

10 Sterrenkunde

3 vwo

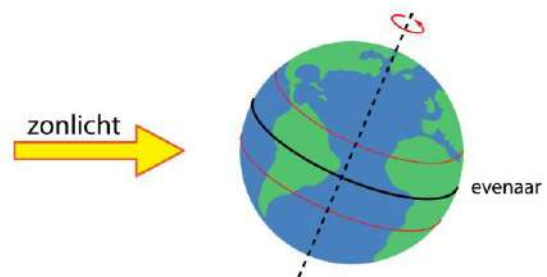
10.1 Het zonnestelsel

De aarde

1* De zon staat twee keer per jaar precies boven de evenaar.

a Welk jaargetijde begint op het noordelijk halfrond als de zon boven de evenaar staat komend vanaf het zuidelijk halfrond.

b Welk jaargetijde begint dan op het zuidelijk halfrond?



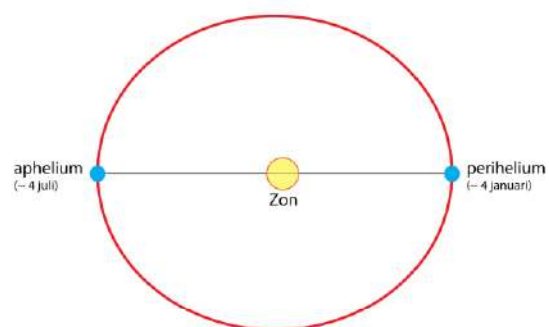
2* Sommige mensen denken dat in december de dagen korter zijn dan in de zomer.

a Leg uit waarom deze mensen geen gelijk hebben.

3** De baan van de aarde om de zon is bijna cirkelvormig. De aarde ontvangt daardoor iedere dag ongeveer evenveel energie van de zon. Toch is de temperatuur in de zomer hoger dan in de winter.

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

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



Vanwege de verandering van de afstand tussen de aarde en de zon is het temperatuurverschil tussen zomer en winter op het zuidelijk halfrond groter dan op het noordelijk halfrond.

c Leg uit waarom dit het geval is.

De maan

- 4***
- a** Hoe ziet de maan eruit bij nieuwe maan en hoe bij volle maan?
 - b** Hoe ziet de maan eruit bij eerste kwartier en hoe bij laatste kwartier?

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

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



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

Een maansverduistering komt vaker voor dan een zonsverduistering.

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



- 7**** Net als de aarde draait ook de maan om haar as. Voor de maan is een dag een rondje om haar as en een jaar een rondje om de aarde. Een maan-dag duurt precies even lang als een maan-jaar. Hierdoor zien we vanaf de aarde steeds dezelfde kant van de maan.

- a** Leg dit uit met behulp van een tekening.

Dit wordt synchrone rotatie genoemd.

- b** Wat betekent het Nederlandse woord synchroon?

- 8**** Het getij op aarde is de periodieke wisseling van de waterstand tussen laagwater en hoogwater. Het toenemen van de waterstand is vloed en het afnemen van de waterstand eb. Galileo Galilei begreep als eerste dat eb en vloed worden veroorzaakt

door de kracht die de maan op de aarde uitoefent. Omdat de aarde in 24 uur om haar as draait beredeneerde hij dat het één keer per dag laagwater en één keer per dag hoogwater is.

a Leg deze redenatie uit met behulp van een tekening.

In werkelijkheid is het twee keer per dag laagwater en twee keer per dag hoogwater. Isaak Newton heeft hiervoor de juiste verklaring gegeven.

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

9** Twee keer per maand is het springtij. De zon en de maand oefenen dan krachten op de aarde uit, waardoor het verschil tussen laagwater en hoogwater extra groot is.

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

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

De planeten

10* **a** Hoeveel planeten heeft ons zonnestelsel?

b Noem de planeten, gerekend vanaf de zon.

c Welke planeten zijn gemaakt van steen en welke van gas?

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

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

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

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

a Zoek op welke planeet dit is.

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

b Zoek op welke planeten dit zijn.

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

c Controleer of oom Henk gelijk heeft.

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

d Controleer of tante Truus gelijk heeft.

Kometen en meteoroiden

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

Kometen komen uit de planetoïdegordel, uit de Kuipergordel of uit de Oortwolk.

- b** Waar bevinden zich de planetoïdegordel, de Kuipergordel en de Oortwolk?



