

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:

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

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

Opgave 4

Stel dat de botsing inelastisch 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 $2,0 - 8,0 = -6,0 \text{ km/s}$.

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

Als in de formules voor de impuls p en de energie E de snelheid v gelijk aan de lichtsnelheid c zou, zouden de noemers nul worden.

Opgave 2

$$E = E_0 + E_k$$

Opgave 3

a.

$$E_0 = mc^2$$

b.

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

c.

$$E_k = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - mc^2$$

Opgave 4

a.

$$p = \frac{m \cdot v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{m \cdot 0,70 \cdot c}{\sqrt{1 - 0,70^2}} = 0,98 \cdot m \cdot c$$

b.

$$E = \frac{m \cdot c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{m \cdot c^2}{\sqrt{1 - 0,70^2}} = 1,4 \cdot m \cdot c^2$$

c.

De totale energie is 1,4 keer de rustenergie. Voor de kinetische energie blijft dus 0,4 keer de rustenergie over.

Opgave 5

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 6

Als het deeltje net zo veel kinetische energie als rustenergie heeft, moet gelden:

$$E = 2 \cdot mc^2.$$

Hieruit volgt:

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 0,5 \quad \text{en dus} \quad \frac{v^2}{c^2} = 1 - 0,25.$$

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

Opgave 7

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

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

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

Uitwerkingen § 4

Opgave 1

- a.
Neemt toe
- b.
Neemt af
- c.
Neemt af
- d.
Neemt af

Opgave 2

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

Opgave 3

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

Opgave 4

$$\Delta E_o = 2,0 \text{ eV} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV} = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\Delta m = \frac{\Delta E_o}{c^2} = \frac{3,2 \cdot 10^{-19}}{(3,0 \cdot 10^8)^2} = 0,356 \cdot 10^{-35} \text{ kg}$$

$$m = 40 \text{ u} \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg/u} = 66,4 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\Delta m / m = (0,356 \cdot 10^{-35}) / (66,4 \cdot 10^{-27}) = 5,4 \cdot 10^{-11} = 5,4 \cdot 10^{-9} \%$$

Opgave 5

Juist zijn de beweringen 1 en 4.

Uitwerkingen § 5

Opgave 1

Linker diagram: 1) a en 2) b.

Middelste diagram: 1) b en 2) a.

Rechter diagram: 1) b en 2) a.

Opgave 2

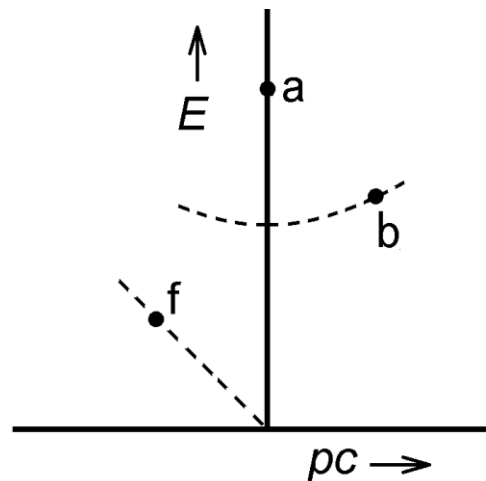
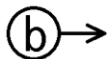
Als geldt $v = c / 3$

Opgave 3

Voor:



Na:



Uitwerkingen § 6

Opgave 1

a.

$$\beta = 0,48$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 - 0,48^2}} = 1,14$$

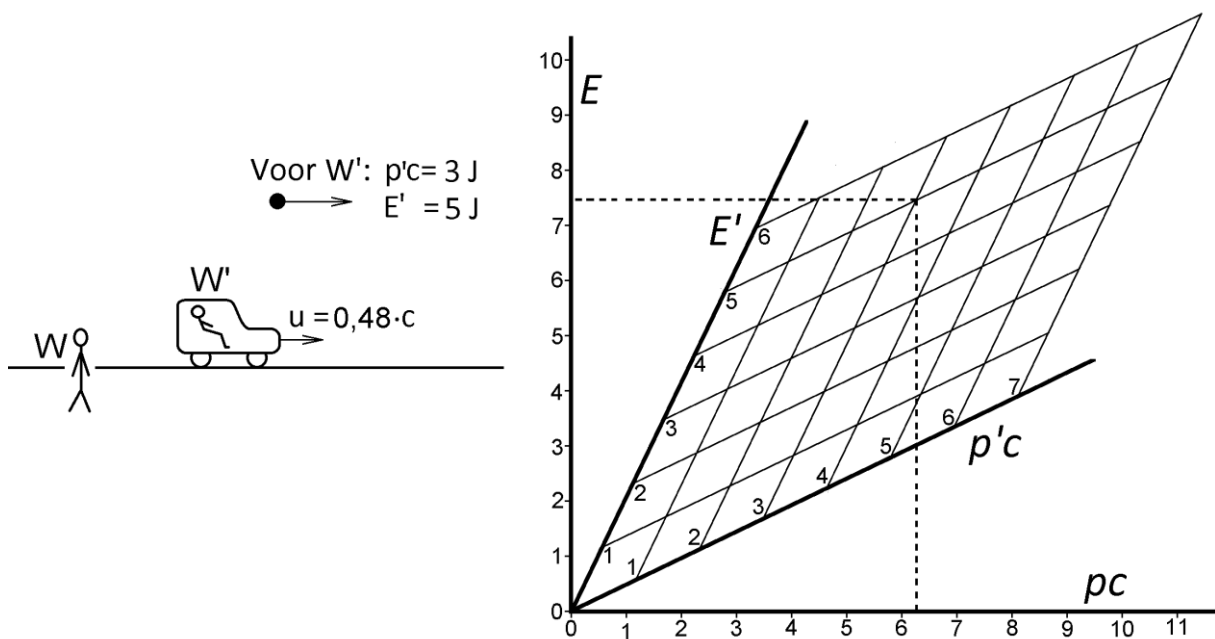
b.

$$pc = \gamma \cdot (p'c + \beta \cdot E') = 1,14 \cdot (3 + 0,48 \cdot 5) = 6,2 \text{ J}$$

c.

$$E = \gamma \cdot (E' + \beta \cdot p'c) = 1,14 \cdot (5 + 0,48 \cdot 3) = 7,3 \text{ J}$$

d.



