

10 Sterrenkunde

3 vwo

10.1 Het zonnestelsel

De aarde

- 1***
- a** Welk jaargetijde begint op het noordelijk halfrond als de zon boven de evenaar staat komend vanaf het zuidelijk halfrond.
- dan begint op het noordelijk halfrond de lente
- b** Welk jaargetijde begint 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 altijd precies 24 uur (86400 seconden)
 - ze bedoelen dat het aantal uur daglicht in december korter is dan in de zomer
- 3****
- a** Leg uit waarom het in de zomer warmer is dan in de winter.
- het gaat om de hoek die de zon maakt met het oppervlak van de aarde
 - in de zomer valt het zonlicht met een grotere hoek op het aardoppervlak dan in de winter
 - vanwege de grotere invalshoek is de hoeveelheid licht per vierkante meter in de zomer groter
- b** Leg uit of dit temperatuurverschil te maken heeft met de afstand van de aarde tot de zon.
- op ongeveer 4 januari staat de zon het dichtst bij de aarde maar is het op het noordelijk halfrond winter
 - de afstand van de aarde tot de zon heeft geen grote invloed op de temperatuur
- c** Leg uit waarom dit het geval is.
- voor het zuidelijk halfrond is de afstand tussen de aarde en de zon in de zomer kleiner en in de winter groter dan gemiddeld
 - hierdoor is er op het zuidelijk halfrond een groter temperatuurverschil tussen zomer en winter

De maan

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, je ziet de maan volledig

b Hoe ziet de maan eruit bij eerste kwartier en hoe bij laatste kwartier?

- eerste kwartier → alleen de rechterhelft van de maan wordt beschenen
- laatste kwartier → alleen de linkerhelft van de maan wordt beschenen

5*

a Zoek op internet de datum op van de eerste volle maan in de lente en controleer dat het de zondag erop inderdaad Pasen is.

- | | | | | |
|--------|--------------------------------|----------|---|-----------------|
| • 2022 | eerste volle maan in de lente: | 16 april | → | Pasen: 17 april |
| • 2023 | eerste volle maan in de lente: | 6 april | → | Pasen: 9 april |
| • 2024 | eerste volle maan in de lente: | 25 maart | → | Pasen: 31 maart |
| • 2025 | eerste volle maan in de lente: | 13 april | → | Pasen: 20 april |
| • 2026 | eerste volle maan in de lente: | 2 april | → | Pasen: 5 april |
| • 2027 | eerste volle maan in de lente: | 22 maart | → | Pasen: 28 maart |
| • 2028 | eerste volle maan in de lente: | 9 april | → | Pasen: 16 april |
| • 2029 | eerste volle maan in de lente: | 30 maart | → | Pasen: 1 april |
| • 2030 | eerste volle maan in de lente: | 18 april | → | Pasen: 21 april |

6**

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 → de vlakken maken een hoek van 5,2 graden
- hierdoor valt de schaduw van de aarde niet altijd op de maan (maansverduistering) en de schaduw van de maan niet altijd op aarde (zonsverduistering)

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

- 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

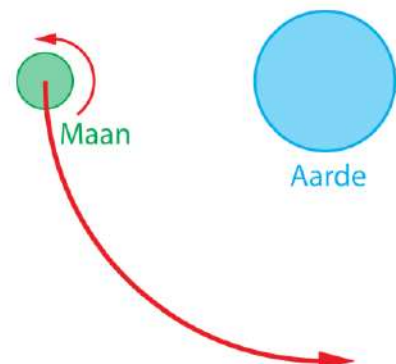
7**

a Leg dit uit met behulp van een tekening.

- zie hiernaast

b Wat betekent het Nederlandse woord synchroon?

- tegelijkertijd



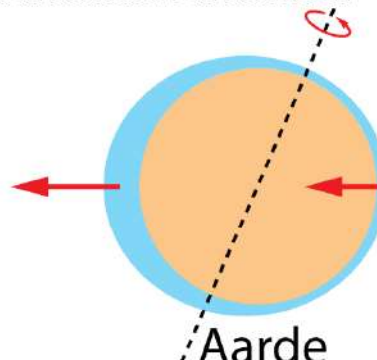
8**

a Leg deze redenatie uit met behulp van een tekening.

- aan de kant van de maan is de waterstand hoger
- een plaats op de aarde is één keer per dag aan de kant van de maan



Maan



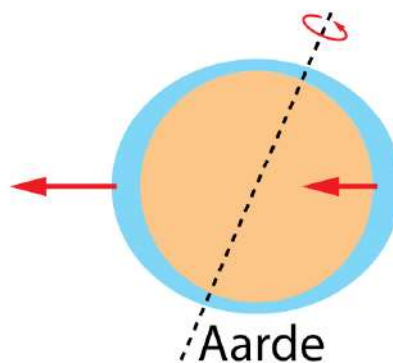
Aarde

b Leg met behulp van een tekening uit waarom het twee keer per dag laagwater en twee keer per dag hoogwater is.

- aan zowel de kant van de maan als aan de andere kant van de aarde is de waterstand hoger
- een plaats op de aarde is één keer per dag aan de kant van de maan en één keer per dag aan de andere kant van de aarde



Maan



Aarde

9**

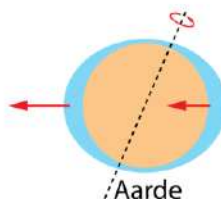
a Maak twee tekeningen met de stand van de zon, de aarde en de maan bij springtij.