- 14*** **a** Wat is het verschil tussen een komeet en een meteoroid?
- b** Wat is het verschil tussen een meteor en een meteoriet?

De zon

- 15**** **a** Wat zendt de zon behalve zichtbare licht nog meer uit?

- b** Hoe ontstaat het poollicht?

De foto hiernaast is poollicht (noorderlicht) in Nederland.

- c** Waarom is poollicht in Nederland vrijwel nooit te zien?



10.2 Sterren en sterrenstelsels

- 1***
- a** Is lichtjaar een hoeveelheid tijd of een hoeveelheid afstand?
 - b** Leg uit wat met een lichtjaar wordt bedoeld.
 - c** Waarom is het handiger om de afstand tussen de sterren in lichtjaren uit te drukken in plaats van in meters of kilometers?

- 2*****
- a** Hoeveel meter legt het licht af in één seconde?

De omtrek van de aarde is 40.000 km.

- b** Hoe vaak kan het licht in 1 seconde een rondje om de aarde maken?

De afstand van de aarde tot de zon is 150 miljoen kilometer.

- c** Hoeveel minuten doet zonlicht erover om de aarde te bereiken?

- d** Hoeveel meter legt het licht af in één jaar?

De afstand tussen de zon en Pluto is $5,91 \cdot 10^{12}$ m.

- e** Hoeveel uur heeft licht nodig om van de zon naar dwergplaneet Pluto te reizen?

- 3****
- a** Welke ster staat het dichtst bij de aarde?

- b** Welke ster staat het op één na dichtst bij de aarde?

- 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***
- a** Wat is het verschil tussen een planeet en een ster?

- b** Wat is het verschil tussen een planeet en een exoplaneet?

- 5****
- a** Wat verstaan we onder de Melkweg?

- b** Hoe ziet de Melkweg eruit als je vanaf de aarde naar de sterren kijkt?

- c Teken de zijkant van de Melkweg.
- d Teken de bovenkant van de Melkweg.
- e Wat bevindt zich in het midden van de Melkweg?
- f Noem zes dingen die we in de Melkweg aantreffen.

- 6****
- a Wat verstaan we onder de Lokale Groep?
 - b Hoe heten de drie grootste sterrenstelsels van de Lokale Groep?

- 7****
- a Zet in de juiste volgorde, van klein naar groot:
Canes Venatici-wolk – Lokale Groep – Maan – Zon – Saturnus – Melkweg
– Zonnestelsel – Heelal – Virgo-supercluster

- 8****
- Een gemiddeld sterrenstelsel bevat ongeveer 200 miljard sterren en er zijn ongeveer 100 miljard sterrenstelsels.
- a Hoeveel sterren zijn er ongeveer in het zichtbare Heelal?

- 9****
- a Hoe oud is het Heelal?
 - b Hoe lang heeft het licht van een object (bijvoorbeeld een sterrenstelsel) aan de rand van het heelal nodig om de aarde te bereiken?

10.3 Gravitatie

1** Twee stenen hebben beide een massa van 20 kg. De zwaartepunten van de stenen bevinden zich op 5,0 m afstand van elkaar.

a Bereken de kracht waarmee deze stenen elkaar aantrekken.

We maken beide stenen 2 keer zo zwaar.

b Leg je keuze uit: hierdoor wordt de gravitatiekracht

- 2 keer zo groot
- 2 keer zo klein
- 4 keer zo groot
- 4 keer zo klein

We maken de afstand tussen de stenen 2 keer zo groot.

c Leg je keuze uit: hierdoor wordt de gravitatiekracht

- 2 keer zo groot
- 2 keer zo klein
- 4 keer zo groot
- 4 keer zo klein

2*** De straal van de aarde is 6371 km. Gemiddeld is de valversnelling op de oppervlakte van de aarde:
 $g = 9,817 \text{ m/s}^2$. Voor de valversnelling op aarde geldt:

$$g = G \cdot \frac{M_{\text{aarde}}}{r_{\text{aarde}}^2}$$

a Bereken de massa van de aarde.

Voor het volume van een bol geldt: $V = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3$.

b Bereken het volume van de aarde.

c Bereken de gemiddelde dichtheid van de aarde.

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

d Welke conclusie kan je trekken uit bovenstaande gegevens in combinatie met het antwoord op vraag c? **HINT** 1 g/cm³ = 1000 kg/m³



3*** De massa van de maan is $7,35 \cdot 10^{22}$ kg en de straal van de maan is 1738 km.

a Bereken de valversnelling g op de maan.

