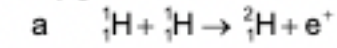


- 8 Astrofysici veronderstellen dat in de zon de energieproductie vrijwel volledig te danken is aan de fusie van waterstof-1 waarbij uiteindelijk helium-4 ontstaat. Een van de processen verloopt in drie stappen:
- Stap 1: ${}_1^1\text{H} + {}_1^1\text{H} \rightarrow {}_1^2\text{H} + \text{e}^+ + 0,42 \text{ MeV}$
- Stap 2: ${}_1^2\text{H} + {}_1^1\text{H} \rightarrow {}_2^3\text{He} + \gamma + 5,49 \text{ MeV}$
- Stap 3: ${}_2^3\text{He} + {}_2^3\text{He} \rightarrow {}_2^4\text{He} + 2 {}_1^1\text{H} + 12,86 \text{ MeV}$
- In stap 1 ontstaan bij de kernfusie van twee waterstofkernen een deuteriumkern en een positron. Bij deze reactie komt 0,42 MeV aan energie vrij.
- a Toon dat aan.
- Uiteindelijk ontstaat helium-4. Bij de vorming van één kern helium-4 uit waterstof-1 komt 24,68 MeV aan energie vrij.
- b Toon dat aan.
- c Bereken hoeveel kg waterstof per seconde in de zon wordt omgezet in helium-4.

12.2 Sterren classificeren

Opgave 8



In deze kernreactie staat een positron. Het massadefect mag je dus niet berekenen met uitsluitend de atoommassa's in BINAS tabel 25.

De massa van een positron is gelijk aan de massa van een elektron.

$$m = (m_{{}_1^2\text{H}} - m_{\text{e}}) + m_{\text{e}} - 2(m_{{}_1^1\text{H}} - m_{\text{e}})$$

$$m = m_{{}_1^2\text{H}} - 2m_{{}_1^1\text{H}} + 2m_{\text{e}}$$

$$m = 2,014102 - 2 \times 1,007825 + 2 \times 5,48579909065 \cdot 10^{-4} = -4,50840187 \cdot 10^{-4} \text{ u}$$

Het massadefect is negatief. Er komt energie vrij.

Volgens BINAS tabel 7 geldt dat $1 \text{ u} = 931,494061 \text{ MeV}$.

De hoeveelheid energie die vrijkomt is dus gelijk aan $4,50840187 \cdot 10^{-4} \times 931,494061 = 0,419954957 \text{ MeV}$.

Dit komt afgerond overeen met 0,42 MeV.

- b Voor één kern helium-4 zijn twee kernen helium-3 nodig.

Voordat één kern helium-4 geproduceerd kan worden, moet stap 2 twee keer verlopen en daardoor ook stap 1.

Dus er komt in totaal $2 \times 0,42 + 2 \times 5,49 + 12,86 = 24,68 \text{ MeV}$ vrij per kern helium-4.

- c Hoeveel kg waterstof per seconde wordt omgezet bereken je met het aantal kernen helium-4 dat ontstaat.

Het aantal kernen helium-4 dat ontstaat bereken je met het uitgestraalde vermogen van de zon en de energie die ontstaat bij de productie van één kern helium-4.

$$P_{\text{bron,zon}} = 3,85 \cdot 10^{26} \text{ W} \quad (\text{zie BINAS tabel 32C})$$

$$24,68 \text{ MeV} = 24,68 \cdot 10^6 \times 1,602 \cdot 10^{-19} = 3,953736 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

$$\text{Dus per seconde ontstaan } \frac{3,85 \cdot 10^{26}}{3,953736 \cdot 10^{-12}} = 9,73762538 \cdot 10^{37} \text{ kernen helium-4.}$$

Voor een kern helium-4 zijn netto vier kernen H-1 nodig.

Dus er worden per seconde $4 \times 9,73762538 \cdot 10^{37} = 3,89505015 \cdot 10^{38}$ kernen H-1 omgezet.

$$m_{{}_1^1\text{H}} = 1,007825 \text{ u} \quad (\text{zie BINAS tabel 25})$$

$$1 \text{ u} = 1,660538921 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \quad (\text{zie BINAS tabel 7})$$

Per seconde wordt $3,89505015 \cdot 10^{38} \times 1,007825 \times 1,660538921 \cdot 10^{-27} = 6,51849356 \cdot 10^{11} \text{ kg}$ waterstof omgezet.

Afgerond: $6,52 \cdot 10^{11} \text{ kg}$.