Zon



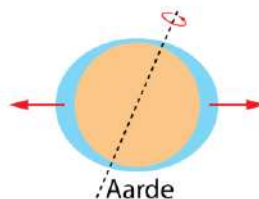
Maan



Aarde



Zon



Aarde



Maan

- b** Wanneer is het springtij, bij nieuwe maan, bij volle maan of bij zowel nieuwe- als volle maan? Verklaar je antwoord.
- het is springtij bij zowel nieuwe maan als bij volle maan

De planeten

- 10***
- a** Hoeveel planeten heeft ons zonnestelsel?
- 8 planeten (Pluto telt niet als planeet)
- b** Noem de planeten, gerekend vanaf de zon.
- Mercurius – Venus – Aarde – Mars – Jupiter – Saturnus – Uranus – Neptunus
- c** Welke planeten zijn gemaakt van steen en welke van gas?
- steen → Mercurius – Venus – Aarde – Mars
 - gas → Jupiter – Saturnus – Uranus – Neptunus

- 11****
- 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)

- 12****
- a** Zoek op welke planeet dit is.
- Venus: jaar duurt 224,7 dagen en dag duurt 243 dagen (met tegengestelde draairichting)
- b** Zoek op welke planeten dit zijn.
- Venus en Uranus
- c** Controleer of oom Henk gelijk heeft.
- oom Henk heeft gelijk
- d** Controleer of tante Truus gelijk heeft.
- tante Truus heeft geen gelijk

Kometen en meteoroiden

- 13***
- a** Naar wie is de komeet genoemd die iedere 76 jaar voorbijkomt?
- Edmond Halley

- b** Waar bevinden zich de planetoïdegordel, de Kuipergordel en de Oortwolk?
- planetoïdegordel → tussen Mars en Jupiter
 - Kuipergordel → vlak voorbij Neptunus
 - Oortwolk → ver voorbij Pluto (10.000 keer de afstand tussen de Zon en de Aarde)

14*

- a** Wat is het verschil tussen een komeet en een meteoroïde?
- een komeet heeft een baan om de zon en komt regelmatig terug
 - een meteoroïde heeft geen baan om de zon maar beweegt door de atmosfeer van de Aarde
- b** Wat is het verschil tussen een meteor en een meteoriet?
- een meteor is het licht dat ontstaat bij het verbranden van een meteoroïde
 - een meteoriet is een meteoroïde die inslaat op de aarde

De zon

15**

- a** Wat zendt de zon behalve zichtbare licht nog meer uit?
- infraroodstraling, ultravioletstraling, röntgenstraling, gammastraling
 - geladen deeltjes zoals alfadeeltjes, protonen en elektronen
 - neutrino's
- b** Hoe ontstaat het poollicht?
- door de zon uitgestraalde geladen deeltjes komen in de atmosfeer
 - gassen in de atmosfeer worden geïoniseerd en gaan licht geven
- c** Waarom is poollicht in Nederland vrijwel nooit te zien?
- door de zon uitgestraalde geladen deeltjes worden door het magnetisch veld van de aarde afgebogen naar de Noordpool en de Zuidpool
 - Nederland ligt te ver van de Noordpool

10.2 Sterren en sterrenstelsels

- 1***
- a** Is lichtjaar een hoeveelheid tijd of een hoeveelheid afstand?
- lichtjaar is een afstand
- b** Leg uit wat met een lichtjaar wordt bedoeld.
- een lichtjaar is de afstand die licht in één jaar aflegt in vacuüm
- c** Waarom is het handiger om de afstand tussen de sterren in lichtjaren uit te drukken in plaats van in meters of kilometers?
- omdat je anders met heel grote getallen moet rekenen
- 2*****
- a** Hoeveel meter legt het licht af in één seconde?
- $3,0 \cdot 10^8 \text{ m} = 300.000.000 \text{ m}$
- b** Hoe vaak kan het licht in 1 seconde een rondje om de aarde maken?
- $\frac{300.000.000}{40.000} = 7,5 \text{ rondjes}$
- c** Hoeveel minuten doet zonlicht erover om de aarde te bereiken?
- 150 miljoen kilometer is $150 \cdot 10^9 \text{ m}$
 - $\frac{150 \cdot 10^9}{3,0 \cdot 10^8} = 500 \text{ s}$
 - $\frac{500}{60} = 8,3 \text{ minuten}$
- d** Hoeveel meter legt het licht af in één jaar?
- $s = v_{\text{gem}} \cdot t$ met $v_{\text{gem}} = c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
 - $s = 3,0 \cdot 10^8 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 9,46 \cdot 10^{15} \text{ m}$
- e** Hoeveel uur heeft licht nodig om van de zon naar dwergplaneet Pluto te reizen?
- $s = 5,91 \cdot 10^{12} \text{ m}$ | $v_{\text{licht}} = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ | $t = \dots \text{ s}$
 - $s = v_{\text{gem}} \cdot t \rightarrow 5,91 \cdot 10^{12} = 3,0 \cdot 10^8 t \rightarrow t = 1,97 \cdot 10^4 \text{ s}$
 - $t = \frac{1,97 \cdot 10^4}{60 \cdot 60} = 5,47 \text{ uur}$
- 3****
- a** Welke ster staat het dichtst bij de aarde?
- de zon

- b** Welke ster staat het op één na dichtst bij de aarde?
- Proxima Centauri
- c** Hoe groot is het afstand tussen de aarde en de ster die op één na het dichtst bij de aarde staat? Geef je antwoord in lichtjaren en in kilometers.
- $4,0 \cdot 10^{16} \text{ m} = 4,0 \cdot 10^{13} \text{ km}$
 - dit is $\frac{4,0 \cdot 10^{16}}{9,46 \cdot 10^{15}} = 4,23 \text{ lichtjaar}$

4*

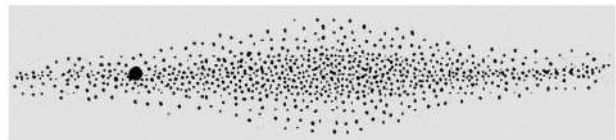
- a** Wat is het verschil tussen een planeet en een ster?
- een planeet geeft geen licht van zichzelf
 - in een ster vindt kernfusie plaats, waardoor hij licht uitstraalt
- b** Wat is het verschil tussen een planeet en een exoplaneet?
- een planeet bevindt zich in ons zonnestelsel en draait om de zon
 - een exoplaneet draait om een andere ster dan de zon

5**

- a** Wat verstaan we onder de Melkweg?
- de Melkweg is een groep van 200 miljard sterren waarvan de zon er één is
- b** Hoe ziet de Melkweg eruit als je vanaf de aarde naar de sterren kijkt?
- als een witte band aan de hemel en vandaar de naam Melkweg

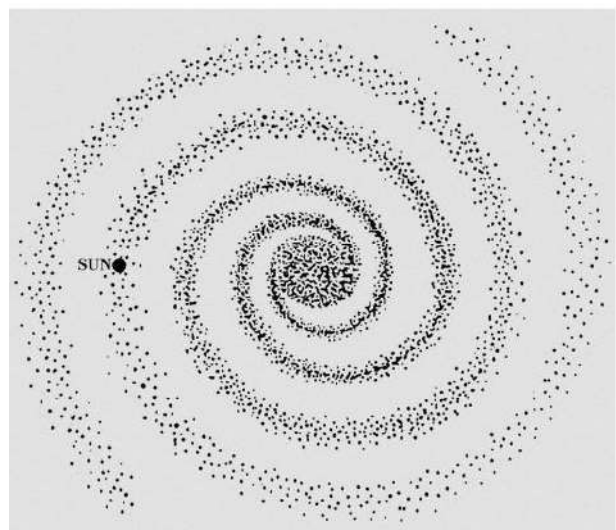
- c** Teken de zijkant van de Melkweg.

