

Uitwerkingen § 1

Opgave 1

$$p(\text{kogel, na}) = 15 \times 60 = 900 \text{ kgm/s}$$

$$p(\text{kanon, na}) = -900 \text{ kgm/s}$$

$$v(\text{kanon, na}) = p(\text{kanon, na}) / m(\text{kanon}) = -900 / 1200 = -0,75 \text{ m/s.}$$

Opgave 2

$$p(\text{totaal, voor}) = 0,050 \times 20 = 1,0 \text{ kgm/s}$$

$$p(\text{totaal, na}) = 1,0 \text{ kgm/s}$$

$$v(\text{totaal, na}) = p(\text{totaal, na}) / m(\text{totaal}) = 1,0 / 0,250 = 4,0 \text{ m/s}$$

Opgave 3

$$p(\text{totaal, voor}) = 3,0 \times 8,0 + 2,0 \times -7,0 = 10 \text{ kgm/s}$$

$$p(\text{totaal, na}) = 3,0 \times v(\text{A, na}) + 2,0 \times 6,0$$

Uit de wet van behoud van impuls volgt:

$$10 = 3,0 \times v(\text{A, na}) + 12$$

$$\text{Hieruit volgt: } v(\text{A, na}) = -0,67 \text{ m/s}$$

Na de botsing beweegt kogel A dus met 0,67 m/s naar links.

Opgave 4

$$p(\text{totaal, voor}) = 1,0 \cdot u \times 1,0 \cdot 10^7 \text{ m/s} = 1,0 \cdot 10^7 \text{ um/s}$$

$$\text{Dus ook } p(\text{totaal, na}) = 1,0 \cdot 10^7 \text{ um/s.}$$

$$p(\text{proton, na}) = 1,0 \text{ u} \times -0,6 \cdot 10^7 \text{ m/s} = -0,6 \cdot 10^7 \text{ um/s.}$$

$$p(\text{He, na}) = p(\text{totaal, na}) - p(\text{proton, na}) = 1,0 \cdot 10^7 + 0,6 \cdot 10^7 = 1,6 \cdot 10^7 \text{ um/s.}$$

$$m(\text{He}) = p(\text{He, na}) / v(\text{He, na}) = 1,6 \cdot 10^7 \text{ um/s} / 0,4 \cdot 10^7 \text{ m/s} = 4,0 \text{ u.}$$

Opgave 5

$$p(\text{totaal, voor}) = 0$$

$$p(\text{totaal, na}) = 0,015 \times -100 + 500 \times v(\text{raket})$$

Uit de wet van behoud van impuls volgt:

$$500 \times v(\text{raket}) = 1,5$$

$$v(\text{raket}) = 1,5 / 500 = 0,0030$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{0,0030}{0,0010} = 3,0 \text{ m/s}^2$$

Uitwerkingen § 2

Opgave 1

- a. W
- b. NW
- c. W
- d. NW
- e. W
- f. NW
- g. NW
- h. W

Opgave 2

a.

$$p(\text{totaal, voor}) = 0,050 \times 20 = 1,0 \text{ kgm/s}$$

$$p(\text{totaal, na}) = 1,0 \text{ kgm/s}$$

$$v(\text{totaal, na}) = p(\text{totaal, na}) / m(\text{totaal}) = 1,0 / 0,250 = 4,0 \text{ m/s}$$

b.

$$E_k(\text{totaal, voor}) = \frac{1}{2} \cdot 0,050 \cdot 20^2 = 10 \text{ J}$$

$$E_k(\text{totaal, na}) = \frac{1}{2} \cdot 0,250 \cdot 4,0^2 = 2 \text{ J}$$

Er gaat dus $10 - 2 = 8 \text{ J}$ verloren.

Opgave 3

a.

$$p(\text{totaal, voor}) = 3,0 \times 8,0 + 2,0 \times 7,0 = 10 \text{ kgm/s}$$

$$v(\text{totaal, na}) = p(\text{totaal, na}) / m(\text{totaal}) = 10 / 5,0 = 2,0 \text{ m/s}$$

b.

$$E_k(\text{totaal, voor}) = \frac{1}{2} \cdot 3,0 \cdot 8,0^2 + \frac{1}{2} \cdot 2,0 \cdot 7,0^2 = 145 \text{ J}$$

$$E_k(\text{totaal, na}) = \frac{1}{2} \cdot 5,0 \cdot 2,0^2 = 10 \text{ J}$$

Er gaat dus $145 - 10 = 135 \text{ J}$ aan kinetische energie verloren.

c.

