11.1 Straling van sterren

Opgave 1

a Voor de zonneconstante geldt $I = \dfrac{P_{\text{bron}}}{4\pi r^2}$.

Het uitgestraalde vermogen door de zon P_{bron} blijft hetzelfde. Mars staat verder van de zon af dan de aarde. Dus is de zonneconstante van Mars kleiner dan die van de zon.

b De zonneconstante is het uitgestraald vermogen per oppervlakte-eenheid in de bundel die Mars bereikt. Omdat Mars om zijn as draait, wordt dit vermogen verdeeld over het oppervlak van Mars.

De oppervlakte van de doorsnede van de bundel is πR^2 en de oppervlakte van Mars is $4\pi R^2$. Een vierkante meter van Mars ontvangt dus per seconde een kwart van de stralingsenergie.

c De gemiddelde temperatuur bereken je met het stralingsvermogen dat een vierkante meter van het oppervlak van Mars gemiddeld ontvangt.

Het stralingsvermogen dat een vierkante meter van het oppervlak van Mars gemiddeld ontvangt, bereken je met de zonneconstante van Mars.

De formule voor het stralingsvermogen per oppervlakte-eenheid volgt uit de wet van Stefan-Boltzmann.

$P_{\text{bron}} = \sigma \cdot A \cdot T^4$

Hieruit volgt: $\frac{P_{\text{bron}}}{A} = \sigma \cdot T^4$

$\frac{P_{\text{bron}}}{A} = 0{,}25 \times 589$

$\frac{P_{\text{bron}}}{A} = 1{,}4725 \cdot 10^2\ \text{W m}^{-2}$

Hiervan wordt 75% geabsorbeerd door het oppervlak van Mars.

Dit is $0{,}75 \times 1{,}4725 \cdot 10^2 = 1{,}104 \cdot 10^2\ \text{W m}^{-2}$

$\sigma = 5{,}670373 \cdot 10^{-8}\ \text{W m}^{-2}\text{K}^{-4}$

$1{,}104 \cdot 10^2 = 5{,}670373 \cdot 10^{-8} \cdot T^4$

$T = 210{,}0$ K

Afgerond: 210 K.

Opgave 2

a De afstand die het licht in een jaar aflegt, bereken je met de formule voor de snelheid. Gebruik hierbij de nauwkeurige waarde voor de omlooptijd van de aarde om de zon in BINAS tabel 31.

$s = v \cdot t$

$t = 1$ jaar $= 365{,}256$ d $= 365{,}256 \times 24 \times 60 \times 60 = 3{,}15581184 \cdot 10^7$ s

$v = c = 2{,}99792458 \cdot 10^8\ \text{m s}^{-1}$ (BINAS tabel 7A)

$s = 2{,}99792458 \cdot 10^8 \times 3{,}15581184 \cdot 10^7 = 9{,}46088588 \cdot 10^{15}$ m

Afgerond: $s = 9{,}461 \cdot 10^{15}$ m.

b Het aantal jaar dat het licht erover doet, komt overeen met de afstand uitgedrukt in lichtjaren.

$8{,}2 \cdot 10^{13}$ km $= 8{,}2 \cdot 10^{16}$ m

$s = \frac{8{,}2 \cdot 10^{16}}{9{,}461 \cdot 10^{15}} = 8{,}667$ lichtjaar

Het licht doet er dus afgerond 8,7 jaar over om vanaf Sirius de aarde te bereiken.

c Voor de golflengte van het stralingsmaximum geldt de wet van Wien: $\lambda_{\max} = \dfrac{k_{\text{w}}}{T}$.

Volgens BINAS tabel 32B geldt voor de temperatuur van de zon $T_{\text{zon}} = 5{,}78 \cdot 10^3$ K.

Hieruit volgt dat T_{Sirius} groter is dan T_{zon}.

Omdat k_{w} een constante is, is $\lambda_{\max,\text{Sirius}}$ kleiner dan $\lambda_{\max,\text{zon}}$.

Dus ligt de piek in het stralingsspectrum bij een lagere golflengte en dus links van die van de zon.

d De relatieve lichtsterkte is dus $\frac{L_{\text{Sirius}}}{L_{\text{zon}}} = \frac{4\pi R_{\text{Sirius}}^2 \cdot \sigma \cdot T_{\text{Sirius}}^4}{4\pi R_{\text{zon}}^2 \cdot \sigma \cdot T_{\text{zon}}^4} = \frac{(1{,}7 \times R_{\text{zon}})^2 \times (9{,}9 \cdot 10^3)^4}{R_{\text{zon}}^2 \times (5{,}78 \cdot 10^3)^4} = 25$

(Dit betekent dus dat de lichtsterkte van Sirius 25 keer groter dan die van de zon.)

e Het aantal zonnestraal bereken je met de straal van de zon en de straal van Proxima Centauri.

De straal van Proxima Centauri bereken je met de oppervlakte van Proxima Centauri.

De oppervlakte van Proxima Centauri bereken je met de wet van Stefan-Boltzmann.

Het uitgestraald vermogen bereken je met de lichtsterkte van Proxima Centauri.

$P_{bron,PC} = 0{,}0017 \cdot L_{bron,zon} = 0{,}0017 \cdot P_{bron,zon}$
$P_{bron,zon} = 3{,}85 \cdot 10^{26}$ W (Zie BINAS tabel 32C)
$P_{bron,PC} = 0{,}0017 \times 3{,}85 \cdot 10^{26}$
$P_{bron,PC} = 6{,}545 \cdot 10^{23}$ W

$P_{bron,PC} = \sigma \cdot A \cdot T^4$
$\sigma = 5{,}670373 \cdot 10^{-8}\ \mathrm{W\,m^{-2}\,K^{-4}}$
$6{,}545 \cdot 10^{23} = 5{,}670373 \cdot 10^{-8} \cdot A \cdot (3{,}0 \cdot 10^3)^4$
$A = 1{,}4249 \cdot 10^{17}\ \mathrm{m^2}$

$A = 4\pi R^2$
$1{,}4249 \cdot 10^{17} = 4\pi R^2$
$R = 1{,}0648 \cdot 10^8$ m
$R_{zon} = 6{,}963 \cdot 10^8$ m (Zie BINAS tabel 32C)
Dus de straal van Proxima Centauri is $\frac{1{,}0648 \cdot 10^8}{6{,}963 \cdot 10^8} = 0{,}1529 R_\odot$
Afgerond: $0{,}153 R_\odot$.

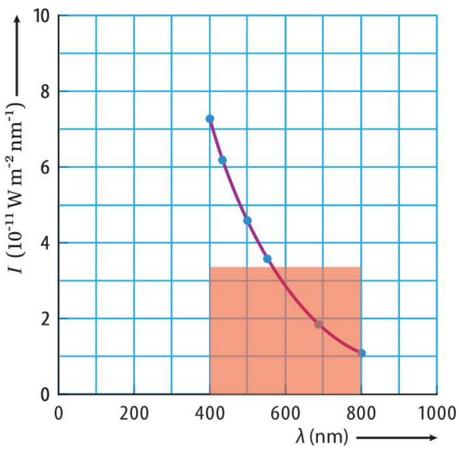
Opgave 3

a De temperatuur van Wega bereken je met de wet van Wien.

$$\lambda_{max} = \frac{k_W}{T}$$

$\lambda_{max} < 400$ nm $= 400 \cdot 10^{-9}$ m
$k_W = 2{,}897721 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m\,K^{-1}}$ (Zie BINAS tabel 7)
$400 \cdot 10^{-9} = \frac{2{,}897721 \cdot 10^{-3}}{T}$
$T = 7244$ K
Dus $T > 7000$ K.

b Het gevraagde percentage is de verhouding van de stralingsintensiteit in het zichtbare gebied I_{zicht} en de totale stralingsintensiteit I_{tot}.
De stralingsintensiteit in het zichtbare gebied volgt uit de oppervlakte onder de grafiek in het zichtbare gebied. Zie figuur 11.1.