•



- d** Teken de bovenkant van de Melkweg.

•



- e** Wat bevindt zich in het midden van de Melkweg?

- een zwart gat (Sagittarius A)

- f** Noem zes dingen die we in de Melkweg aantreffen.

- sterren – planeten – manen – kometen – meteoroiden – zwarte gaten – stofnevels – geladen deeltjes – neutrino's

6**

- a** Wat verstaan we onder de Lokale Groep?
- een groep van ongeveer 40 sterren waarvan de zon er één is
- b** Hoe heten de drie grootste sterrenstelsels van de Lokale Groep?
- Melkweg – Andromeda stelsel – Driehoeksnevel

7**

- a** Zet in de juiste volgorde, van klein naar groot:
- Maan → Saturnus → Zon → Zonnestelsel → Melkweg → Lokale Groep → Canes Venaticiwolk → Virgo-supercluster → Heelal

8**

- a** Hoeveel sterren zijn er ongeveer in het zichtbare Heelal?
- $200 \cdot 10^9 \cdot 100 \cdot 10^9 = 2 \cdot 10^{22}$ sterren

9**

- a** Hoe oud is het Heelal?
- 13,8 miljard jaar
- b** Hoe lang heeft het licht van een object (bijvoorbeeld een sterrenstelsel) aan de rand van het heelal nodig om de aarde te bereiken?
- 13,8 miljard lichtjaar

10.3 Gravitatie

1** a Bereken de kracht waarmee deze stenen elkaar aantrekken.

- $F_G = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$ met $G = 6,674 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$
- $F_G = 6,674 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{20 \cdot 20}{5^2} = 1,06784 \cdot 10^{-9} = 1,1 \cdot 10^{-9} \text{ N}$

b Leg je keuze uit: hierdoor wordt de gravitatiekracht

- 4 keer zo groot
- want $40 \cdot 40 = (2 \cdot 20) \cdot (2 \cdot 20) = 4 \cdot 20 \cdot 20$

c Leg je keuze uit: hierdoor wordt de gravitatiekracht

- 4 keer zo klein
- want $10^2 = 4 \cdot 5^2$ en je deelt dus door een 4x zo groot getal

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

- $g = G \cdot \frac{M_{\text{aarde}}}{r_{\text{aarde}}^2} \rightarrow 9,817 = 6,674 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{M_{\text{aarde}}}{(6,371 \cdot 10^6)^2}$
- $M_{\text{aarde}} = 5,970 \cdot 10^{24} \text{ kg}$

b Bereken het volume van de aarde.

- $V = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \rightarrow V = \frac{4}{3} \pi \cdot (6,371 \cdot 10^6)^3 \rightarrow V = 1,0832 \cdot 10^{21} \text{ m}^3$

c Bereken de gemiddelde dichtheid van de aarde.

- $\rho = \frac{m}{V} \rightarrow \rho = \frac{5,970 \cdot 10^{24}}{1,0832 \cdot 10^{21}} \rightarrow \rho = 5,511 \cdot 10^3 \text{ kg / m}^3$

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

- de dichtheid van steen is een stuk kleiner dan de gemiddelde dichtheid van de aarde
- de dichtheid van metalen is groter dan de gemiddelde dichtheid van de aarde
- de aarde kan niet voornamelijk uit steen bestaan maar moet ook veel metaal bevatten

3*** a Bereken de valversnelling g op de maan.

- $g = G \cdot \frac{M_{\text{maan}}}{r_{\text{maan}}^2} \rightarrow g = 6,674 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{7,35 \cdot 10^{22}}{(1738 \cdot 10^3)^2} \rightarrow g = 1,62 \text{ m / s}^2$

b Hoe hoog kan hij op de maan springen?

- op de maan is de valversnelling $\frac{9,81}{1,62} = 6,06$ keer zo klein
- op de maan kan hij dus 6,06 keer zo hoog springen
- $0,5 \cdot 6,06 = 3,03$ meter hoog

4***

a Hoeveel kracht oefent de aarde op de kogel uit?

- $F_z = m \cdot g \rightarrow F_z = 25 \cdot 9,81 = 245,25 \text{ N}$

b Bereken deze snelheid.

- $v = \sqrt{g \cdot r_{\text{aarde}}} \rightarrow v = \sqrt{9,81 \cdot 6371 \cdot 10^3} \rightarrow v = 7,906 \cdot 10^3 \text{ m/s}$

c Bereken de omlooptijd van de kogel in uur.

- omtrek aarde $s = 2\pi \cdot r \rightarrow s = 2\pi \cdot 6371 \cdot 10^3 = 4,003 \cdot 10^7 \text{ m}$
- $s = v_{\text{gem}} \cdot t \rightarrow 4,003 \cdot 10^7 = 7,906 \cdot 10^3 \cdot t \rightarrow t = 5,063 \cdot 10^3 \text{ s}$
- $t = \frac{5,063 \cdot 10^3}{60 \cdot 60} = 1,406 \text{ uur}$ (1 uur en 24 minuten)

5**

a Hoe zit het bij een ellips?

- een ellips heeft twee brandpunten
- de afstand van een punt op de ellips tot brandpunt 1 plus de afstand van dit punt tot brandpunt 2 is voor ieder punt op de ellips hetzelfde

b Verandert hierbij de snelheid van de planeet? Zo ja, hoe?

- ja, dichtbij de zon is de snelheid groter dan verder weg van de zon

c Kun je hiermee begrijpen waarom de komeet van Halley iedere 76 jaar maar een paar weken is te zien?

