ m/s | $t = \ldots$ s
- $s = v_{gem} \cdot t \;\rightarrow\; 6{,}62 \cdot 10^{19} = 2{,}99792458 \cdot 10^{8} \cdot t \;\rightarrow\; t = 2{,}2082 \cdot 10^{11}$ s
- $2{,}2082 \cdot 10^{11}\ \text{s} = \dfrac{2{,}2082 \cdot 10^{11}}{365{,}25 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} = 6{,}9973 \cdot 10^{3} = 7{,}00 \cdot 10^{3}$ jaar

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

- het licht van het Andromedastelsel is 2,54 miljoen jaar geleden vertrokken
- in deze 2,54 miljoen jaar kan intelligent leven zich hebben ontwikkeld
- we mogen niet concluderen dat er nu geen intelligent leven is

6** **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?

- opzoeken één lichtjaar is $9{,}461 \cdot 10^{15}$ m
- afstand is $\dfrac{5{,}2 \cdot 10^{23}}{9{,}461 \cdot 10^{15}} = 5{,}49625 \cdot 10^{7} = 55 \cdot 10^{6}$ lichtjaar
- ze zien de aarde 55 miljoen jaar in het verleden
- toen waren de dinosaurussen al uitgestorven → ze kunnen dinosaurussen niet zien rondlopen

7** **a** Bereken de gemiddelde snelheid van de Voyager 1 ruimtesonde.

- $s = 17{,}42 \cdot 9{,}460886 \cdot 10^{15} = 1{,}648086 \cdot 10^{17}$ m
- 40.000 jaar is $40.000 \cdot 365{,}256 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 1{,}26232 \cdot 10^{12}$ s
- $s = v_{gem} \cdot t \;\rightarrow\; 1{,}648086 \cdot 10^{17} = v_{gem} \cdot 1{,}26232 \cdot 10^{12}$
- $v_{gem} = 1{,}3056 \cdot 10^{5} = 1{,}306 \cdot 10^{5}$ m/s

OOK GOED

- 17,42 lichtjaar in 40.000 jaar
- $v_{gem} = \dfrac{17{,}42}{40.000} \cdot c$
- $v_{gem} = \dfrac{17{,}42}{40.000} \cdot 2{,}99792 \cdot 10^{8} = 1{,}305596 \cdot 10^{5} = 1{,}306 \cdot 10^{5}$ m/s

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

- $\sqrt[3]{250} = 6{,}2996 = 6{,}3$
- 250 kubieke lichtjaar is een kubus met een ribbe van 6,3 lichtjaar
- de gemiddelde afstand tussen twee sterren is 6,3 lichtjaar

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

- 1 ster in 250 kubieke lichtjaar $\rightarrow$ 100 sterren in 25000 kubieke lichtjaar
- $\sqrt[3]{25000} = 29{,}24$
- in een kubus met ribbe van 29,24 lichtjaar bevindt zich 1 aardachtige planeet
- de gemiddelde afstand tot de meest nabije aardachtige planeet is 29,2 lichtjaar

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

- 1 ster in 250 kubieke lichtjaar $\rightarrow$ 10^4 sterren in $250 \cdot 10^4$ kubieke lichtjaar
- $\sqrt[3]{250 \cdot 10^4} = 135{,}72$
- in een kubus met ribbe van 135,72 lichtjaar bevindt zich 1 planeet met buitenaards leven
- de gemiddelde afstand tot de meest nabije planeet met buitenaards leven is 136 lichtjaar

12.3 Cirkelbeweging

Cirkelbeweging op aarde

1* **a** Wat is een eenparige cirkelbeweging?
- een beweging met een cirkelbaan en een constante baansnelheid
  eenparig betekent dat iets niet verandert

b Waarom is er voor een eenparige cirkelbeweging een kracht nodig?
- als er geen resulterende kracht werkt blijft een voorwerp met een constante snelheid in een rechte lijn bewegen
- bij een cirkelbeweging is er wel een constante snelheid maar geen rechte lijn
- er is dus een resulterende kracht nodig

c Hoe heet deze kracht?
- de middelpuntzoekende kracht F_{mpz}
- bij een eenparige cirkelbeweging is F_{mpz} altijd gelijk aan F_{res}

2** **a** Een steen aan een touw die horizontaal wordt rondgeslingerd.
- het touw oefent een constante kracht uit gericht naar het middelpunt
- $F_{mpz} = F_{span}$ — F_{span} is de spankracht in het touw

b Een steen aan een touw die verticaal wordt rondgeslingerd.
- de som van de kracht in het touw én de zwaartekracht
- $F_{mpz} = F_{span} + F_Z$ — krachtpijlen optellen, rekening houden met de richting

c Een zitje van een draaiende zweefmolen.
- de som van de kracht in het touw én de zwaartekracht
- $F_{mpz} = F_{span} + F_Z$ — krachtpijlen optellen, rekening houden met de richting

d De was in een horizontaal draaiende centrifuge.
- de normaalkracht van de wand tegen de naar buiten geslingerde was
- $F_{mpz} = F_n$ — F_n is de normaalkracht van de wand tegen de was

e De was in een verticaal draaiende centrifuge.
- de som van de normaalkracht van de wand tegen de was én de zwaartekracht
- $F_{mpz} = F_n + F_Z$ — (krachtpijlen optellen, rekening houden met de richting)

3** **a** Bereken de middelpuntzoekende kracht op de vrachtauto.
- $v_{baan} = \dfrac{80}{3{,}6} = 22{,}222\ m/s \quad | \quad m = 10 \cdot 10^3\ kg \quad | \quad r = 300\ m \quad | \quad F_{mpz} = \ldots N$

- $F_{mpz} = \dfrac{m \cdot v_{baan}^2}{r}$
- $F_{mpz} = \dfrac{10 \cdot 10^3 \cdot 22,222^2}{300} = 1,6461 \cdot 10^4 = 1,6 \cdot 10^4$ N

b Waarom is er een middelpuntzoekende kracht?
- de banden oefenen een zijwaartse kracht uit op het wegdek
- de terugduwende kracht (reactiekracht) van het wegdek veroorzaakt F_{mpz}

4** **a** Bereken de baansnelheid van de buitenkant van het boortje.
- $2,5 \cdot 10^5$ toeren per minuut is $\dfrac{2,5 \cdot 10^5}{60} = 4,16667 \cdot 10^3$ toeren per seconde
- $f = 4,16667 \cdot 10^3$ Hz $\rightarrow$ $T = \dfrac{1}{f}$ $\rightarrow$ $T = 2,4 \cdot 10^{-4}$ s
- $T = 2,4 \cdot 10^4$ s | $r = \frac{1}{2} \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} = 0,75 \cdot 10^{-3}$ m | $v_{baan} = \ldots$ m/s
- $v_{baan} = \dfrac{2\pi \cdot r}{T}$ $\rightarrow$ $v_{baan} = \dfrac{2\pi \cdot 0,75 \cdot 10^{-3}}{2,4 \cdot 10^{-4}} = 19,635 = 20$ m/s

5** **a** Hoe groot is de baansnelheid van je fietsband?
- het wiel slipt niet
- de baansnelheid van je fietsband is gelijk aan de snelheid van de fiets
- $v_{gem} = \dfrac{s}{t}$ $\rightarrow$ $v_{gem} = \dfrac{100}{13} = 7,6923 = 7,7$ m/s
- $v_{baan} = v_{gem} = 7,7$ m/s

b Bereken de straal van je fietswiel.
- omtrek $= 2\pi \cdot r$
- $2,2 = 2\pi \cdot r$ $\rightarrow$ $r = 0,35014 = 0,35$ m

c Bereken de omlooptijd van je fietswiel.
- $v_{baan} = 7,6923$ m/s | $r = 0,35014$ m | $T = \ldots$ s
- $v_{baan} = \dfrac{2\pi \cdot r}{T}$
- $7,6923 = \dfrac{2\pi \cdot 0,35014}{T}$ $\rightarrow$ $T = 0,286 = 0,29$ s

d Bereken de (draai) frequentie van het wiel.
- $f = \dfrac{1}{T}$ T in seconde
- $f = \dfrac{1}{0,286} = 3,4965 = 3,5$ Hz

6***

a Bereken de (rotatie) frequentie van de trommel tijdens het centrifugeren.
- 1200 rotaties per minuut $= \frac{1200}{60} = 20$ omlopen per seconde
- de (rotatie) frequentie is 20,00 Hz 4 sign. cijfers

b Waarom "plakt" tijdens het centrifugeren de natte handdoek tegen de trommelwand?
- de handdoek zal zonder kracht in een rechte lijn bewegen
- om de richting van de snelheid te veranderen is een kracht nodig
- de kracht van de wand op de handdoek is gelijk aan de kracht van de handdoek op de wand (3^e wet Newton)

c Bereken de baansnelheid van de natte handdoek tijdens het centrifugeren in m/s en in km/h.
- $r = \frac{0{,}45}{2} = 0{,}225\ \text{m}$ | $T = \frac{1}{f} = 0{,}05\ \text{s}$ | $v_{baan} = \ldots\ \text{m/s}$
- $v_{baan} = \frac{2\pi \cdot r}{T} \rightarrow v_{baan} = \frac{2\pi \cdot 0{,}225}{0{,}05} = 28{,}27433 = 28\ \text{m/s}$

d Bereken de middelpuntzoekende kracht op de natte handdoek tijdens het centrifugeren.
- $m = 0{,}600\ \text{kg}$ | $v_{baan} = 28{,}274\ \text{m/s}$ | $r = 0{,}225\ \text{m}$ | $F_{mpz} = \ldots\ \text{N}$
- $F_{mpz} = \frac{m \cdot v_{baan}^2}{r}$
- $F_{mpz} = \frac{0{,}6 \cdot 28{,}27433^2}{0{,}225} = 2{,}13183 \cdot 10^3 = 2{,}1 \cdot 10^3\ \text{N}$

e Leg uit hoe de centrifuge ervoor zorgt dat de handdoek droger wordt.
- het water wordt tegen de wand geslingerd maar gaat door de gaatjes uit de trommel

f Leg uit of F_{mpz} tijdens het centrifugeren groter wordt, kleiner wordt of gelijk blijft.
- $F_{mpz} = \frac{m \cdot v_{baan}^2}{r}$
- tijdens het centrifugeren wordt water weggeslingerd waardoor de massa afneemt
- v_{baan} en r blijven gelijk $\rightarrow$ F_{mpz} wordt kleiner

7***

a Bereken de lengte van de cassetteband.
- $v_{gem} = 5{,}0 \cdot 10^{-2}\ \text{m/s}$ | $t = 45 \cdot 60 = 2700\ \text{s}$ | $s = \ldots\ \text{m}$
- $s = v_{gem} \cdot t \rightarrow s = 5{,}0 \cdot 10^{-2} \cdot 2700 = 135\ \text{m}$

b Bereken de omlooptijd van een geleidingswieltje.

- $r = \frac{1}{2}d = \frac{1}{2} \cdot 8{,}0 \cdot 10^{-3} = 4{,}0 \cdot 10^{-3}\ \text{m} \quad | \quad v = 5{,}0 \cdot 10^{-2}\ \text{m/s} \quad | \quad T = \ldots\ \text{s}$
- $v = \dfrac{2\pi \cdot r}{T} \quad \rightarrow \quad 5{,}0 \cdot 10^{-2} = \dfrac{2\pi \cdot 4{,}0 \cdot 10^{-3}}{T} \quad \rightarrow \quad T = 0{,}5026548 = 0{,}50\ \text{s}$

c Bereken de omlooptijd van de volle spoel.

- $r = \frac{1}{2}d = \frac{1}{2} \cdot 4{,}5 \cdot 10^{-2} = 2{,}25 \cdot 10^{-2}\ \text{m} \quad | \quad v = 5{,}0 \cdot 10^{-2}\ \text{m/s} \quad | \quad T = \ldots\ \text{s}$
- $v = \dfrac{2\pi \cdot r}{T} \quad \rightarrow \quad 5{,}0 \cdot 10^{-2} = \dfrac{2\pi \cdot 2{,}25 \cdot 10^{-2}}{T} \quad \rightarrow \quad T = 2{,}82743 = 2{,}83\ \text{s}$

d Hoeveel omlopen maakt de lege spoel in één omloop van de volle spoel?

- de diameter van de lege spoel is $4{,}5/2 = 2{,}25$ keer kleiner dan die van de volle spoel
- de lege spoel maakt 2,25 omlopen in één omloop van de volle spoel

8** **a** Bereken de omlooptijd en de omloopfrequentie van de draaimolen.