Figuur 11.1

$I_{zicht} = (800 - 400) \times 3{,}3 \cdot 10^{-11} = 1{,}32 \cdot 10^{-8}\ \mathrm{W\,m^{-2}}$.

$$\text{percentage} = \frac{I_{zicht}}{I_{tot}} \cdot 100\%$$

$I_{tot} = 2{,}9 \cdot 10^{-8}\ \mathrm{W\,m^{-2}}$

$$\text{percentage} = \frac{1{,}32 \cdot 10^{-9}}{2{,}9 \cdot 10^{-8}} \times 100\%$$

percentage = 45,8%
Afgerond: 46%.

c De gevraagde verhouding bereken je met de verhouding van het stralingsvermogen van Wega en het stralingsvermogen van de zon.
Het stralingsvermogen van Wega bereken je met de formule voor de intensiteit.

$$I = \frac{P_{\text{wega}}}{4\pi r^2}$$

$I = 2{,}9 \cdot 10^{-8}\ \text{W m}^{-2}$
$r = 23{,}7 \cdot 10^{16}$ m (Zie BINAS tabel 32 B)

$$2{,}9 \cdot 10^{-8} = \frac{P_{\text{Wega}}}{4\pi \times (23{,}7 \cdot 10^{16})^2}$$

$P_{\text{Wega}} = 2{,}046 \cdot 10^{28}$ W
$P_{\text{zon}} = 3{,}85 \cdot 10^{26}$ W (Zie BINAS tabel 32C)

$$\frac{P_{\text{wega}}}{P_{\text{zon}}} = \frac{2{,}046 \cdot 10^{28}}{3{,}85 \cdot 10^{26}} = 53{,}16$$

Het totale uitgestraalde vermogen is 53 keer zo groot als dat van de zon.

Opgave 4

a Uit de planckkrommen blijkt dat bij 3000 K er veel rood licht aanwezig is en relatief weinig blauw. Niet alle kleuren zijn in gelijke mate aanwezig, daarom geeft de gloeilamp geen wit licht.

b De temperatuur van de halogeenlamp bereken je met de wet van Wien.

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{k_{\text{w}}}{T}$$

$\lambda_{max} = 906\ \text{nm} = 906 \cdot 10^{-9}$ m
$k_{\text{w}} = 2{,}8977721 \cdot 10^{-3}$ m K

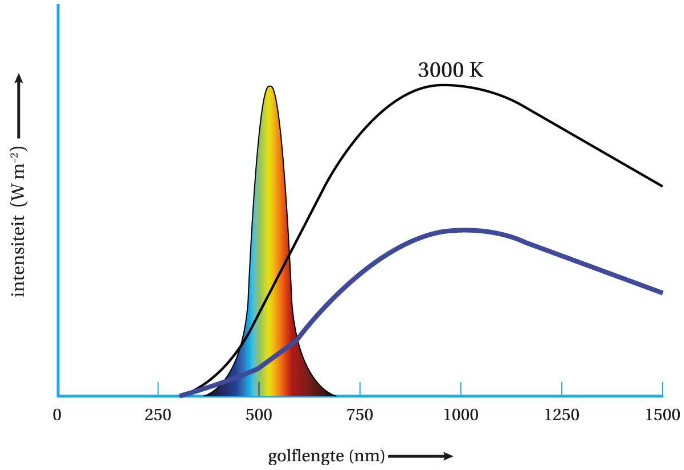
$$906 \cdot 10^{-9} = \frac{2{,}8977721 \cdot 10^{-3}}{T}$$

$T = 3198{,}4$ K
Het kwarts van de halogeenlamp moet dus tegen een hogere temperatuur bestand zijn.

c Uit figuur 11.7 in het basisboek blijkt dat het grootste gedeelte van uitgezonden spectrum niet behoort tot zichtbaar licht.

d De temperatuur van de gloeidraad in een halogeenlamp is groter dan die in een gloeilamp.
Dus de golflengte van het stralingsmaximum verschuift naar links richting het zichtbare gedeelte. Een groter gedeelte van het spectrum valt in het gebied van zichtbaar licht.
Het rendement van de halogeenlamp is dus hoger.

e Zie figuur 11.2.



Figuur 11.2

Toelichting
Volgens de wet van Stefan-Boltzmann is het uitgezonden vermogen recht evenredig met het uitzendend oppervlak. Wanneer het oppervlak twee keer zo klein is, dan is de intensiteit van de uitgezonden straling dus ook twee keer zo klein. Dit betekent dat de oppervlakte onder de planckkromme twee keer zo klein is. De golflengte van het stralingsmaximum blijft op dezelfde plaats omdat de temperatuur gelijk blijft. In figuur 11.2 hiervoor is de lijn voor een twee keer zo klein oppervlak geschetst: voor elke golflengte is het maximum gehalveerd.

Opgave 5

a De netto uitgezonden straling is gelijk aan het uitgezonden vermogen min het opgenomen vermogen. Voor beide geldt de wet van Stefan-Boltzmann. Het oppervlak is gelijk voor het uitzenden en opnemen van straling.

$$P_{\text{netto}} = P_{\text{uit}} - P_{\text{opgenomen}} = \sigma \cdot A \cdot T^4 - \sigma \cdot A \cdot T_{\text{omgeving}}^4 = \sigma \cdot A \cdot \left(T^4 - T_{\text{omgeving}}^4\right)$$

b De hoeveelheid energie die Douwe uitzendt, bereken je met het netto uitgezonden vermogen en de tijd.
Het netto uitgezonden vermogen bereken je met de gegeven formule.

$$P_{\text{netto}} = \sigma \cdot A \cdot \left(T^4 - T_{\text{omgeving}}^4\right)$$
$\sigma = 5{,}670373 \cdot 10^{-8}\ \text{W m}^{-2}\text{K}^{-4}$
$A = 1{,}8\ \text{m}^2$
$T = 32\ °\text{C} = 32 + 273 = 305\ \text{K}$
$T_{\text{omgeving}} = 20\ °\text{C} = 20 + 273 = 293\ \text{K}$
$$P_{\text{netto}} = 5{,}670373 \cdot 10^{-8} \times 1{,}8 \times (305^4 - 293^4) = 1{,}3101 \cdot 10^2\ \text{W}$$

$E = P \cdot t$
$t = 1\ \text{dag} = 24 \times 60 \times 60 = 8{,}64 \cdot 10^4\ \text{s}$
$E = 1{,}3101 \cdot 10^2 \times 8{,}64 \cdot 10^4 = 1{,}1319 \cdot 10^7\ \text{J}$
Afgerond: $1{,}1 \cdot 10^7$ J.

c Het uitgezonden vermogen zorgt ervoor dat het tentdoek (uiteindelijk) een hogere temperatuur heeft dan de buitenlucht. Dus T_{omgeving} is in een tent groter dan in de buitenlucht. Alle andere factoren zijn hetzelfde. Lisa heeft dus gelijk.

Opgave 6

a De effectieve temperatuur van een zonnevlek bereken je uit de effectieve temperatuur van de zon.

$T_{\text{vlek}} = T_{\text{effectief,zon}} - \Delta T$
$T_{\text{effectief}} = 5{,}78 \cdot 10^3$ K (Zie BINAS tabel 32B)
$\Delta T = 1250\ °\text{C} = 1250\ \text{K}$
$T_{\text{vlek}} = 5{,}78 \cdot 10^3 - 1250$
$T_{\text{vlek}} = 4530\ \text{K}$
Afgerond: $4{,}53 \cdot 10^3$ K.

b De kleur leid je af met behulp van de wet van Wien.