- bij de komeet van Halley is de zon een brandpunt en ligt het tweede brandpunt heel ver weg, ongeveer bij de planeet Neptunus
- hierdoor krijgt de komeet van Halley een langgerekte baan
- alleen als de komeet in de buurt van de aarde is kun je hem zien

6**

a Leg met eigen woorden het begrip "ontsnappingsnelheid" uit.

- de ontsnappingsnelheid is de minimale snelheid waarmee een voorwerp moet worden afgeschoten vanaf een hemellichaam om niet meer terug te vallen

b Bereken de ontsnappingsnelheid van Phobos.

- $v_{\text{ontsnap}} = \sqrt{\frac{2G \cdot M}{r}} \rightarrow v_{\text{ontsnap}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 6,674 \cdot 10^{-11} \cdot 1,07 \cdot 10^{16}}{11 \cdot 10^3}} = 11,3947 = 11,4 \text{ m/s}$

c Hoe groot is de maximale snelheid waarmee de Kleine Prins mag springen zonder zijn planeet voor altijd te verlaten?

- $V = \frac{4}{3}\pi \cdot r^3 \rightarrow V = \frac{4}{3}\pi \cdot 50^3 = 5,236 \cdot 10^5 \text{ m}^3$
- $\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = 3,5 \cdot 10^3 \cdot 5,236 \cdot 10^5 = 1,8326 \cdot 10^9 \text{ kg}$
- $v_{\text{ontsnap}} = \sqrt{\frac{2GM}{r}} \rightarrow v_{\text{ontsnap}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 6,674 \cdot 10^{-11} \cdot 1,8326 \cdot 10^9}{50}} = 0,070 \text{ m/s}$

7***

a Bereken hiermee de afstand van de aarde tot de zon.

- $T = 365,256 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 3,15581 \cdot 10^7 \text{ s}$
- $\frac{r^3}{T^2} = \frac{G \cdot M_{\text{zon}}}{4\pi^2} \rightarrow r^3 = \frac{G \cdot M_{\text{zon}}}{4\pi^2} \cdot T^2$
- $r^3 = \frac{6,674 \cdot 10^{-11} \cdot 1,9884 \cdot 10^{30}}{4\pi^2} \cdot (3,15581 \cdot 10^7)^2 = 3,34775 \cdot 10^{33}$
- $r = (3,34775 \cdot 10^{33})^{1/3} = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ m}$

8***

a Bereken de tijd waarin de Commander één rondje rond de maan aflegt.

HINT gebruik de wet van Kepler

- $\frac{r^3}{T^2} = \frac{G \cdot M_{\text{maan}}}{4\pi^2} \rightarrow \frac{r^3}{T^2} = \frac{6,674 \cdot 10^{-11} \cdot 7,35 \cdot 10^{22}}{4\pi^2} = 1,24255 \cdot 10^{11}$
- $r = 1738 + 110 = 1848 \text{ km} = 1848 \cdot 10^3 \text{ m}$
- $\frac{(1848 \cdot 10^3)^3}{T^2} = 1,24255 \cdot 10^{11} \rightarrow \frac{6,31111 \cdot 10^{18}}{T^2} = 1,24255 \cdot 10^{11}$
- $T = 7126,8 \text{ s} \quad (1,98 \text{ uur})$

b Bereken de lengte van één cirkelbaan om de maan.

- omtrek cirkel $2\pi \cdot r$
- $s = 2\pi \cdot r \rightarrow s = 2\pi \cdot 1848 \cdot 10^3 = 1,161 \cdot 10^7 \text{ m}$

c Bereken de snelheid van de Commander bij een rondje om de maan.

- $s = v_{\text{gem}} \cdot t \rightarrow 1,161 \cdot 10^7 = v_{\text{gem}} \cdot 7126,8 \rightarrow v_{\text{gem}} = 1629 \text{ m/s}$

9****

a Bereken de omlooptijd van een GPS-satelliet.

- $\frac{r^3}{T^2} = \frac{G \cdot M}{4\pi^2}$ met $r = 2,66 \cdot 10^7 \text{ m}$
- $\frac{(2,66 \cdot 10^7)^3}{T^2} = \frac{6,674 \cdot 10^{-11} \cdot 5,972 \cdot 10^{24}}{4\pi^2}$

- $T^2 = \frac{4\pi^2 \cdot (2,66 \cdot 10^7)^3}{6,674 \cdot 10^{-11} \cdot 5,972 \cdot 10^{24}} \rightarrow T = 4,31767 \cdot 10^4 = 4,32 \cdot 10^4 \text{ s}$
- b** Bereken hoeveel graden de aarde om haar as draait in de omwentelingstijd van een GPS satelliet.
 - $24 \text{ h} = 8,64 \cdot 10^4 \text{ s}$
 - de aarde draait 360 graden in $8,64 \cdot 10^4 \text{ s}$
 - in $4,31812 \cdot 10^4 \text{ s}$ draait de aarde $\frac{4,31767 \cdot 10^4}{8,64 \cdot 10^4} \cdot 360 = 179,9 = 180 \text{ graden}$
- c** Bereken hoeveel omwentelingen een GPS satelliet per dag om de aarde maakt.
 - in 1 omwenteling draait de aarde 180 graden
 - in 2 omwenteling draait de aarde 360 graden
 - een GPS satelliet heeft precies 2 omwentelingen per dag

10**

- a** Leg uit wat met een geostationaire baan wordt bedoeld.
 - een satelliet met een geostationaire baan staat stil ten opzichte van ieder punt van het aardoppervlak
 - een geostationaire baan heeft een omwentelingstijd van exact 24 uur
 - een satelliet met een geostationaire baan bevindt zich boven de evenaar van de aarde
- 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 ieder punt van het aardoppervlak

10.4 Elektromagnetische straling

1*

- a Hoe heten deze deeltjes?
- fotonen
- b Wat zijn de drie belangrijkste eigenschappen van elektromagnetische golven?
- ze hebben een frequente, een golflengte en een golfsnelheid
- c Welke eigenschap bepaalt de kleur van licht?
- de frequente
 - OOK GOED de golflengte
- d Hoe groot is de snelheid waarmee een elektromagnetische golf zich door lege ruimte verplaatst?
- $3,0 \cdot 10^8$ m/s
- e Met welke letter wordt de lichtsnelheid aangegeven?
- c (kleine letter)