- 10 rondjes per minuut is 1 rondje in $\dfrac{60}{10} = 6{,}0\ \text{s}$
- de omlooptijd is 6,0 s
- $f = \dfrac{1}{T} \quad \rightarrow \quad f = \dfrac{1}{6} = 0{,}16667 = 0{,}17\ \text{Hz}$

b Bereken de snelheden van Jip en van Janneke.

- $T = 6{,}0\ \text{s} \quad | \quad r_{Jip} = 3{,}0\ \text{m} \quad | \quad r_{Janneke} = 5{,}0\ \text{m} \quad | \quad v = \ldots\ \text{m/s}$
- $v = \dfrac{2\pi \cdot r}{T}$
- $v_{Jip} = \dfrac{2\pi \cdot 3}{6} = 3{,}14159 = 3{,}1\ \text{m/s}$
- $v_{Janneke} = \dfrac{2\pi \cdot 5}{6} = 5{,}23599 = 5{,}2\ \text{m/s}$

c Bereken de afstanden die Jip en Janneke in 1,0 minuut afleggen.

- $s = v_{gem} \cdot t$
- $s_{Jip} = 3{,}1416 \cdot 60 = 188{,}5 = 1{,}9 \cdot 10^{2}\ \text{m}$
- $s_{Janneke} = 5{,}23599 \cdot 60 = 314{,}159 = 3{,}1 \cdot 10^{2}\ \text{m}$

d Leid deze formule af met formules uit Binas.

- $F_{res} = m \cdot a \quad \text{en} \quad F_{mpz} = \dfrac{m \cdot v_{baan}^2}{r}$
- $F_{res} = F_{mpz} \quad \rightarrow \quad m \cdot a = \dfrac{m \cdot v_{baan}^2}{r} \quad \rightarrow \quad a = a_{mpz} = \dfrac{v_{baan}^2}{r}$

e Bereken de middelpuntzoekende versnelling a_{mpz} van Jip en van Janneke.

- Jip: $a_{mpz} = \frac{v^2}{r_{Jip}} \rightarrow a_{mpz} = \frac{3{,}1416^2}{3} = 3{,}28988 = 3{,}3\ m/s^2$
- Janneke: $a_{mpz} = \frac{v^2}{r_{Janneke}} \rightarrow a_{mpz} = \frac{5{,}23599^2}{5} = 5{,}48312 = 5{,}5\ m/s^2$

f Leg uit of ze daarin gelijk kan hebben.

- $F_{mpz} = F_{res} \rightarrow F_{mpz} = m \cdot a_{mpz}$
- ze heeft gelijk als $m \cdot a_{mpz}$ voor Jip en Janneke toevallig gelijk aan elkaar zijn

9* a** Voelt Sanne dat ze een bocht neemt?

- bij het nemen van een bocht wordt er een F_{mpz} op Sanne uitgeoefend
- Sanne voelt deze kracht op haar lichaam

b Bereken F_{mpz} op Sanne.

- $m = 63\ kg$ | $v_{baan} = \frac{45}{3{,}6} = 12{,}5\ m/s$ | $r = 20\ m$ | $F_{mpz} = \ldots N$
- $F_{mpz} = \frac{m \cdot v_{baan}^2}{r}$
- $F_{mpz} = \frac{63 \cdot 12{,}5^2}{20} = 4{,}921875 \cdot 10^2 = 4{,}9 \cdot 10^2\ N$

c Waarom is er een middelpuntzoekende kracht?

- de banden oefenen een zijwaartse kracht uit op het wegdek
- de terugduwende kracht (reactiekracht) van het wegdek veroorzaakt F_{mpz}

d Met welke snelheid moet Sanne de scherpe bocht nemen?

- $F_{mpz} = 4{,}921875 \cdot 10^2\ N$ | $m = 63\ kg$ | $r = 5{,}0\ m$ | $v_{baan} = \ldots m/s$
- $F_{mpz} = \frac{m \cdot v_{baan}^2}{r}$
- $4{,}921875 \cdot 10^2 = \frac{63 \cdot v_{baan}^2}{5} \rightarrow v_{baan} = 6{,}25 = 6{,}3\ m/s$

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

- $a_{mpz} = 9{,}81\ m/s^2$ | $m = 63\ kg$ | $r = 5{,}0\ m$ | $v_{baan} = \ldots m/s$
- $a_{mpz} = \frac{F_{mpz}}{m} \rightarrow a_{mpz} = \frac{v_{baan}^2}{r}$
- $9{,}81 = \frac{v_{baan}^2}{5} \rightarrow v_{baan} = 7{,}00357 = 7{,}0\ m/s$

f Moet Sanne dan ook met de helft van de snelheid de bocht nemen?

- $F_{mpz} = \frac{m \cdot v_{baan}^2}{r}$ m en r blijven gelijk

- als F_{mpz} de helft wordt en m en r blijven gelijk moet v_{baan}^2 de helft worden
- de helft van v_{baan}^2 is niet hetzelfde als de helft van v_{baan}
- $v_{baan\,nieuw}^2 = \frac{1}{2} v_{baan\,oud}^2 \quad \rightarrow \quad v_{baan\,nieuw} = \sqrt{\frac{1}{2}} \cdot v_{baan\,oud}$
- $v_{baan\,nieuw} = 0{,}7071 \cdot v_{baan\,oud} \quad \rightarrow \quad v_{baan\,nieuw} = 0{,}7071 \cdot 7{,}00357 = 4{,}97745 = 5{,}0\ m/s$
- Sanne kan met meer dan de helft van de normale snelheid de bocht nemen

10**** **a** Bereken de spankracht in één touw als Vera nog niet aan het schommelen is.
- $F_Z = m \cdot g \quad \rightarrow \quad F_Z = 47 \cdot 9{,}81 = 461{,}07\ N$
- twee touwen $\rightarrow \quad F_{span} = \frac{1}{2} F_Z \quad \rightarrow \quad F_{span} = 230{,}535 = 2{,}3 \cdot 10^2\ N$

b Is de spankracht in een touw groter, kleiner of gelijk aan de spankracht als Vera stil hangt.
- in het onderste punt geldt: $F_{res} = F_{span} - F_Z$
- eenparige cirkelbeweging: $F_{res} = F_{mpz}$
  in de evenwichtsstand (onderste punt) verandert de baansnelheid niet
- $F_{res} = F_{mpz} = F_{span} - F_Z \quad \rightarrow \quad F_{span} = F_{mpz} + F_Z$
- door de cirkelbeweging wordt de spankracht groter

c Bereken de middelpuntzoekende kracht als Vera het onderste punt passeert.
- $m = 47\ kg \quad | \quad v_{baan} = 3{,}0\ m/s \quad | \quad r = 2{,}4\ m \quad | \quad F_{mpz} = \ldots N$
- $F_{mpz} = \dfrac{m \cdot v_{baan}^2}{r}$
- $F_{mpz} = \dfrac{47 \cdot 3^2}{2{,}4} = 176{,}25 = 1{,}8 \cdot 10^2\ N$

d Bereken de spankracht in één touw als Vera het onderste punt passeert.
- $F_{mpz} = 176{,}25\ N \quad | \quad F_Z = 461{,}07\ N \quad | \quad F_{span\,(2x)} = \ldots N$
- $F_{span} = F_{mpz} + F_Z$
- $F_{span\,(2x)} = 176{,}25 + 461{,}07 = 637{,}32\ N$
- F_{span} in één touw: $F_{span} = 318{,}66 = 3{,}2 \cdot 10^3\ N$

11**** **a** Hoe groot is de baansnelheid op de Noordpool?
- $v = \dfrac{2\pi \cdot r}{T}$
- op de Noordpool: $r = 0 \quad \rightarrow \quad v_{baan} = 0\ m/s$

b Hoe groot is de baansnelheid op de evenaar?
- opzoeken: $r_{aarde} = 6{,}378 \cdot 10^6\ m$ bij de evenaar, zie voetnoot 3 bij Binas tabel 31
- $T = 24 \cdot 60 \cdot 60 = 86400\ s$

- $v = \dfrac{2\pi \cdot r}{T} \quad \rightarrow \quad v = \dfrac{2\pi \cdot 6,378 \cdot 10^6}{86400} = 4,63821 \cdot 10^2 = 4,638 \cdot 10^2 \text{ m/s}$ (4 s.c.)

c Hoe groot is de middelpuntzoekende kracht op een persoon van 70 kg op de evenaar?
- $m = 70 \text{ kg} \quad | \quad v = 4,63821 \cdot 10^2 \text{ m/s} \quad | \quad r = 6,371 \cdot 10^6 \text{ m} \quad | \quad F_{mpz} = \ldots \text{N}$
- $F_{mpz} = \dfrac{m \cdot v^2}{r} \quad \rightarrow \quad F_{mpz} = \dfrac{70 \cdot (4,63821 \cdot 10^2)^2}{6,378 \cdot 10^6} = 2,3611 = 2,4 \text{ N}$

d Waarom is er een middelpuntzoekende kracht?
- de zwaartekracht is gericht naar het middelpunt van de aarde

e Is de baansnelheid in Amsterdam groter, kleiner of even groot als op de evenaar?
- de straal van de cirkelbeweging van Amsterdam is kleiner dan die van de cirkelbeweging op de evenaar
- de omlooptijd is in Amsterdam gelijk aan die op de evenaar
- $v = \dfrac{2\pi \cdot r}{T}$
- r is kleiner en T is gelijk $\rightarrow$ v is kleiner

f Toon dit aan.
- $v = \dfrac{2\pi \cdot r}{T} \quad \rightarrow \quad v^2 = \left(\dfrac{2\pi \cdot r}{T}\right)^2 = \dfrac{4\pi^2 \cdot r^2}{T^2}$
- $F_{mpz} = \dfrac{m \cdot v^2}{r} \quad \rightarrow \quad F_{mpz} = \dfrac{m}{r} \cdot \dfrac{4\pi^2 \cdot r^2}{T^2} = \dfrac{4\pi^2 \cdot m \cdot r}{T^2}$

g Is de middelpuntzoekende kracht op een persoon van 70 kg in Amsterdam groter, kleiner of even groot als op de evenaar?
- de straal van de cirkelbeweging van Amsterdam is kleiner dan die van de cirkelbeweging op de evenaar
- de omlooptijd is in Amsterdam gelijk aan die op de evenaar
- $F_{mpz} = \dfrac{4\pi^2 \cdot m \cdot r}{T^2}$
- r is kleiner en T is gelijk $\rightarrow$ F_{mpz} is kleiner

h Bereken F_{mpz} op een persoon van 70 kg in Amsterdam.
- $r_{baan\ Ams} = r_{aarde} \cdot \cos 52 \quad \rightarrow \quad r_{baan\ Ams} = 6,371 \cdot 10^6 \cdot 0,61566 = 3,92238 \cdot 10^6 \text{ m}$
- $F_{mpz} = \dfrac{4\pi^2 \cdot 70 \cdot 3,92238 \cdot 10^6}{86400^2} = 1,452044 = 1,5 \text{ N}$

Cirkelbeweging in de ruimte

12** **a** Bereken de omlooptijd en de omloopfrequentie van de maan.

- $T = 27{,}32 \text{ dagen} = 27{,}32 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 2{,}360448 \cdot 10^6 \text{ s}$
- $f = \dfrac{1}{T} \quad \rightarrow \quad f = \dfrac{1}{2{,}360448 \cdot 10^6} = 4{,}23648392 \cdot 10^{-7} = 4{,}236 \cdot 10^{-7} \text{ Hz}$ 4 sign. cijfers

b Bereken de baansnelheid van de maan.

- $T = 2{,}360448 \cdot 10^6 \text{ s} \quad | \quad r = 384{,}4 \cdot 10^6 \text{ m} \quad | \quad v_{baan} = \ldots \text{m/s}$
- $v_{baan} = \dfrac{2\pi \cdot r}{T}$
- $v_{baan} = \dfrac{2\pi \cdot 384{,}4 \cdot 10^6}{2{,}360448 \cdot 10^6} = 1{,}0232195 \cdot 10^3 = 1{,}023 \cdot 10^3 \text{ m/s}$ 4 sign. cijfers

13*** **a** Bereken de baansnelheid van de aarde om de zon.

- opzoeken: $r_{baan\ Aarde} = 0{,}1496 \cdot 10^{12} \text{ m}$
- opzoeken: $T_{Aarde} = 365{,}256 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 3{,}15581184 \cdot 10^7 \text{ s}$
- $v = \dfrac{2\pi \cdot r}{T} \quad \rightarrow \quad v = \dfrac{2\pi \cdot 0{,}1496 \cdot 10^{12}}{3{,}15581184 \cdot 10^7} = 2{,}97852 \cdot 10^4 = 2{,}979 \cdot 10^4 \text{ m/s}$ (4 s.c.)