Als je bij het springen afzet met snelheid v bereik

je een hoogte van $h = \frac{v^2}{2g}$ meter.

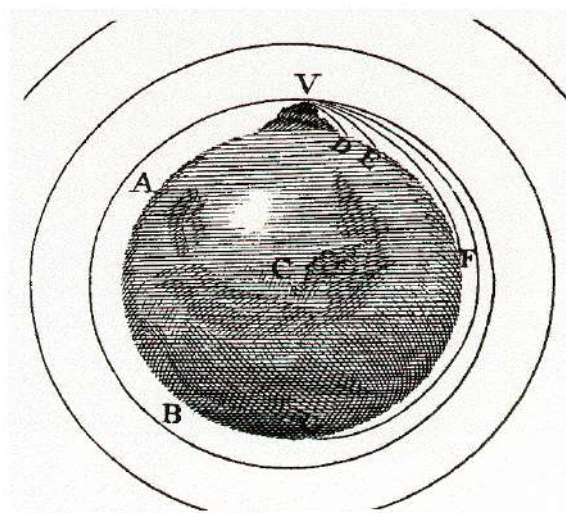
Astronaut Neil kan op aarde 50 cm hoog springen. Op de maan zet het zich af met dezelfde snelheid.

b Hoe hoog kan hij op de maan springen?



4*** Isaak Newton legt voor het eerst het verband tussen het vallen van een voorwerp (een appel) en de baan van de maan om de aarde. Hij verduidelijkt dit met het volgende gedachten-experiment.

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



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

De kogel heeft een massa van 25 kg.

a Hoeveel kracht oefent de aarde op de kogel uit?

De kogel maakt een rondje om de aarde als de snelheid waarmee hij wordt weggeschoten gelijk is aan: $v = \sqrt{g \cdot r_{\text{aarde}}}$. De straal van de aarde is 6371 km.

b Bereken deze snelheid.

Bij één rondje om de aarde is de afstand gelijk aan de omtrek van de aarde.

c Bereken de omlooptijd van de kogel in uur.

5** Bij een cirkel is de afstand van ieder punt tot het middelpunt hetzelfde.

a Hoe zit het bij een ellips?

Planeten hebben een ellipsvormig baan om de zon. Hierdoor is de afstand van de planeet tot de zon niet steeds hetzelfde. Soms staat een planeet wat verder weg en soms wat dichterbij.

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

Ook kometen hebben een ellipsvormige baan om de zon.

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

6** **a** Leg met eigen woorden het begrip ontsnappingsnelheid uit.

Voor de ontsnappingsnelheid van een hemellichaam met massa M en straal r geldt:

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

Phobos is één van de twee manen van Mars en heeft een massa van $1,07 \cdot 10^{16}$ kg. en een straal van 11 km.

b Bereken de ontsnappingsnelheid van Phobos.

Op een nog kleiner hemellichaam woont de Kleine Prins. Hij moet goed oppassen om er niet af te springen, want zijn planeet heeft een straal van 50 m en een dichtheid van $3,5 \cdot 10^3$ kg/m³. Voor een bol geldt $V = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3$.

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



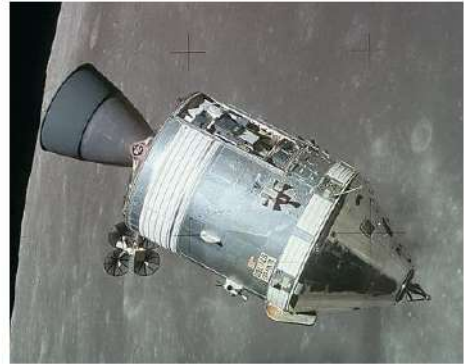
7*** Kepler ontdekte dat alle planeten dezelfde verhouding hebben tussen r^3 en T^2 :

$$\frac{r^3}{T^2} = \frac{G \cdot M_{\text{zon}}}{4\pi^2} \quad \text{met} \quad M_{\text{zon}} = 1,9884 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

- r is de afstand tussen een planeet en de zon in meter (m) gerekend vanaf het middelpunt
- T is de omlooptijd in seconden (s)

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

8*** In 1969 wandelen twee astronauten voor het eerst op de maan. Een derde astronaut blijft in de ruimtemodule (de Commander), die op een hoogte van 110 km rondjes om de maan draait. De massa van de maan is $7,35 \cdot 10^{22}$ kg en de straal van de maan is 1738 km.