2*

- a Hoe ontstaan gamma-stralen?
- door radioactief verval
- b Wat zijn X-stralen en wanneer kom je er mee in aanraking?
- röntgenstraling
 - bij het maken van een röntgenfoto en bij bagagecontrole op een vliegveld
- c Waarom is ultraviolet licht gevaarlijk?
- omdat je er huidkanker van kunt krijgen
- d Wat betekent nm en hoeveel meter is 1 nm?
- nm is nanometer
 - 1 nm is 10^{-9} meter (een miljardste meter)
- e Wat wordt bedoeld met IR? Is IR straling gevaarlijk?
- infrarood
 - infrarood is warmtestraling en dat is niet gevaarlijk zolang iets niet te warm wordt
- f Noem een toepassing van microgolven.
- magnetronoven, wifi en mobiel netwerk (GSM, 3G, 4G en 5G)
 - radar bij snelheidscontrole en bij waarneming van regenwolken (buienradar)
- g Kun je radiogolven horen? NEE
Kun je radiogolven zien? NEE

3*

Om welke soort straling gaat het als:

- de golflengte net zo groot is als een mens (1,5 m) radiogolven
- de golflengte net zo klein is als de diameter van een haar (0,1 mm) microgolven
- de golflengte net zo klein is als een bacterie (0,5 μm) zichtbaar licht
- de golflengte net zo groot is als de straal van de aarde (6371 km) radiogolven
- de golflengte net zo klein is als een atoom (0,1 nm) X-stralen (röntgenstralen)
- de golflengte net zo klein is als een proton (een miljoenste nm) gamma-stralen

4**

a Wat gebeurt er in een atoom als het licht opneemt? Hoe heet dit verschijnsel?

- een elektron springt naar een schil op grotere afstand van de atoomkern
- excitatie

b Wat gebeurt er in een atoom als het licht uitstraalt? Hoe heet dit verschijnsel?

- een elektron springt naar een schil op kleinere afstand van de atoomkern
- emissie

c Hoe kun je aan een spectrum van een atoom zien of het een absorptiespectrum of een emissiespectrum is?

- een absorptiespectrum bestaat uit ontbrekende kleuren (donkere lijnen) in het spectrum
- een emissiespectrum bestaat uit lijnen van verschillende kleuren (gekleurde lijnen) terwijl alle andere kleuren ontbreken

d Waarom kun je atomen herkennen aan hun absorptie- of emissiespectrum?

- iedere atoomsoort (element) heeft een unieke set met spectrale lijnen

5***

a Welke golflengte heeft de grootste frequentie en welke de kleinste?

- de kleinste golflengte heeft de grootste frequentie $\rightarrow 410 \text{ nm}$ grootste frequentie
- de grootste golflengte heeft de kleinste frequentie $\rightarrow 656 \text{ nm}$ kleinste frequentie

b Bereken deze grootste en kleinste frequentie van het uitgestraalde licht.

- $c = f \cdot \lambda \rightarrow 3,0 \cdot 10^8 = f \cdot 410 \cdot 10^{-9} \rightarrow f = 7,317 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ grootste f
- $c = f \cdot \lambda \rightarrow 3,0 \cdot 10^8 = f \cdot 656 \cdot 10^{-9} \rightarrow f = 4,573 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ kleinste f

10.5 Informatie uit de ruimte

- 1***
- a** Welke straling wordt met optische telescopen waargenomen?
- zichtbaar licht
- b** Welke straling wordt met radiotelescopen waargenomen?
- radiogolven
- c** Welke golflengtes worden door radiotelescopen waargenomen?
- tussen 10 m en 0,4 mm
- 2***
- a** Welke van deze is een optische telescoop en welke een radiotelescoop?
- links optische telescoop | rechts radiotelescoop
- b** Welke van deze is ouder?
- de optische telescoop (links) is in 1672 door Newton gemaakt
 - de radio telescoop (rechts) komt uit 1959, de eerste radio telescoop komt uit 1932
- 3*****
- a** Waarom worden er steeds grotere optische telescopen gebouwd?
- om zwakke lichtbronnen te kunnen waarnemen
- b** Kun je met een grotere spiegel elektromagnetische straling met een grotere golflengte waarnemen?
- nee, de grootte van de spiegel heeft niet te maken met de golflengte
- c** Hoeveel meer licht kan de spiegel van de VLT telescoop opvangen vergeleken met het oog van een mens?
- VLT telescoop $\rightarrow opp = \pi \cdot r^2 \rightarrow opp = \pi \cdot 4,1^2 = 52,81 \text{ m}^2$
 - oog $\rightarrow opp = \pi \cdot r^2 \rightarrow opp = \pi \cdot 0,0045^2 = 6,3617 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$
 - verhouding $\frac{52,81}{6,3617 \cdot 10^{-5}} = 8,3 \cdot 10^5$ keer meer licht
- d** Hoeveel meer licht kan de spiegel van de ELT telescoop opvangen vergeleken met de spiegel van de VLT telescoop?
- de diameter van de ELT is $\frac{39,3}{8,3} = 4,735$ keer groter
 - de ELT heeft $4,735^2 = 22,42$ keer meer oppervlak en kan daardoor 22,42 keer meer licht opvangen

4***

- a** Bereken de maximale en minimale golflengte in centimeter die de WSRT telescoop kan waarnemen.
- $f_{\text{kleinste}} = 350 \cdot 10^6$ | $f_{\text{grootste}} = 8,30 \cdot 10^9 \text{ Hz}$ | $\lambda = \dots \text{ m}$
 - $c = f \cdot \lambda$ met $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
 - kleinste frequentie $\rightarrow 3,0 \cdot 10^8 = 350 \cdot 10^6 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 0,857 \text{ m} = 85,7 \text{ cm}$
 - grootste frequentie $\rightarrow 3,0 \cdot 10^8 = 8,30 \cdot 10^9 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 3,61 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 3,61 \text{ cm}$
- 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. Let op het aantal significante cijfers!
- $c = f \cdot \lambda$ met $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
 - $3,0 \cdot 10^8 = f \cdot 0,2106 \rightarrow f = 1,425 \cdot 10^9 \text{ Hz}$

5*

- a** Waarom is het nodig om telescopen in de ruimte te plaatsen om het heelal te bestuderen?
- omdat de atmosfeer van de aarde de meeste straling absorbeert
 - omdat de atmosfeer van de aarde het licht verstoort
- b** Wat voor soort elektromagnetische straling wordt er met de Hubble Space Telescope waargenomen?
- zichtbaar licht en nabije infrarood

