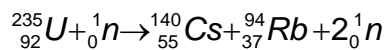


Opgave 27.1

a.



b.

Na drie keer bètaverval verandert ${}_{55}^{140}\text{Cs}$ in ${}_{58}^{140}\text{Ce}$.

Na drie keer bètaverval verandert ${}_{37}^{94}\text{Rb}$ in ${}_{40}^{94}\text{Zr}$.

c.

Bij elke kernsplijting komt energie vrij.

Bij elke splijting komen nieuwe neutronen vrij zodat er een kettingreactie kan optreden.

Opgave 27.2

a.

De regelstaven moeten neutronen goed absorberen.

b.

$$\text{Aantal generaties: } n = \frac{2,0 \cdot 10^{-4} \text{ s}}{1,0 \cdot 10^{-7} \text{ s}} = 2,0 \cdot 10^3.$$

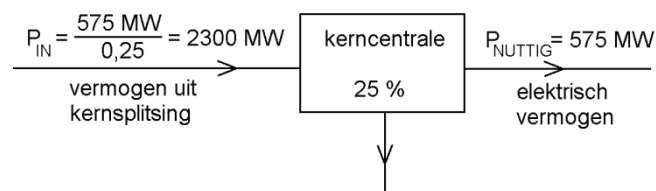
$$\text{Aantal neutronen: } N = k^n = 1,05^{2000} = 2,4 \cdot 10^{42}$$

Opgave 27.3

a.

Warmte

b.



De volgende berekening heeft betrekking op één seconde.

$$n = \frac{E_{tot}}{E_{splijting}} = \frac{2300 \cdot 10^6 \text{ J}}{175 \cdot 10^6 \text{ eV} \cdot 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV}} = 8,2 \cdot 10^{19}$$

c.

Per uur is de vrijkomende energie: $E = P \cdot t = 2300 \text{ MW} \cdot 3600 \text{ s} = 8280 \text{ GJ}$

Per uur verdwijnt aan massa: $\Delta m = \frac{E}{c^2} = \frac{8280 \text{ GJ}}{(3,00 \cdot 10^8)^2 \text{ m}^2\text{s}^{-2}} = 92,0 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$

Opgave 27.4

a.

$$n = \frac{E_{tot}}{E_{splijting}} = \frac{9 \cdot 10^{12} \text{ J}}{3 \cdot 10^{-11} \text{ J}} = 3 \cdot 10^{23} \text{ (per uur)}$$

b.

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2} = \frac{9 \cdot 10^{12}}{9 \cdot 10^{16}} = 10^{-4} \text{ kg (per uur)}$$

c.

$$\eta = \frac{E_{NUTTIG}}{E_{IN}} \cdot 100\% = \frac{4 \cdot 10^8 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s}}{9 \cdot 10^{12} \text{ J}} \cdot 100\% = 16\%$$

d.

Om te voldoen aan de wet van behoud van impuls.

e.

Lichte atoomkernen kunnen makkelijker kinetische energie van het neutron overnemen.

f.

De energieproductie neemt razendsnel toe.

g.

Dit daalt.

h.

Cadmiumstaven dieper in de reactor schuiven.

Cadmiumstaven weer terugzetten op de oorspronkelijke positie (deze positie hoort bij $k = 1$).

Opgave 27.5

a.

massadefect

$$= 1,00867 \text{ u} + 235,04392 \text{ u} - 140,91405 \text{ u} - 91,92616 \text{ u} - 3 \times 1,00867 \text{ u} \\ = 0,18637 \text{ u}.$$

$$\Delta E = 0,18637 \text{ u} \times 931,49 \text{ MeV/u} = 174 \text{ MeV}$$

b.

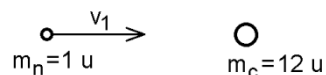
één

c.

Cadmiumstaven verder uit de reactor schuiven en vervolgens weer naar de oude stand terugzetten.

d.

Voor de botsing:



Na de botsing:



Bij de formules vullen we meteen de massa's voor het neutron en koolstofkern in (1 u en 12 u) en laten we de factor 0,5 bij de kinetische energie weg.