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

- $m_{Aarde} = 5{,}972 \cdot 10^{24} \text{ kg} \quad | \quad v_{baan} = 2{,}97852 \cdot 10^4 \text{ m/s} \quad | r_{baan} = 0{,}1496 \cdot 10^{12} \text{ m}$
- $F_{mpz} = \dfrac{m \cdot v^2}{r}$
- $F_{mpz} = \dfrac{5{,}972 \cdot 10^{24} \cdot (2{,}97852 \cdot 10^4)^2}{0{,}1496 \cdot 10^{12}} = 3{,}54151 \cdot 10^{22} = 3{,}542 \cdot 10^{22} \text{ N}$ (4 s.c.)

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

- opzoeken: $m_{Saturnus} = 568 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
- opzoeken: $r_{baan\ Saturnus} = 1{,}427 \cdot 10^{12} \text{ m}$
- opzoeken: $T_{Saturnus} = 29{,}45 \cdot 365{,}256 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 9{,}29386587 \cdot 10^8 \text{ s}$
- $v = \dfrac{2\pi \cdot r}{T} \quad \rightarrow \quad v = \dfrac{2\pi \cdot 1{,}427 \cdot 10^{12}}{9{,}29386587 \cdot 10^7} = 9{,}647337 \cdot 10^3 = 9{,}647 \cdot 10^3 \text{ m/s}$
- $F_{mpz} = \dfrac{m \cdot v^2}{r} \quad \rightarrow \quad F_{mpz} = \dfrac{568 \cdot 10^{24} \cdot (9{,}647337 \cdot 10^3)^2}{1{,}427 \cdot 10^{12}} = 3{,}70458 \cdot 10^{22} = 3{,}70 \cdot 10^{22} \text{ N}$
  (3 s.c.)

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

- vergelijk je antwoorden op b en c
- F_{mpz} op Saturnus is groter dan F_{mpz} op de aarde

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

- bij vraag a bereken je voor de aarde: $v = 2{,}979 \cdot 10^4 \text{ m/s}$
- bij vraag b bereken je voor Saturnus: $v = 9{,}647 \cdot 10^3 \text{ m/s}$
- de baansnelheid van Saturnus is kleiner dan die van de aarde

14*** **a** Bereken de baansnelheid van de zon.

- één lichtjaar is $9{,}460886 \cdot 10^{15}$ m
- $r_{\text{baan Zon}} = 27 \cdot 10^3 \cdot 9{,}460886 \cdot 10^{15} = 2{,}55444 \cdot 10^{20}$ m
- één jaar is $3{,}15581184 \cdot 10^7$ s
- $T_{\text{Zon}} = 225 \cdot 10^6 \cdot 3{,}15581184 \cdot 10^7 = 7{,}10058 \cdot 10^{15}$ s
- $v = \dfrac{2\pi \cdot r}{T} \quad \rightarrow \quad v = \dfrac{2\pi \cdot 2{,}55444 \cdot 10^{20}}{7{,}10058 \cdot 10^{15}} = 2{,}26039 \cdot 10^5 = 2{,}26 \cdot 10^5 \text{ m/s}$

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

- $m_{\text{Zon}} = 1{,}9884 \cdot 10^{30}$ kg | $v = 2{,}26039 \cdot 10^5$ m/s | $r_{\text{baan}} = 2{,}55444 \cdot 10^{20}$ m
- $F_{mpz} = \dfrac{m \cdot v^2}{r}$
- $F_{mpz} = \dfrac{1{,}9884 \cdot 10^{30} \cdot (2{,}26039 \cdot 10^5)^2}{2{,}55444 \cdot 10^{20}} = 3{,}97718 \cdot 10^{20} = 3{,}98 \cdot 10^{20}$ N

c Hoeveel galactische jaren heeft de zon gehad?

- leeftijd zon is $4{,}5 \cdot 10^9$ jaar miljard jaar oud
- één omwenteling in $225 \cdot 10^6$ jaar
- aantal galactische jaren: $\dfrac{4{,}5 \cdot 10^9}{225 \cdot 10^6} = 20$ galactische jaren

d Hoeveel galactische jaren wordt de zon oud?

- de zon wordt ongeveer $2 \cdot 20 = 40$ galactische jaren oud

12.4 Gravitatie

1** **a** Bereken de gravitatiekracht die deze stenen op elkaar uitoefenen.

- $F_G = G \cdot \dfrac{m \cdot M}{r^2}$ met $G = 6{,}6743 \cdot 10^{-11}\ \text{N m}^2\ \text{kg}^{-2}$
- $F_G = 6{,}6743 \cdot 10^{-11} \cdot \dfrac{1 \cdot 1}{1^2} = 6{,}6743 \cdot 10^{-11} = 6{,}7 \cdot 10^{-11}\ \text{N}$

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

- $F_G = G \cdot \dfrac{m \cdot M}{r^2}$
- $1 = 6{,}6743 \cdot 10^{-11} \cdot \dfrac{1 \cdot 1}{r^2} \rightarrow r^2 = 6{,}6743 \cdot 10^{-11} \rightarrow r = 8{,}16964 \cdot 10^{-6} = 8{,}2 \cdot 10^{-6}\ \text{m}$

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

- vlak bij het oppervlak van de aarde geldt: $M = m_{aarde}$ en $r = r_{aarde}$
- $F_G = G \cdot \dfrac{m \cdot M}{r^2} \rightarrow F_G = m \cdot G \cdot \dfrac{m_{aarde}}{r^2_{aarde}}$
- $F_Z = m \cdot g \rightarrow g = G \cdot \dfrac{m_{aarde}}{r^2_{aarde}}$

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

- $F_G = G \cdot \dfrac{m \cdot M}{r^2} \rightarrow N = [G] \cdot \dfrac{kg \cdot kg}{m^2}$ eenheden invullen in de formule
- $[G] = N \cdot \dfrac{m^2}{kg^2}$
- $N = kg \cdot \dfrac{m}{s^2}$ grondeenheden invullen voor newton
- $[G] = kg \cdot \dfrac{m}{s^2} \cdot \dfrac{m^2}{kg^2} = \dfrac{m^3}{kg \cdot s^2}$

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

- $g = G \cdot \dfrac{m_{aarde}}{r^2_{aarde}} \rightarrow [g] = \dfrac{m^3}{kg \cdot s^2} \cdot \dfrac{kg}{m^2} = \dfrac{m}{s^2}$

3*** **a** Bereken de massa's van de twee loden bollen.

- grote bol: $V = \frac{4}{3}\pi \cdot r^3 \rightarrow V = \frac{4}{3}\pi \cdot 0{,}15^3 = 1{,}4137 \cdot 10^{-2}\ \text{m}^3$
- kleine bol: $V = \frac{4}{3}\pi \cdot r^3 \rightarrow V = \frac{4}{3}\pi \cdot 0{,}0255^3 = 6{,}9456 \cdot 10^{-5}\ \text{m}^3$

- $\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho \cdot V$ met $\rho_{lood} = 11{,}3 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$
- grote bol: $m_{groot} = 11{,}3 \cdot 10^3 \cdot 1{,}4137 \cdot 10^{-2} = 159{,}748 = 160 \text{ kg}$
- kleine bol: $m_{klein} = 11{,}3 \cdot 10^3 \cdot 6{,}9456 \cdot 10^{-5} = 0{,}78485 = 0{,}78 \text{ kg}$

b Bereken de gravitatiekracht tussen de twee bollen als de afstand tussen de bollen gemeten vanaf de buitenkant 1,0 cm is.

- r is de afstand tussen de zwaartepunten van de bollen in meter
- $r = 0{,}15 + 0{,}0255 + 0{,}010 = 0{,}1855 \text{ m}$ $r_{grote\ bol} + r_{kleine\ bol}$ + afstand 1,0 cm
- $F_G = G \cdot \frac{m \cdot M}{r^2}$
- $F_G = 6{,}6743 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{159{,}75 \cdot 0{,}78485}{0{,}1855^2} = 2{,}431898 \cdot 10^{-7} = 2{,}4 \cdot 10^{-7} \text{ N}$

4** **a** Bereken de massa van de aarde.

- $g = G \cdot \frac{m_{aarde}}{r_{aarde}^2} \rightarrow 9{,}80665 = 6{,}6743 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{m_{aarde}}{(6{,}371 \cdot 10^6)^2}$
- $m_{aarde} = 5{,}9639 \cdot 10^{24} \text{ kg}$

MERK OP dat dit afwijkt van de massa in Binas. Dit komt omdat de straal van de aarde niet overal $6{,}371 \cdot 10^6$ m is. Door het gebruik van de gemiddelde straal ontstaat een kleine afwijking.

b Bereken het volume van de aarde.

- $V = \frac{4}{3}\pi \cdot r^3$
- $V = \frac{4}{3}\pi \cdot (6{,}371 \cdot 10^6)^3 \rightarrow V = 1{,}083207 \cdot 10^{21} = 1{,}083 \cdot 10^{21} \text{ m}^3$ (4 s.c.)

c Bereken de gemiddelde dichtheid van de aarde.

- $\rho = \frac{m}{V}$
- $\rho = \frac{5{,}9639 \cdot 10^{24}}{1{,}083207 \cdot 10^{21}} \rightarrow \rho = 5{,}50578 \cdot 10^3 = 5{,}506 \cdot 10^3 \text{ kg / m}^3$ (4 s.c.)

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

- de dichtheid van steen is een kleiner dan de gemiddelde dichtheid van de aarde
- de dichtheid van metalen is groter dan de gemiddelde dichtheid van de aarde
- de aarde bestaat uit zowel steen als metaal

5*** **a** Welke kracht werkt in dit gedachtenexperiment als middelpuntzoekende kracht?

- zonder luchtweerstand werkt alleen de zwaartekracht op de kogel
- $F_{res} = F_Z = F_{mpz}$

b Toon dit aan.

- $F_{res} = F_Z = F_{mpz} \rightarrow m \cdot \frac{v^2}{r_{aarde}} = m \cdot g$ m wegstrepen
- $v^2 = g \cdot r_{aarde} \rightarrow v = \sqrt{g \cdot r_{aarde}}$

c Bereken de snelheid waarbij de kogel een rondje om de aarde maakt.
- opzoeken: $r_{aarde} = 6{,}371 \cdot 10^6$ m
- $v = \sqrt{9{,}81 \cdot 6{,}371 \cdot 10^6} = 7{,}90566 \cdot 10^3 = 7{,}91 \cdot 10^3$ m / s

d Bereken de omlooptijd van de kogel.
- $v_{baan} = 7{,}90566 \cdot 10^3$ m / s
- omtrek aarde: $2\pi \cdot r_{aarde} = 2\pi \cdot 6{,}371 \cdot 10^6 = 4{,}003017 \cdot 10^7$ m
- $s = v_{gem} \cdot t \rightarrow 4{,}003017 \cdot 10^7 = 7{,}90566 \cdot 10^3 \cdot t \rightarrow t = 5{,}06348 \cdot 10^3$ s
- $t = \frac{5{,}06348 \cdot 10^3}{60 \cdot 60} 1{,}40652 = 1{,}41$ uur

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

b Bereken de gravitatiekracht die de aarde op de maan uitoefent.
- $F_G = G \cdot \frac{m \cdot M}{r^2}$ met $G = 6{,}6743 \cdot 10^{-11}$ N m^2 kg^{-2}
- $F_G = 6{,}6743 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{0{,}0735 \cdot 10^{24} \cdot 5{,}972 \cdot 10^{24}}{(384{,}4 \cdot 10^6)^2} = 1{,}98265 \cdot 10^{20} = 1{,}98 \cdot 10^{20}$ N

c Bereken de gravitatiekracht die de maan op de aarde uitoefent.
- gebruik dezelfde formule met dezelfde getallen
- dit geeft hetzelfde antwoord: $F_G = 1{,}98 \cdot 10^{20}$ N

d Bereken de baansnelheid van de maan.
- $F_{mpz} = 1{,}98265 \cdot 10^{20}$ N | $m_{maan} = 0{,}0735 \cdot 10^{24}$ kg | $r = 384{,}4 \cdot 10^6$ m
- $F_{mpz} = \frac{m \cdot v^2}{r} \rightarrow 1{,}98265 \cdot 10^{20} = \frac{0{,}0735 \cdot 10^{24} \cdot v^2}{384{,}4 \cdot 10^6}$
- $v = 1{,}01829 \cdot 10^3 = 1{,}02 \cdot 10^3$ m / s

7*** **a** Toon dit aan.
- $F_{mpz} = F_G \rightarrow \frac{m \cdot v^2}{r} = G \cdot \frac{m \cdot M}{r^2} = \rightarrow v^2 = G \cdot \frac{M}{r} \rightarrow v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{r}}$

b Toon dit aan.