Tijdens de eerste fase van de botsing daalt de snelheid van kogel A met:

$$8,0 - 2,0 = 6,0 \text{ m/s.}$$

Na de tweede fase van de botsing wordt zijn snelheid

$$2,0 - 6,0 = -4,0 \text{ m/s. Dus } 4,0 \text{ m/s naar links.}$$

Tijdens de eerste fase van de botsing neemt de snelheid van kogel B toe met:

$$2,0 - -7,0 = 9,0 \text{ m/s.}$$

Na de tweede fase van de botsing wordt zijn snelheid $2,0 + 9,0 = 11,0 \text{ m/s}$.

Opgave 4

Stel dat de botsing onelastisch zou zijn. De gezamenlijke eindsnelheid zou dan zijn:

$$v_{\text{ONELASTISCH}} = \frac{P_{\text{VOOR}}}{m_{\text{TOTAAL}}} = \frac{10,0 \cdot 10^3 \text{ u} \cdot \text{m/s}}{5,0 \text{ u}} = 2,0 \cdot 10^3 \text{ m/s}$$

In werkelijkheid is de botsing elastisch. Tijdens de eerste fase van de botsing gaat de neutronsnelheid dus van 10,0 km/s naar 2,0 km/s. Dit is een daling van 8,0 km/s. Tijdens de tweede fase van de botsing daalt de snelheid dus weer met 8,0 km/s. De eindsnelheid wordt dan $2,0 - 8,0 = -6,0$ km/s.

Opgave 5

a.

De impuls voor de explosie is nul dus de (totale) impuls na de explosie is ook nul.

Dus geldt: $m_1 \cdot v_1 = m_2 \cdot v_2$.

Dus geldt: $\frac{v_1}{v_2} = \frac{m_2}{m_1} = n$

b.

$$\frac{E_{K,1}}{E_{K,2}} = \frac{\frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v_1^2}{\frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v_2^2} = \frac{m_1}{m_2} \cdot \frac{v_1^2}{v_2^2} = \frac{1}{n} \cdot n^2 = n$$

Uitwerkingen § 3

Opgave 1

$$\Delta E_o = \Delta m \cdot c^2 = 10^{-12} \cdot (3,0 \cdot 10^8)^2 = 9,0 \cdot 10^4 \text{ J}$$

Opgave 2

$$\Delta m = \frac{\Delta E_o}{c^2} = \frac{3,85 \cdot 10^{26}}{(3,0 \cdot 10^8)^2} = 0,428 \cdot 10^{10} \text{ kg}$$

Opgave 3

a.

$$E = \frac{m \cdot c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{m \cdot c^2}{\sqrt{1 - 0,6^2}} = 1,25 \cdot m \cdot c^2$$

Dus de totale energie is 1,25 keer groter dan de rustenergie.

b.

De totale energie bestaat uit 1) rustenergie en 2) kinetische energie ter waarde van 0,25 keer de rustenergie. Uit dat laatste volgt dat de rustenergie 4 keer groter is dan de kinetische energie.

Opgave 4

$$\text{Uit } \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 0,5 \text{ volgt } \frac{v^2}{c^2} = 1 - 0,25.$$

Hieruit volgt $v = 0,87 \cdot c$ dus bij 87% van de lichtsnelheid.

Opgave 5

$$\text{Bij 30\% van de lichtsnelheid: } \frac{1,048 - 1,045}{1,048} \times 100\% = 0,3\%.$$

$$\text{Bij 50\% van de lichtsnelheid: } \frac{1,155 - 1,125}{1,155} \times 100\% = 2,6\%.$$

$$\text{Bij 70\% van de lichtsnelheid: } \frac{1,400 - 1,245}{1,400} \times 100\% = 11\%.$$

Uitwerkingen § 4

Opgave 1

a.

De rustenergie van het voorwerp is mc^2 .

De kinetische energie van het voorwerp is mc^2 .

Voor de totale energie geldt dus $E = 2 \cdot mc^2$.

b.