6**

- a** Noem twee veel gebruikte methodes om afstanden in het heelal te bepalen. Geef in eigen woorden een korte beschrijving van deze methodes.
- **parallaxmethode**
De positie van een ster wordt twee keer gemeten, de tweede keer 6 maanden na de eerste keer. Door de beweging van de aarde zie je de ster onder een andere hoek. Uit de verschuivingshoek en de bekende afstand tussen de aarde en de zon kun je de afstand van de ster berekenen.
 - **Cepheïden-methode**
Cepheïden zijn heldere sterren waarvan de helderheid en de kleur periodiek veranderen. Sterren met een grote lichtsterkte knipperen langzamer. Uit de knipperfrequentie kun je de lichtsterkte berekenen. Door dit te vergelijken met de waargenomen helderheid kun je de afstand berekenen.
- b** Wat wordt bedoeld met de astronomische eenheid (leg in woorden uit en niet met een getal)? Wat is het symbool voor de astronomische eenheid?
- de astronomische eenheid is de gemiddelde afstand tussen de aarde en de zon
 - het symbool is AE

7*

- a** Naar wie is de wet genoemd waarmee je dit kunt berekenen?
- de wet van Wien
- b** Hoe verandert de golflengte die het meest wordt uitgestraald als de temperatuur van het oppervlak van een ster afneemt?
- als de temperatuur afneemt neemt de meest uitgestraalde golflengte toe
- c** Zet onderstaande sterren in volgorde van koud naar warm. Licht je antwoord toe.
- een gele ster | – een blauwe ster | – een rode ster
- rode ster (koudst) → gele ster (gemiddeld) → blauwe ster (heetst)

8**

- a** Bereken de golflengte waarbij de zon de meeste straling uitzendt.
- $T = 5780 \text{ K}$ | $\lambda_{\text{max}} = \dots \text{ m}$
 - $\lambda_{\text{max}} = \frac{k_W}{T}$ met $k_W = 2,897756 \cdot 10^{-3} \text{ K} \cdot \text{m}$
 - $\lambda_{\text{max}} = \frac{2,897756 \cdot 10^{-3}}{5780} = 5,013 \cdot 10^{-7} = 501,3 \text{ nm}$
- b** Welke kleur heeft dit licht?
- dit zien we als wit licht omdat rood, groen en blauw ongeveer evenveel aanwezig zijn
- c** Bereken de golflengte waarbij de aarde de meeste straling uitzendt.
- $T = 17 + 273 = 290 \text{ K}$ | $\lambda_{\text{max}} = \dots \text{ m}$
 - $\lambda_{\text{max}} = \frac{k_W}{T}$ met $k_W = 2,897756 \cdot 10^{-3} \text{ K} \cdot \text{m}$
 - $\lambda_{\text{max}} = \frac{2,897756 \cdot 10^{-3}}{290} = 9,99226 \cdot 10^{-6} = 10 \text{ } \mu\text{m}$
- d** Is straling met deze golflengte zichtbaar licht?
- nee, het is infrarood

9*

- a** Leg uit hoe de chemische samenstelling van sterren en nevels kan worden bepaald?
- meet het spectrum en vergelijk de waargenomen absorptie- en emissielijnen met de bekende lijnen van de verschillende atoomsoorten van het periodieke systeem
 - omdat elke atoomsoort een unieke serie lijnen absorbeert en uitstraalt weet je dat als je die lijnen aantreft deze atoomsoort aanwezig moet zijn

10***

- a** Wat is het dopplereffect en hoe ontstaat het? Gebruik in je antwoord de begrippen roodverschuiving en blauwverschuiving.
- het dopplereffect ontstaat als een ster van ons vandaan of naar ons toe beweegt
 - roodverschuiving → door beweging van ons vandaan wordt de golflengte groter → de lijnen verschuiven richting rood
 - blauwverschuiving → door beweging naar ons toe wordt de golflengte kleiner → de lijnen verschuiven richting blauw
- b** Beweegt deze ster naar ons toe af van ons vandaan?
- de golflengte wordt groter → de ster beweegt van ons vandaan
- c** Bereken de snelheid van deze ster.
- $\Delta\lambda = 656,360 - 656,281 = 0,079 \text{ nm} \quad | \quad \lambda_0 = 656,281 \text{ nm}$
 - $\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v_{\text{ster}}}{c} \rightarrow \frac{0,079}{656,281} = \frac{v_{\text{ster}}}{3,0 \cdot 10^8} \rightarrow v_{\text{ster}} = 3,61126 \cdot 10^4 \text{ m/s} = 36 \text{ km/s}$
 - positieve snelheid betekent een beweging van ons vandaan
- d** Beweegt deze exoplaneet naar ons toe af van ons vandaan?
- de golflengte wordt kleiner → de exoplaneet beweegt naar ons toe
- e** Bereken de snelheid van deze exoplaneet.
- $\Delta\lambda = 588,9638 - 588,9950 = -0,0312 \text{ nm} \quad | \quad \lambda_0 = 588,9950 \text{ nm}$
 - $\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v_{\text{planeet}}}{c} \rightarrow \frac{-0,0312}{588,995} = \frac{v_{\text{planeet}}}{3,0 \cdot 10^8} \rightarrow v_{\text{ster}} = -1,58915 \cdot 10^4 \text{ m/s} = -16 \text{ km/s}$
 - negatieve snelheid betekent een beweging naar ons toe

10.6 De levensloop van sterren

1*

- a** Hoe oud is de zon?
- ongeveer 4,5 miljard jaar
- b** Hoe lang zal hij nog licht geven?
- nog eens ongeveer 4,5 miljard jaar
- c** Waaruit is de zon ontstaan?
- uit een gaswolk van voornamelijk waterstofmoleculen

2*

- a** Wat is een protoster?
- een gaswolk die zich aan het samentrekken is waarbij de temperatuur steeds groter wordt
- b** Wat voor soort licht zendt een protoster uit?
- infrarood licht vanwege de warmte die ontstaat bij het samentrekken
- c** Wanneer wordt een protoster een ster?
- als de kernfusiereacties in het centrum beginnen