- $v = \dfrac{2\pi \cdot r}{T} \quad \rightarrow \quad v^2 = \dfrac{4\pi^2 \cdot r^2}{T^2}$
- $v^2 = G \cdot \dfrac{M}{r} \quad \rightarrow \quad \dfrac{4\pi^2 \cdot r^2}{T^2} = G \cdot \dfrac{M}{r} \quad \rightarrow \quad \dfrac{r^3}{T^2} = \dfrac{G \cdot M}{4\pi^2}$

8*** **a** Bereken de snelheid waarmee Mars om de zon draait.

- opzoeken $r_{baan} = 0{,}228 \cdot 10^{12}$ m
- $T = 687{,}0 \text{ dagen} = 5{,}93568 \cdot 10^7$ s
- $v = \dfrac{2\pi \cdot r}{T} \quad \rightarrow \quad v = \dfrac{2\pi \cdot 0{,}228 \cdot 10^{12}}{5{,}93568 \cdot 10^7} = 2{,}41348 \cdot 10^4 = 2{,}41 \cdot 10^4$ m / s

b Bereken de kortste afstand tussen Aarde en Mars.

- opzoeken baanstralen $r_{baan\ Aarde} = 1{,}496 \cdot 10^{11}$ m | $r_{baan\ Mars} = 2{,}28 \cdot 10^{11}$ m
- kleinste afstand: $r_{min} = 2{,}28 \cdot 10^{11} - 1{,}496 \cdot 10^{11} = 7{,}84 \cdot 10^{10}$ m

c Bereken de gemiddelde snelheid van de raket in km / h.

- $T = 245 \text{ dagen} = 2{,}1168 \cdot 10^7$ s | $s = 7{,}84 \cdot 10^{10}$ m kortste afstand
- $s = v_{gem} \cdot t \quad \rightarrow \quad 7{,}84 \cdot 10^{10} = v_{gem} \cdot 2{,}1168 \cdot 10^7$
- $v_{gem} = 3{,}7037 \cdot 10^3 = 3{,}70 \cdot 10^3$ m / s $=$ $13{,}3 \cdot 10^3$ km / h

9*** **a** Bereken de massa van het centrum van de Melkweg uitgedrukt in aantal keer de zonmassa.

- $T = 2{,}45 \cdot 10^8 \text{ jaar} = 7{,}731739 \cdot 10^{15}$ s een jaar heeft 365,256 dagen
- $v = \dfrac{2\pi \cdot r}{T} \quad \rightarrow \quad v = \dfrac{2\pi \cdot 2{,}5 \cdot 10^{20}}{7{,}731739 \cdot 10^{15}} = 2{,}03162 \cdot 10^5$ m / s
- $F_{mpz} = F_G \quad \rightarrow \quad \dfrac{m \cdot v^2}{r} = G \cdot \dfrac{m \cdot M}{r^2} = \quad \rightarrow \quad v^2 = G \cdot \dfrac{M}{r}$
- $(2{,}03162 \cdot 10^5)^2 = 6{,}6743 \cdot 10^{-11} \cdot \dfrac{M}{2{,}5 \cdot 10^{20}} \quad \rightarrow \quad M = 1{,}54604 \cdot 10^{41}$ kg
- $m_{melkweg} = 1{,}54604 \cdot 10^{41}$ kg | $m_{zon} = 1{,}9884 \cdot 10^{30}$ kg
- $\dfrac{m_{melkweg}}{m_{zon}} = \dfrac{1{,}54604 \cdot 10^{41}}{1{,}9884 \cdot 10^{30}} = 7{,}77528 \cdot 10^{10} = 7{,}8 \cdot 10^{10}$ 78 miljard keer de zonmassa

10*** **a** Bereken de (baan) snelheid van de ruimtecapsule.

- $r = 1{,}738 \cdot 10^6 + 112 \cdot 10^3 = 1{,}85 \cdot 10^6$ m | $T = 119 \text{ minuten} = 7140$ s
- $v = \dfrac{2\pi \cdot r}{T} \quad \rightarrow \quad v = \dfrac{2\pi \cdot 1{,}85 \cdot 10^6}{7140} = 1{,}627996 \cdot 10^3 = 1{,}63 \cdot 10^3$ m / s

b Bereken de massa van de maan.

- $F_{mpz} = F_G \rightarrow \dfrac{m \cdot v^2}{r} = G \cdot \dfrac{m \cdot M}{r^2} = \rightarrow v^2 = G \cdot \dfrac{M}{r}$
- $M = \dfrac{r \cdot v^2}{G} \rightarrow M = \dfrac{1,85 \cdot 10^6 \cdot (1,628 \cdot 10^3)^2}{6,6743 \cdot 10^{-11}} = 7,3464 \cdot 10^{22} = 7,35 \cdot 10^{22}$ kg

11*** **a** Bereken de omtrek van de baan van de ISS.

- $r = 6,371 \cdot 10^6 + 370 \cdot 10^3 = 6,741 \cdot 10^6$ m
- $\text{omtrek} = 2\pi \cdot r \rightarrow \text{omtrek} = 2\pi \cdot 6,741 \cdot 10^6 = 4,2355 \cdot 10^7 = 4,24 \cdot 10^7$ m

c Bereken de snelheid van de ISS.

- $F_{mpz} = F_G \rightarrow \dfrac{m \cdot v^2}{r} = G \cdot \dfrac{m \cdot M}{r^2} = \rightarrow v^2 = G \cdot \dfrac{M}{r} \rightarrow v = \sqrt{\dfrac{G \cdot M}{r}}$
- $v = \sqrt{\dfrac{G \cdot M}{r}} \rightarrow v = \sqrt{\dfrac{6,6743 \cdot 10^{-11} \cdot 5,972 \cdot 10^{24}}{(6,371 \cdot 10^6 + 370 \cdot 10^3)}} = 7,68954 \cdot 10^3 = 7,69 \cdot 10^3$ m / s

c Bereken de omlooptijd van de ISS.

- $v = \dfrac{2\pi \cdot r}{T} \rightarrow 7,68954 \cdot 10^3 = \dfrac{2\pi \cdot (6,371 \cdot 10^6 + 370 \cdot 10^3)}{T}$
- $T = 5,50812 \cdot 10^3 = 5,51 \cdot 10^3$ s

12*** **a** Leg uit wat met een polaire baan wordt bedoeld.

- een polaire baan is een baan om de Noordpool en de Zuidpool

b Bereken de baanstraal van de MetOP satelliet.

- $F_{mpz} = F_G \rightarrow \dfrac{m \cdot v^2}{r} = G \cdot \dfrac{m \cdot M}{r^2} = \rightarrow v^2 = G \cdot \dfrac{M}{r} \rightarrow v = \sqrt{\dfrac{G \cdot M}{r}}$
- $v = \sqrt{\dfrac{G \cdot M}{r}}$ met $G = 6,6743 \cdot 10^{-11}\ N\,m^2\,kg^{-2}$
- $7,44 \cdot 10^3 = \sqrt{\dfrac{6,6743 \cdot 10^{-11} \cdot 5,972 \cdot 10^{24}}{r}} \rightarrow r = 7,20078 \cdot 10^6 = 7,20 \cdot 10^6$ m

c Hoeveel kilometer staat de MetOp satelliet boven het aardoppervlak?

- $\text{hoogte} = r - r_{aarde} \rightarrow h = 7,20078 \cdot 10^6 - 6,371 \cdot 10^6 = 8,29782 \cdot 10^5\ m = 830\ km$

d Bereken de omlooptijd van een MetOP satelliet in minuten.

- $v = \dfrac{2\pi \cdot r}{T} \rightarrow 7,44 \cdot 10^3 = \dfrac{2\pi \cdot 7,20078 \cdot 10^6}{T} \rightarrow T = 6081,16s$
- $T = \dfrac{6081,16}{60} = 101,3527 = 101\ min$

e Hoeveel omlopen maakt een MetOP satelliet per dag?

- een dag heeft $24 \cdot 60 = 1440$ minuten
- $\dfrac{1440}{101{,}3527} = 14{,}2078 = 14{,}2$ omlopen per dag

f Hoeveel graden is de aarde gedraaid tussen twee omlopen van een MetOP satelliet?

- de aarde draait 360 graden per dag
- $\dfrac{360}{14{,}2078} = 25{,}338 = 25{,}3$ graden tussen twee omlopen

13*** **a** Bereken de omlooptijd van een GPS-satelliet.

- $F_{mpz} = F_G \;\rightarrow\; \dfrac{m \cdot v^2}{r} = G \cdot \dfrac{m \cdot M}{r^2} = \;\rightarrow\; v^2 = G \cdot \dfrac{M}{r} \;\rightarrow\; v = \sqrt{\dfrac{G \cdot M}{r}}$
- $v = \sqrt{\dfrac{G \cdot M}{r}} \;\rightarrow\; v = \sqrt{\dfrac{6{,}6743 \cdot 10^{-11} \cdot 5{,}972 \cdot 10^{24}}{(6{,}371 \cdot 10^6 + 20{,}229 \cdot 10^6)}} = 3{,}87099 \cdot 10^3 \text{ m/s}$
- $v = \dfrac{2\pi \cdot r}{T} \;\rightarrow\; 3{,}870989 \cdot 10^3 = \dfrac{2\pi \cdot (6{,}371 \cdot 10^6 + 20{,}229 \cdot 10^6)}{T}$
- $T = 4{,}317572 \cdot 10^4 = 4{,}318 \cdot 10^4 \text{ s}$

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

- $24 \text{ h} = 8{,}64 \cdot 10^4 \text{ s}$
- de aarde draait 360 graden in $8{,}64 \cdot 10^4$ s
- in $4{,}317572 \cdot 10^4$ s draait de aarde $\dfrac{4{,}3117572 \cdot 10^4}{8{,}64 \cdot 10^4} \cdot 360 = 179{,}9 = 180$ graden

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

- in 1 omloop draait de aarde 180 graden $\rightarrow$ 360 graden in 2 omlopen
- een GPS-satelliet heeft 2 omlopen per dag

14*** **a** Leg uit wat met een geostationaire baan wordt bedoeld.

- een satelliet met een geostationaire baan staat stil boven een vast punt boven het aardoppervlak
- een satelliet met een geostationaire baan heeft een omlooptijd van 24 uur
- een satelliet met een geostationaire baan bevindt zich boven de evenaar

b Leg uit waarom dit noodzakelijk is.

- als de baan van de satelliet een helling maakt ten opzichte van het vlak van de evenaar staat de satelliet niet meer stil boven een vast punt op het aardoppervlak

c Bereken de baanstraal van een geostationaire satelliet.

- $\frac{r^3}{T^2} = \frac{G \cdot M}{4\pi^2}$ met $G = 6{,}6743 \cdot 10^{-11}\ N\,m^2\,kg^{-2}$
- $T = 24\ h = 8{,}64 \cdot 10^4\ s$ | $m_{aarde} = 5{,}972 \cdot 10^{24}\ kg$
- $\frac{r^3}{86400^2} = \frac{6{,}6743 \cdot 10^{-11} \cdot 5{,}972 \cdot 10^{24}}{4\pi^2}$
- $r^3 = 7{,}53691 \cdot 10^{22} \rightarrow r = 4{,}22407 \cdot 10^7 = 4{,}224 \cdot 10^7\ m$

d Bereken hoe hoog een geostationaire satelliet boven het aardoppervlak staat.

- $h_{geostationair} = 4{,}224 \cdot 10^7 - 6{,}378 \cdot 10^6 = 3{,}58621 \cdot 10^7 = 3{,}586 \cdot 10^7\ m$

e Bereken de baansnelheid van een geostationaire satelliet.

- $r = 4{,}22407 \cdot 10^7\ m$ | $T = 86400\ s$ | $v_{baan} = \ldots m/s$
- $v = \frac{2\pi \cdot r}{T} \rightarrow v = \frac{2\pi \cdot 4{,}22407 \cdot 10^7}{86400} = 3{,}07183 \cdot 10^3 = 3{,}072 \cdot 10^3\ m/s$

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

- $m_{zon} = 1{,}9884 \cdot 10^{30}\ kg$ | $m_{pioneer} = 240\ kg$ | $r = 6{,}2 \cdot 10^{12}\ m$
- $F_G = G \cdot \frac{m \cdot M}{r^2}$ met $G = 6{,}6743 \cdot 10^{-11}\ N\,m^2\,kg^{-2}$
- $F_G = 6{,}6743 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{1{,}9884 \cdot 10^{30} \cdot 240}{(6{,}2 \cdot 10^{12})^2} = 8{,}28586 \cdot 10^{-4} = 8{,}3 \cdot 10^{-4}\ N$

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?