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{k_{\text{w}}}{T}$$
k_{w} is een constante.
T_{vlek} is kleiner dan T_{omgeving}.
$\lambda_{\text{max,vlek}}$ is groter dan $\lambda_{\text{max,omgeving}}$.
Hoe groter de golflengte des te roder is de kleur. Zie BINAS tabel 19A.
De kleur van het licht van de zonnevlek is dus roder dan het licht uit de directe omgeving.

c Het temperatuurverschil zorgt voor een kleine verschuiving van de planckkromme. Dus het kleurverschil is niet groot. Met het blote oog zie je al het zonlicht afkomstig van de zon als geheel. De zonnevlekken vormen maar een klein gedeelte van de zon. Daarom zijn de zonnevlekken niet met het blote oog zichtbaar.

d Dat de intensiteit van een zonnevlek ongeveer drie keer kleiner is dan die van een 'normaal' stukje oppervlak van de zon, bereken je met de verhouding van deze twee intensiteiten.

De verhouding van de twee intensiteiten bereken je met de wet van Stefan-Boltzmann.

$$\frac{I_{\text{vlek}}}{I_{\text{zon}}}=\frac{\frac{P_{\text{vlek}}}{4\pi r^2}}{\frac{P_{\text{zon}}}{4\pi r^2}}=\frac{P_{\text{vlek}}}{P_{\text{zon}}}=\frac{\sigma\cdot A\cdot T_{\text{vlek}}^4}{\sigma\cdot A\cdot T_{\text{zon}}^4}=\frac{\left(4,53\cdot 10^3\right)^4}{\left(5,78\cdot 10^3\right)^4}=0,3772$$

De intensiteit van een zonnevlek is dus $\frac{1}{0,377}=2,65$ keer kleiner dan van een normaal stukje van de zon. Dit is dus ongeveer drie keer kleiner.

Opgave 7

a Volgens de wet van Wien en de planckkrommen hoort de hoogste temperatuur bij ultravioletstraling en blauw licht. Dit wordt met name vanuit de linkerbovenhoek van de het sterrenstelsel uitgezonden en vanuit het centrum.

b De omtrek O van een cirkel is gelijk aan $2\pi r=\pi d$ met daarin de diameter uitgedrukt in meters.
$O = 2,4\cdot 10^3 \times 9,461\cdot 10^{15} = 7,1\cdot 10^{19}$ m.

c De effectieve temperatuur van de clusters nieuwe sterren bereken je met de wet van Wien. De golflengte van het stralingsmaximum volgt uit de kleur van de clusters.

Uit BINAS tabel 19A volgt dat ultravioletstraling begint bij een golflengte van 390 nm.

$$\lambda_{\text{max}}=\frac{k_{\text{w}}}{T}$$

$\lambda_{\text{max}} = 390$ nm $= 390\cdot 10^{-9}$ m
$k_{\text{w}} = 2,8977721\cdot 10^{-3}$ m K

$$390\cdot 10^{-9}=\frac{2,8977721\cdot 10^{-3}}{T}$$

$T = 7,430\cdot 10^3$ K
Afgerond: $7,43\cdot 10^3$ K.

11.2 Sterren classificeren

Opgave 8

a De dichtheid bereken je met de formule voor de dichtheid.
Het volume breken je met de formule voor het volume van een bol.

$V = \frac{4}{3}\pi \cdot r^3$
r = 12 km = 12·10³ m
$V = \frac{4}{3}\pi \cdot (12 \cdot 10^3)^3$
$V = 7{,}238 \cdot 10^{12}$ m³

$\rho = \frac{m}{V}$
$m = 2M_\odot = 2 \times 1{,}9884 \cdot 10^{30} = 3{,}9768 \cdot 10^{30}$ kg.
$\rho = \frac{3{,}9768 \cdot 10^{30}}{7{,}238 \cdot 10^{12}} = 5{,}494 \cdot 10^{17}\ \text{kg m}^{-3}$
Afgerond: $5{,}5 \cdot 10^{17}$ kg m⁻³.

b De minimale orde van grootte bepaal je met de wet van Wien.

$\lambda_{max} = \frac{k_w}{T}$
$k_w = 2{,}8977721 \cdot 10^{-3}$ m K
In BINAS tabel 19B staat dat röntgenstraling en gammastraling golflengten hebben in de orde van grootte van 10^{-9} tot 10^{-15} m.
De laagste temperatuur hoort bij de grootste golflengte, in dit geval 10^{-9} m.
$10^{-9} = \frac{2{,}8977721 \cdot 10^{-3}}{T}$
$T = 2{,}897721 \cdot 10^6$ K
De ordegrootte van de temperatuur is dus 10^6.

c De baansnelheid bereken je met de formule voor de baansnelheid.
De omlooptijd bereken je met de formule voor de frequentie.

$T = \frac{1}{f}$
f = 716 Hz
$T = \frac{1}{716}$
$T = 1{,}3966 \times 10^{-3}$ s

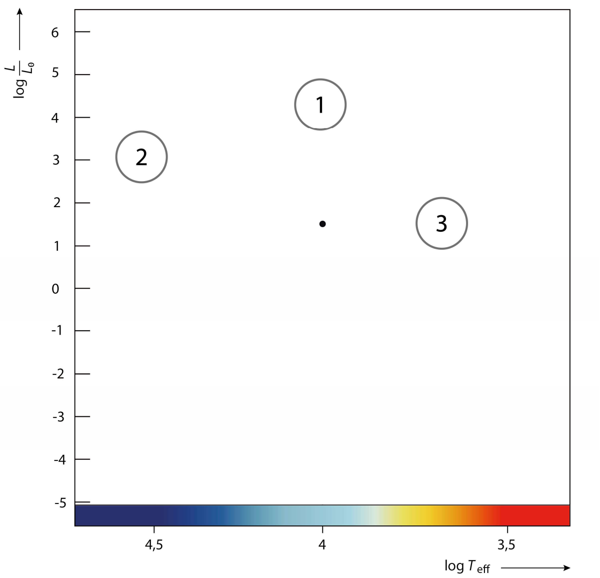
$v = \frac{2\pi r}{T}$
r = 16 km = 16·10³ m
$v = \frac{2\pi \times 16 \cdot 10^3}{1{,}3966 \cdot 10^{-3}}$
$v = 7{,}198 \cdot 10^7$ m s⁻¹
Afgerond: $7{,}2 \cdot 10^7$ m s⁻¹.

d Of een ster als neutronenster zal eindigen, volgt uit het aantal zonmassa's van de een ster.

$\frac{M_{\text{Betelgeuze}}}{M_{\text{zon}}} = \frac{4{,}0 \cdot 10^{31}}{1{,}9884 \cdot 10^{30}} = 20{,}1$
Een ster met een massa tot 20 zonnemassa's eindigt als neutronenster en boven de 20 zonnemassa's eindigt de ster als zwart gat. Omdat Betelgeuze met 20 zonnemassa's op de grens zit, is niet met zekerheid te voorspellen hoe deze ster gaat eindigen.

Opgave 9

a Zie onderstaande figuur 11.3.



Figuur 11.3

Toelichting

a1 Als T gelijk blijft, behoudt log$T$ dezelfde waarde.
Volgens BINAS tabel 33 neemt, bij dezelfde waarde van log$T$, de straal toe bij grotere waarde van $\frac{\log L}{\log L_{\odot}}$.

a2 Als T toeneemt dan verschuift de positie van de ster naar links.
Sterren met gelijke straal liggen op gestreepte schuine lijnen.

a3 Als de helderheid van een ster gelijk blijft dan verandert de waarde van $\frac{\log L}{\log L_{\odot}}$ niet.
Als een ster uitzet neemt de straal toe.

