



Werkblad 52

STRAAL EN MASSA VAN STERREN

In deze opdracht ga je na hoe je de lijnen van gelijke straal en van gelijke massa in het HRD kunt plaatsen.

Straal van sterren

Voor een ster met een straal R wordt het stralingsvermogen P volgens de wet van Stefan-Boltzmann gegeven door:

$$P = \sigma \cdot 4\pi \cdot R^2 \cdot T_{\text{eff}}^4.$$

In deze formule is P het stralingsvermogen (in W) van de ster, σ de constante van Stefan-Boltzmann, R de straal (in m) en T_{eff} de oppervlaktetemperatuur (in K) van de ster.

Uit deze formule is een formule af te leiden voor het relatieve stralingsvermogen $\frac{P}{P_o}$ van de ster ten opzichte van de zon:

$$\frac{P}{P_o} = \left(\frac{R}{R_o}\right)^2 \cdot \left(\frac{T_{\text{eff}}}{T_{\text{eff},o}}\right)^4.$$

In deze formule zijn P_o , R_o en $T_{\text{eff},o}$ het stralingsvermogen, de straal en de oppervlaktetemperatuur van de zon.

- 1 Leid de formule voor het relatieve stralingsvermogen $\frac{P}{P_o}$ van een ster af met behulp van de formule voor het stralingsvermogen P van een ster.
- 2 Met de formule voor het relatieve stralingsvermogen $\frac{P}{P_o}$ zijn in het HRD lijnen van gelijke straal in te tekenen.
 1. Ga uit van een ster met een straal R die gelijk is aan de straal R_o van de zon. Bepaal voor minstens de volgende drie waarden



van de oppervlaktetemperatuur T_{eff} het relatieve stralingsvermogen $\frac{P}{P_0}$ van de ster: 3200, 10000 en 32000 K.

Zet de drie (of meer) sterren van vraag **a** in het HRD van figuur 1. Let daarbij op de logaritmische assen van het HRD. Liggen deze drie punten op een rechte lijn? Zo ja, teken in het HRD deze lijn voor sterren met een straal $R = 1 \cdot R_0$. Controleer of deze lijn inderdaad door de in het HRD aangegeven zon loopt.

Beredeneer dat andere lijnen van gelijke straal (zoals de lijnen $R = 0,01 \cdot R_0$, $R = 0,1 \cdot R_0$, $R = 10 \cdot R_0$ en $R = 100 \cdot R_0$) in het HRD evenwijdig zijn aan de lijn $R = 1 \cdot R_0$.

Bepaal minstens één punt van elk van de vier lijnen van gelijke straal uit vraag **c**, en teken ze in het HRD van figuur 1.

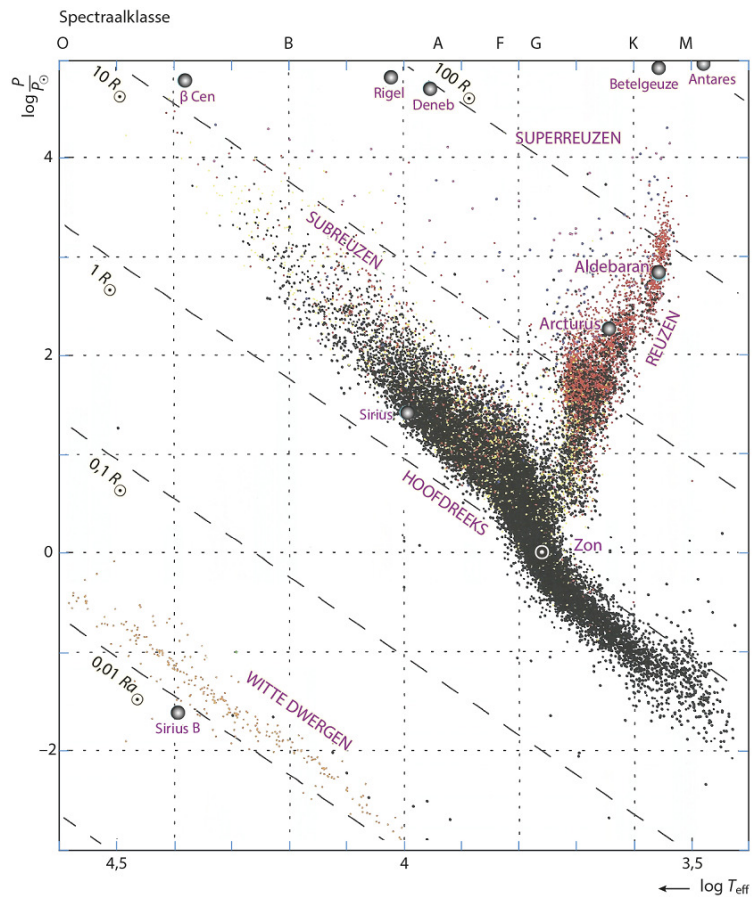
3 Met de lijnen van gelijke straal in het HRD is nu een schatting van de straal van sterren mogelijk.