- $s = 6{,}2 \cdot 10^{12}\ m$ | $t = 11\ jaar = 3{,}47 \cdot 10^8\ s$ | $v_{gem} = \ldots m/s$
- $s = v_{gem} \cdot t \rightarrow 6{,}2 \cdot 10^{12} = v_{gem} \cdot 3{,}47 \cdot 10^8 \rightarrow v_{gem} = 1{,}787 \cdot 10^4\ m/s$
- $2030 - 1972 = 58\ jaar = 1{,}83 \cdot 10^9\ s$
- $s = v_{gem} \cdot t \rightarrow s = 1{,}787 \cdot 10^4 \cdot 1{,}83 \cdot 10^9 = 3{,}27 \cdot 10^{13}\ m$

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

- opzoeken: afstand Aldebaran is $63{,}1 \cdot 10^{16}\ m$
- $s = v_{gem} \cdot t \rightarrow 63{,}1 \cdot 10^{16} = 1{,}787 \cdot 10^4 \cdot t \rightarrow t = 3{,}531 \cdot 10^{13}\ s$
- $t = \frac{3{,}531 \cdot 10^{13}}{365{,}256 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} = 1{,}1189 \cdot 10^6 = 1{,}1 \cdot 10^6$ jaar

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

- op de achtergrond staat een afbeelding van de Piuoneer-10 sonde
- daarmee kan de afmeting van een mens worden vergeleken

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

- $r = 0{,}21\,AE = 0{,}21 \cdot 1{,}49598 \cdot 10^{11} = 3{,}141558 \cdot 10^{10}$ m
- $T = 61{,}0\ d = 61{,}0 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 5{,}2704 \cdot 10^{6}$ s
- $v = \dfrac{2\pi \cdot r}{T} \rightarrow v = \dfrac{2\pi \cdot 3{,}141558 \cdot 10^{10}}{5{,}2704 \cdot 10^{6}} = 3{,}74525 \cdot 10^{4}$ m/s
- $F_{mpz} = F_G \rightarrow \dfrac{m \cdot v^2}{r} = G \cdot \dfrac{m \cdot M}{r^2} \rightarrow v^2 = G \cdot \dfrac{M}{r}$
- $(3{,}74525 \cdot 10^{4})^2 = 6{,}6743 \cdot 10^{-11} \cdot \dfrac{M}{3{,}141558 \cdot 10^{10}} \rightarrow M = 6{,}60239 \cdot 10^{29} = 6{,}6 \cdot 10^{29}$ kg

b Bereken de straal van Gliese b.

- $\rho = 1{,}0 \cdot 10^{3}\ kg/m^3$ | $m = 600 \cdot 5{,}972 \cdot 10^{24} = 3{,}5832 \cdot 10^{27}$ kg | $V = \ldots m^3$
- $\rho = \dfrac{m}{V} \rightarrow V = \dfrac{m}{\rho} \rightarrow V = \dfrac{3{,}5832 \cdot 10^{27}}{1{,}0 \cdot 10^{3}} = 3{,}5832 \cdot 10^{24}\ m^3$
- bolvorm: $V = \frac{4}{3}\pi \cdot r^3 \rightarrow 3{,}5832 \cdot 10^{24} = \frac{4}{3}\pi \cdot r^3 \rightarrow r = 9{,}4929 \cdot 10^{7} = 9{,}5 \cdot 10^{7}$ m

c Is Gliese b groter of kleiner dan Jupiter?

- de straal van Jupiter is $69{,}91 \cdot 10^{6}$ m
- Gliese b is dus groter dan Jupiter

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

- $s = 15{,}2$ lichtjaar $= 15{,}2 \cdot 9{,}461 \cdot 10^{15} = 1{,}43807 \cdot 10^{15}$ m | $v_{gem} = 16{,}3 \cdot 10^{3}$ m/s
- $s = v_{gem} \cdot t \rightarrow 1{,}43807 \cdot 10^{15} = 16{,}3 \cdot 10^{3} \cdot t \rightarrow t = 8{,}82253 \cdot 10^{12}$ s
- $t = \dfrac{8{,}82253 \cdot 10^{12}}{365{,}256 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} = 2{,}79564 \cdot 10^{5} = 2{,}80 \cdot 10^{5}$ jaar

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

- opzoeken: één lichtjaar is $9{,}461 \cdot 10^{15}$ m
- $\dfrac{6{,}15 \cdot 10^{19}}{9{,}461 \cdot 10^{15}} = 6500$ lichtjaar
- in werkelijkheid vond de supernova 6500 eerder plaats
- $1054 - 6500 = 5446$ jaar v. Chr.

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

- 5,5 lichtjaar is $5{,}5 \cdot 9{,}461 \cdot 10^{15} = 5{,}20355 \cdot 10^{16}$ m
- krabnevel: $V = \frac{4}{3}\pi \cdot (5{,}20355 \cdot 10^{16})^3 \rightarrow V = 5{,}901845 \cdot 10^{50}\ m^3$
- afstand Zon – Pluto is $5{,}91 \cdot 10^{12}$ m
- zonnestelsel: $V = \frac{4}{3}\pi \cdot (5{,}91 \cdot 10^{12})^3 \rightarrow V = 8{,}64671 \cdot 10^{38}\ m^3$

- $\dfrac{V_{krabnevel}}{V_{zonnestelsel}} = \dfrac{5{,}9101845 \cdot 10^{50}}{8{,}64671 \cdot 10^{38}} = 6{,}83518 \cdot 10^{11} = 6{,}8 \cdot 10^{11}$
- het zonnestelsel past $6{,}8 \cdot 10^{11}$ keer in de krabnevel

c Bereken de omloopfrequentie van de Krab-pulsar.
- $T = 33{,}4 \cdot 10^{-3}$ s | $f = \ldots$ Hz
- $f = \dfrac{1}{T} \rightarrow f = \dfrac{1}{33{,}4 \cdot 10^{-3}} = 29{,}94 = 29{,}9$ Hz

d Hoe groot is dan de gravitatiekracht op deze steen?
- $m_{pulsar} = 1{,}4 \cdot 1{,}9884 \cdot 10^{30} = 2{,}78376 \cdot 10^{30}$ kg | $r_{pulsar} = 1{,}0 \cdot 10^{4}$ m
- $F_G = G \cdot \dfrac{m \cdot M}{r^2}$ met $G = 6{,}6743 \cdot 10^{-11}\ \text{N m}^2\ \text{kg}^{-2}$
- $F_G = 6{,}6743 \cdot 10^{-11} \cdot \dfrac{2{,}78376 \cdot 10^{30} \cdot 60}{(1{,}0 \cdot 10^{4})^2} = 1{,}11478 \cdot 10^{14} = 1{,}1 \cdot 10^{14}$ N

e Bereken deze middelpuntzoekende kracht.
- $r_{pulsar} = 1{,}0 \cdot 10^{4}$ m | $T_{pulsar} = 33{,}4 \cdot 10^{-3}$ s | $v = \ldots$ m/s
- $v = \dfrac{2\pi \cdot r}{T} \rightarrow v = \dfrac{2\pi \cdot 1{,}0 \cdot 10^{4}}{33{,}4 \cdot 10^{-3}} = 1{,}88119 \cdot 10^{6}$ m/s
- $F_{mpz} = \dfrac{m \cdot v^2}{r} \rightarrow F_{mpz} = \dfrac{60 \cdot \left(1{,}88119 \cdot 10^{6}\right)^2}{1{,}0 \cdot 10^{4}} = 2{,}12333 \cdot 10^{10} = 2{,}1 \cdot 10^{10}$ N

f Wordt vanwege de snelle rotatie de steen van de Krabpulsar afgeslingerd?
- de gravitatiekracht is $F_G = 1{,}1 \cdot 10^{14}$ N
- de middelpuntzoekende kracht is $F_{mpz} = 2{,}1 \cdot 10^{10}$ N
- F_G is groter dan F_{mpz} $\rightarrow$ de steen wordt er niet afgeslingerd

12.5 Informatie uit de ruimte

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

- cirkel: $A = \pi \cdot r^2 \quad \rightarrow \quad A_{oog} = \pi \cdot (\frac{1}{2} \cdot 9{,}0 \cdot 10^{-3})^2 = 6{,}36173 \cdot 10^{-5}\ m^2$ één oog
- twee ogen: $A_{oog\,2x} = 1{,}27235 \cdot 10^{-4}\ m^2$
- $A_{VLT} = \pi \cdot (\frac{1}{2} \cdot 8{,}2)^2 = 52{,}81\,m^2$
- verhouding: $\dfrac{52{,}81}{1{,}27235 \cdot 10^{-4}} = 4{,}1506 \cdot 10^5 = 4{,}2 \cdot 10^5$ keer meer

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

- $A_{VLT} = \pi \cdot (\frac{1}{2} \cdot 8{,}2)^2 = 52{,}81\,m^2$
- $A_{ELT} = \pi \cdot (\frac{1}{2} \cdot 39{,}3)^2 = 1213\,m^2$
- verhouding: $\dfrac{1213}{52{,}81} = 22{,}97 = 23$ keer meer

2** **a** Bereken de maximale en minimale golflengte die de WSRT-telescoop kan waarnemen.

- $f_{minimaal} = 350 \cdot 10^6$ Hz | $f_{maximaal} = 8{,}30 \cdot 10^9$ Hz | $\lambda = \ldots m$
- $c = f \cdot \lambda$ met $c = 2{,}99792458 \cdot 10^8\ m/s$
- $2{,}99792458 \cdot 10^8 = 350 \cdot 10^6 \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad \lambda = 8{,}5655 \cdot 10^{-1}\ m = 85{,}7\ cm$
- $2{,}99792458 \cdot 10^8 = 8{,}30 \cdot 10^9 \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad \lambda = 3{,}61196 \cdot 10^{-2}\ m = 3{,}61\,cm$

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

- 21,106114 cm ligt tussen 3,61 en 85,7 cm
- deze straling kan dus worden waargenomen

c Breken de frequentie van deze straling in het juiste aantal significante cijfers.

- $\lambda = 21{,}106114\ cm = 0{,}21106114\ m$
- $c = f \cdot \lambda$ met $c = 2{,}99792458 \cdot 10^8\ m/s$
- $2{,}99792458 \cdot 10^8 = f \cdot 0{,}21106114$
- $f = 1{,}42040576 \cdot 10^9 = 1{,}4204058 \cdot 10^9$ Hz 8 sign. cijfers

3*** **a** Wat is het voordeel van de LOFAR-radiotelescoop ten opzichte van een radiotelescoop met één grote schotel?