- a Bereken de tijd waarin de Commander één rondje om de maan aflegt.
HINT gebruik de derde wet van Kepler
- b Bereken de lengte van één cirkelbaan om de maan.
- c Bereken de snelheid van de Commander bij een rondje om de maan.

9**** Om de positie op aarde te bepalen is sinds de jaren '80 van de vorige eeuw het GPS (Global Positioning System) in gebruik. Momenteel bestaat het GPS systeem uit 32 satellieten.

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



- a Bereken de omlooptijd van een GPS satelliet.
- b Bereken hoeveel graden de aarde om haar as draait in de omwentelingstijd van een GPS satelliet.
- c Bereken hoeveel omwentelingen een GPS satelliet per dag om de aarde maakt.

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

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

Een geostationaire satelliet bevindt zich altijd boven de evenaar.

- b Leg uit waarom dit noodzakelijk is.



10.4 Elektromagnetische straling

1* Elektromagnetische straling kan worden opgevat als een stroom van deeltjes.

a Hoe heten deze deeltjes?

Elektromagnetische straling kan ook worden opgevat als golf.

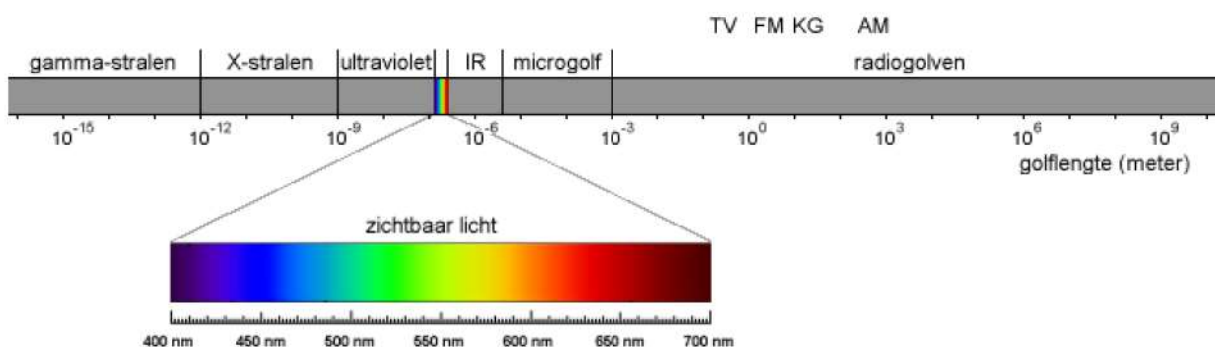
b Wat zijn de drie belangrijkste eigenschappen van elektromagnetische golven?

c Welke eigenschap bepaalt de kleur van licht?

d Hoe groot is de snelheid waarmee een elektromagnetische golf zich door lege ruimte verplaatst?

e Met welke letter wordt de lichtsnelheid aangeven?

2* Hieronder zie je de verschillende soorten elektromagnetische straling.



a Hoe ontstaan gamma-stralen?

b Wat zijn X-stralen en wanneer kom je er mee in aanraking?

c Waarom is ultraviolet licht gevaarlijk?

De golflengte van zichtbaar licht wordt opgegeven in nm.

d Wat betekent nm en hoeveel meter is 1 nm?

e Wat wordt bedoeld met IR? Is IR straling gevaarlijk?

f Noem een toepassing van microgolven.

g Kun je radiogolven horen?
Kun je radiogolven zien?

3*

Om welke soort straling gaat het als:

