

- 14 De ster Betelgeuze in het sterrenbeeld Orion is een rode superreus. Tijdens zijn levensloop is Betelgeuze enorm uitgezet, waarbij de temperatuur gedaald is tot een waarde lager dan die van de zon.
- a Toon aan dat Betelgeuze met name rood licht en infraroodstraling uitzendt.

Voor de meeste sterren blijkt het uitgezonden vermogen ook af te hangen van de massa van de ster. Ten opzichte van de zon geldt de volgende relatie:

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

- $P$  is het uitgezonden vermogen in W.
- $M$  is de massa in kg.

Als de massa van een ster groter is dan tien maal de massa van de zon, zal de ster aan het eind van zijn leven ontploffen als een supernova.

- b Ga door middel van een berekening na of Betelgeuze zal ontploffen als een supernova.

Op 29 maart 2003 werd aan de hemel een zeer bijzonder verschijnsel waargenomen: een gammaflits. Deze werd veroorzaakt doordat heel ver weg een erg zware ster aan het eind van zijn leven ontplofte. Bij een gammaflits zendt de ster per seconde evenveel energie uit als de zon in tien miljard jaar, voornamelijk in de vorm van gammastraling. Als Betelgeuze aan het eind van zijn leven een gammaflits met hetzelfde vermogen produceert, ontvangt de aarde een zeer grote stralingsintensiteit.

De stralingsintensiteit van de zon op aarde vind je in BINAS tabel 32C bij 'zonneconstante op aarde'.

- c Bereken de stralingsintensiteit van de gammaflits van Betelgeuze die de aarde dan bereikt in verhouding tot de zonneconstante.

#### Opgave 14

- a Uit BINAS tabel 33 volgt voor de effectieve temperatuur van Betelgeuze  $\log T_{\text{eff}} = 3,55$ . 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 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 HR-diagram.

Voor Betelgeuze lees je (afgerond) af  $\log \frac{L_{\text{Betelgeuze}}}{L_{\text{zon}}} = 4,9$ .

$$\text{Dus } \frac{P_{\text{Betelgeuze}}}{P_{\text{zon}}} = 10^{4,9} = 7,94 \cdot 10^4.$$

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

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

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

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

- c De verhouding van de stralingsintensiteiten bereken je met de stralingsintensiteit van Betelgeuze en de 'zonneconstante op aarde'. 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  $R_{\text{Betelgeuze}} = 470 \cdot 10^{16}$  m (zie BINAS tabel 32B)

$$A_{\text{Betelgeuze}} = 4\pi (470 \cdot 10^{16})^2$$

$$A_{\text{Betelgeuze}} = 2,7759 \cdot 10^{38} \text{ m}^2$$

$$E_{\text{zon}, 10 \text{ miljard}} = P_{\text{zon}} \cdot t$$

$$P_{\text{zon}} = 3,85 \cdot 10^{26} \text{ (zie BINAS tabel 32C)}$$

$$t = 10 \text{ miljard jaar} = 10 \cdot 10^6 \times 3,15 \cdot 10^7 = 3,15 \cdot 10^{14} \text{ s (zie BINAS tabel 5)}$$

$$\text{Invullen levert: } E_{\text{zon}, 10 \text{ miljard}} = 3,85 \cdot 10^{26} \times 3,15 \cdot 10^{14} = 1,212 \cdot 10^{41} \text{ J}$$

$$I_{\text{Betelgeuze}} = \frac{P_{\text{Betelgeuze}}}{A_{\text{Betelgeuze}}}$$

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

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

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

$$\text{Aantal zonneconstanten} = \frac{I_{\text{Betelgeuze}}}{I_{\text{zon}}}$$

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

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

De stralingsintensiteit van de gammaflits die de aarde bereikt, is dan afgerond 0,32 keer de zonneconstante.