Er geldt: $p^2 c^2 = E^2 - m^2 c^4 = 4 \cdot m^2 c^4 - m^2 c^4 = 3 \cdot m^2 c^4$.

Dus geldt: $p^2 = 3 \cdot m^2 c^2$.

Dus geldt: $p = \sqrt{3} \cdot mc$.

Opgave 2

a.

Er geldt: $m^2 c^4 = E^2 - p^2 c^2 = 3^2 - 2^2 = 5$.

Dus geldt: $mc^2 = \sqrt{5} = 2,24 \text{ J}$.

b.

Er geldt: $p^2 c^2 = E^2 - m^2 c^4 = 4^2 - 5 = 11$.

Dus geldt: $pc = \sqrt{11} = 3,32 \text{ J}$.

Opgave 3

a.

$$E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4 = m^2 v^2 c^2 + m^2 c^4 = m^2 c^4 \cdot \left(1 + \frac{v^2}{c^2}\right)$$

b.

$$E = mc^2 \cdot \sqrt{1 + \frac{v^2}{c^2}} = mc^2 \cdot \left[1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{v^2}{c^2}\right] = mc^2 + \frac{1}{2} mv^2$$

Opgave 4

Linker diagram: 1) a en 2) b.

Middelste diagram: 1) b en 2) a.

Rechter diagram: 1) b en 2) a.

Opgave 5

a.

Als iemand een bal naar je toe gooit, kun je hem vangen. Je krijgt daarbij een stootje naar achteren. Als je hem vervolgens ook nog teruggooit, krijg je weer een stootje naar achteren.

b.

$$p(\text{Jan}, n_a) = 50 \times 1,0 = 50 \text{ kgm/s}$$

$$p_f = E_f / c = 1,6 \cdot 10^{-19} / (3,0 \cdot 10^8) = 0,53 \cdot 10^{-27} \text{ kgm/s.}$$

$$n = \frac{p(\text{Jan}, n_a)}{2 \cdot p_f} = \frac{50}{2 \cdot 0,53 \cdot 10^{-27}} = 47 \cdot 10^{27}$$

Opgave 6

$$E^2 - p^2 c^2 = \frac{m^2 c^4}{1 - \frac{v^2}{c^2}} - \frac{m^2 v^2 c^2}{1 - \frac{v^2}{c^2}} = m^2 c^2 \left[\frac{c^2}{1 - \frac{v^2}{c^2}} - \frac{v^2}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \right] = m^2 c^2 c^2 \left[\frac{c^2 - v^2}{c^2 - v^2} \right] = m^2 c^4 . \text{ Klopt!}$$

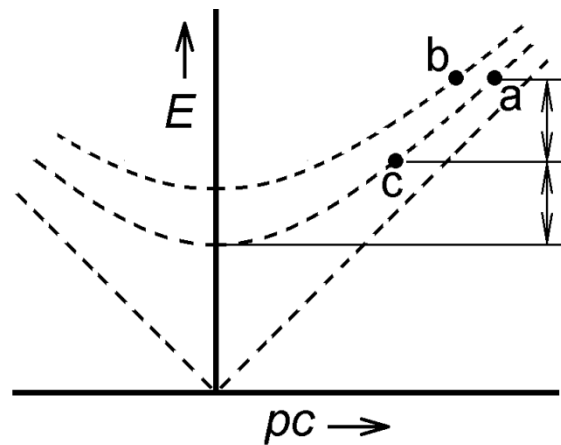
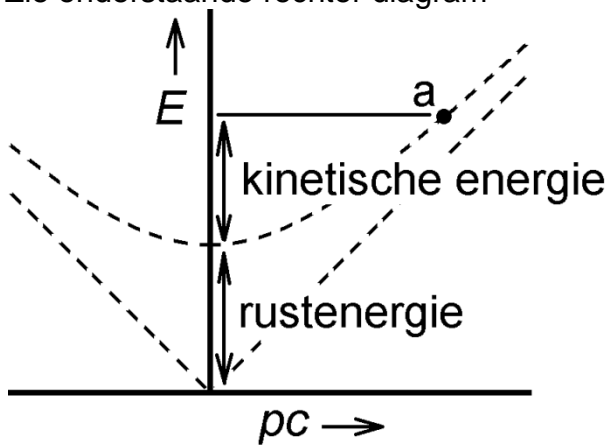
Uitwerkingen § 5

