

20 Helium is een atoomsoort waarvan He-4 een zeer stabiele isotoop is. De deeltjes waaruit He-4 bestaat, zijn stevig gebonden aan elkaar.

In deze opgave bekijk je drie (theoretische) reacties:

- 1 $\text{He} \rightarrow \text{He}^{2+} + 2\text{e}^-$
- 2 $\text{He}^{2+} \rightarrow 2\text{p} + 2\text{n}$
- 3 $\text{p} \rightarrow 2\text{u} + \text{d}$

Je berekent voor elke reactie de verhouding tussen de energie die het kost om de reactie laten plaatsvinden en de energie die de massa van het deeltje voor de pijl vertegenwoordigt volgens de formule van Einstein:

verhouding = $\frac{E_{\text{reactie}}}{E_{\text{Einstein}}}$

De gegevens voor de vragen a, b en c kun je vinden in BINAS tabellen 7, 21, 25 en 26.

- a Bereken in twee significante cijfers voor reactie 1 de verhouding $\frac{E_{\text{reactie}}}{E_{\text{Einstein}}}$.
- b Bereken in twee significante cijfers voor reactie 2 de verhouding $\frac{E_{\text{reactie}}}{E_{\text{Einstein}}}$.
- c Bereken in twee significante cijfers voor reactie 3 de verhouding $\frac{E_{\text{reactie}}}{E_{\text{Einstein}}}$.

Reactie 1 is een chemische reactie. Reactie 2 is een kernreactie.

In een elektriciteitscentrale wordt warmte geproduceerd om water in stoom om te zetten. Deze stoom drijft een generator aan die elektriciteit opwekt. Warmte kun je opwekken in een conventionele centrale met behulp van een chemische reactie of in een kerncentrale met een kernreactie. De massa van het afval in een kerncentrale is veel kleiner dan de massa van het afval in een conventionele centrale met hetzelfde vermogen.

d Leg dit uit.

Reactie 3 blijkt in de praktijk onmogelijk. Dat heeft te maken met de hoeveelheid energie die nodig is om quarks vrij te maken.

e Leg dit uit.

Opgave 20

- a De ionisatie-energieën vind je in BINAS tabel 21C.
Voor het eerste elektron is dat 24,59 eV en voor het tweede 54,40 eV.
Dus $E_{\text{reactie}} = 24,59 + 54,40 = 78,99 \text{ eV}$.

De massa van He-4 is volgens BINAS tabel 25A gelijk aan 4,002603 u.

Volgens BINAS tabel 7B komt 1 u overeen met 931,494 MeV.

Dus $4,002603 \text{ u} = 4,002603 \times 931,494 = 3,728 \cdot 10^3 \text{ MeV} = 3,728 \cdot 10^9 \text{ eV}$.

$\frac{E_{\text{reactie}}}{E_{\text{Einstein}}} = \frac{78,99}{3,728 \cdot 10^9} = 2,11 \cdot 10^{-8}$

Afgerond: $2,1 \cdot 10^{-8}$.

- b Voor het massadefect Δm van de reactie geldt: $2m_{\text{p}} + 2m_{\text{n}} - (m_{\text{He-4}} - 2m_{\text{e}})$
In BINAS tabel 25A vind je $m_{\text{He-4}} = 4,002603 \text{ u}$.
In BINAS tabel 7B vind je $m_{\text{p}} = 1,007264 \text{ u}$; $m_{\text{n}} = 1,008664 \text{ u}$ en $m_{\text{e}} = 5,48579 \cdot 10^{-4} \text{ u}$
 $\Delta m = 2 \times 1,007264 + 2 \times 1,008664 - 4,002603 + 2 \times 5,48579 \cdot 10^{-4} = 0,030344 \text{ u}$.

De massa van een kern He-4 is $4,002603 - 2m_{\text{e}}$.

De massa van een kern He-4 = $4,002603 - 2 \times 5,48579 \cdot 10^{-4} = 4,001505 \text{ u}$.

De energieverhouding in eV is gelijk aan die in u.

$\frac{E_{\text{reactie}}}{E_{\text{Einstein}}} = \frac{0,030344}{4,001505} = 7,58 \cdot 10^{-3}$

Afgerond: $7,6 \cdot 10^{-3}$.

- c In BINAS tabel 26A vind je $m_{\text{up}} = 3 \text{ MeV c}^{-2}$ en $m_{\text{down}} = 5 \text{ MeV c}^{-2}$.
De drie quarks hebben dus samen een massa van 11 MeV c^{-2} .
In BINAS tabel 26A vind je $m_{\text{p}} = 938,272 \text{ MeV c}^{-2}$.
Dus $E_{\text{reactie}} = 938,272 - 11 = 927,272 \text{ MeV c}^{-2}$.
 $\frac{E_{\text{reactie}}}{E_{\text{Einstein}}} = \frac{927,272}{938} = 9,98 \cdot 10^{-1}$
Afgerond: 0,99.
- d Uit de antwoorden bij de vragen a en b kun je concluderen dat bij de ordegrootte van het energie-effect bij een chemische reactie 10^9 keer zo klein is als bij een kernreactie. Dus heb je aan chemische brandstof 10^5 keer zo veel brandstof nodig om dezelfde hoeveelheid energie te kunnen produceren als bij een kernreactie. Daardoor zal het afval ook 10^5 keer groter zijn.
- e Uit het antwoord bij vraag c blijkt dat de hoeveelheid energie die nodig is om quarks vrij te maken vele malen groter is dan de energie van de quarks zelf. Als die hoeveelheid energie beschikbaar is, dan is de kans groter dat nieuwe quarks ontstaan voordat de quarks vrijgemaakt zijn.