Opgave 10

a Als de zon verandert in een rode reus, dan verschuift de golflengte van het stralingsmaximum in de planckkromme richting de golflengte van het rood. Dus de golflengte neemt toe. Omdat in de wet van Wien k_W niet verandert, hoort bij een grotere golflengte een lagere temperatuur.

b Als de zon een rode reus is geworden, is volgens de theorie op pagina 21 de straal 250 keer zo groot geworden. De straal van de zon is $6{,}963 \cdot 10^8$ m. Zie BINAS tabel 32C.
$R = 250 \times 6{,}963 \cdot 10^8 = 1{,}741 \cdot 10^{11}$ m.
Volgens BINAS tabel 31 is de baanstraal van Mercurius $0{,}0579 \cdot 10^{12} = 0{,}579 \cdot 10^{11}$ m.
Venus heeft een baanstraal van $0{,}1082 \cdot 10^{12} = 1{,}082 \cdot 10^{11}$ m.
Beide baanstralen zijn kleiner dan de straal van de zon als rode reus. Dit betekent dat de planeetbanen binnen de zon zelf vallen en dus volledig zijn opgeslokt.

c Uit BINAS tabel 33 blijkt dat de orde van grootte van de straal van een witte dwerg gelijk is aan $0{,}01 R_{\odot}$. De straal van een witte dwerg is dus ongeveer $0{,}01 \times 6{,}963 \cdot 10^8 = 6{,}963 \cdot 10^6$ m.
De orde van grootte is dus 10^7.

Opgave 11

a Als de lichtsterkte $8 \cdot 10^4$ keer groter is dan die van de zon dan geldt $\log \frac{L}{L_{zon}} = \log 8 \cdot 10^4 = 4{,}9$.
Beide sterren liggen in het Hertzsprung-Russell-diagram dicht bij deze waarde.

b Als de effectieve temperatuur 1,8 keer zo groot is als die van de zon dan geldt:
$T_{eff} = 1{,}8 \times 5{,}78 \cdot 10^3 = 1{,}04 \cdot 10^4$ K
$\log T_{eff} = \log 1{,}04 \cdot 10^4 = 4{,}01$
Uit het Hertzsprung-Russell-diagram blijkt dat dit overeenkomt met Rigel en niet met Betelgeuze.

Opgave 12

a De verschillen tussen de grootste en kleinste waarden in de grafiek zijn erg groot. Wanneer je lineaire assen gebruikt, dan is het onmogelijk om zowel de grootste als de kleinste waarden goed zichtbaar te maken. Met een logaritmische schaal lukt dat wel.

b Langs de horizontale as staat de logaritme van de effectieve temperatuur. Volgens BINAS tabel 32B is de effectieve temperatuur van zon $5{,}78 \cdot 10^3$ K.
$\log(5{,}78 \cdot 10^3) = 3{,}76$
Langs de verticale as staat de logaritme van de relatieve lichtsterkte: $\log\left(\frac{L}{L_{\text{zon}}}\right)$
Met $L = L_{\text{zon}}$ ontstaat $\log\left(\frac{L_{\text{zon}}}{L_{\text{zon}}}\right) = \log 1 = 0$.
De coördinaten van de zon in het diagram zijn: (3,76; 0,0)

c Voor de lichtsterkte geldt $L = P_{\text{bron}} = \sigma \cdot A \cdot T^4$ met $A = 4\pi R^2$.
Volgens BINAS tabel 32B is de effectieve temperatuur van zon $5{,}78 \cdot 10^3$ K.
Omdat R van de ster gelijk is aan $R_{\odot}$ geldt dus voor de relatieve lichtsterkte van een ster:

$$\frac{L}{L_{\odot}} = \frac{4\pi R^2 \cdot \sigma \cdot T^4}{4\pi R_{\odot}^2 \cdot \sigma \cdot T_{\odot}^4} = \frac{T^4}{(5{,}78 \cdot 10^3)^4}$$

$$\log\frac{L}{L_{\odot}} = \log\frac{T^4}{(5{,}78 \cdot 10^3)^4}$$

$$\log\frac{L}{L_{\odot}} = \log T^4 - \log(5{,}78 \cdot 10^3)^4$$

$$\log\frac{L}{L_{\odot}} = 4\log T - 15$$

Opgave 13

a De kleur van Sirius bepaal je met behulp van de wet van Wien.

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{k_{\text{W}}}{T}$$

$k_{\text{W}} = 2{,}8977721 \cdot 10^{-3}$ m K
$T = 1{,}0 \cdot 10^4$ K

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{2{,}8977721 \cdot 10^{-3}}{1{,}0 \cdot 10^4}$$

$\lambda_{\text{max}} = 2{,}897 \cdot 10^{-7}$ m
Dit betekent dat de golflengte van het stralingsmaximum in het uv-gebied ligt. In dat geval zijn alle kleuren licht aanwezig, maar er is relatief veel blauw licht. Sirius heeft daarom een (blauw)witte kleur.

b Het Hertzsprung-Russell-diagram heeft een logaritmische schaal voor de straal: de afstanden tussen de streeplijnen is gelijk maar de straal neemt met een factor 10 toe.
De straal van Sirius ligt op 0,2 tussen de streeplijnen met bijschrift 1 $R_{\odot}$ en 10 $R_{\odot}$.
De straal van Sirius is dus $10^{0,2}$ $R_{\odot}$ = 1,58 $R_{\odot}$.
Voor Aldebaran vindt je $10^{1,8}$ $R_{\odot}$ = 63,0 $R_{\odot}$.
De verhouding is dus $\frac{1{,}58 \times R_{\text{zon}}}{63{,}0 \times R_{\text{zon}}} \approx 0{,}02507$.
De verhouding tussen de straal van Sirius en de straal van Aldebaran is afgerond 0,03.

c Aldebaran is een rode reus en Sirius zit in de hoofdreeks. Volgens figuur 11.11 op pagina 20 van het basisboek zit Aldebaran dus verder in zijn levenscyclus dan Sirius.

Opgave 14

a Uit BINAS tabel 33 volgt voor de effectieve temperatuur van Beltelgeuze $\log T_{\text{eff}} = 3{,}55$.
Dus $T_{\text{eff}} = 10^{3,55} = 3{,}6 \cdot 10^3$ K.
Uit de planckkrommen van BINAS tabel 22 blijkt dat bij een zwarte straler met een temperatuur van 3500 K de golflengte voor het stralingsmaximum ligt op de grens van rood en infrarood.

b De eenheid van de constante c leid je af met de eenheden van de andere grootheden.

$[P] = [c] \cdot \left[r^2\right] \cdot \left[T^4\right]$ bij

$$\text{W} = [c] \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^4$$

$$[c] = \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$$

De eenheid van c is dus W m^{-2} K^{-4}.

c Of Betelgeuze zal ontploffen als een supernova hangt af van zijn massa uitgedrukt in zonmassa's. Het aantal zonmassa's van een ster bereken je met de gegeven formule.
De verhouding $\frac{P_{\text{ster}}}{P_{\text{zon}}}$ is gelijk aan $\frac{L_{\text{ster}}}{L_{\text{zon}}}$ en bepaal je uit het Hertzsprung-Russell-diagram.

Voor Betelgeuze lees je (afgerond) af $\log\frac{L_{\text{Betelgeuze}}}{L_{\text{zon}}} = 4{,}9$.
Dus $\frac{P_{\text{Betelgeuze}}}{P_{\text{zon}}} = 10^{4{,}9} = 7{,}94 \cdot 10^4$

$$\frac{P_{\text{Betelgeuze}}}{P_{\text{zon}}} = \left(\frac{M_{\text{Betelgeuze}}}{M_{\text{zon}}}\right)^{\frac{7}{2}}$$

$$7{,}94 \cdot 10^4 = \left(\frac{M_{\text{Betelgeuze}}}{M_{\text{zon}}}\right)^{\frac{7}{2}}$$

$M_{\text{Betelgeuze}} = 25{,}1 M_{\text{zon}}$

De massa van Betelgeuze is veel groter dan 10 keer de massa van de zon. Dit betekent dat Betelgeuze zal ontploffen als een supernova.

d De verhouding van de stralingsintensiteiten bereken je met de stralingsintensiteit van Betelgeuze en de zonneconstante.
De stralingsintensiteit van Betelgeuze bereken je met het uitgezonden vermogen van Betelgeuze en de oppervlakte van Betelgeuze.
Het uitgezonden vermogen van Betelgeuze volgt uit het uitgezonden vermogen van de zon in 10 miljard jaar.
De oppervlakte van Betelgeuze bereken je met de straal van Betelgeuze.