Wet van behoud van impuls: $v_1 = -v_2 + 12 \cdot v_3$

Wet van behoud van kin. energie (elastische botsing): $v_1^2 = v_2^2 + 12 \cdot v_3^2$

Uit de eerste vergelijking volgt: $12 \cdot v_3 = v_1 + v_2$ (A)

Uit de tweede vergelijking volgt: $12 \cdot v_3^2 = v_1^2 - v_2^2 = (v_1 + v_2)(v_1 - v_2)$ (B)

Verg. B delen verg. A geeft: $v_3 = v_1 - v_2$ (C)

Verg. A combineren met verg. C geeft: $12 \cdot v_1 - 12 \cdot v_2 = v_1 + v_2$ (D)

Uit verg. D volgt: $11 \cdot v_1 = 13 \cdot v_2$.

Hieruit volgt: $v_2 = 0,846 \cdot v_1$ en dus $v_2^2 = 0,716 \cdot v_1^2$. Na de botsing is er dus 28% van de energie verloren gegaan.

e.

Bij elke botsing wordt de kinetische energie vermenigvuldigd met 121/169.

$$\left(\frac{121}{169}\right)^n \cdot 0,5 \cdot 10^6 \text{ MeV} = 0,05 \text{ MeV}$$

Hieruit volgt:

$$\left(\frac{121}{169}\right)^n = 10^{-7}$$

Hieruit volgt:

$$n \cdot \log\left(\frac{121}{169}\right) = \log(10^{-7})$$

$$n = 48,2 \text{ dus } 49.$$

Opgave 28.1

a.

De bindingsenergie van een atoomkern is de kleinste hoeveelheid energie die aan de kern moet worden toegevoerd om de nucleonen van elkaar te scheiden.

b.

Nee, je moet dan kijken naar de bindingsenergie per nucleon.

c.

Ja

d.

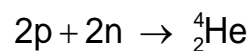
Zie figuur in leertekst.

e.

Bij fusie van lichte kernen neemt de bindingsenergie per nucleon toe. Er komt dan dus energie vrij.

Opgave 28.2

a.



Δm

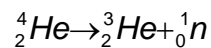
$$\begin{aligned} &= 2 \cdot m(\text{proton}) + 2 \cdot m(\text{neutron}) - m(\text{He-4 kern}) \\ &= 2 \cdot m(\text{H-1 atoom}) + 2 \cdot m(\text{neutron}) - m(\text{He-4 atoom}) \\ &= 2 \cdot 1,007825 \text{ u} + 2 \cdot 1,0086649 \text{ u} - 4,002603 \text{ u} \\ &= 0,03038 \text{ u} \end{aligned}$$

Er komt dan $0,03038 \text{ u} \cdot 931,49 \text{ MeV/u} = 28,3 \text{ MeV}$ aan energie vrij.

b.

$$\frac{E_{\text{binding}}}{n} = \frac{28,3 \text{ MeV}}{4} = 7,08 \text{ MeV}$$

c.

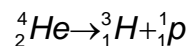


Δm

$$\begin{aligned} &= m(\text{He-4 kern}) - m(\text{He-3 kern}) - m(\text{neutron}) \\ &= m(\text{He-4 atoom}) - m(\text{He-3 atoom}) - m(\text{neutron}) \\ &= 4,002603 \text{ u} - 3,016029 \text{ u} - 1,0086649 \text{ u} \\ &= -0,0221 \text{ u} \end{aligned}$$

Er is dan $0,0221 \text{ u} \cdot 931,49 \text{ MeV/u} = 20,6 \text{ MeV}$ aan energie nodig.

d.



Δm

$$\begin{aligned} &= m(\text{He-4 kern}) - m(\text{H-3 kern}) - m(\text{proton}) \\ &= m(\text{He-4 atoom}) - m(\text{H-3 atoom}) - m(\text{H-1 atoom}) \\ &= 4,002603 \text{ u} - 3,016049 \text{ u} - 1,007825 \text{ u} \\ &= -0,02127 \text{ u} \end{aligned}$$

Er is dan $0,02127 \text{ u} \cdot 931,49 \text{ MeV/u} = 19,8 \text{ MeV}$ aan energie nodig.

e.

De nucleonen in een helium-4 kern zijn het sterkst aan elkaar gebonden.

De nucleonen in waterstof-3 kern zijn sterker aan elkaar gebonden dan in een helium-3 kern. Daarom kost de stap naar waterstof-3 minder energie.

f.

Waterstof-3 kern is stabiel (zie e.)

Opgave 28.3

a.

De energie E om lading A vanuit zeer grote afstand naar afstand r van lading B te brengen volgt uit de volgende formule:

$$E = f \cdot \frac{Q_A \cdot Q_B}{r}$$

De waarde van f in het S.I. is $9,0 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$.