1. Tussen welke grenzen liggen de stralen van hoofdreekssterren?

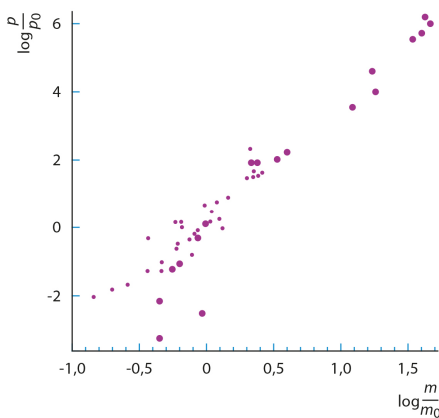
Hoe groot is ongeveer de straal van de superreus Antares, de superreus Deneb, de reus Arcturus, de hoofdreeksster Sirius en de witte dwerg Sirius B?

Hoe groot is ongeveer de verhouding van de straal van de grootste superreus (Antares) en de kleinste witte dwerg (Sirius B)?

Waardoor loopt het stralingsvermogen van de sterren meer uiteen dan de afmeting van de sterren?



Figuur 1 Hertzsprung-Russell diagram



Figuur 2 Het verband tussen het stralingsvermogen P en de massa m van dubbelsterren volgens Eddington. De drie vierkantjes in het diagram zijn witte dwergen.

Massa van sterren

Het bepalen van de massa van een ster is lastig. De massa van een ster als de zon is te bepalen uit de baangegevens van de planeten (zie hoofdstuk 10). Op een vergelijkbare manier is ook de massa van dubbelsterren (twee sterren die in cirkelbanen om elkaar heen draaien) te bepalen uit hun baangegevens. Maar voor alle andere sterren lukt dat op deze manier niet.

Rond 1920 kwam Arthur Stanley Eddington op grond van theoretische overwegingen tot het vermoeden dat het stralingsvermogen van een ster grotendeels bepaald wordt door de massa. Om dit vermoeden te controleren bracht hij alle sterren met bekende massa en stralingsvermogen in een diagram bijeen (zie figuur 2). De vrij grote spreiding in de grafiek is niet helemaal door meetfouten te verklaren, maar in grote lijnen lijkt er toch duidelijk sprake van een verband



tussen massa m en stralingsvermogen P . We noemen dit de *massa-lichtsterkerelatie van Eddington*. Deze relatie geeft goede schattingen voor hoofdreekssterren en reuzen, maar geldt duidelijk niet voor witte dwergen.



De massa-lichtsterkterelatie van Eddington is ook weer te geven in de vorm van een formule:

$$\frac{P}{P_0} \approx \left(\frac{m}{m_0}\right)^4.$$

In deze formule zijn P en m het stralingsvermogen en de massa van een ster, en zijn P_0 en m_0 het stralingsvermogen en de massa van de zon. De exponent 4 in deze formule is een benadering.

- 4 Teken in het diagram van figuur 2 de best passende (rechte) lijn voor de massa-lichtsterkterelatie van Eddington. Ga na dat de formule en de grafiek van de massa-lichtsterkterelatie in benadering met elkaar in overeenstemming zijn.

- 5 Met de massa-lichtsterkterelatie zijn in het HRD lijnen van gelijke massa in te tekenen.
 1. Hoe zouden in het HRD de lijnen van gelijke massa van sterren lopen?
 2. Teken een aantal lijnen van gelijke massa in het HRD van figuur 1, zoals de lijnen $m = 1 \cdot m_0$, $m = 0,1 \cdot m_0$ en $m = 10 \cdot m_0$. Houd daarbij rekening met het feit dat de massa-lichtsterkterelatie niet geldt voor witte dwergen.
 3. Hoe groot is ongeveer de verhouding in massa tussen de sterren met de grootste en die met de kleinste massa?
 4. Uit vraag c blijkt dat de massa van sterren veel minder uiteenloopt dan hun afmeting. Wat kun je nu zeggen over de gemiddelde dichtheid van de materie in een superreus, een reus en een hoofdreeksster met dezelfde oppervlaktetemperatuur (bijvoorbeeld in spectraalklasse K)? Geef de orde van grootte van deze materiedichtheden.