$A_{\text{Betelgeuze}} = 4\pi R_{\text{Betelgeuze}}^2$
Afstand van de aarde tot Betelgeuze = r = 470·10^{16} m (Zie BINAS tabel 32B)
$A_{\text{Betelgeuze}} = 4\pi(470 \cdot 10^{16})^2$
$A_{\text{Betelgeuze}}$ = 2,7759·10^{38} m^2

$E_{\text{zon,10 miljard}} = P_{\text{zon}} \cdot t$
P_{zon} = 3,85·10^{26} (Zie BINAS tabel 32C
t = 10 miljard jaar = 10·10^6 × 3,15·10^7 = 3,15·10^{14} s
$E_{\text{zon,10 miljard}}$ = 3,85·10^{26} × 3,15·10^{14} = 1,212·10^{41} J

$I_{\text{Betelgeuze}} = \frac{P_{\text{Betelgeuze}}}{A_{\text{Betelgeuze}}}$
$P_{\text{Betelgeuze}} = E_{\text{zon,10 miljard}}$ in een seconde = 1,212·10^{41} W

$$I_{\text{Betelgeuze}} = \frac{1{,}212 \cdot 10^{41}}{2{,}7759 \cdot 10^{38}}$$

$I_{\text{Betelgeuze}}$ = 4,366·10^2 W m^{-2}

$\text{Aantal zonneconstanten} = \frac{I_{\text{Betelgeuze}}}{I_{\text{zon}}}$
$I_{\text{zon}} = 1{,}368 \cdot 10^3$ W m^{-2} (Zie BINAS tabel 32C)

$$\frac{I_{\text{Betelgeuze}}}{I_{\text{zon}}} = \frac{4{,}366 \cdot 10^2}{1{,}368 \cdot 10^3} = 0{,}3191$$

De ontvangen intensiteit zal dus afgerond 0,32 keer de zonneconstante zijn.

11.3 Spectraalanalyse

Opgave 15

a Uit BINAS tabel 21A (en uit figuur 11.20 op pagina 30 van het basisboek blijkt dat 13,0560 eV hoort bij energieniveau n = 5.
Omdat n = 1 de grondtoestand is, volgt dat dit de vierde aangeslagen toestand is.

b Het terugvallen van niveau n = 5 naar n = 1 kan in één keer of via tussen stappen:
5 – 1
5 – 2 – 1
5 – 3 – 1
5 – 3 – 2 – 1
5 – 4 – 1
5 – 4 – 2 – 1
5 – 4 – 3 – 2 – 1
5 – 4 – 3 – 1
Er zijn dus acht verschillende mogelijke manieren.

c Volgens BINAS tabel 19A horen bij zichtbaar licht de golflengten 390 t/m 760 nm.
Dit zijn de overgangen naar n = 2 (dit heet de Balmer-reeks).
Dat dus tijdens de overgangen 3-2, 4-2 en 5-2.

Opgave 16

a De concentratie van het element helium in de atmosfeer is zeer klein in vergelijking met de concentratie in de zon. De absorptielijnen van helium als gevolg van absorptie in de chromosfeer van de zon zijn duidelijk zichtbaar.
Laat je wit licht door de atmosfeer gaan, dan is de absorptie zo klein dat de absorptielijnen in eerste instantie niet opgemerkt werden.

b Bij een lage zonnestand legt het licht een grotere afstand af door de atmosfeer van de aarde. Er vindt dan meer absorptie plaats. De absorptielijnen die ontstaan door elementen in de atmosfeer van de aarde worden hierdoor duidelijker.

c Omdat helium maar zeer weinig voorkomt in de atmosfeer, heeft de lage zonnestand bijna geen effect op de absorptielijnen die bij helium horen. De absorptie door helium vindt bijna volledig plaats in de chromosfeer van de zon.

d Uit spectraal plaat 3 van BINAS tabel 20 blijkt dat het spectrum van waterstof geen lijnen heeft in de buurt van 570 nm. De lijn in het absorptiespectrum kan dus niet zijn veroorzaakt door een wolk koud waterstofgas.

Opgave 17

a Op vier plaatsen is de intensiteit kleiner dan je verwacht. Er wordt dus minder vermogen per oppervlakte-eenheid ontvangen door de detector.
Het gaat dus om een absorptiespectrum.

b Er vindt absorptie plaats bij de golflengten 410 nm; 435 nm; 485 nm en bij 655 nm.
Dit komt volgens BINAS tabel 20 overeen met het element waterstof.

c De effectieve temperatuur volgt uit het stralingsmaximum van de planckkromme.

De golflengte van het stralingsmaximum is kleiner dan 400 nm.
Volgens BINAS tabel 22 is de temperatuur dan groter dan 6500 K.
De effectieve temperatuur van de zon is volgens BINAS tabel 32B $5{,}78 \cdot 10^3$ K.
Dus de effectieve temperatuur van de ster is groter dan die van de zon.

Opgave 18

a De zwarte lijnen in een absorptiespectrum ontstaan wanneer licht door een stof gaat en gedeeltelijk wordt geabsorbeerd. De atomen in de waterpluim, waterstof en zuurstof, zorgen voor de lijnen in het absorptiespectrum.

b Zie tabel 11.1.

λ (nm)	486	589	656	686
hoort bij waterstof	x		x	

Tabel 11.1

Toelichting:
Spectraalplaat 3 van BINAS tabel 20 geeft het emissiespectrum van waterstof. De lijnen in het absorptiespectrum moeten overeenkomen met de lijnen in dit emissiespectrum als ze bij waterstof horen. Dit is wel het geval voor 486 en 656 nm, maar niet voor 589 en 686 nm.

Opgave 19

a Tijdens dit proces wordt kinetische energie van de elektronen omgezet in fotonenergie.
Er geldt dus:
$E_{k,elektron} = E_f$
$\frac{1}{2} m_e \cdot v_e^2 = E_f$
Op grotere hoogte wordt rood licht uitgezonden en dichter bij de aarde groen licht.
Uit het spectrum voor zichtbaar licht in BINAS tabel 19A blijkt dat de fotonenergie van groen licht groter is dan die van rood licht.
Voor het produceren van groen licht moet de kinetische energie van de elektronen dus groter zijn. Omdat de massa constant is, is de snelheid van de elektronen groter bij uitzenden van groen licht dan bij uitzenden van rood licht.
Dichter bij het aardoppervlak is de snelheid van de elektronen dus groter.

b De minimale snelheid van de elektronen bereken je met de formule voor de kinetische energie.
De kinetische energie bereken je met de formule voor de fotonenergie.