Opgave 1

- Waar
- Waar
- Niet waar
- Niet waar
- Waar
- Niet waar

Opgave 2

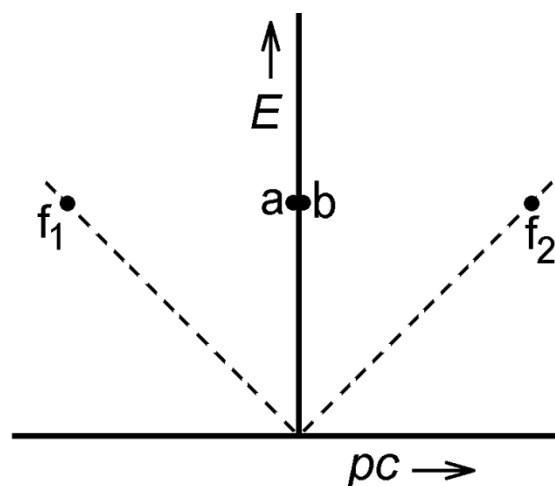
- a.
- Zie onderstaande linker diagram
- b.
- Minder, meer, meer
- c.
- Zie onderstaande rechter diagram



Opgave 3

Voor: $\begin{matrix} a & b \\ + & - \end{matrix}$

Na: $\begin{matrix} \leftarrow & \rightarrow \\ f_1 & f_2 \end{matrix}$

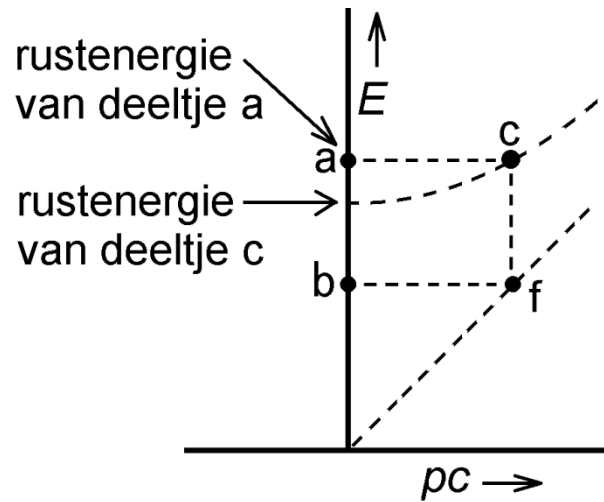


Opgave 4

a.

Voor: $f \rightarrow$ (a)

Na: (b) (c) \rightarrow



b.

De rustenergie van deeltje c is kleiner dan die van deeltje a. Hetzelfde geldt dan voor de massa.

Opgave 5

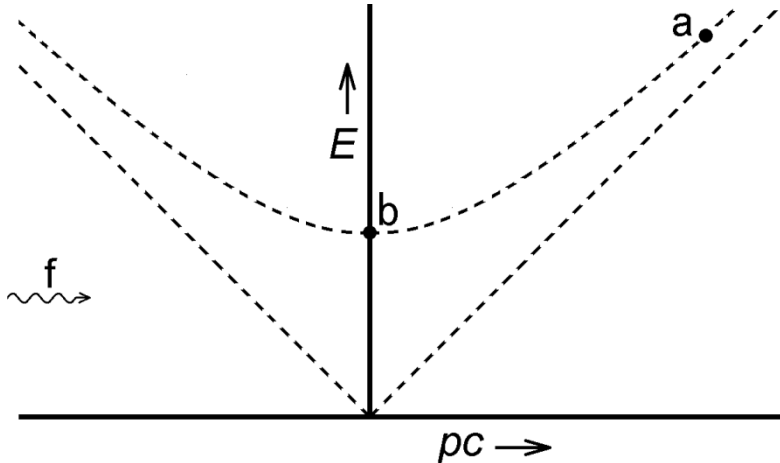
Bij de bovenste hyperbool hoort een te grote rustenergie.

Opgave 6

a.

Voor: (a) \rightarrow (b)

Na(?): $f \rightarrow$



b.

Nee, deze reactie kan nooit optreden want het foton heeft bij dezelfde impuls als deeltje a onvoldoende energie.

Uitwerkingen § 6

Opgave 1

a.