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

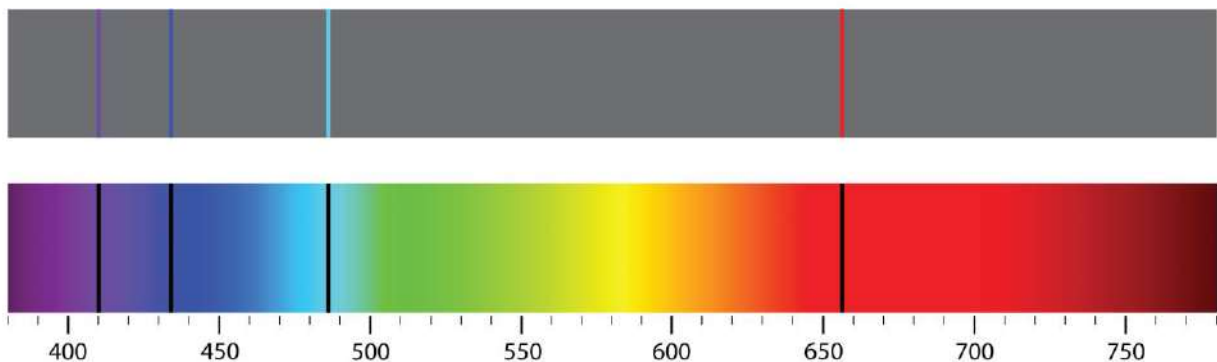
4**

- a Wat gebeurt er in een atoom als het licht opneemt? Hoe heet dit verschijnsel?
- b Wat gebeurt er in een atoom als het licht uitstraalt? Hoe heet dit verschijnsel?
- c Hoe kun je aan een spectrum van een atoom zien of het een absorptiespectrum of een emissiespectrum is?
- d Waarom kun je atomen herkennen aan hun absorptie- of emissiespectrum?

5***

Waterstof straalt zichtbaar licht uit met golflengtes 410 nm, 434 nm, 486 nm en 656 nm.

waterstofspectrum



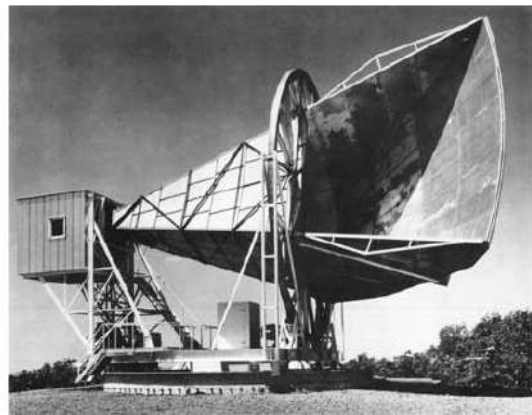
- a Welke golflengte heeft de grootste frequentie en welke de kleinste?
- b Bereken deze grootste en kleinste frequentie van het uitgestraalde licht.

10.5 Informatie uit de ruimte

1* Elektromagnetische straling vanuit de ruimte is op aarde waarneembaar.

- a Welke straling wordt met optische telescopen waargenomen?
- b Welke straling wordt met radiotelescopen waargenomen?
- c Welke golflengtes worden door radiotelescopen waargenomen?

2* Hieronder zie je twee ouderwetse telescopen.

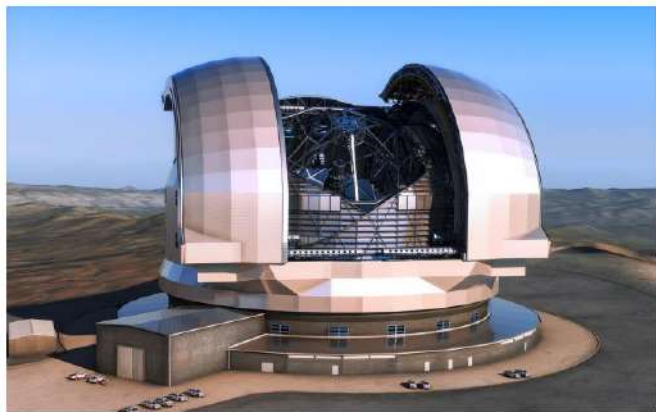


- a Welke van deze is een optische telescoop en welke een radiotelescoop?
- b Welke van deze is ouder?

3*** Optische telescopen worden steeds groter. Op dit moment heeft de grootste telescoop een spiegel met een diameter van 8,2 m (VLT, zie figuur links). Een nog grotere telescoop met een spiegel van 39,3 m is in aanbouw (ELT zie figuur rechts).



Very Large Telescope (VLT)



Extremely Large Telescope (ELT)

- a** Waarom worden er steeds grotere optische telescopen gebouwd?
- b** Kun je met een grotere spiegel elektromagnetische straling met een grotere golflengte waarnemen?

De gevoeligheid van een telescoop wordt bepaald door de oppervlakte van de spiegel. Hoe groter de spiegel is, hoe meer licht er kan worden opgevangen.

De pupil van het oog van een mens heeft een diameter van maximaal 9,0 mm. De Very Large Telescope (VLT) heeft een spiegel met een diameter van 8,2 meter.

