

# 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.

$$E_K = E - E_o = \frac{m \cdot c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m \cdot c^2 = m \cdot c^2 \cdot \left[ \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right]$$

b.

$$E_K = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

## Opgave 4

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.

Uit vraag a. volgt dat de kinetische energie 0,25 keer de rustenergie is.

c.

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

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

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.

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

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

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

## Opgave 5

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

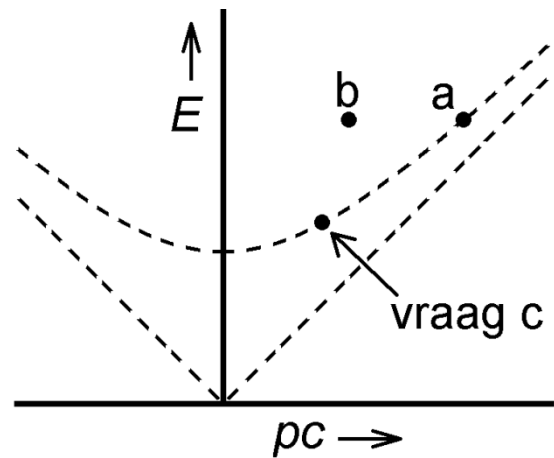
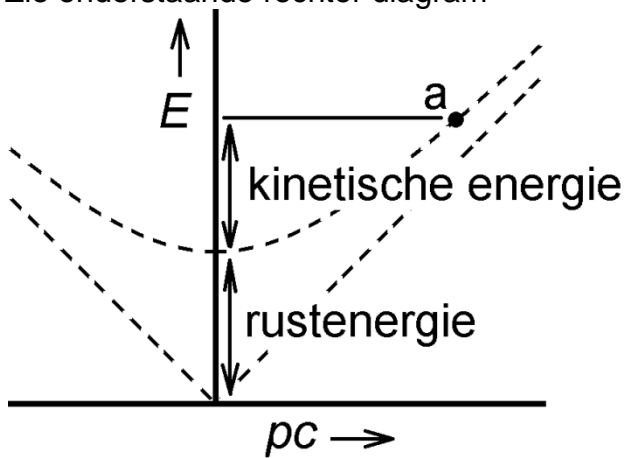
# Uitwerkingen § 5

## Opgave 1

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

## Opgave 2

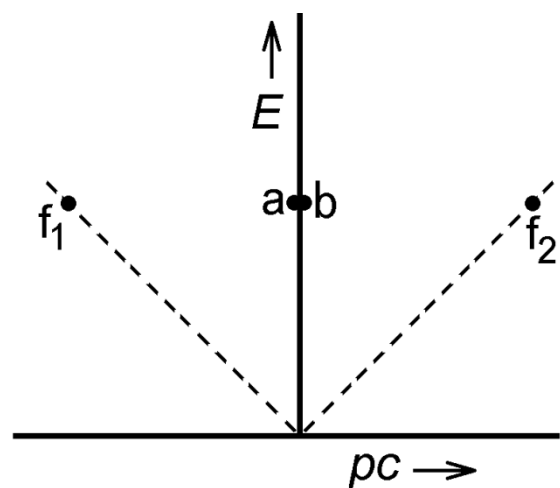
- a.
- Zie onderstaande linker diagram
- b.
- Minder, meer, meer
- c.
- Zie onderstaande rechter diagram



## Opgave 3

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

Na:  $\leftarrow f_1 \quad f_2 \rightarrow$

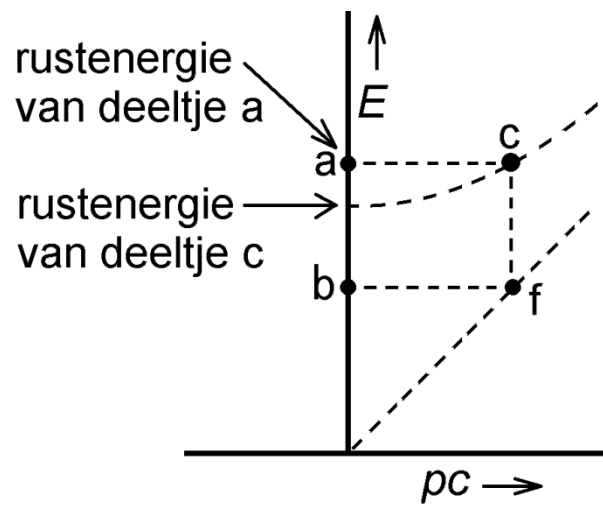


Opgave 4

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 rustmassa.

# 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.

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

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.

Impuls  $p_2$  is groter dan impuls  $p_1$ . Om aan de wet van behoud van impuls te voldoen, moet de impuls van het atoom aan het eind negatief zijn.

b.

$$\frac{E_1}{c} = \frac{E_2}{c} - m \cdot v$$

Hieruit volgt:  $m \cdot v = \frac{E_2 - E_1}{c}$ . Hieruit volgt:  $v = \frac{E_2 - E_1}{m \cdot c}$ .

c.

$$E_1 + M \cdot c^2 = m \cdot c^2 + E_2$$

Hieruit volgt:  $M \cdot c^2 - m \cdot c^2 = E_2 - E_1$ .

Hieruit volgt:  $\Delta m = \frac{E_2 - E_1}{c^2} = \frac{m \cdot v \cdot c}{c^2} = m \cdot \frac{v}{c}$ .

### Opgave 4

a.