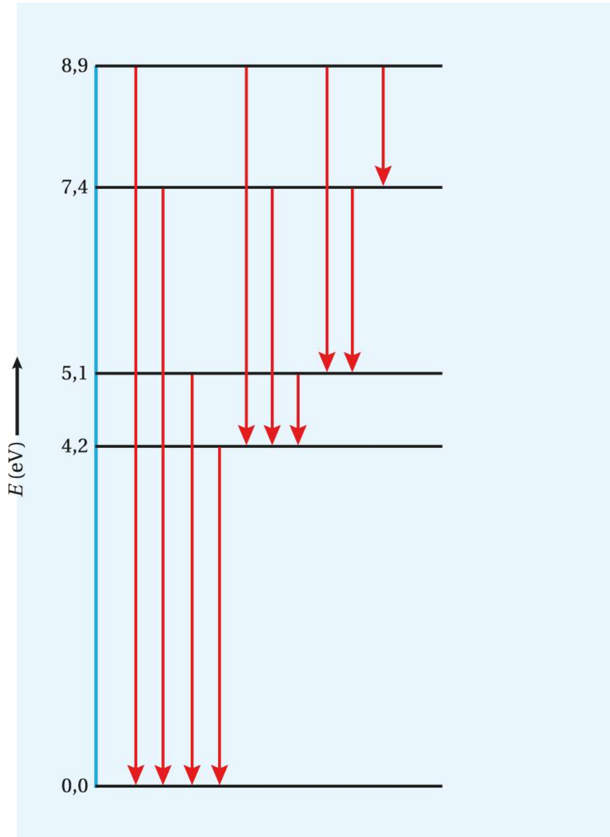
$E_f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$
$h = 6{,}6206957 \cdot 10^{-34}$ J s
$c = 2{,}99792458 \cdot 10^{8}$ m s^{-1}
$\lambda = 558$ nm $= 558 \cdot 10^{-9}$ m
$E_f = \frac{6{,}62606957 \cdot 10^{-34} \times 2{,}99792458 \cdot 10^{8}}{558 \cdot 10^{-9}}$
$E_f = 3{,}5599 \cdot 10^{-19}$ J

$\frac{1}{2} m_e \cdot v_e^2 = E_f$
$m_e = 9{,}10938291 \cdot 10^{-31}$ kg
$\frac{1}{2} \times 9{,}10938291 \cdot 10^{-31} \cdot v_e^2 = 3{,}5599 \cdot 10^{-19}$
$v_e = 8{,}840 \cdot 10^{5}$ m s^{-1}
Afgerond: $8{,}84 \cdot 10^{5}$ m s^{-1}.

Opgave 20

a Uit de formule $E_f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$ volgt dat een grote golflengte hoort bij een kleine fotonenergie omdat de waarden van *h* en *c* constant zijn.
De fotonen met de kleinste energie worden volgens figuur 11.25 van het basisboek uitgezonden bij de overgang van 5,1 naar 4,2 eV.

b Terugvallen van een bepaalde energie naar de grondtoestand kan in één keer of in meerdere stappen. In figuur 11.4 hieronder zijn alle mogelijke overgangen met pijlen aangegeven. Er zijn dus 10 verschillende overgangen mogelijk.



Figuur 11.4

c De ionisatie-energie van $6{,}7 \cdot 10^{-19}$ J komt overeen met $\frac{6{,}7 \cdot 10^{-19}}{1{,}6022 \cdot 10^{-19}} = 4{,}2\ \text{eV}$.
Dit betekent dat de ionisatie-energie volgens figuur 11.25 in het basisboek overeenkomt met de overgang van het eerste aangeslagen niveau naar de grondtoestand.
Dus het energieniveauschema hoort niet bij dit atoom.

11.4 Bewegende sterren

Opgave 21

a De diameter van de telescoop bepaalt de hoeveelheid licht die binnenvalt. De intensiteit van licht van sterren die op grote afstand staan, is zwakker dan licht van sterren die dichtbij staan. Hoe groter de afstand, des groter moet de diameter van een telescoop zijn om voldoende licht op te vangen om de ster waar te nemen.

b Hoe verder de ster weg staat, des te groter de snelheid. Bij het meten van een grotere snelheid is de roodverschuiving groter en dus de relatieve meetfout kleiner. De meting is dan nauwkeuriger.

c De rood- of blauwverschuiving is een maat voor de radiale snelheid. Dit is de snelheid in een rechte lijn naar de aarde toe. De zijwaartse snelheid is niet te meten met deze techniek. De totale snelheid van de ster is dus altijd groter dan de snelheid die uit de meting volgt.

d Met roodverschuiving wordt in het algemeen bedoeld dat de golflengte verschuift naar langere golflengten.

Opgave 22

a Het groepje zonnevlekken A beweegt naar je toe. Het spectrum van zonnevlekken A vertoont dus blauwverschuiving. Dus spectrum 1 behoort bij het groepje zonnevlekken A.

b De radiale snelheid bereken je met de formule voor de dopplerverschuiving.
De spectraallijn zonder verschuiving is het gemiddelde van de gegeven golflengten.
Het verschil in golflengte is de helft van het verschil tussen de golflengten bij A en C.

$\Delta\lambda = 0{,}5 \times (527{,}0430 - 527{,}0350) = 0{,}0040 \text{ nm} = 4{,}0 \cdot 10^{-12}$ m
$\lambda = 0{,}5 \times (527{,}0430 + 527{,}0350) = 527{,}0390 \text{ nm} = 5{,}270390 \cdot 10^{-7}$ m

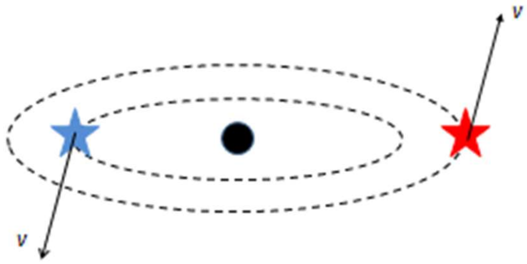
$v = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot c$
$c = 2{,}9979 \cdot 10^{8}$ m s^{-1}
$v = \frac{4{,}0 \cdot 10^{-12}}{5{,}270390 \cdot 10^{-7}} \times 2{,}9979 \cdot 10^{8}$
$v = 2{,}275 \cdot 10^{3}$ m s^{-1}
Afgerond: $v = 2{,}3$ km s^{-1}.

c Het aantal dagen volgt uit de omlooptijd.
De omlooptijd bereken je met de formule voor constante baansnelheid.

$v = \frac{2\pi r}{T}$
$v = 2{,}3$ km s^{-1} $= 2{,}3 \cdot 10^{3}$ m s^{-1}
$r = 6{,}963 \cdot 10^{8}$ m (Zie BINAS tabel 32C)
$2{,}3 \cdot 10^{3} = \frac{2\pi \times 6{,}963 \cdot 10^{8}}{T}$
$T = 1{,}902 \cdot 10^{6}$ s
Het aantal dagen is dus $\frac{1{,}902 \cdot 10^{6}}{24 \times 3600} = 22{,}0$
Afgerond: 22 dagen.

Opgave 23

a Het sterrenstelsel waarin de twee sterren zich bevinden, beweegt met een bepaalde snelheid naar de aarde toe of van de aarde af. Je corrigeert eerst de rood- of blauwverschuiving van de individuele sterren voor de verschuiving als gevolg van de beweging van het gehele sterrenstelsel. Vervolgens kun je de snelheid bepalen waarmee ze binnen het sterrenstelsel bewegen. Als de ene ster dan naar je toe en de andere van je af beweegt dan kan dit wijzen op een beweging rond een zwart gat. Zie figuur 11.5 hierna.



Figuur 11.5

b Voor het uitvoeren van een cirkelbeweging is een middelpuntzoekende kracht nodig. De middelpuntzoekende kracht wordt geleverd door de gravitatiekracht. Volgens de derde wet van Newton heeft elke kracht een tegengestelde en even grote reactiekracht. Een exoplaneet oefent dus een even grote gravitatiekracht op de ster uit als de gravitatiekracht waarmee de ster de planeet in zijn baan houdt. Dit is de middelpuntzoekende kracht op de ster en leidt tot een cirkelvormige beweging van de ster.

c Als de ster een cirkelbeweging uitvoert dan beweegt de ster afwisselend naar de aarde toe en naar de aarde af. Omdat de ster een bron van licht is zal er dopplereffect optreden in het uitgezonden licht. Zie ook figuur 11.5 hierboven.

d Als het licht van de ster door de dampkring van de exoplaneet gaat, absorberen elementen die aanwezig zijn in de dampkring bepaalde golflengten van het licht. Hierdoor ontstaan er extra zwarte lijnen in het absorptiespectrum, die wijzen op de aanwezigheid van deze elementen in de dampkring.