3**

- a** Welke twee krachten zijn dit?
- thermische druk
 - de zwaartekracht
- b** Hoe ontstaan deze krachten?
- thermische druk ontstaat door de atomen die tegen elkaar botsen en door het naar buiten bewegen van fotonen
 - zwaartekracht is aanwezig omdat massa's elkaar altijd aantrekken
- c** Wat weet je als deze twee krachten in evenwicht zijn?
- de ster blijft even groot en straalt een constante hoeveelheid licht uit
- d** Wat kan er dan gebeuren?
- als de thermische druk groter is zwelt de ster op, net zoals een ballon die je opblaast
 - als de zwaartekracht groter is krimpt de ster

4**

- a** Leg uit of het hier kernfusie of kernsplijting betreft.
- het betreft kernfusie

- b** Leg met woorden uit hoe de netto reactie verloopt.
- twee protonen stoten een positron uit en worden daardoor een neutron
 - de twee neutronen vormen samen met twee andere protonen een He-kern
 - er komen hierbij ook twee neutrino's ν en twee fotonen γ vrij
- c** Waarom komt er veel energie vrij bij deze reactie?
- omdat massa wordt omgezet in energie
- d** Leg uit waarom dit de geboorte is van een ster.
- bij de proton-proton-cyclus vindt kernfusie plaats
 - zodra er kernfusie optreedt wordt een protoster een ster

5*

- a** Wat gebeurt er dan met de grootte van de zon?
- die neemt enorm toe
- b** Wat gebeurt er met de oppervlaktetemperatuur van de zon?
- die neemt af
- c** Hoe noem je de zon in deze fase?
- een rode reus
- d** Over hoeveel jaar komt de zon in deze eerste stervensfase?
- over 4,5 miljard jaar

6***

- a** Stel dat de zon even groot wordt als Betelgeuze, welke planeten zouden dan niet meer kunnen bestaan?
- de straal van de zon zou dan $700 \cdot 6,963 \cdot 10^8 = 4,87 \cdot 10^{11}$ m worden
 - dit is halverwege de baanstralen van Mars en Jupiter
 - Mercurius, Venus, Aarde en Mars worden opgenomen en kunnen dus niet meer bestaan
- b** Hoeveel keer de zonmassa is dit?
- de massa van de zon is $1,9884 \cdot 10^{30}$ kg
 - de massa van Betelgeuze is $\frac{2,188 \cdot 10^{31}}{1,9884 \cdot 10^{30}} = 11$ keer de massa van de zon
- c** Wat kun je hieruit concluderen over de gemiddelde dichtheid van Betelgeuze in vergelijking met de dichtheid van de zon?
- de massa van Betelgeuze is 11 keer groter en de straal is 700 keer groter
 - als de straal 700 keer groter is is het volume $700^3 = 3,43 \cdot 10^8$ keer groter
 - de gemiddelde dichtheid van Betelgeuze is veel kleiner dan die van de zon

7**

- a Leg uit op welke manier de massa bepaalt of een ster eindigt als witte dwerg, als neutronenster of als zwart gat.
- de massa bepaalt hoeveel zwaartekracht er is
 - hoe meer zwaartekracht hoe meer een ster wordt samengeperst
- b Hoe zal een ster met 10 keer de massa van de zon eindigen?
- als neutronster
- c Hoe zal een ster met 50 keer de massa van de zon eindigen?
- als zwart gat

8*

- a Vindt in het centrum van een witte dwerg kernfusie plaats?
- nee, in een witte dwerg is de kernfusie gestopt
- b Hoe eindigt een witte dwerg?
- een witte dwerg koelt langzaam af en wordt uiteindelijk een zwarte dwerg
- c Hoelang duurt dat ongeveer?
- naar schatting 10^{15} jaar, dus een miljoen keer een miljard jaar
 - omdat het heelal nog niet zo oud is zijn er op dit moment nog geen zwarte dwergen

9**

- a Wat is er gebeurd met de elektronen in een neutronster?
- die zijn opgenomen door de protonen, waardoor alle protonen neutronen zijn geworden
- b Waarom is dat gebeurd?
- omdat de zwaartekracht zo sterk is dat de samentrekkende kracht de elektronen in de atoomkern perst
- c Welke heeft een grotere dichtheid: een witte dwerg of een neutronster?
- een neutronenster heeft een veel grotere dichtheid dan een witte dwerg

10**

- a Leg deze vergelijking uit.
- in een bepaalde richting wordt elektromagnetische straling uitgezonden
 - de pulsar draait om zijn as, zodat deze bundel door de ruimte zwiept
- b Hoeveel omwentelingen maakt deze pulsar per minuut?
- 0,003 seconden per omwenteling is $\frac{1}{0,030} = 33,333$ omwentelingen per seconde
 - per minuut zijn er $33,333 \cdot 60 = 2000$ omwentelingen

11***

a Waarom zijn zwarte gaten zwart?

- bij een zwart gat is de ontsnappingssnelheid groter dan de lichtsnelheid
- ook licht kan daardoor niet loskomen van een zwart gat
- vanwege de afwezigheid van licht noemen we een zwart gat zwart

b Bereken de Schwarzschildstraal van het zwarte gat in het Messier 87 stelsel.

- de massa van het zwarte gat is $7 \cdot 10^9 \cdot 2,0 \cdot 10^{30} = 1,4 \cdot 10^{40}$ kg
- voor ontsnappingssnelheid geldt: $v_{\text{ontsnap}}^2 = \frac{2G \cdot m}{r}$
- voor de Schwarzschildstraal geldt: $r_s = \frac{2G \cdot m}{c^2}$ met $c = 3,0 \cdot 10^8$ m/s
- $r_s = \frac{2 \cdot 6,674 \cdot 10^{-11} \cdot 1,4 \cdot 10^{40}}{(3,0 \cdot 10^8)^2} \rightarrow r_s = 2,07636 \cdot 10^{13} = 2,1 \cdot 10^{13}$ m

c Hoe groot is de Schwarzschildstraal van een zwart gat met evenveel massa als de HMM Algeciras?

- de massa van HMM Algeciras is $250.000 \cdot 1000 = 2,5 \cdot 10^8$ kg
- voor de Schwarzschildstraal geldt: $r_s = \frac{2G \cdot m}{c^2}$ met $c = 3,0 \cdot 10^8$ m/s
- $r_s = \frac{2 \cdot 6,674 \cdot 10^{-11} \cdot 2,5 \cdot 10^8}{(3,0 \cdot 10^8)^2} \rightarrow r_s = 3,7 \cdot 10^{-19}$ m

MERK OP dit is ongeveer de straal van een elektron en ongeveer een duizendste van de straal van een proton

12**

a Wat is een supernova?