De impuls voor en na de annihilatie is nul. De impuls van het ene foton moet dan tegengesteld zijn aan de impuls van het andere foton.

b.

Volgens de wet van behoud van energie geldt: $mc^2 + mc^2 = E_f + E_f$.

Dus: $E_f = mc^2$.

c.

$$E_f = mc^2 = 9,11 \cdot 10^{-31} \cdot (3,0 \cdot 10^8)^2 = 8,20 \cdot 10^{-14} \text{ J}$$

Opgave 2

a.

$$p_f = \frac{m_2 \cdot v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

b.

$$E_f + M \cdot c^2 = m_1 \cdot c^2 + \frac{m_2 \cdot c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

c.

$$E_f = c \cdot p_f = c \cdot \frac{m_2 \cdot v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = c \cdot \frac{m_2 \cdot 0,6 \cdot c}{\sqrt{1 - 0,6^2}} = 0,75 \cdot m_2 \cdot c^2$$

d.

$$E_2 = \frac{m_2 \cdot c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{m_2 \cdot c^2}{\sqrt{1 - 0,6^2}} = 1,25 \cdot m_2 \cdot c^2$$

e.

$$E_f + M \cdot c^2 = m_1 \cdot c^2 + \frac{m_2 \cdot c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{wordt:}$$

$$0,75 \cdot m_2 \cdot c^2 + M \cdot c^2 = m_1 \cdot c^2 + 1,25 \cdot m_2 \cdot c^2 .$$

Hieruit volgt:

$$M = m_1 + 0,5 \cdot m_2$$

Opgave 3

a.

$$p_1 = -p_2 + p_m$$

$$p_1 + p_2 = p_m$$

$$p_1 c + p_2 c = p_m c$$

$$E_1 + E_2 = \sqrt{E_m^2 - m^2 c^4}$$

b.

$$E_1 + mc^2 = E_2 + E_m$$

$$E_1 - E_2 = E_m - mc^2$$

Opgave 4

a.

Een deel van de rustenergie van het atoom wordt omgezet in fotonenergie.

b.

$$0 = p_m + p_f$$

$$p_f^2 c^2 = p_m^2 c^2$$

$$E_f^2 = E_m^2 - m^2 c^4$$

$$E_f^2 + m^2 c^4 = E_m^2$$

c.

$$E_M = E_f + E_m$$

$$E_M - E_f = E_m$$

$$E_M^2 + E_f^2 - 2 \cdot E_M E_f = E_m^2$$

d.

$$E_f^2 + m^2 c^4 = E_M^2 + E_f^2 - 2 \cdot E_M E_f$$

$$m^2 c^4 = E_M^2 - 2 \cdot E_M E_f$$

$$m^2 c^4 = M^2 c^4 - 2 \cdot M c^2 \cdot E_f$$

$$m^2 = M^2 - \frac{2 \cdot M \cdot E_f}{c^2}$$

$$m = M \cdot \sqrt{1 - \frac{2 \cdot E_f}{M \cdot c^2}}$$

Opgave 5

a.

$$0 = p_1 + p_2$$

$$p_1^2 c^2 = p_2^2 c^2$$

$$E_1^2 - m_1^2 c^4 = E_2^2 - m_2^2 c^4$$

$$E_1^2 - m_1^2 c^4 + m_2^2 c^4 = E_2^2$$

b.

$$E_M = E_1 + E_2$$

$$E_M - E_1 = E_2$$

$$E_M^2 + E_1^2 - 2E_M E_1 = E_2^2$$

c.

$$E_1^2 - m_1^2 c^4 + m_2^2 c^4 = E_M^2 + E_1^2 - 2E_M E_1$$

$$-m_1^2 c^4 + m_2^2 c^4 = E_M^2 - 2E_M E_1$$

$$-m_1^2 c^4 + m_2^2 c^4 = M^2 c^4 - 2M c^2 E_1$$

$$E_1 = \frac{M^2 + m_1^2 - m_2^2}{2 \cdot M} \cdot c^2$$

Opgave 6

a.

$$p = p_G$$

$$p^2 c^2 = p_G^2 c^2$$

$$E^2 - m^2 c^4 = E_G^2 - (4m)^2 c^4$$

$$E^2 + 15m^2 c^4 = E_G^2$$

b.

$$E + mc^2 = E_G$$

$$E^2 + m^2 c^4 + 2Emc^2 = E_G^2$$

c.

