

| Vraag | Antwoord | Scores |
|-------|----------|--------|
|-------|----------|--------|

## Sirius B als Quantumsysteem

### 11 maximumscore 2

uitkomst:  $T = 2,52 \cdot 10^4$  K

voorbeeld van een berekening:

$$\lambda_{\max} T = k_W \rightarrow 115 \cdot 10^{-9} T = 2,898 \cdot 10^{-3} \rightarrow T = 2,52 \cdot 10^4 \text{ K.}$$

- gebruik van  $\lambda_{\max} T = k_W$  1
- completeren van de berekening 1

### 12 maximumscore 3

voorbeeld van een antwoord:

- Er zijn bij alle genoemde kernen evenveel protonen als neutronen (en bij elk proton hoort één elektron.)
- (De massa van een elektron is te verwaarlozen ten opzichte van de massa van een kerndeeltje.)

$$\text{Er geldt dan: } N_e = \frac{M_{\text{zon}}}{m_p + m_n} = \frac{2 \cdot 10^{30}}{2 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27}} \approx 6 \cdot 10^{56}.$$

- inzicht dat alle betrokken kernen evenveel protonen als neutronen hebben 1
- inzicht dat  $N_e = \frac{M_{\text{zon}}}{m_p + m_n}$  en opzoeken van de massa van de zon 1
- completeren van de berekening 1

*Opmerking*

*Als de berekening is geëindigd met de uitkomst  $10^{57}$ : goed rekenen.*

### 13 maximumscore 2

voorbeeld van een antwoord:

$$\text{Er geldt: } V = N_e d^3 \rightarrow 8,1 \cdot 10^{20} = 6 \cdot 10^{56} \cdot d^3 \rightarrow d = 1 \cdot 10^{-12} \text{ m.}$$

- inzicht dat  $V = N_e d^3$  1
- completeren van de berekening 1

| Vraag | Antwoord | Scores |
|-------|----------|--------|
|-------|----------|--------|

**14 maximumscore 4**

voorbeeld van een antwoord:

- In de lengte  $L$  van de energieput past een geheel aantal halve golflengtes. Dus geldt:  $L = n \frac{1}{2} \lambda$ . Omschrijven levert de gegeven formule.
- Invullen levert:  $\lambda_{B,\min} = \frac{2L}{n_{\max}} = \frac{2 \cdot 5,8 \cdot 10^6}{8,4 \cdot 10^{18}} = 1,4 \cdot 10^{-12}$  m.
- Deze minimale de Broglie-golflengte is in de orde van grootte van de onderlinge afstand  $d = 1 \cdot 10^{-12}$  m. (Dus zijn er quantumeffecten door overlap van golven.)
- inzicht dat in de lengte  $L$  van de energieput een geheel aantal halve golflengtes past 1
- gebruik van  $\lambda_B = \frac{2L}{n}$  met  $n = n_{\max}$  1
- completeren van de berekening 1
- constatering dat de minimale de Broglie-golflengte in de orde van grootte van de onderlinge afstand is 1

*Opmerking*

*In deze vraag hoeft uiteraard geen rekening gehouden te worden met significantie.*

**15 maximumscore 3**

voorbeeld van antwoord:

- (Er geldt:  $E_n = n^2 \frac{h^2}{8mL^2}$ .) De energie van elk niveau en daarmee de som van alle energieën neemt toe als  $L$  afneemt.
- Als de ster door de gravitatie-energie  $E_g$  zou krimpen, wordt  $L$  kleiner en daarmee neemt  $E_{k,Q}$  toe. Hierdoor zal de ster zich (steeds meer) verzetten tegen ineenstorting.
- De meest stabiele (evenwichts)situatie zal optreden bij het minimum van de totale energie  $E_{\text{tot}}$ .  
Dit is bij een straal van  $6 \cdot 10^6$  m (met een marge van  $1 \cdot 10^6$  m).
- inzicht dat de energieën in een energieput toenemen als de afmetingen van de energieput kleiner worden 1
- inzicht dat de ster zich verzet tegen ineenstorting door toenemende  $E_{k,Q}$  1
- aflezen van de straal bij het minimum van  $E_{\text{tot}}$  1