

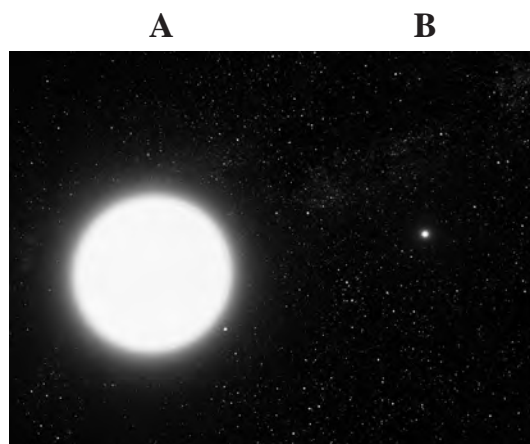
## Sirius B als Quantumstelsel

Lees onderstaand artikel.

Uit de beweging van Sirius A, de helderste ster aan de hemel, voorspelde men al in 1844 dat Sirius een dubbelster is. De zwakker stralende begeleider, Sirius B, een witte dwerg, werd in 1862 ontdekt.

**In 1914 ontdekte de astronoom Adams dat Sirius B ongeveer zo zwaar is als de zon en ongeveer zo groot is als de aarde.**

Het was met de toenmalige stand van de wetenschap niet te begrijpen hoe zo'n object kon bestaan. Het duurde tot de komst van de quantumfysica voordat men begreep waarom zo'n supercompact object niet onder zijn eigen zwaartekracht in elkaar stort. Om dat te verklaren wordt Sirius B in de quantumfysica beschreven als één gigantisch atoom met  $10^{57}$  elektronen!



Het continue emissiespectrum van Sirius B heeft de grootste intensiteit bij  $\lambda = 115 \text{ nm}$ .

- 2p 11 Bereken de temperatuur van Sirius B.

Sirius B bestaat uit een plasma: een verzameling losse kernen en vrije elektronen. Hij bestaat vooral uit  $^{12}_6\text{C}$  en  $^{16}_8\text{O}$  met een mantel van  $^4_2\text{He}$ .

Voor het aantal elektronen in Sirius B geldt:  $N_e = 6 \cdot 10^{56}$ .

- 3p 12 Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef de reden dat het aantal elektronen  $N_e$  in Sirius B de helft is van het aantal kerndeeltjes.
  - Laat hiermee en met de gegevens uit het artikel met een berekening zien dat de orde van grootte van  $N_e$  klopt.

Het volume van Sirius B is gelijk aan  $8,1 \cdot 10^{20} \text{ m}^3$ . De elektronen in Sirius B zitten dicht op elkaar. Om de gemiddelde onderlinge afstand  $d$  te schatten stellen we het volume dat één elektron inneemt gelijk aan  $d^3$ .

Dan geldt voor de gemiddelde onderlinge afstand:  $d = 1 \cdot 10^{-12} \text{ m}$ .

- 2p 13 Toon aan met een berekening dat dan geldt:  $d = 1 \cdot 10^{-12} \text{ m}$ .

Omdat de elektronen in Sirius B zo dicht op elkaar zitten, is er een vereenvoudigd quantummodel opgesteld: alle elektronen van Sirius B bevinden zich in een één-dimensionale energieput met  $L = 5,8 \cdot 10^6$  m.

In dit quantummodel wordt Sirius B dus beschouwd als één gigantisch atoom. Net als bij een gewoon atoom kunnen niet alle elektronen hetzelfde energieniveau bezetten: hoe meer elektronen er zijn, des te meer energieniveaus bezet zijn. Voor het quantumgetal  $n$  dat hoort bij het hoogst bezette energieniveau van Sirius B geldt:  $n_{\max} = 8,4 \cdot 10^{18}$ .

De elektronen zijn in dit model te beschrijven als golven met een de Broglie-golflengte waarvoor de formule geldt:  $\lambda_B = \frac{2L}{n}$ .

- 4p 14 Voer de volgende opdrachten uit:
- Leid deze formule af.
  - Bereken de minimale de Broglie-golflengte van elektronen in Sirius B.
  - Leg daarmee uit dat Sirius B terecht beschouwd wordt als een quantumstelsel.

Met het quantummodel zijn model-energie-berekeningen gemaakt. De resultaten zijn weergegeven in figuur 1. Deze figuur staat vergroot weergegeven op de uitwerkbijlage.

$E_{k,Q}$  de quantumfysische kinetische energie. Deze is gelijk aan de som van de elektron-energieën van alle gevulde energieniveaus.

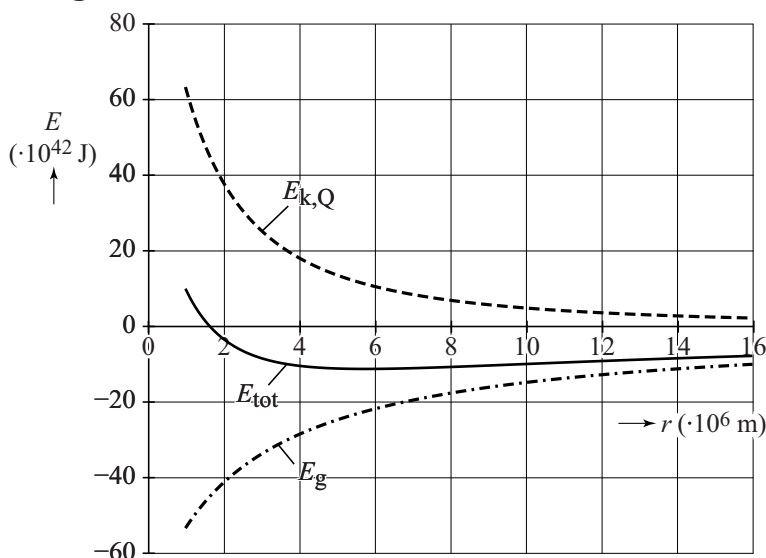
$E_g$  de gravitatie-energie.

$E_{\text{tot}}$  de totale energie.

Er geldt:

$$E_{\text{tot}} = E_g + E_{k,Q}$$

figuur 1



De grootte van Sirius B is met dit quantummodel te bepalen.

- 3p 15 Voer daartoe de volgende opdrachten uit:
- Geef de reden dat de totale quantumfysische kinetische energie  $E_{k,Q}$  toeneemt als de straal van Sirius B kleiner wordt.
  - Geef aan wat dit betekent voor een mogelijke ineenstorting van Sirius B.
  - Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de straal van Sirius B die uit dit model volgt.

uitwerkbijlage

15