$$E^2 + 15m^2 c^4 = E^2 + m^2 c^4 + 2Emc^2$$

$$14m^2 c^4 = 2Emc^2$$

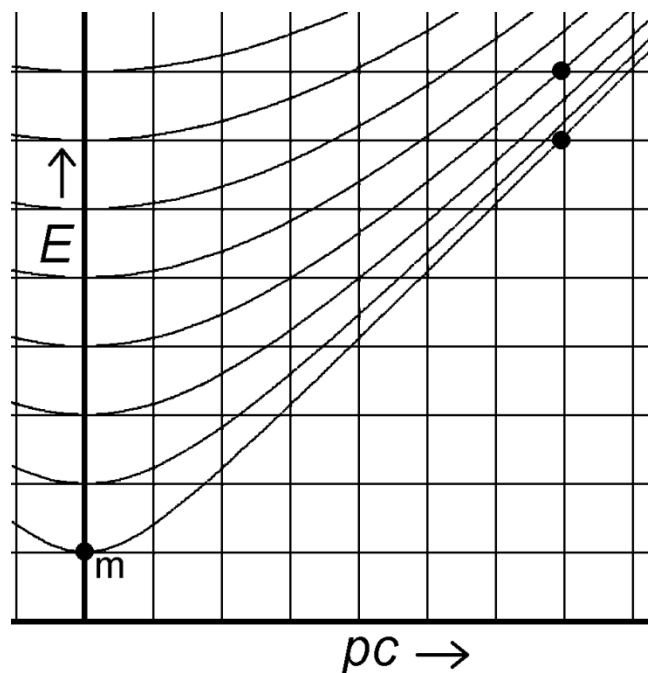
$$E = 7mc^2$$

d.

6

e.

Zie het diagram hiernaast.



Uitwerkingen § 7

Opgave 1

Eén elektronvolt is de energieverandering van een elektron als deze een spanning van 1 volt doorloopt.

Eén atomaire massa-eenheid is gelijk aan een twaalfde van de massa van een koolstof-12 atoom.

Opgave 2

De totale massa van een stelsel van deeltjes is in het algemeen NIET gelijk aan de optelsom van de massa's van de bestanddelen.

Opgave 3

a.

Δm

$$= m(\text{Po-210-kern}) - m(\text{Pb-206-kern}) - m(\text{He-4-kern})$$

$$= 209,93678 \text{ u} - 205,92946 \text{ u} - 4,001506 \text{ u}$$

$$= 0,00581 \text{ u}$$

b.

Er is sprake van massa-afname en dus van afname van rustenergie. De verdwenen rustenergie is omgezet in andere energievormen (met name in kinetische energie van het alfadeeltje).

c.

$$\Delta E = 0,00581 \text{ u} \cdot 931,49 \text{ MeV/u} = 5,41 \text{ MeV}$$

d.

Een klein deel van de vrijgekomen energie wordt kinetische energie van de lood-206 kern.

Opgave 4

Een koolstof-12 atoom heeft een massa van (exact) 12 u.

Een mol koolstof-12 atomen heeft een massa van (exact) 12 g.

Een mol keer 12 u geeft dus 12 g.

Het gevraagde verband is dus: een mol keer 1 u is gelijk aan 1 g.

Controle: $6,022 \cdot 10^{23} \cdot 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1 \text{ g}$. Klopt!

Opgave 5

a.

Voor de pijl staat één neutron en na de pijl twee neutronen. Voor het massadefect staat er dus netto één neutron na de pijl.

Δm

$$= m(\text{U-235-kern}) - m(\text{Xe-140-kern}) - m(\text{Sr-94-kern}) - m(\text{neutron})$$

$$= 234,9935 \text{ u} - 139,8918 \text{ u} - 93,8944 \text{ u} - 1,0086649 \text{ u}$$

$$= 0,1986 \text{ u}$$

b.

$$\Delta E = 0,1986 \text{ u} \cdot 931,49 \text{ MeV/u} = 185 \text{ MeV}$$

Opgave 6

Δm

$$\begin{aligned} &= 26 \cdot m(\text{proton}) + 30 \cdot m(\text{neutron}) - m(\text{Fe-56-kern}) \\ &= 26 \times 1,0072765 \text{ u} + 30 \times 1,008665 \text{ u} - 55,920677 \text{ u} \\ &= 0,52846 \text{ u} \end{aligned}$$

b.

$$\Delta E = 0,52846 \text{ u} \cdot 931,49 \text{ MeV/u} = 492,2 \text{ MeV}$$

Elk foton heeft dan de helft van deze energie. Dit is 246,1 MeV (dit is onwaarschijnlijk veel).

