

15 In de zon wordt door kernfusie helium gevormd uit waterstof. De eerste stap in dit proces bestaat uit de fusie van twee protonen, waarbij een positron, een neutrino en nog een deeltje ontstaan.

a Geef de reactievergelijking van deze fusie.

Na een aantal stappen ontstaat een kern He-4. Bij dit proces worden netto vier protonen en twee elektronen omgezet in een kern He-4 en twee neutrino's.

b Bereken hoeveel MeV in totaal per heliumkern vrijkomt. Neem daarbij aan dat de neutrino's geen massa hebben.

Elke seconde worden door de zon  $2,0 \cdot 10^{38}$  neutrino's uitgezonden. De neutrino's bewegen vanuit de zon in alle richtingen en worden onderweg in de ruimte niet tegengehouden. De zonkant van de aarde wordt permanent getroffen door een bombardement van deze neutrino's.

c Bereken het aantal neutrino's dat de aarde per seconde treft.

Opgave 15

- a  ${}_1^1\text{p} + {}_1^1\text{p} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_{+1}^0\beta + \nu_e$
- b Het massadefect uitgedrukt in MeV bereken je met het massadefect uitgedrukt in u. Het massadefect uitgedrukt in u bereken je uit het verschil tussen de massa's voor en na de kernreactie uitgedrukt in u. De massa van een kern bereken je met de atoommassa en het aantal elektronen in de elektronenwolk.

$$m_{\text{voor}} = 4 \times m_{\text{proton}} + 2 \times m_{\text{elektron}}$$
$$m_{\text{voor}} = 4 \times 1,007276466812 + 2 \times 5,4857990946 \cdot 10^{-4}$$
$$m_{\text{voor}} = 4,03020303 \text{ u}$$

$$m_{\text{na}} = m_{\text{He kern}}$$
$$m_{\text{na}} = 4,002603 - 2 \times 5,4857990946 \cdot 10^{-4}$$
$$m_{\text{na}} = 4,00150584 \text{ u}$$
$$\Delta m = 4,03020303 - 4,00150584 = 0,0286971898 \text{ u}$$

Dit komt overeen met  $0,0286971898 \times 931,494061 = 26,73126 \text{ MeV}$ .

Afgerond: 26,731 MeV.

- c De neutrino's die per seconde op de aarde terechtkomen, bereken je met de cirkelvormige dwarsdoorsnede van de aarde en het aantal neutrino's dat per seconde op  $1 \text{ m}^2$  valt. De dwarsdoorsnede van de aarde bereken je met de straal van de aarde. Het aantal neutrino's dat per seconde op  $1 \text{ m}^2$  valt, volgt uit de het aantal neutrino's dat valt op  $1 \text{ m}^2$  van de boloppervlakte met de zon in het middelpunt. De boloppervlakte bereken je met de afstand tussen de zon en de aarde.

$$A_{\text{bol}} = 4\pi R^2$$
$$R = R_{\text{zon-aarde}} = 0,1496 \cdot 10^{12} \text{ m} \quad \text{Zie BINAS tabel 31}$$
$$A_{\text{bol}} = 4\pi \cdot (0,1496 \cdot 10^{12})^2$$
$$A_{\text{bol}} = 2,812373 \cdot 10^{23} \text{ m}^2$$

$$\text{Per seconde vallen er } \frac{2,0 \cdot 10^{38}}{2,812373 \cdot 10^{23}} = 7,1114 \cdot 10^{14} \text{ neutrino's op } 1 \text{ m}^2 \text{ boloppervlakte.}$$

Dus op de dwarsdoorsnede van de aarde vallen per seconde  $7,1114 \cdot 10^{14}$  neutrino's per  $\text{m}^2$ .

$$A_{\text{dwars}} = \pi r_{\text{aarde}}^2$$
$$r_{\text{aarde}} = 6,371 \cdot 10^6 \text{ m} \quad \text{Zie BINAS tabel 31}$$
$$A_{\text{dwars}} = \pi \cdot (6,371 \cdot 10^6)^2$$
$$A_{\text{dwars}} = 1,27516 \cdot 10^{14} \text{ m}^2$$

Per seconde treffen  $7,1114 \cdot 10^{14} \times 1,27516 \cdot 10^{14} = 9,0681 \cdot 10^{28}$  neutrino's de aarde.

Afgerond:  $9,1 \cdot 10^{28}$  neutrino's.