Opgave 24

a Het aantal fotonen dat per seconde een oppervlakte van 1,0 m^2 bereikt, bereken je met het vermogen per m^2 tussen 1 en 2 mm en de fotonenergie.
Het vermogen per m^2 tussen 1 en 2 mm volgt uit de oppervlakte onder de grafiek tussen 1 en 2 mm.
De fotonenergie bereken je met de formule voor de fotonenergie en de gemiddelde golflengte.

De gemiddelde golflengte tussen 1 en 2 mm is 1,5 mm = $1{,}5 \cdot 10^{-3}$ m.
$E_f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$ met $h = 6{,}6206957 \cdot 10^{-34}$ J s en $c = 2{,}99792458 \cdot 10^{8}$ m s^{-1}
$E_f = \frac{6{,}6 \cdot 10^{-34} \times 3{,}0 \cdot 10^{8}}{1{,}5 \cdot 10^{-3}}$ Het is een schatting: je mag dus afgeronde waarden gebruiken.
$E_f = 1{,}32 \cdot 10^{-22}$ J

Het gemiddeld vermogen per m^2 tussen 1 en 2 mm is $14 \cdot 10^{8}$ W.
Dus het vermogen over een breedte van 1 mm is $10 \times 14 \cdot 10^{8} = 1{,}4 \cdot 10^{6}$ W.

Aantal fotonen per seconde is $\frac{1{,}4 \cdot 10^{6}}{1{,}32 \cdot 10^{-22}} = 1{,}0 \cdot 10^{16}$.
Dus schatting c is de beste.

b De temperatuur bereken je met de wet van Wien.

$\lambda_{max} = \frac{k_w}{T}$
$k_w = 2{,}8977721 \cdot 10^{-3}$ m K
$\lambda_{max} = 1{,}1$ mm = $1{,}1 \cdot 10^{-3}$ m
$1{,}1 \cdot 10^{-3} = \frac{2{,}8977721 \cdot 10^{-3}}{T}$
$T = 2{,}63$ K
Afgerond: 2,6 K.

c De dopplerformule voor de snelheid van de bron luidt $v = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot c$.
Bij een temperatuur van 3000 K horen golflengten die (ongeveer) 1000 maal kleiner zijn dan de waargenomen golflengten.
In de formule levert dat voor de snelheid van de bron $v = 1000c$.

Opgave 25

a 1 pc = $3{,}08572 \cdot 10^{16}$ m (Zie BINAS tabel 5)
1 Mpc = 10^6 x $3{,}08572 \cdot 10^{16}$ = $3{,}08572 \cdot 10^{22}$ m
1 lichtjaar = $9{,}461 \cdot 10^{15}$ m (Zie BINAS tabel 5)
Hieruit volgt:

$$1\ \text{Mpc} = \frac{3{,}08572 \cdot 10^{22}}{9{,}461 \cdot 10^{15}} = 3{,}261 \cdot 10^{6}\ \text{lichtjaar}$$

Dit is afgerond 3,26 miljoen lichtjaar.

b De Hubbleconstante volgt uit de richtingscoëfficiënt van de (*v*, *d*)-grafiek in figuur 11.35 van het basisboek.

$$H_0 = \text{richtingscoëfficiënt} = \frac{\Delta v}{\Delta d}$$

De grafiek gaat door de oorsprong en het punt (2,5 Mpc; 1150 km s^{-1}).
2,5 Mpc = $2{,}5 \times 3{,}26 \cdot 10^6 \times 9{,}461 \cdot 10^{15}$ m = $7{,}7107 \cdot 10^{22}$ m
1150 km s^{-1}= $1150 \cdot 10^3$ m s^{-1}

$$H_0 = \frac{1150 \cdot 10^3 - 0{,}0}{7{,}711 \cdot 10^{22} - 0{,}0} = 1{,}491 \cdot 10^{-17}\ \text{s}^{-1}$$

Afgerond: $H_0 = 1{,}5 \cdot 10^{-17}$ s^{-1}.

c De grafiek in figuur 11.35 laat zien dat de snelheid waarmee een ster van de aarde af beweegt, recht evenredig is met de afstand van de ster tot de aarde. De Hubbleconstante volgt uit de richtingscoëfficiënt van de grafiek. Voor ieder sterrenstelsel, op welke afstand van de aarde ook, is de waarde van H_0 en dus $\frac{1}{H_0}$ hetzelfde. Hoe groter de leeftijd van het heelal, des te groter is de afstand van de ster tot de aarde en des te groter is de verwijderingssnelheid. Dit betekent dat $\frac{1}{H_0}$ overeenkomt met de leeftijd van het heelal.

d $$t_\text{H} = \frac{1}{H_0}$$

$$H_0 = 72\ \text{km s}^{-1}\text{Mpc}^{-1} = \frac{72 \cdot 10^3}{10^6 \times 3{,}08572 \cdot 10^{16}} = 2{,}333 \cdot 10^{-18}\ \text{s}^{-1}$$

$$t_\text{H} = \frac{1}{2{,}333 \cdot 10^{-18}}$$

$t_\text{H} = 4{,}2857 \cdot 10^{17}$ s

$$t_H = \frac{4{,}2857 \cdot 10^{17}}{3{,}15 \cdot 10^{7}} = 1{,}36 \cdot 10^{10}\ \text{jaar}$$

Afgerond: t_H = 14 miljard jaar.

Opgave 26

a De radiale snelheid bereken je met de formule voor de dopplerverschuiving.

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

$\Delta\lambda$ = 662 – 656 = 6 nm = $6 \cdot 10^{-9}$ m
$c = 2{,}9979 \cdot 10^8$ m s^{-1}
λ = 656 nm = $656 \cdot 10^{-9}$ m

$$v = \frac{6 \cdot 10^{-9}}{656 \cdot 10^{-9}} \times 2{,}9979 \cdot 10^{8}$$

$v = 2{,}74 \cdot 10^6$ m s^{-1}
Afgerond: $v = 3 \cdot 10^6$ m s^{-1}.

b Bij roodverschuiving geldt: $\lambda_\text{waargenomen} > \lambda_\text{uitgezonden}$ dan is $\Delta\lambda > 0$. Er volgt dan een positieve waarde voor *z*.
Bij blauwverschuiving geldt: $\lambda_\text{waargenomen} < \lambda_\text{uitgezonden}$ en dus $\Delta\lambda < 0$. Er volgt dan een negatieve waarde voor *z*.

c De radiale snelheid bereken je met de formule voor de dopplerverschuiving.
Hierin is de relatieve verandering van de golflengte gelijk aan *z*.

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

$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = z = -0{,}00042$

c = 2,9979·10^8 m s^{-1}

$v = -0{,}00042 \times 2{,}9979 \cdot 10^8$

v = −1,259·10^2 m s^{-1}

Afgerond: v = 126 m s^{-1}.

d Uit de formule $v = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot c$ volgt dat de verhouding tussen de snelheid en de lichtsnelheid gelijk is aan de factor z = 0,00042.

Het licht doet er 2,5 miljoen jaar over om de afstand af te leggen; het sterrenstelsel doet hier dus een factor $\frac{1}{z}$ keer zo lang over.