Opgave 7

a.

Δm

$$\begin{aligned} &= m(\text{Po-212-kern}) - m(\text{Pb-208-kern}) - m(\text{He-4-kern}) \\ &= 211,94279 \text{ u} - 207,93165 \text{ u} - 4,001506 \text{ u} \\ &= 0,00963 \text{ u} \end{aligned}$$

b.

Δm

$$\begin{aligned} &= m(\text{Po-212-kern}) - m(\text{At-212-kern}) - m(\text{elektron}) \\ &= 211,94279 \text{ u} - 211,94412 \text{ u} - 0,00054858 \text{ u} \\ &= -0,00188 \text{ u} \end{aligned}$$

c.

Bij alfaverval neemt de massa af en komt er dus energie vrij in de vorm van kinetische energie van het alfadeeltje.

Bij bètaverval neemt de massa toe en is er dus energie van buitenaf nodig. Zolang hier geen sprake van is, zal er geen bètaverval optreden.

Uitwerkingen § 8

Opgave 1

a.

$$m(\text{He-4 kern}) / 4 = 1,00038 \text{ u}$$

b.

$$m(\text{Ni-60 kern}) / 60 = 0,99859 \text{ u}$$

c.

$$m(\text{U-238 kern}) / 238 = 1,00000 \text{ u}$$

d.

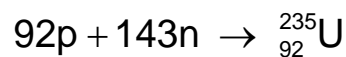
De kernmassa per nucleon is het kleinst voor middelgrote kernen (rond een massagetal van 60) maar de verschillen zijn zeer klein.

e.

De kernmassa's per nucleon zijn kleiner dan de massa van een los proton of neutron maar de verschillen zijn zeer klein.

Opgave 2

a.



b.

$$\Delta m =$$

$$92 \cdot m(\text{proton}) + 143 \cdot m(\text{neutron}) - m(\text{U-235 kern}) =$$

$$92 \times 1,007276 \text{ u} + 143 \times 1,008665 \text{ u} - 234,9935 \text{ u} =$$

$$1,9150 \text{ u}$$

$$\text{Bindingsenergie} = 1,9150 \text{ u} \times 931,49 \text{ MeV/u} = 1784 \text{ MeV}$$

$$\text{Bindingsenergie per nucleon} = 1784 \text{ MeV} / 235 = 7,6 \text{ MeV}$$

c.

Voor xenon-140 is dit 8,3 MeV per nucleon.

Voor strontium-94 is dit 8,6 MeV per nucleon.

d.

$$\text{Vrijkomende energie} = 140 \times 8,3 \text{ MeV} + 94 \times 8,6 \text{ MeV} - 235 \times 7,6 \text{ MeV} = 184 \text{ MeV.}$$

Opgave 3

Stap 1

$$\text{Toename van de bindingsenergie per nucleon} = 7,7 - 7,1 = 0,6 \text{ MeV}$$

Stap 2

$$n(\text{nucl}) = \frac{4,00 \cdot 10^{30} \text{ kg}}{1 \text{ u} \cdot 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg/u}} = 2,41 \cdot 10^{57}$$

Stap 3

$$E = 2,41 \cdot 10^{57} \cdot 0,6 \text{ MeV} = 1,45 \cdot 10^{57} \text{ MeV} \cdot 1,60 \cdot 10^{-13} \text{ J/MeV} = 2,3 \cdot 10^{44} \text{ J}$$

Opgave 4

Per nucleon komt vrij: $7,1 - 1,1 = 6,0 \text{ MeV}$.

$$n(\text{nucl}) = \frac{20 \text{ kg}}{1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}} = 12,0 \cdot 10^{27}$$

$$E = 12,0 \cdot 10^{27} \cdot 6,0 \text{ MeV} \cdot 1,60 \cdot 10^{-13} \text{ J/MeV} = 1,2 \cdot 10^{16} \text{ J}$$