- een supernova is de ontploffing van een ster van minimaal 8 keer de massa van de zon aan het einde van zijn leven

b In welke jaar vond deze supernova plaats?

- deze supernova vond 6523 jaar eerder plaats dan dat hij op aarde is gezien
- dus in het jaar $1054 - 6523 = -5469$ ofwel 5469 v. Chr.

13**

a Leg uit hoe de atoomsoorten tot en met atoomnummer 26 (ijzer) zijn ontstaan.

- de atoomsoorten tot en met ijzer (element 26) zijn ontstaan in een ster door kernfusie
- sterren die geen supernova worden kunnen geen zwaardere elementen maken

b Leg uit hoe alle atoomsoorten zwaarder dan ijzer zijn ontstaan.

- tijdens een supernova is de temperatuur zo hoog dat ook atoomsoorten zwaarder dan ijzer samensmelten
- dit kost veel energie, maar deze energie is bij een supernova ruim beschikbaar

c Wat kun je hieruit concluderen?

- dat de aarde is gemaakt uit de restanten van sterren die nu niet meer bestaan

d Wat kun je hieruit concluderen?

- dat de aarde ook bestaat uit restanten van een supernova die voor het ontstaan van de aarde heeft plaatsgevonden

10.7 Kosmologie

1***

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

- $18.000 \text{ km/s} = 1,8 \cdot 10^7 \text{ m/s}$
- $\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$
- $\frac{\Delta\lambda}{656,3} = \frac{1,8 \cdot 10^7}{3,0 \cdot 10^8} \rightarrow \Delta\lambda = 39,4 \text{ nm}$
- beweging van ons vandaan $\rightarrow$ golflengte wordt groter
- $656,3 + 39,4 = 695,7 \text{ nm}$

b Bereken de golflengte van de 656,3 nm waterstoflijn afkomstig van een sterrenstelsel op 1,8 miljard lichtjaar afstand.

- aflezen: 1,8 miljard lichtjaar: $v = 40.000 \text{ km/s} = 4,0 \cdot 10^7 \text{ m/s}$
- $\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$
- $\frac{\Delta\lambda}{656,3} = \frac{4,0 \cdot 10^7}{3,0 \cdot 10^8} \rightarrow \Delta\lambda = 87,567 \text{ nm}$
- beweging van ons vandaan $\rightarrow$ golflengte wordt groter
- $656,3 + 87,567 = 743,867 = 7,4 \cdot 10^2 \text{ nm}$

c Is er een recht-evenredig verband tussen de verandering van de golflengte $\Delta\lambda$ en de afstand van een sterrenstelsel?

- het Hubble diagram geeft een recht-evenredig verband tussen de afstand van een sterrenstelsel en de snelheid
- $\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c} \rightarrow \Delta\lambda = \frac{v}{\lambda_0 \cdot c}$ geeft een recht-evenredig verband tussen $\Delta\lambda$ en v
- er is een recht-evenredig verband tussen $\Delta\lambda$ en de afstand

d Bepaal de Hubble constante.

- aflezen: 40.000 km/s bij 1,8 miljard lichtjaar
- $\frac{40.000}{1800} = 22,2 \text{ km/s per miljoen lichtjaar}$

e Toon dit aan.

- $v_{\max} = c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s} = 3,0 \cdot 10^5 \text{ km/s}$
- $v = H_0 \cdot r$
- $3,0 \cdot 10^5 = 22 \cdot r \rightarrow r = 1,36 \cdot 10^4 \text{ miljoen lichtjaar}$
- $r = 13,6 \text{ miljard lichtjaar}$

MERK OP de Hubble constante en de grootte van het heelal zijn niet precies bekend

f Welke conclusie kun je hieraan verbinden?

- de maximaal meetbare afstand van de verste 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 → roodverschuiving
- het stelsel beweegt van ons vandaan

b Bereken de snelheid van dit sterrenstelsel.

- $\Delta\lambda = 612,358 - 587,562 = 24,796 \text{ nm}$
- $\lambda_0 = 587,562 \text{ nm} \quad | \quad \Delta\lambda = 24,796 \text{ nm} \quad | \quad v = \dots \text{ m/s}$
- $\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$
- $\frac{24,796}{587,562} = \frac{v}{3,0 \cdot 10^8} \rightarrow v = 1,265 \cdot 10^7 \text{ m/s}$

c Hoeveel procent van de lichtsnelheid is deze snelheid?

- $\frac{v}{c} \cdot 100\% = \frac{1,26516926 \cdot 10^7}{3,0 \cdot 10^8} = 4,22 \cdot 10^{-2} \cdot 100\% = 4,22 \%$

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

- $v = 1,26517 \cdot 10^7 \text{ m/s} = 1,26517 \cdot 10^4 \text{ km/s}$
- $v = H_0 \cdot r$ met $H_0 = 22 \text{ km/s per miljoen lichtjaar}$
- $1,26517 \cdot 10^4 = 22 \cdot r \rightarrow r = 575,077 = 5,8 \cdot 10^2 \text{ miljoen lichtjaar}$

3***

a Voldoet dit stelsel aan de Hubble-relatie?

- $v = H_0 \cdot r$ met $H_0 = 22 \text{ km/s per miljoen lichtjaar}$
- $r = 21 \text{ miljoen lichtjaar} \rightarrow v = 22 \cdot 21 = 462 \text{ km/s}$
- dit is niet gelijk aan 241 km/s → het stelsel voldoet niet 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?

- $\lambda_0 = 486,1 \text{ nm} \quad | \quad v = 241 \cdot 10^3 \text{ m/s} \quad | \quad \Delta\lambda = \dots \text{ nm}$
- $\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$
- $\frac{\Delta\lambda}{486,1} = \frac{241 \cdot 10^3}{2,99792458 \cdot 10^8} \rightarrow \Delta\lambda = 0,39 \text{ nm}$
- het stelsel beweegt van ons vandaan → λ wordt groter
- $\lambda = 486,1 + 0,39 = 486,49 = 486,5 \text{ nm}$