- voor de resolutie geldt: $\alpha = 70 \cdot \dfrac{\lambda}{D}$
- omdat D heel groot is wordt hoek α erg klein

- bij een kleine hoek α kunnen hemellichamen die dicht bij elkaar staan worden onderscheiden en is de de resolutie dus heel groot

b Noem twee nadelen van de LOFAR-radiotelescoop ten opzichte van een radiotelescoop met één grote schotel.
- omdat de telescoop is samengesteld is uit losse radioantennes is de sterkte van het signaal kleiner dan bij één grote schotel
- de signalen uit de losse radioantennes moeten met elkaar worden gecombineerd wat veel rekenwerk kost

c Bereken de maximale theoretische resolutie van het centrale deel van de LOFAR radiotelescoop.
- voor de resolutie geldt: $\alpha = 70 \cdot \dfrac{\lambda}{D}$
- hoek α moet zo klein mogelijk zijn $\rightarrow$ de maximale resolutie wordt bereikt bij de kleinste golflengte en dus de grootste frequentie: 240 MHz
- $c = f \cdot \lambda$ met $c = 2{,}99792458 \cdot 10^8$ m/s
- $2{,}99792458 \cdot 10^8 = 240 \cdot 10^6 \cdot \lambda \quad \rightarrow \quad \lambda = 1{,}24914$ m
- $\alpha = 70 \cdot \dfrac{\lambda}{D}$ met $D = 2{,}0 \cdot 10^3$ m
- $\alpha = 70 \cdot \dfrac{1{,}24914}{2{,}0 \cdot 10^3} = 4{,}37197 \cdot 10^{-2} = 4{,}4 \cdot 10^{-2}$ graden

4** **a** Hoeveel astronomische eenheden (AE) is dit?
- één AE is de gemiddelde afstand tussen de aarde en de zon $1{,}496 \cdot 10^{11}$ m
- afstand aarde – maan is $\dfrac{384{,}4 \cdot 10^6}{1{,}496 \cdot 10^{11}} = 2{,}569519 \cdot 10^{-3} = 2{,}570 \cdot 10^{-3}$ AE

b Hoeveel parsec is dit?
- één parsec is $3{,}08568 \cdot 10^{16}$ m
- afstand Zon – Poolster is $\dfrac{410 \cdot 10^{16}}{3{,}08568 \cdot 10^{16}} = 132{,}872 = 133$ parsec

c Hoeveel astronomische eenheden (AE) is dit?
- één lichtjaar is $9{,}461 \cdot 10^{15}$ m
- één AE is $1{,}496 \cdot 10^{11}$ m
- 4,22 lichtjaar is $\dfrac{4{,}22 \cdot 9{,}461 \cdot 10^{15}}{1{,}496 \cdot 10^{11}} = 2{,}66881 \cdot 10^5 = 2{,}67 \cdot 10^5$ AE

d Hoeveel parsec is dit?
- één lichtjaar is $9{,}461 \cdot 10^{15}$ m
- één parsec is $3{,}08568 \cdot 10^{16}$ m
- 4,22 lichtjaar is $\dfrac{4{,}22 \cdot 9{,}461 \cdot 10^{15}}{3{,}08568 \cdot 10^{16}} = 1{,}29389 = 1{,}29$ parsec

De wet van Wien

5* a** Bereken de temperatuur van het oppervlak van de zon.
- $\lambda_{max} = 501\,nm = 501 \cdot 10^{-9}\ m \quad | \quad T = \ldots K$
- $\lambda_{max} \cdot T = k_W \quad$ met $\quad k_W = 2{,}897756 \cdot 10^{-3}\ K \cdot m$
- $501 \cdot 10^{-9} \cdot T = 2{,}897772 \cdot 10^{-3} \quad \rightarrow \quad T = 5783{,}98 = 5{,}78 \cdot 10^{3}\ K$

b Leg uit of je deze straling met het blote oog kunt zien.
- je kunt licht zien met golflengtes tussen 350 en 700 nm
- $1{,}1 \cdot 10^{-6}\ m = 1{,}1 \cdot 10^{3}\ nm$ en is dus niet met het blote oog te zien

c Bepaal de temperatuur van het oppervlak van Proxima Centauri.
- aflezen $\lambda_{max} = 1{,}1 \cdot 10^{-6}\ m$
- $\lambda_{max} \cdot T = k_W \quad$ met $\quad k_W = 2{,}897756 \cdot 10^{-3}\ K \cdot m$
- $1{,}1 \cdot 10^{-6} \cdot T = 2{,}897772 \cdot 10^{-3} \quad \rightarrow \quad T = 2{,}63434 \cdot 10^{3} = 2{,}6 \cdot 10^{3}\ K$

6* a** Bereken de straal van Betelgeuze.
- opzoeken: de straal van Betelgeuze is 700 keer zo groot als de straal van de zon
- opzoeken: de straal van de zon is $6{,}957 \cdot 10^{8}\ m$
- de straal van Betelgeuze is $700 \cdot 6{,}957 \cdot 10^{8} = 4{,}8699 \cdot 10^{11}\ m$

b Bereken hoe vaak de zon in Betelgeuze past.
- $V_{bol} = \frac{4}{3}\pi \cdot r^3 \quad$ en $\quad r_{betel} = 700 \cdot r_{zon}$
- de zon past $700^3 = 3{,}43 \cdot 10^{8}$ keer in Betelgeuze

c Toon dit aan.
- oppervlak van een bol: $A = 4\pi \cdot r^2$
- $r_{betel} = 700 \cdot r_{zon} \quad \rightarrow \quad A_{betel} = 700^2 \cdot A_{zon} = 4{,}9 \cdot 10^{5} \cdot A_{zon}$

d Hoe kun je aan de figuur zien dat Betelgeuze een lage temperatuur heeft?
- Betelgeuze straal rood licht uit $\rightarrow$ λ_{max} is groot
- $\lambda_{max} \cdot T = k_W$
- λ_{max} is groot, k_W is constant $\rightarrow$ T is klein

e Bepaal de temperatuur van het oppervlak van Betelgeuze.
- aflezen $\lambda_{max} = 800\ nm = 800 \cdot 10^{-9}\ m$
- $\lambda_{max} \cdot T = k_W \quad \rightarrow \quad 800 \cdot 10^{-9} \cdot T = 2{,}897772 \cdot 10^{-3} \rightarrow \quad T = 3{,}6222 \cdot 10^{3} = 3{,}62 \cdot 10^{3}\ K$

f Is de temperatuur bij deze vlekken hoger of lager buiten deze vlekken?
- de kleur van de vlekken is geler dan erbuiten
- geel licht heeft een kleinere golflengte dan rood licht
- $\lambda_{max} \cdot T = k_W \rightarrow$ de vlekken hebben een hogere temperatuur

12.6 De levensloop van sterren

1*** **a** Bereken hoeveel massa er verdwijnt in één reactiecyclus.

- $E = 3{,}954 \cdot 10^{-12}$ J | $m = \ldots$ kg
- $E = m \cdot c^2 \rightarrow 3{,}954 \cdot 10^{-12} = m \cdot (2{,}99792458 \cdot 10^8)^2$
- $m = 4{,}399418 \cdot 10^{-29} = 4{,}399 \cdot 10^{-29}$ kg

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

- $P = 3{,}828 \cdot 10^{26}$ W | $E_{\text{per reactie}} = 3{,}954 \cdot 10^{-12}$ J
- aantal reacties per seconde $\dfrac{3{,}828 \cdot 10^{26}}{3{,}954 \cdot 10^{-12}} = 9{,}715736 \cdot 10^{37} = 9{,}72 \cdot 10^{37}$

c Hoeveel massa verdwijnt er per seconde?

- in één reactie verdwijnt er $4{,}399418 \cdot 10^{-29}$ kg
- $m = 4{,}399418 \cdot 10^{-29} \cdot 9{,}715736 \cdot 10^{37} = 4{,}274358 \cdot 10^9 = 4{,}27 \cdot 10^9$ kg

2*** **a** Voer deze berekening uit.

- per seconde wordt $4{,}27 \cdot 10^9$ kg omgezet in energie
- $E = m \cdot c^2$ met $c = 2{,}99792458 \cdot 10^8$ m / s
- $E = 4{,}27 \cdot 10^9 \cdot \left(2{,}99792458 \cdot 10^8\right)^2 = 3{,}83768 \cdot 10^{26} = 3{,}838 \cdot 10^{26}$ J

b Hoeveel jaar duurt het tot al het waterstof in het centrum van de zon is verbruikt?

- massa waterstof in de kern is $1{,}9884 \cdot 10^{30} \cdot 0{,}14 \cdot 0{,}70 = 1{,}948632 \cdot 10^{29}$ kg
- per seconde wordt $6{,}0 \cdot 10^{11}$kg waterstof verbruikt
- na $\dfrac{1{,}948632 \cdot 10^{29}}{6{,}0 \cdot 10^{11}} = 3{,}24772 \cdot 10^{17}$ seconde is het waterstof in de kern verbruikt
- $3{,}24772 \cdot 10^{17}$ s $= \dfrac{3{,}24772 \cdot 10^{17}}{365{,}256 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} = 1{,}029123 \cdot 10^{10} = 1{,}0 \cdot 10^{10}$ jaar

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

- $m_{zon} = 1{,}9884 \cdot 10^{30}$ kg | $r_{zon} = 6{,}957 \cdot 10^8$ m | $\rho_{zon} = \ldots$ kg / m^3
- volume bol: $V = \frac{4}{3}\pi \cdot r^3 \rightarrow V_{zon} = \frac{4}{3}\pi \cdot \left(6{,}957 \cdot 10^8\right)^3 = 1{,}41044 \cdot 10^{27}$ m^3
- $\rho = \dfrac{m}{V} \rightarrow \rho = \dfrac{1{,}9884 \cdot 10^{30}}{1{,}41044 \cdot 10^{27}} = 1{,}409773 \cdot 10^3 = 1{,}410 \cdot 10^3$ kg / m^3

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

- $m_{\text{dwerg zon}} = \frac{1}{2} \cdot 1{,}9884 \cdot 10^{30} = 9{,}942 \cdot 10^{29}$ kg | $r_{\text{dwerg zon}} = \frac{1}{2} \cdot 14 \cdot 10^6 = 7{,}0 \cdot 10^6$ m
- $V_{\text{dwerg zon}} = \frac{4}{3}\pi \cdot \left(7{,}0 \cdot 10^6\right)^3 = 1{,}436755 \cdot 10^{21}$ m^3

- $\rho = \dfrac{m}{V} \quad \rightarrow \quad \rho = \dfrac{9{,}942 \cdot 10^{29}}{1{,}436755 \cdot 10^{21}} = 6{,}91976 \cdot 10^{8} = 6{,}9 \cdot 10^{8}\ \text{kg/m}^3$

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

- $1\,\text{cm}^3 = 10^{-6}\ \text{m}^3$
- $6{,}9 \cdot 10^{8}\ \text{kg/m}^3 = 6{,}9 \cdot 10^{2}\ \text{kg/cm}^3$

4*** **a** Bereken de dichtheid van deze neutronenster.

- opzoeken: $m_{zon} = 1{,}9884 \cdot 10^{30}\ \text{kg}$
- $m = 1{,}4 \cdot m_{zon} \quad \rightarrow \quad m = 1{,}4 \cdot 1{,}9884 \cdot 10^{30} = 2{,}78376 \cdot 10^{30}\ \text{kg}$
- volume bol: $V = \frac{4}{3}\pi \cdot r^3 \rightarrow \quad V = \frac{4}{3}\pi \cdot (1{,}0 \cdot 10^4)^3 = 4{,}18879 \cdot 10^{12}\ \text{m}^3$
- $\rho = \dfrac{m}{V} \quad \rightarrow \quad \rho = \dfrac{2{,}78376 \cdot 10^{30}}{4{,}18879 \cdot 10^{12}} = 6{,}645737 \cdot 10^{17} = 6{,}6 \cdot 10^{17}\ \text{kg/m}^3$

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

- opzoeken $[G] = \text{N m}^2\ \text{kg}^{-2}$
- opzoeken $\text{N} = \text{kg}\ \dfrac{\text{m}}{\text{s}^2}$
- eenheden invullen $\sqrt{\dfrac{\text{kg m s}^{-2}\ \text{m}^2\ \text{kg}^{-2}\ \text{kg}}{\text{m}}}$ kg wegstrepen
- $\sqrt{\dfrac{\text{m}^3\ \text{s}^{-2}}{\text{m}}} = \sqrt{\text{m}^2\ \text{s}^{-2}} = \text{m s}^{-1}$

c Bereken de ontsnappingssnelheid van deze neutronenster.

- $m = 2{,}78376 \cdot 10^{30}\ \text{kg} \quad | \quad r = 1{,}0 \cdot 10^4\ \text{m} \quad | \quad v_{ontsnap} = \ldots\ \text{m/s}$
- $v_{ontsnap} = \sqrt{\dfrac{2 \cdot G \cdot M}{r}}$
- $v_{ontsnap} = \sqrt{\dfrac{2 \cdot 6{,}6743 \cdot 10^{-11} \cdot 2{,}78376 \cdot 10^{30}}{1{,}0 \cdot 10^4}} = 1{,}92767 \cdot 10^{8} = 1{,}9 \cdot 10^{8}\ \text{m/s}$

5*** **a** Bereken de schwarzschildstraal van Sagittarius A.

- opzoeken: $m_{zon} = 1{,}9884 \cdot 10^{30}\ \text{kg}$
- $m = 3{,}7 \cdot 10^{6} \cdot m_{zon} \quad \rightarrow \quad m = 3{,}7 \cdot 10^{6} \cdot 1{,}9884 \cdot 10^{30} = 7{,}35708 \cdot 10^{36}\ \text{kg}$
- $r_S = \dfrac{2 \cdot G \cdot m}{c^2}$
- $r_S = \dfrac{2 \cdot 6{,}6743 \cdot 10^{-11} \cdot 7{,}35708 \cdot 10^{36}}{(2{,}99792458 \cdot 10^{8})^2} = 1{,}092697 \cdot 10^{10} = 1{,}1 \cdot 10^{10}\ \text{m}$

12.7 Het heelal

1* 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.