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

b.

$$p_f = p_m$$

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

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

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

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.

$$p = p_G$$

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

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

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

b.

$$E + mc^2 = E_G$$

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

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

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

# 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

a.

Bij de volgende berekening worden atoommassa's in plaats van kernmassa's van elkaar afgetrokken. Voor en na de pijl hebben we dan 84 extra elektronmassa's genomen.

$\Delta m$

$$\begin{aligned} &= m(\text{Po-210}) - m(\text{Pb-206}) - m(\text{He-4}) \\ &= 209,98286 \text{ u} - 205,97444 \text{ u} - 4,002603 \text{ u} \\ &= 0,005817 \text{ u} \end{aligned}$$

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.

$$\Delta E = 0,005817 \text{ u} \cdot 931,49 \text{ MeV/u} = 5,42 \text{ MeV}$$

d.

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

## Opgave 3

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 4

a.

Bij de volgende berekening worden atoommassa's in plaats van kernmassa's van elkaar afgetrokken. Voor en na de pijl hebben we dan 92 extra elektronmassa's genomen. Bovendien strepen we één neutron voor de pijl weg tegen één neutron na de pijl.

$\Delta m$

$$\begin{aligned} &= m(\text{U-235}) - m(\text{Xe-140}) - m(\text{Sr-94}) - m(\text{neutron}) \\ &= 235,04392 \text{ u} - 139,92144 \text{ u} - 93,91523 \text{ u} - 1,008664916 \text{ u} \\ &= 0,198585 \text{ u} \end{aligned}$$

b.

$$\Delta E = 0,198585 \text{ u} \cdot 931,49 \text{ MeV/u} = 185 \text{ MeV}$$

### Opgave 5

Bij de volgende berekening nemen we in plaats van 26 protonen 26 H-1 atomen en voor de Fe-56 kern een Fe-56 atoom. Voor en na de pijl hebben we dan 26 extra elektronmassa's genomen.

$$\begin{aligned}\Delta m &= 26 \cdot m(\text{H-1}) + 30 \cdot m(\text{neutron}) - m(\text{Fe-56}) \\ &= 26 \times 1,007825 \text{ u} + 30 \times 1,008665 \text{ u} - 55,93494 \text{ u} \\ &= 0,52846\end{aligned}$$

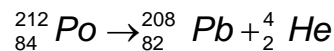
b.

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

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

### Opgave 6

a.

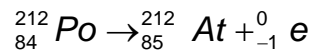


b.

Bij de volgende berekening worden atoommassa's in plaats van kernmassa's van elkaar afgetrokken.

$$\begin{aligned}\Delta m &= m(\text{Po-212}) - m(\text{Pb-208}) - m(\text{He-4}) \\ &= 211,98887 \text{ u} - 207,97663 \text{ u} - 4,002603 \text{ u} \\ &= 0,009637 \text{ u}\end{aligned}$$

c.



d.

Bij de volgende berekening worden atoommassa's in plaats van kernmassa's van elkaar afgetrokken. Dat heeft als extra voordeel dat de massa van het bètadeeltje niet hoeft te worden afgetrokken want dat is dan al gebeurt.

$$\begin{aligned}\Delta m &= m(\text{Po-212}) - m(\text{At-212}) \\ &= 211,98887 \text{ u} - 211,99075 \text{ u} \\ &= -0,00188 \text{ u}\end{aligned}$$

e.

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.

$$\begin{aligned} & m(\text{He-4 kern}) \\ &= m(\text{He-4 atoom}) - 2m(\text{elektron}) \\ &= 4,002603 - 2 \times 0,000549 = 4,001505 \text{ u} \\ & m(\text{He-4 kern}) / 4 = 1,00038 \text{ u} \end{aligned}$$

b.

$$\begin{aligned} & m(\text{Ni-60 kern}) \\ &= m(\text{Ni-60 atoom}) - 28m(\text{elektron}) \\ &= 59,93079 - 28 \times 0,000549 = 59,91542 \text{ u} \\ & m(\text{Ni-60 kern}) / 60 = 0,99859 \text{ u} \end{aligned}$$

c.

$$\begin{aligned} & m(\text{U-238 kern}) \\ &= m(\text{U-238 atoom}) - 92m(\text{elektron}) \\ &= 238,05078 - 92 \times 0,000549 = 238,00027 \text{ u} \\ & m(\text{U-238 kern}) / 238 = 1,00000 \text{ u} \end{aligned}$$

d.

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

e.

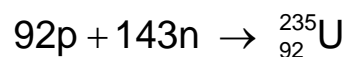
$$m(\text{los proton}) = 1,007276 \text{ u.}$$

$$m(\text{los neutron}) = 1,008665 \text{ u.}$$

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.

$$\Delta m =$$

$$\begin{aligned} & 92 \cdot m(\text{H-1 atoom}) + 143 \cdot m(\text{neutron}) - m(\text{U-235 atoom}) = \\ & 92 \times 1,007825 \text{ u} + 143 \times 1,008665 \text{ u} - 235,04392 \text{ u} = \\ & 1,91508 \text{ u} \end{aligned}$$

$$\text{Bindingsenergie} = 1,91508 \text{ u} \times 931,49 \text{ MeV/u} = 1784 \text{ MeV}$$

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

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

Toename van de bindingsenergie per nucleon =  $7,7 - 7,1 = 0,6$  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:  $7,1 - 1,1 = 6,0$  MeV.

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

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