- c** Hoeveel meer licht kan de spiegel van de VLT telescoop opvangen vergeleken met het oog van een mens?

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

- d** Hoeveel meer licht kan de spiegel van de ELT telescoop opvangen vergeleken met de spiegel van de VLT telescoop?

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

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

Waterstofgas zendt elektromagnetische straling uit met een golflengte van 21,106 cm.



- b** Kan deze straling door de WSRT telescoop worden waargenomen?
- c** Breken de frequentie van deze straling.

- 5*** **a** Waarom is het nodig om telescopen in de ruimte te plaatsen om het heelal te bestuderen?
- b** Wat voor soort elektromagnetische straling wordt er met de Hubble Space Telescope waargenomen?



- 6****
- Noem twee veel gebruikte methodes om afstanden in het heelal te bepalen. Geef in eigen woorden een korte beschrijving van deze methodes.
 - Wat wordt bedoeld met de astronomische eenheid (leg in woorden uit en niet met een getal)? Wat is het symbool voor de astronomische eenheid?

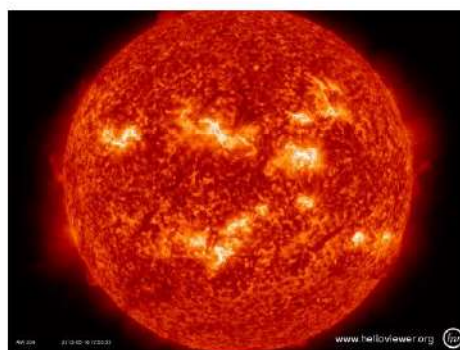
7* De temperatuur van het oppervlak van een ster bepaalt welke golflengte het meest wordt uitgestraald.

- Naar wie is de wet genoemd waarmee je dit kunt berekenen?
- Hoe verandert de golflengte die het meest wordt uitgestraald als de temperatuur van het oppervlak van een ster afneemt?
- Zet onderstaande sterren in volgorde van koud naar warm. Licht je antwoord toe.
– een gele ster | – een blauwe ster | – een rode ster

8** De oppervlaktetemperatuur van de zon is 5780 K.

- Bereken de golflengte waarbij de zon de meeste straling uitzendt.
- Welke kleur heeft dit licht?

De oppervlaktetemperatuur van de aarde is 17 °C.



- Bereken de golflengte waarbij de aarde de meeste straling uitzendt.
- Is straling met deze golflengte zichtbaar licht?

- 9***
- Leg uit hoe de chemische samenstelling van sterren en nevels kan worden bepaald?

10*** **a** Wat is het dopplereffect en hoe ontstaat het? Gebruik in je antwoord de begrippen roodverschuiving en blauwverschuiving.

Voor het dopplereffect geldt:
$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v_{\text{ster}}}{c}$$

In het spectrum van een ster is een waterstoflijn is verschoven van 656,281 nm naar 656,360 nm.

b Beweegt deze ster naar ons toe af van ons vandaan?

c Bereken de snelheid van deze ster.

Bij exoplaneet is in het spectrum een natriumlijn verschoven van 588,9950 nm naar 588,9638 nm.

d Beweegt deze exoplaneet naar ons toe af van ons vandaan?

e Bereken de snelheid van deze exoplaneet.

10.6 De levensloop van sterren

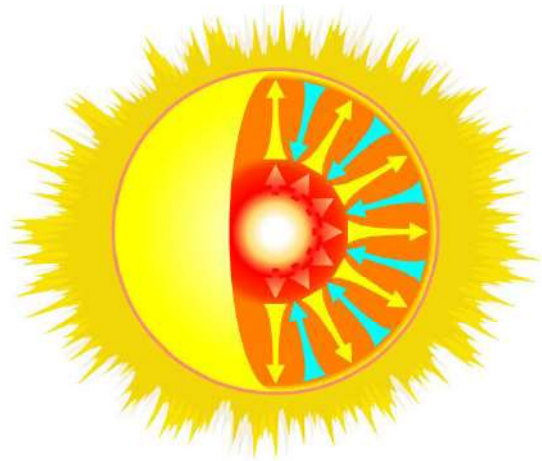
- 1***
- a Hoe oud is de zon?
 - b Hoe lang zal hij nog licht geven?
 - c Waaruit is de zon ontstaan?
- 2***
- a Wat is een protoster?
 - b Wat voor soort licht zendt een protoster uit?
 - c Wanneer wordt een protoster een ster?

