

- 9 In de zon vinden diverse kernreacties plaats waarbij uit waterstof-1 uiteindelijk helium-4 ontstaat. Zie opgave 8. Bij hogere temperaturen kan helium-4 op een andere manier worden gevormd.

Bij een van die kernreacties ontstaat helium-4 uit helium-3 in vier stappen:

Stap 1:  $^3_2\text{He} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^7_4\text{Be} + \gamma$

Stap 2:  $^7_4\text{Be} + e^- \rightarrow ^7_3\text{Li}$

Stap 3:  $^7_3\text{Li} + ^1_1\text{H} \rightarrow ^8_4\text{Be}$

Stap 4:  $^8_4\text{Be} \rightarrow 2\ ^4_2\text{He}$

- a Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef de vier stappen weer met één reactievergelijking.
  - Toon aan dat de hoeveelheid energie die vrijkomt bij de vorming van helium-4 uit helium-3 gelijk is aan 19,80 MeV.

Het vermogen van de zon is  $3,85 \cdot 10^{26}$  W. De hoeveelheid energie die vrijkomt bij de vorming van helium-3 uit waterstof-1 is gelijk aan 5,91 MeV.

- b Bereken hoeveel helium-4-kernen er per seconde ontstaan in de zon.

In de zon zijn nog andere kernreacties waarbij massa wordt omgezet in energie.

Samen zorgen ze voor het vermogen dat de zon levert.

- c Bereken hoeveel kg per seconde in de zon wordt omgezet in energie.

Opgave 9

- a  $^3_2\text{He} + e^- + ^1_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He}$

Bij deze kernreactie zijn uitsluitend kernen en elektronen betrokken. Het massadefect kun je dus berekenen met de atoommassa's in BINAS tabel 25.

$$m = m_{\text{He-4}} - m_{\text{He-3}} - m_{\text{H-1}}$$
$$m = 4,002603 - 3,016029 - 1,007825 = -0,021251 \text{ u}$$

Het massadefect is negatief. Er komt energie vrij.  
De hoeveelheid energie is gelijk aan  $0,021251 \times 931,494061 = 19,79951803 \text{ MeV}$ .  
Dit komt overeen met 19,80 MeV.

- b Het aantal kernen helium-4 dat per seconde in de zon ontstaat bereken je met het vermogen van de zon en de hoeveelheid energie die ontstaat bij de vorming van helium-4 uit isotopen van waterstof.  
De hoeveelheid energie die ontstaat bij de vorming van helium-4 uit isotopen van waterstof bereken je met de energie die vrijkomt bij de vorming van helium-3 en de vorming van helium-4.

Bij de vorming van helium-3 ontstaat 5,91 MeV. Bij de vorming van helium-4 uit helium-3 ontstaat 19,80 MeV.  
In totaal komt bij de vorming van een kern helium-4 dus  $19,80 + 5,91 = 25,71 \text{ MeV}$  vrij.  
Dit is  $25,71 \cdot 10^6 \times 1,602 \cdot 10^{-19} = 4,1181 \cdot 10^{-12} \text{ J}$ .

Het aantal kernen helium-4 dat per seconde ontstaat, is maximaal  $\frac{3,85 \cdot 10^{26}}{4,118 \cdot 10^{-12}} = 9,34 \cdot 10^{37}$ .

- Afgerond:  $9,3 \cdot 10^{37}$  kernen per seconde.
- c De massa die per seconde in de zon wordt omgezet bereken je met de formule van Einstein.  
De energie (die per seconde wordt gevormd) in de zon volgt uit het vermogen van de zon.

$P = 3,85 \cdot 10^{26} \text{ W}$   
Dus per seconde wordt  $3,85 \cdot 10^{26} \text{ J}$  aan energie omgezet.

$E = m \cdot c^2$   
 $c = 2,9979 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$  (zie BINAS tabel 7)  
Invullen levert:  $3,85 \cdot 10^{26} = m \cdot (2,9979 \cdot 10^8)^2$   
 $m = 4,283 \cdot 10^9 \text{ kg}$   
Er wordt afgerond  $4,28 \cdot 10^9 \text{ kg}$  per seconde omgezet (4,28 miljoen ton per seconde).