$t = 2{,}5 \cdot 10^6 \times \frac{1}{0{,}00042} = 5{,}952 \cdot 10^9$ jaar

De Andromedanevel bereikt de aarde over afgerond 6,0·10^9 miljard jaar.

e $v = c \cdot \frac{(z+1)^2-1}{(z+1)^2+1}$

c = 2,9979·10^8 m s^{-1}

z = 6,4

$v = 2{,}9979 \cdot 10^8 \cdot \frac{(6{,}4+1)^2-1}{(6{,}4+1)^2+1}$

v = 2,890·10^8 m s^{-1}

Afgerond: 2,9·10^8 m s^{-1}.

f $v = c \cdot \frac{(z+1)^2-1}{(z+1)^2+1}$

$$v = c \cdot \frac{\left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda}+1\right)^2-1}{\left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda}+1\right)^2+1}$$

$$v = c \cdot \frac{\left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right)^2 + 2\frac{\Delta\lambda}{\lambda} + 1 - 1}{\left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right)^2 + 2\frac{\Delta\lambda}{\lambda} + 1 + 1}$$

$$v = c \cdot \frac{\left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right)^2 + 2\frac{\Delta\lambda}{\lambda}}{\left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right)^2 + 2\frac{\Delta\lambda}{\lambda} + 2}$$

Als als v<<c dan is $\Delta\lambda << \lambda$.

Dat betekent dat $\left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right)^2$ verwaarloosbaar is in vergelijking met $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ en dat $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ verwaarloosbaar is dat ten opzichte van 2

$v = c \cdot \frac{2\frac{\Delta\lambda}{\lambda}}{2}$

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

11.5 Afsluiting

Opgave 27

a Het licht dat van verre sterren komt is erg zwak. Een grotere primaire spiegel maakt het mogelijk om lichtzwakke voorwerpen waar te nemen. Hoe groter de spiegel is, des te meer licht vangt deze op.

b De secundaire spiegel houdt een gedeelte van het licht van de sterren tegen. Deze spiegel moet dus relatief klein zijn.

c De diameter bereken je met de gegeven formule.

$$\alpha = 70 \cdot \frac{\lambda}{d}$$

α = 1,54·10^-5^ graad

$\alpha = 1{,}54 \cdot 10^{-5}$ graad

λ = 550 nm = $550 \cdot 10^{-9}$ m

$$1{,}54 \cdot 10^{-5} = 70 \times \frac{550 \cdot 10^{-9}}{d}$$

d = 2,50 m

Afgerond: d = 2,5 m.

d Figuur 11.37 in het basisboek heeft zowel horizontaal als verticaal een logaritmische schaal.
De lichtsterkte van de variabele ster met de periode 31,4 is gelijk aan $10^{4,2} \times L_{\odot}$.
De lichtsterkte van deze variabele ster is gelijk $10^{4,2} \times 3{,}85 \cdot 10^{26} = 6{,}1 \cdot 10^{30}$ W.
Afgerond: $6 \cdot 10^{30}$ W.

e De lichtsterkte is het uitgezonden vermogen van de ster: P_{bron}.
Meet je de intensiteit van het licht op aarde dan weet je $\frac{P_{bron}}{4\pi r^2}$ en daarmee is de afstand r tot de ster te berekenen.

f De snelheid bereken je met de formule voor dopplerverschuiving.

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

$\Delta\lambda$ = 656,28 – 656,21 = 0,07 nm = $7 \cdot 10^{-11}$ m

$c = 2{,}9979 \cdot 10^{8}$ m s^{-1}

λ = 656,28 nm = $656{,}28 \cdot 10^{-9}$ m

$$v = \frac{7 \cdot 10^{-11}}{656{,}28 \cdot 10^{-9}} \cdot 2{,}9979 \cdot 10^{8}$$

$v = 3{,}19 \cdot 10^{4}$ m s^{-1}

Afgerond: $3 \cdot 10^{4}$ m s^{-1}.

Opgave 28

a De classificatie van een ster bepaal je met behulp van BINAS tabel 33.
De kleur bepaal je met de wet van Wien.

$$\lambda_{max} = \frac{k_W}{T}$$

$k_W = 2{,}8977721 \cdot 10^{-3}$ m K

$T = 3{,}5 \cdot 10^{3}$ K

$$\lambda_{max} = \frac{2{,}8977721 \cdot 10^{-3}}{3{,}5 \cdot 10^{3}}$$

$\lambda_{max} = 8{,}279 \cdot 10^{-7}$ m

Afgerond: λ_{max} = 828 nm.

De golflengte van het stralingsmaximum ligt in het infrarood. Dus rode kleuren komen voor in het spectrum van van Gliese 581.

De lichtsterkte is 0,013 $L_{\odot}$. Dus $\log \frac{L_{ster}}{L_{zon}} = \log 0{,}013 = -1{,}88$.

De temperatuur is $3{,}5 \cdot 10^{3}$. Dus log T_{eff} = log $3{,}5 \cdot 10^{3}$ = 3,54.

Volgens BINAS tabel 33 is Gliese 581 dan geen (rode) reus maar een (rode) dwerg.

b Uit figuur 11.38 van het basisboek blijkt dat de tweede, derde en vierde planeet van de zon binnen de leefbare zone vallen. Dit zijn Venus, Aarde en Mars.

c De temperatuur op een planeet bepaalt of de planeet binnen de leefbare zone van een ster valt. De lichtsterkte van Gliese 581 is kleiner is dan die van de zon. Een planeet rond Gliese 581 ontvangt een kleiner vermogen aan straling dan een planeet rond de zon die zich op die afstand bevindt. Om een vergelijkbare hoeveelheid straling te ontvangen, bevindt een planeet zich dichter bij Gliese 581 dan een planeet bij de zon.

d Het aantal zonneconstanten bereken je met de stralingsintensiteit van Gliese 581c en de zonneconstante.

$$I_{\text{Gliese 581 c}} = \frac{P_{\text{Gliese 581 c}}}{4\pi r^2_{\text{Gliese 581 c}}}$$

$P_{\text{Gliese 581c}} = 0{,}013 \cdot P_{\text{zon}}$
$P_{\text{Gliese 581c}} = 0{,}013 \times 3{,}85 \cdot 10^{26} = 5{,}005 \cdot 10^{24}$ W

Uit figuur 11.38 lees je af dat de afstand van Gliese 581 c tot zijn ster gelijk is aan $r = 0{,}08$ AE.
$r_{\text{Gliese 581c}} = 0{,}08$ AE $= 0{,}08 \times 1{,}496 \cdot 10^{11} = 1{,}196 \cdot 10^{10}$ m

$$I_{\text{Gliese 581 c}} = \frac{5{,}005 \cdot 10^{24}}{4\pi \times \left(1{,}196 \cdot 10^{10}\right)^2}$$

$I_{\text{Gliese 581c}} = 2{,}78 \cdot 10^3$ W m^{-2}

Dit komt over een met $\frac{I_{\text{Gliese 581 c}}}{I_{\text{zon}}} = \frac{2{,}78 \cdot 10^3}{1{,}368 \cdot 10^3} = 2{,}03$

De ontvangen straling op Gliese 581 c is dus gelijk aan 2 zonneconstanten.

e Omdat Gliese 581 c veel meer stralingsenergie ontvangt dan de aarde is de temperatuur hoger dan op aarde. Het water is dan in de vorm van waterdamp aanwezig.

f Het jaar waarin een antwoordsignaal wordt ontvangen volgt uit de tijd die het radiosignaal nodig heeft om de afstand naar Gliese 581 c twee keer afleggen.
De tijd bereken je met de formule voor de snelheid.
$s = v \cdot t$
$s = 2 \times 1{,}92 \cdot 10^{17}$ m $= 3{,}84 \cdot 10^{17}$ m
$v = c = 2{,}9979 \cdot 10^8$ m s^{-1}
$3{,}84 \cdot 10^{17} = 2{,}9979 \cdot 10^8 \cdot t$
$t = 1{,}28 \cdot 10^9$ s = 40,6 jaar
Het signaal is in 2008 verzonden, dus in 2049 kan er op zijn vroegst een signaal terug komen.