- 3**** In een ster spelen twee krachten een belangrijke rol.

- a Welke twee krachten zijn dit?
- b Hoe ontstaan deze krachten?
- c Wat weet je als deze twee krachten in evenwicht zijn?

Er kunnen twee dingen gebeuren als deze krachten NIET in evenwicht zijn.

- d Wat kan er dan gebeuren?



- 4**** Als de protoster genoeg is samengeperst ontstaat er in het centrum een kernreactie: de proton-proton-cyclus.

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

De netto reactie is: $4 {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + 2 \text{e}^+ + 2 \nu + 2 \gamma$

- b Leg met woorden uit hoe de netto reactie verloopt.
- c Waarom komt er veel energie vrij bij deze reactie?
- d Leg uit waarom dit de geboorte is van een ster.

5* Als de brandstof in het centrum van de zon op is, begint de zon aan de eerste fase van zijn stervensproces.

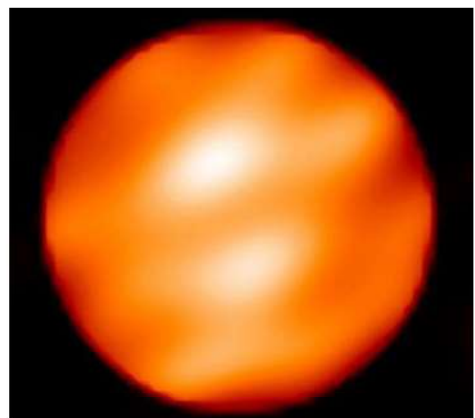
- a Wat gebeurt er dan met de grootte van de zon?
- b Wat gebeurt er met de oppervlaktetemperatuur van de zon?
- c Hoe noem je de zon in deze fase?
- d Over hoeveel jaar komt de zon in deze eerste stervensfase?

6*** Een bekende rode reus is de ster Betelgeuze met een straal 700 keer zo groot als die van de zon.

- a Stel dat de zon even groot wordt als Betelgeuze, welke planeten zouden dan niet meer kunnen bestaan?

Betelgeuze heeft een massa van $2,188 \cdot 10^{31}$ kg.

- b Hoeveel keer de zonmassa is dit?
- c Wat kun je hieruit concluderen over de gemiddelde dichtheid van Betelgeuze in vergelijking met de dichtheid van de zon?



7** In de tweede fase van het stervensproces kunnen sterren eindigen als witte dwergen, neutronsterren of zwarte gaten. Dit wordt bepaald door de massa van de ster.

- a Leg uit op welke manier de massa bepaalt of een ster eindigt als witte dwerg, als neutronenster of als zwart gat.
- b Hoe zal een ster met 10 keer de massa van de zon eindigen?
- c Hoe zal een ster met 50 keer de massa van de zon eindigen?

- 8*** a Vindt in het centrum van een witte dwerg kernfusie plaats?
- b Hoe eindigt een witte dwerg?
- c Hoelang duurt dat ongeveer?

9**

- a Wat is er gebeurd met de elektronen in een neutronster?
- b Waarom is dat gebeurd?
- c Welke heeft een grotere dichtheid: een witte dwerg of een neutronster?

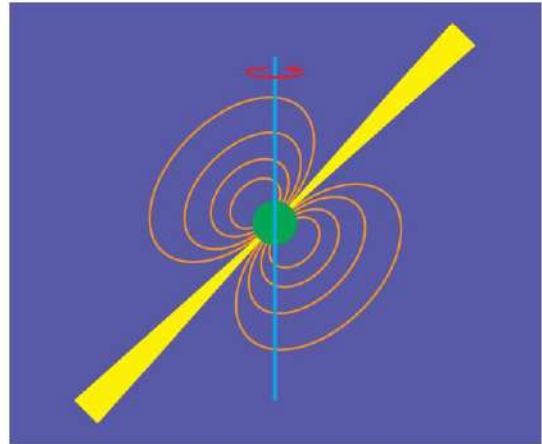
10**

Een pulsar is een neutronster met bijzondere eigenschappen. Vaak wordt een vergelijking gemaakt tussen een pulsar en een vuurtoren.

- a Leg deze vergelijking uit.

In het centrum van de Krabnevel bevindt zich een pulsar met een periode van 0,030 seconden.

- b Hoeveel omwentelingen maakt deze pulsar per minuut?