- $18.000\ \text{km/s} = 1{,}8\cdot10^7\ \text{m/s}$
- $\dfrac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \dfrac{v}{c}$
- $\dfrac{\Delta\lambda}{656{,}28\cdot10^{-9}} = \dfrac{1{,}8\cdot10^7}{2{,}99792458\cdot10^8} \quad\rightarrow\quad \Delta\lambda = 3{,}9404\cdot10^{-8}\ \text{m} = 39{,}4\ \text{nm}$
- beweging van je vandaan $\rightarrow$ de golflengte wordt groter
- $656{,}28 + 39{,}4 = 695{,}68\ \text{nm}$

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

- aflezen: 1,8 miljard lichtjaar: $v = 39.000\ \text{km/s} = 3{,}9\cdot10^7\ \text{m/s}$
- $\dfrac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \dfrac{v}{c}$
- $\dfrac{\Delta\lambda}{656{,}28\cdot10^{-9}} = \dfrac{3{,}9\cdot10^7}{2{,}99792458\cdot10^8} \quad\rightarrow\quad \Delta\lambda = 8{,}537546\cdot10^{-8}\ \text{m} = 85{,}37546\ \text{nm}$
- beweging van ons vandaan $\rightarrow$ de golflengte wordt groter
- $656{,}28 + 85{,}37546 = 741{,}655 = 742\ \text{nm}$

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 Hubble relatie is een recht evenredig verband tussen de afstand van een sterrenstelsel en zijn snelheid
- $\dfrac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \dfrac{v}{c} \quad\rightarrow\quad \Delta\lambda = \dfrac{v}{c}\cdot\lambda_0 \quad\rightarrow$ is een recht evenredig verband tussen $\Delta\lambda$ en v
- conclusie: er is een recht evenredig verband tussen $\Delta\lambda$ en de afstand

d Bepaal de Hubble-constante in meter per seconde per meter (m/s per meter).

- aflezen: $v = 39.000\ \text{km/s} = 3{,}9\cdot10^7\ \text{m/s}$ bij 1,8 miljard lichtjaar
- 1,8 miljard lichtjaar is $1{,}8\cdot10^9\cdot9{,}460886\cdot10^{15} = 1{,}702959\cdot10^{25}\ \text{m}$
- $\dfrac{3{,}9\cdot10^7}{1{,}702959\cdot10^{25}} = 2{,}29013\cdot10^{-18} = 2{,}3\cdot10^{-18}\ (\text{m/s})$ per meter

e Toon dit aan.

- $v = H_0\cdot r \quad$ met $\quad v = c = 3{,}00\cdot10^8\ \text{m/s}$
- $3{,}00\cdot10^8 = 2{,}3\cdot10^{-18}\cdot r \quad\rightarrow\quad r = 1{,}304348\cdot10^{26}\ \text{m}$
- $r = \dfrac{1{,}304348\cdot10^{26}}{9{,}460886\cdot10^{15}} = 13{,}78674\cdot10^9 = 13{,}8\cdot10^9$ lichtjaar

f Welke conclusie kun je hieraan verbinden?
- de maximaal meetbare afstand van een sterrenstelsel is 13,8 miljard lichtjaar
- het waarneembare heelal is 13,8 miljard lichtjaar groot

2*** **a** Beweegt dit stelsel naar ons toe of van ons vandaan?
- de golflengte neemt toe $\rightarrow$ roodverschuiving
- het stelsel beweegt van ons vandaan

b Bereken de snelheid van dit sterrenstelsel.
- $\Delta\lambda = 612{,}358 - 587{,}562 = 24{,}796 \text{ nm}$
- $\lambda_0 = 587{,}562 \text{ nm} \quad | \quad \Delta\lambda = 24{,}796 \text{ nm} \quad | \quad v = \ldots \text{m/s}$
- $\dfrac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \dfrac{v}{c}$
- $\dfrac{24{,}796}{587{,}562} = \dfrac{v}{2{,}99792458 \cdot 10^8} \quad \rightarrow \quad v = 1{,}265169 \cdot 10^7 = 1{,}2652 \cdot 10^7 \text{ m/s}$

  5 significante cijfers

c Hoeveel procent van de lichtsnelheid is deze snelheid?
- $\dfrac{v}{c} \cdot 100\% = \dfrac{1{,}265169 \cdot 10^7}{2{,}99792458 \cdot 10^8} = 4{,}22015 \cdot 10^{-2} \cdot 100\% = 4{,}22\,\%$

d Bereken met de Hubble-relatie de afstand van dit sterrenstelsel in lichtjaar.
- $v = 1{,}265169 \cdot 10^7 \text{ m/s}$
- $v = H_0 \cdot r \quad \text{met} \quad H_0 = 2{,}3 \cdot 10^{-18} \text{ m/s per meter}$
- $1{,}265169 \cdot 10^7 = 2{,}3 \cdot 10^{-18} \cdot r \quad \rightarrow \quad r = 5{,}5 \cdot 10^{24} \text{ m}$
- $r = \dfrac{5{,}5 \cdot 10^{24}}{9{,}460886 \cdot 10^{15}} = 5{,}81418 \cdot 10^8 = 5{,}8 \cdot 10^8 \text{ lichtjaar}$

3*** **a** Voldoet dit stelsel aan de Hubblerelatie?
- $v = H_0 \cdot r \quad \text{met} \quad H_0 = 2{,}3 \cdot 10^{-18} \text{ m/s per meter}$
- $r = 21 \cdot 10^6 \cdot 9{,}460886 \cdot 10^{15} = 1{,}986786 \cdot 10^{23} \text{ m}$
- $v = 2{,}3 \cdot 10^{-18} \cdot 1{,}986786 \cdot 10^{23} = 4{,}5696 \cdot 10^5 \text{ m/s} = 457 \text{ km/s}$
- dit is niet gelijk aan 241 km/s $\rightarrow$ het stelsel voldoet niet 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?
- $\lambda_0 = 486{,}1 \text{ nm} \quad | \quad v = 241 \cdot 10^3 \text{ m/s} \quad | \quad \Delta\lambda = \ldots \text{cm}$
- $\dfrac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \dfrac{v}{c} \quad \rightarrow \quad \dfrac{\Delta\lambda}{486{,}1} = \dfrac{241 \cdot 10^3}{2{,}99792458 \cdot 10^8} \quad \rightarrow \quad \Delta\lambda = 0{,}39077 \text{ nm}$
- het stelsel beweegt van ons vandaan $\rightarrow$ λ wordt groter
- $\lambda = 486{,}1 + 0{,}3907707 = 486{,}49077 = 486{,}5 \text{ nm}$ (4 significante cijfers)

Examenvragen havo

Nieuwe exoplaneet ontdekt

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

- opzoeken 1 parsec is $3{,}08568 \cdot 10^{16}$ m en 1 lichtjaar is $9{,}461 \cdot 10^{15}$ m 1
- de afstand tot Corot-exo-7 is $\dfrac{140 \cdot 3{,}08568 \cdot 10^{16}}{9{,}461 \cdot 10^{15}} = 456{,}6063 = 457$ lichtjaar 1

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

- gebruik $\rho = \dfrac{m}{V} \quad \rightarrow \quad m = \rho \cdot V$ 1
- inzicht $V_{exoplaneet} = 1{,}8^3 \cdot V_{aarde}$ (of berekenen van dat volume) 1
- $m_{exo} = 1{,}8^3 \cdot m_{aarde} \quad \rightarrow \quad m_{exo} = 5{,}8 \cdot m_{aarde}$ 1

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.

- inzicht dat een jaar gelijk is aan de tijd tussen twee transits 1
- 5 transits in $242 - 143 = 99$ h $\rightarrow$ 1 transit in $\dfrac{99}{5} = 19{,}8$ h (marge 0,2 h) 1
- dit is $\dfrac{19{,}8}{24} = 0{,}825$ dagen $\rightarrow$ klopt met de waarde in de tabel 1

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

- gebruik $v = \dfrac{2\pi \cdot r}{T}$ 1
- omrekenen $t = 0{,}83 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 7{,}1712 \cdot 10^4$ s 1
- completeren $v = \dfrac{2\pi \cdot 2{,}54 \cdot 10^9}{7{,}1712 \cdot 10^4} = 2{,}22547 \cdot 10^5 = 2{,}2 \cdot 10^2$ km/s $\rightarrow$ klopt 1

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.

- gebruik $s = v_{gem} \cdot t$ met $v_{gem} = 2{,}2 \cdot 10^5$ m/s 1
- aflezen de ster wordt gedurende 1,1 h verduisterd door de exoplaneet 1
- $s = 2{,}2 \cdot 10 \cdot 1{,}1 \cdot 60 \cdot 60 = 8{,}712 \cdot 10^8 = 8{,}7 \cdot 10^8$ m (marge $1 \cdot 10^8$ m) 1

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

- de effectieve temperatuur van Corot-exo-7 isa lager dan die van de zon 1
- toepassen wet van Wien $\lambda_{max} \cdot T = k_W$ 1
- bij een lagere temperatuur hoort een grotere golflengte $\rightarrow$ roder dan de zon 1

Blauw oog voor Jupiter (aangepast)

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

- opmeten diameter van Jupiter en diameter litteken 1
- opzoeken $r_{Jupiter} = 69{,}91 \cdot 10^6$ m en $r_{Aarde} = 6{,}371 \cdot 10^6$ m 1
- $\frac{d_{Jupiter}}{d_{litteken}} = 11{,}4 = \frac{1{,}3982 \cdot 10^8}{d_{litteken}} \rightarrow d_{litteken} = \frac{1{,}3982 \cdot 10^8}{11{,}4} = 1{,}2265 \cdot 10^7$ m 1
- $d_{Aarde} = 2 \cdot 6{,}371 \cdot 10^6 = 1{,}2742 \cdot 10^7$ m $\rightarrow$ $d_{litteken}$ is dus niet groter dan d_{Aarde} 1

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

- $E_K = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \rightarrow E_K = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 10^{12} \cdot (30 \cdot 10^3)^2 = 9{,}0 \cdot 10^{20}$ J 1
- omrekenen $1\,\text{kWh} = 3{,}6 \cdot 10^6$ J $\rightarrow$ $E(\text{kWh}) = \frac{9{,}0 \cdot 10^{20}}{3{,}6 \cdot 10^6} = 2{,}5 \cdot 10^{14}$ kWh 1
- totaal gebruik in Nederland $6 \cdot 10^6 \cdot 4500 = 2{,}7 \cdot 10^{10}$ kWh 1
- completeren $\frac{2{,}5 \cdot 10^{14}}{2{,}7 \cdot 10^{10}} = 9259 = 9 \cdot 10^3$ jaar 1

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

- gebruik $v = \frac{2\pi \cdot r}{T}$ 1
- opzoeken $r_{Jupiter} = 69{,}91 \cdot 10^6$ m en $T_{Jupiter} = 0{,}413$ d 1
- omrekenen $0{,}413\,\text{d} = 0{,}413 \cdot 24 = 9{,}912\,\text{h}$ 1
- $v = \frac{2\pi \cdot 69{,}91 \cdot 10^3}{9{,}912} = 4{,}43 \cdot 10^4$ km/h $\rightarrow$ groter dan $1{,}7 \cdot 10^3$ $\rightarrow$ Inge heeft gelijk 1

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

- gebruik $v = \frac{2\pi \cdot r}{T}$ 1
- opzoeken $r_{baanstraal-Jupiter} = 0{,}7883 \cdot 10^{12}$ m en $T_{omlooptijd-Jupiter} = 11{,}86$ y 1
- omrekenen $11{,}86\,\text{y} = 11{,}86 \cdot 365{,}25 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 3{,}74273 \cdot 10^8$ s 1
- $v = \frac{2\pi \cdot 0{,}7883 \cdot 10^9}{3{,}74273 \cdot 10^8} = 13{,}233$ km/s $\rightarrow$ kleiner dan 30 km/s $\rightarrow$ Alex geen gelijk 1

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.

- gebruik $F_G = G \cdot \frac{m \cdot M}{r^2}$ met $M = 1{,}9884 \cdot 10^{30}$ kg 1
- opzoeken $m_{Aarde} = 5{,}972 \cdot 10^{24}$ kg en $m_{Jupiter} = 1900 \cdot 10^{24}$ kg 1
- opzoeken baanstralen $r_{Aarde} = 0{,}1496 \cdot 10^{12}$ m en $r_{Jupiter} = 0{,}7883 \cdot 10^{12}$ m 1
- $F_{G-Aarde} = 6{,}6743 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{5{,}972 \cdot 10^{24} \cdot 1{,}9884 \cdot 10^{30}}{(0{,}1496 \cdot 10^{12})^2} = 3{,}54133 \cdot 10^{22}$ N

$$F_{G-Jupiter} = 6{,}6743 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{1900 \cdot 10^{24} \cdot 1{,}9884 \cdot 10^{30}}{(0{,}7883 \cdot 10^{12})^2} = 4{,}0577 \cdot 10^{23}\ \text{N}$$

de gravitatiekracht van de zon op Jupiter is (11,5 keer) groter dan die op Aarde 1

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.