A en B zijn deuteriumkernen, dus: $Q_A = Q_B = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Verder is $r = 4 \cdot 10^{-15} \text{ m}$.

Invullen geeft: $E = 9,0 \cdot 10^9 \cdot \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{4 \cdot 10^{-15}} = 5,76 \cdot 10^{-14} \text{ J}$

Dit is $\frac{5,76 \cdot 10^{-14} \text{ J}}{1,60 \cdot 10^{-19} \text{ eV/J}} = 0,36 \text{ MeV}$.

b.

$R = 8,314 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1} = \text{gasconstante}$

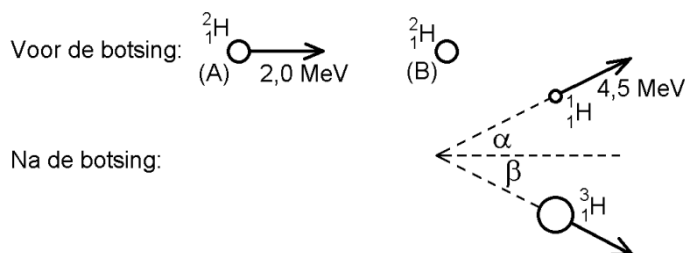
$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} = \text{constante van Avogadro}$

$$k = \frac{R}{N_A} = \frac{8,314}{6,022 \cdot 10^{23}} = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} = \text{constante van Boltzmann}$$

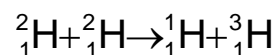
c.

$$T = \frac{2 \cdot E_{K, \text{gemiddeld}}}{3 \cdot k} = \frac{2 \cdot 5,76 \cdot 10^{-14}}{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23}} = 2,8 \cdot 10^9 \text{ K}$$

Opgave 28.4



a.



b.

Bereken eerst het massadefect.

$$m_{\text{voor}} - m_{\text{na}} = 2 \times 2,014102 - 1,007825 - 3,016049 = 0,00433 \text{ u.}$$

$$\text{Vrijkomende energie} = 0,00433 \text{ u} \times 931,49 \text{ MeV/u} = 4,03 \text{ MeV.}$$

$$E_K(\text{tritium}) = 2,0 \text{ MeV} + 4,03 \text{ MeV} - 4,5 \text{ MeV} = 1,5 \text{ MeV.}$$

c.

$$E_K = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2 \cdot m} \cdot p^2 \quad \text{dus} \quad p = \sqrt{2 \cdot m \cdot E_K}$$

d.

Gegeven (zonder eenheden):

$$m(A) = 2 \text{ en } m(B) = 2 \text{ en } m(\text{proton}) = 1 \text{ en } m(\text{tritium}) = 3$$

$$E_k(A) = 2,0 \text{ en } E_k(B) = 0 \text{ en } E_k(\text{proton}) = 4,5 \text{ en } E_k(\text{tritium}) = 1,5$$

Hieruit volgt:

$$mE_k(A) : mE_k(B) : mE_k(\text{proton}) : mE_k(\text{tritium}) = 4 : 0 : 4,5 : 4,5$$

Om het worteltrekken te vereenvoudigen, verdubbelen we de waarden.

$$mE_k(A) : mE_k(B) : mE_k(\text{proton}) : mE_k(\text{tritium}) = 8 : 0 : 9 : 9$$

Worteltrekken geeft:

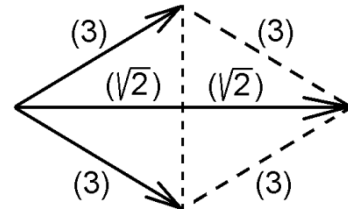
$$p(A) : p(B) : p(\text{proton}) : p(\text{tritium}) = 2\sqrt{2} : 0 : 3 : 3$$

e.

De impuls van het proton is even groot als de impuls van de tritiumkern (zie vraag d).

De y-componenten van de impuls van het proton en de tritiumkern zijn even groot maar tegengesteld gericht want vóór de fusiereactie was de impuls in de y-richting nul. Hieruit volgt dat α en β gelijk zijn.

In de figuur hiernaast stellen de twee schuine pijlen de impuls van het proton en die van de tritiumkern voor. De horizontale pijl stelt de impuls van de deuteriumkern voor. De getallen tussen haakjes geven de verhouding van de lengtes van de pijlen weer.



f.

$$\cos(\alpha) = \frac{\sqrt{2}}{3} \rightarrow \alpha = \beta = 62^\circ$$