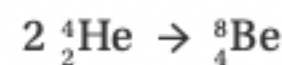


- 27 De helderste ster in het sterrenbeeld Cygnus (Zwaan) staat op een afstand van 1412 lichtjaar van de aarde.
- De intensiteit van de straling van deze ster op aarde is  $9,9 \cdot 10^{-9} \text{ W m}^{-2}$ .
- Voor de golflengte waarbij de meeste straling wordt uitgezonden geldt  $\lambda_{\text{max}} = 333 \text{ nm}$ .
- De spectraallijn van waterstof, met een energie van 1,14 eV, vertoont een roodverschuiving van 0,0178 nm.
- a Leg uit tot welk gebied van het elektromagnetische spectrum straling met een golflengte van 305 nm behoort.
- b Toon aan dat de temperatuur van de ster  $8,7 \cdot 10^3 \text{ K}$  is.
- c Bereken de snelheid waarmee de ster zich van de aarde verwijdt.
- Sterren waarvan de orde van grootte van de straal honderd keer groter is dan die van de straal van de aarde noem je superreuzen. Dat een ster een superreus is, kun je op twee manieren afleiden.
- De eerste manier is door de plaats van de ster in het HR-diagram in BINAS tabel 33 te bepalen.
- d Laat dat zien.
- De tweede manier is door de straal van de ster te berekenen en te vergelijken met de straal van de aarde.
- e Toon dat aan. Voer daartoe eerst de volgende opdrachten uit:
- Toon aan dat het uitgestraalde vermogen van de ster  $2,22 \cdot 10^{31} \text{ W}$  is.
  - Toon aan dat de straal van deze ster  $7,4 \cdot 10^{10} \text{ m}$  is.

Nadat in een superreus alle waterstof is omgezet in helium, stijgt de temperatuur door gravitatiecontractie. De ster krimpt door zijn eigen zwaartekracht waardoor veel warmte vrijkomt. De temperatuur wordt zo hoog dat er kernfusies mogelijk zijn waarbij zwaardere kernen ontstaan.

De volgende twee fusiereacties kunnen plaatsvinden.



In BINAS tabel 25 zie je aan de kolom met halveringstijden dat  $\text{ } ^8_4\text{Be}$  zeer instabiel is en  $\text{ } ^{12}_6\text{C}$  zeer stabiel.

- f Geef hiervoor een verklaring met andere gegevens in BINAS tabel 25.

## 12.5 Afsluiting

### Opgave 27

- a De soort straling bepaal je met BINAS tabel 19B.

$$333 \text{ nm} = 333 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 3,33 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

Volgens BINAS tabel 19B behoort de straling tot het gebied van (nabij) ultraviolet.

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

$$\lambda_{\text{max}} \cdot T = k_W$$

$$\lambda_{\text{max}} = 333 \text{ nm} = 333 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

$$k_W = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ m K} \quad (\text{zie BINAS tabel 7})$$

$$\text{Invullen levert: } 333 \cdot 10^{-9} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3}}{T}$$

$$T = 8,703 \cdot 10^3 \text{ K}$$

$$\text{Afgerond: } T = 8,7 \cdot 10^3 \text{ K.}$$

- c De snelheid bereken je met de formule voor de dopplerverschuiving. De golfengte bereken je met de formule voor de energie van een foton.

$$E_f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

$$E = 1,14 \text{ eV} = 1,14 \times 1,602 \cdot 10^{-19} = 1,826 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J s} \quad (\text{zie BINAS tabel 7})$$

$$c = 2,9979 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1} \quad (\text{zie BINAS tabel 7})$$

$$\text{Invullen levert: } 1,826 \cdot 10^{-19} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \times 2,9979 \cdot 10^8}{\lambda}$$

$$\lambda = 1,0878 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

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

$$\Delta \lambda = 0,0178 \text{ nm} = 0,0178 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } v = \frac{0,0178 \cdot 10^{-9}}{1,0878 \cdot 10^{-6}} \times 2,9979 \cdot 10^8 = 4,906 \cdot 10^4 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Afgerond: } v = 4,91 \cdot 10^4 \text{ m s}^{-1}.$$

- d Dat de ster een superreus is volgt uit de plaats van de ster in het HR-diagram. De plaats in het HR-diagram bepaal je met de temperatuur en de verhouding van het vermogen van de ster en het vermogen van de aarde.

y-coördinaat

$$P_{\text{aarde}} = 3,85 \cdot 10^{26} \text{ W}$$

$$P_{\text{ster}} = 2,22 \cdot 10^{31} \text{ W}$$

$$\log\left(\frac{P_{\text{ster}}}{P_{\text{aarde}}}\right) = \frac{2,22 \cdot 10^{31}}{3,85 \cdot 10^{26}} = 4,76 \quad \text{Afgerond: } 3,9.$$

Afgerond: 4,8.

Het punt (3,9; 4,8) ligt ongeveer op de plaats van Deneb in het HR-diagram in BINAS tabel 33. Dit is het gebeid van de superreuzen.

- e Dat de ster een superreus is, volgt uit de verhouding van de straal van de ster en de straal van de aarde.
- De straal van de ster bereken je met de oppervlakte van de ster.
  - De oppervlakte van de ster bereken je met de wet van Stefan-Boltzmann.
  - Het uitgestraalde vermogen bereken je met de formule voor de intensiteit volgens de kwadratenwet.

$$I = \frac{P_{\text{bron}}}{4\pi R^2}$$

$$I = 9,9 \cdot 10^{-9} \text{ W m}^{-2}$$

$$R = 1412 \text{ lichtjaar} = 1412 \times 9,461 \cdot 10^{15} = 1,336 \cdot 10^{19} \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } 9,9 \cdot 10^{-9} = \frac{P_{\text{bron}}}{4\pi (1,336 \cdot 10^{19})^2}$$

$$P_{\text{bron}} = 2,22 \cdot 10^{31} \text{ W}$$

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

$$\sigma = 5,670 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4} \quad (\text{zie BINAS tabel 7})$$

$$T = 8,7 \cdot 10^3 \text{ K}$$

$$\text{Invullen levert: } 2,22 \cdot 10^{31} = 5,670 \cdot 10^{-8} \cdot A \cdot (8,7 \cdot 10^3)^4$$

$$A = 6,834 \cdot 10^{22} \text{ m}^2$$

$$A_{\text{ster}} = 4\pi R_{\text{ster}}^2$$

$$\text{Invullen levert: } 6,834 \cdot 10^{22} = 4\pi R_{\text{ster}}^2$$

$$R_{\text{ster}} = 7,375 \cdot 10^{10} \text{ m}$$

$$\text{Afgerond: } R_{\text{ster}} = 7,4 \cdot 10^{10} \text{ m.}$$

De straal van de zon is  $6,963 \cdot 10^8 \text{ m}$ .

$$\frac{R_{\text{ster}}}{R_{\text{aarde}}} = \frac{7,4 \cdot 10^{10}}{6,963 \cdot 10^8} = 106$$

Volgens BINAS tabel 33 zijn dergelijke sterren superreuzen.

- f Er zijn alleen maar kernen betrokken bij deze kernfusiereacties. Dus je mag de atoommassa's in BINAS tabel 25 gebruiken.

$$m_{\text{He-4}} = 4,002603 \text{ u}$$

$$m_{\text{Be-8}} = 8,005305 \text{ u}$$

$$m_{\text{C-12}} = 12,00000 \text{ u}$$

Uit bovenstaande volgt dat de massa van een kern Be-8 groter is dan de massa van twee