- de massa van Inge op Jupiter is ook 62 kg (zelfde als op aarde) 1
- opzoeken valversnelling Jupiter 24,9 m/s^2 1
- de weegschaal geeft $\frac{24{,}9}{9{,}81} \cdot 62 = 157{,}37 = 157$ kg aan 1

Curiosity (aangepast)

3p **1** Bereken de gemiddelde snelheid tijdens deze ruimtereis in m s^{-1}.
- gebruik $s = v_{gem} \cdot t$ 1
- oprekenen $s = 567 \cdot 10^9$ m en $t = 255 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 2{,}2032 \cdot 10^7$ s 1
- $567 \cdot 10^9 = v_{gem} \cdot 2{,}2032 \cdot 10^7 \rightarrow v_{gem} = 2{,}57353 \cdot 10^4 = 2{,}57 \cdot 10^4$ m/s 1

2p **2** Bereken de zwaartekracht die tijdens de landing op het geheel werkt.
- gebruik $F_Z = m \cdot g$ met $g = 3{,}7$ m/s^2 1
- completeren $F_Z = 3{,}6 \cdot 10^3 \cdot 3{,}7 = 1{,}332 \cdot 10^4 = 1{,}3 \cdot 10^4$ N 1

1p **3** Welke bewering is juist?
- D $F_{stuw} > \frac{1}{4} F_Z$ 1

3p **4** Bereken hoe lang het signaal er minstens over zal doen om de aarde te bereiken.
- opzoeken baanstralen: $r_{baan-Aarde} = 0{,}1496 \cdot 10^{12}$ m en $r_{baan-Mars} = 0{,}228 \cdot 10^{12}$ m 1
- inzicht $s = v_{gem} \cdot t$ met $v_{gem} = c = 2{,}99792 \cdot 10^8$ m/s 1
- $0{,}228 \cdot 10^{12} - 0{,}1496 \cdot 10^{12} = 2{,}99792 \cdot 10^8 \cdot t \rightarrow t = 261{,}515 = 262$ s 1

2p **5** Bereken het vermogen van één laserpuls.
- gebruik $E = P \cdot t$ 1
- competeren $14 \cdot 10^{-3} = P \cdot 5{,}0 \cdot 10^{-9} \rightarrow P = 2{,}8 \cdot 10^6$ W 1

4p **6** Toon met een berekening aan dat het stukje graniet door één laserpuls kan smelten.
- opzoeken $\rho_{graniet} = 2{,}7 \cdot 10^3$ kg m^{-3} en $c_{graniet} = 0{,}82 \cdot 10^3$ J kg^{-1} K^{-1} 1
- gebruik $\rho = \frac{m}{V} \rightarrow 2{,}7 \cdot 10^3 = \frac{m}{0{,}0015 \cdot 10^{-9}} \rightarrow m = 4{,}05 \cdot 10^{-9}$ kg 1
- $Q = c \cdot m \cdot \Delta T \rightarrow 14 \cdot 10^{-3} = 0{,}82 \cdot 10^3 \cdot 4{,}05 \cdot 10^{-9} \cdot \Delta T$ 1
- $\Delta T = 4{,}2 \cdot 10^3$ K $\rightarrow$ dit is meer dan $1{,}5 \cdot 10^3$ K $\rightarrow$ dus één laserpuls is genoeg 1

Rosetta (aangepast)

1p **1** Welke waarden moeten zij dan in hun berekening gebruiken?

- B De grootste massa en de kleinste dichtheid. 1

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

- gebruik $s = v_{gem} \cdot t$ 1
- omrekenen $10\ y = 10 \cdot 365{,}25 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 3{,}15576 \cdot 10^8$ s 1
- $6{,}5 \cdot 10^{12} = v_{gem} \cdot 3{,}15576 \cdot 10^8 \quad \rightarrow \quad v_{gem} = 2{,}05973 \cdot 10^4 = 21$ (km s^{-1}) 1

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

- inzicht $F_{mpz} = F_G$ 1
- gebruik $F_{mpz} = \dfrac{m \cdot v^2}{r}$ 1
- gebruik $F_G = G \cdot \dfrac{m \cdot M}{r^2}$ met $G = 6{,}6743 \cdot 10^{-11}\ N\,m^2\,kg^{-2}$ 1
- $\dfrac{m \cdot v^2}{r} = G \cdot \dfrac{m \cdot M}{r^2} = \quad \rightarrow v = \sqrt{\dfrac{G \cdot M}{r}} \quad \rightarrow v = \sqrt{\dfrac{6{,}6743 \cdot 10^{-11} \cdot 1{,}0 \cdot 10^{13}}{20 \cdot 10^3}} = 0{,}18\ m\,s^{-1}$ 1

3p **4** Bereken de temperatuur van de komeet in °C.

- gebruik $\lambda_{max} \cdot T = k_W$ 1
- $1{,}6 \cdot 10^{-5} \cdot T = 2{,}897772 \cdot 10^{-3} \quad \rightarrow \quad T = 181{,}11K$ 1
- $T_{celsius} = T_{kelvin} - 273{,}15 \quad \rightarrow \quad T_{celsius} = 181{,}11 - 273{,}15 = -92{,}039 = -92\ (^oC)$ 1

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

- inzicht percentage: $\dfrac{E_{K\,na}}{E_{K\,voor}} \cdot 100\%$ 1
- gebruik $E_K = \frac{1}{2} m \cdot v^2$ 1
- $\dfrac{\frac{1}{2} m \cdot v_{na}^2}{\frac{1}{2} m \cdot v_{voor}^2} \cdot 100\% = \dfrac{v_{na}^2}{v_{voor}^2} \cdot 100\% \quad \rightarrow \quad \dfrac{0{,}38^2}{1{,}1^2} \cdot 100\% = 11{,}9339 = 12\%$ 1

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

- $v = \sqrt{\dfrac{2\,G\,M}{R}} \quad \rightarrow \quad v = \sqrt{\dfrac{2 \cdot 6{,}6743 \cdot 10^{-11} \cdot 1{,}0 \cdot 10^{13}}{2{,}9 \cdot 10^3}} = 0{,}67845\ m\,s^{-1}$ 1
- na de stuit $v_{na} = 0{,}38\ m\,s^{-1} \rightarrow$ dit is kleiner dan $v_{ontsnap} = 0{,}68\ m\,s^{-1}$ 1
- Philae kan niet ontsnappen en valt terug naar de komeet 1

De maan Europa (aangepast)

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

- opzoeken Europa: $r_{baan} = 670{,}9 \cdot 10^6$ m en $T_{omloop} = 3{,}551$ d — 1
- gebruik $v = \dfrac{2\pi \cdot r}{T}$ — 1
- $v = \dfrac{2\pi \cdot 670{,}9 \cdot 10^6}{3{,}551 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} = 1{,}37396 \cdot 10^4 = 1{,}374 \cdot 10^4$ m s^{-1} 4 sign. cijfers — 1

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

- gebruik $\lambda_{max} \cdot T = k_W$ met $k_W = 2{,}897772 \cdot 10^{-3}$ m K — 1
- gebruik $c = f \cdot \lambda$ met $c = 2{,}99792 \cdot 10^8$ m s^{-1} — 1
- $\lambda_{max} \cdot 173 = 2{,}897772 \cdot 10^{-3} \rightarrow \lambda_{max} = 1{,}67501 \cdot 10^{-5}$ m
  $2{,}99792 \cdot 10^8 = f \cdot 1{,}67501 \cdot 10^{-5} \rightarrow f = 1{,}78979 \cdot 10^{13} = 1{,}79 \cdot 10^{13}$ Hz — 1

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

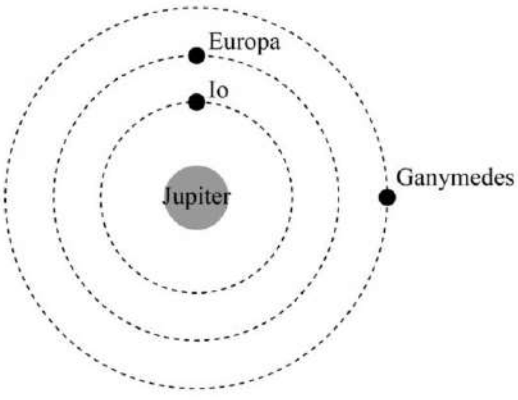
- inzicht $F_G = G \cdot \dfrac{m \cdot M}{r^2} \rightarrow F_G$ wordt kleiner als de afstand toeneem — 1
- in punt a is F_G groter dan in punt B $\rightarrow$ dit komt overeen met figuur II — 1

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

- A en B zijn beide goed — 1

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

- $T_{Io} = \dfrac{3{,}55}{2} = 1{,}775$ d | $T_{Europa} = 2 \cdot 1{,}775 = 3{,}55$ d | $T_{Ganymedes} = 4 \cdot 1{,}775 = 7{,}1$ d — 1
- inzicht aantal omwentelingen is $\dfrac{t}{T_{omloop}}$ — 1
- omwentelingen Io: $\dfrac{5{,}32}{1{,}775} = 3{,}0$ Europa: $\dfrac{5{,}32}{3{,}55} = 1{,}5$ Ganymedes: $\dfrac{5{,}32}{7{,}1} = 0{,}75$ — 1
- standen van de drie manen consequent tegen de klok in getekend — 1



$t = 5{,}32$ d

Ruimtepuin

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

- inzicht $F_{mpz} = F_G$ 1
- gebruik $F_{mpz} = \dfrac{m \cdot v^2}{r}$ 1
- gebruik $F_G = G \cdot \dfrac{m \cdot M}{r^2}$ met $G = 6{,}6743 \cdot 10^{-11}\ \text{N m}^2\ \text{kg}^{-2}$ en $M_{aarde} = 5{,}972 \cdot 10^{24}\ \text{kg}$ 1
- inzicht $h = r - r_{Aarde}$ met $r_{Aarde} = 6{,}371 \cdot 10^6\ \text{m}$ 1
- $F_{mpz} = F_G \rightarrow \dfrac{m \cdot v^2}{r} = G \cdot \dfrac{m \cdot M}{r^2} = \rightarrow v^2 = G \cdot \dfrac{M}{r} \rightarrow v = \sqrt{\dfrac{G \cdot M}{r}}$

  $7{,}75 \cdot 10^3 = \sqrt{\dfrac{6{,}6743 \cdot 10^{-11} \cdot 5{,}972 \cdot 10^{24}}{r}} \rightarrow r = 6{,}63624 \cdot 10^6\ \text{m}$

  $h = 6{,}63624 \cdot 10^6 - 6{,}371 \cdot 10^6 = 2{,}6524 \cdot 10^5\ \text{m}$ $\rightarrow$ dit ligt binnen de grenzen 1

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.

- gebruik $\eta = \dfrac{E_{nut}}{E_{in}} \rightarrow 0{,}64 = \dfrac{7{,}0 \cdot 10^6}{E_{in}} \rightarrow E_{in} = 1{,}09375 \cdot 10^7\ \text{J}$ 1
- gebruik $E_{ch} = r_m \cdot m$ 1
- $1{,}09375 \cdot 10^7 = 19{,}4 \cdot 10^6 \cdot m \rightarrow m = 0{,}56379 = 0{,}56\ \text{kg}$ 1
- vergelijk de massa van de brandstof met de massa van der satelliet 1
- consequente conclusie: 0,56 kg is veel kleiner dan 100 kg $\rightarrow$ dus haalbaar 1

1p **3** Welke kracht is de directe oorzaak voor deze snelle toename van temperatuur?
- B luchtweerstandskracht

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.

- gebruik $E_K = \frac{1}{2} m \cdot v^2$ 1
- gebruik $W_{tot} = \Delta E_K$ 1
- gebruik $W = P \cdot t$ 1
- $W_{tot} = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot (7{,}6 \cdot 10^3)^2 - \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot (7{,}5 \cdot 10^3)^2 = 1{,}51 \cdot 10^6\ \text{J}$

  $1{,}0 \cdot 10^2 \cdot t = 1{,}51 \cdot 10^6 \rightarrow t = 1{,}51 \cdot 10^4\ \text{s}$ $\rightarrow$ de lasers leveren in 1 minuut niet genoeg arbeid om de brokstukken voldoende af te remmen 1