11***

In het centrum van het sterrenstelsel Messier 87 bevindt zich een zwart gat. In 2019 is dit zwarte gat waargenomen. Dit is de eerste directe waarneming van een zwart gat ooit. De massa van dit zwarte gat is 7 miljard keer zo groot als de massa van de zon. De zon heeft een massa van $2,0 \cdot 10^{30}$ kg.

- a Waarom zijn zwarte gaten zwart?
- b Bereken de Schwarzschildstraal van het zwarte gat in het Messier 87 stelsel.



Op dit moment is de HMM Algeciras het grootste containerschip ter wereld. Volledig geladen heeft het schip een massa van 250.000 ton. Een ton is 1000 kg.

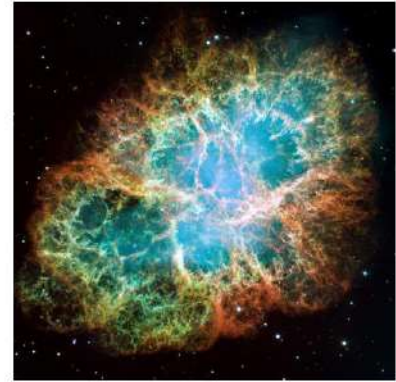
- c Hoe groot is de Schwarzschildstraal van een zwart gat met evenveel massa als de HMM Algeciras?



12** a Wat is een supernova?

In juli 1054 kon je op aarde met het blote oog een supernova zien. De restanten van deze supernova zijn nu nog waar te nemen in het centrum van de Krabnevel. De Krabnevel staat op een afstand van 6523 lichtjaar.

b In welke jaar vond deze supernova plaats?



13** Behalve waterstof en helium zijn alle atoomsoorten ontstaan in een ster.

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

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

De aarde bestaat uit ijzer (32,1%), zuurstof (30,1%), silicium (15,1%), magnesium (13,9%), zwavel (2,9%), nikkel (1,8%), calcium (1,5%), aluminium (1,4%) en andere elementen (1,2 %).

Het meest voorkomende element op aarde is dus ijzer.

c Wat kun je hieruit concluderen?

Op aarde komt ook veel nikkel voor.

d Wat kun je hieruit concluderen?

10.7 Kosmologie

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

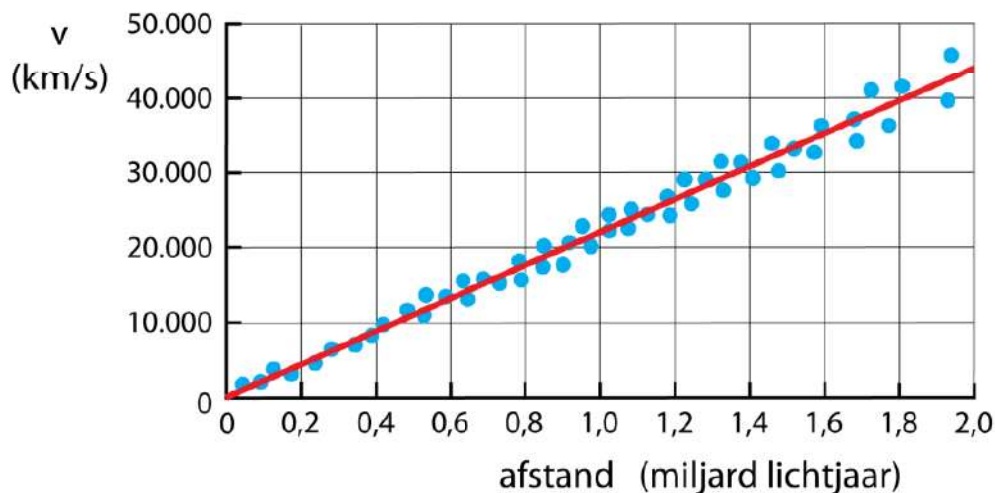
$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$$

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

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

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

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



Figuur 1

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

De steilheid van de grafiek in het Hubble-diagram wordt de Hubble constante genoemd. De steilheid is $\frac{\Delta v \text{ (km / s)}}{\text{afstand (miljoen lichtjaar)}}$

- d Bepaal de Hubble constante.

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

e Toon dit aan.

f Welke conclusie kun je hieraan verbinden?

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

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

b Bereken de snelheid van dit sterrenstelsel.

c Hoeveel procent van de lichtsnelheid is deze snelheid?

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

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

a Voldoet dit stelsel aan de Hubble-relatie?

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