Opgave 2

a.

Voor W

b.

Voor W''.

c.

Oneens

d.

Eens

Opgave 3

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

Opgave 4

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 5

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 6

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.

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

Uitwerkingen § 7

Opgave 1

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 2

a.

Omdat bij een foton E en pc even groot zijn, gaat $E' = \gamma(E - \beta \cdot pc)$ over in $E' = \gamma(E - \beta \cdot E)$. Dat wordt dan $E' = \gamma(1 - \beta)E$.

b.

$$E' = \gamma(1 - \beta)E = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} (1 - \beta)E$$

$$E' = \frac{1 - \beta}{\sqrt{(1 + \beta)(1 - \beta)}} E$$

$$E' = \frac{\sqrt{(1 - \beta)^2}}{\sqrt{(1 + \beta)(1 - \beta)}} E$$

$$E' = E \sqrt{\frac{1 - \beta}{1 + \beta}}$$

c.

$$E' = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} (1 + \beta) E$$

$$E' = \frac{1 + \beta}{\sqrt{(1 + \beta)(1 - \beta)}} E$$

$$E' = \frac{\sqrt{(1 + \beta)^2}}{\sqrt{(1 + \beta)(1 - \beta)}} E$$

$$E' = E \sqrt{\frac{1 + \beta}{1 - \beta}}$$

d.

$$E'(A) = \sqrt{\frac{1 - \beta}{1 + \beta}} \cdot 1 \text{ eV} = \sqrt{\frac{1 - 0,6}{1 + 0,6}} \cdot 1 \text{ eV} = 0,5 \text{ eV}$$

$$E'(B) = \sqrt{\frac{1 + \beta}{1 - \beta}} \cdot 1 \text{ eV} = \sqrt{\frac{1 + 0,6}{1 - 0,6}} \cdot 1 \text{ eV} = 2 \text{ eV}$$

Uitwerkingen § 8

Opgave 1

Waar

Waar

Niet waar

Niet waar

Waar

Niet waar

Opgave 2

a.

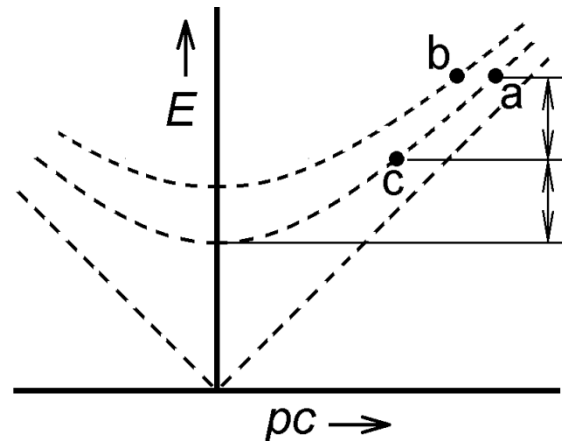
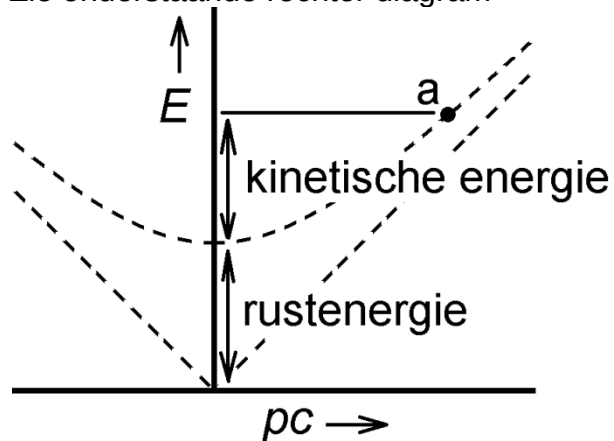
Zie onderstaande linker diagram

b.

Minder, meer, meer

c.

Zie onderstaande rechter diagram



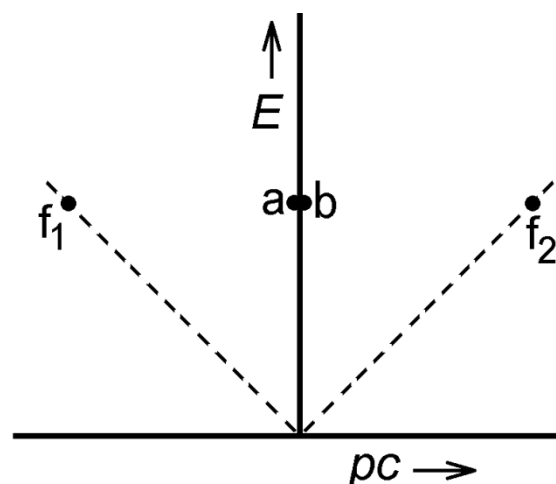
Opgave 3

Voor:

a b
+ -

Na:

$\leftarrow f_1$ $f_2 \rightarrow$

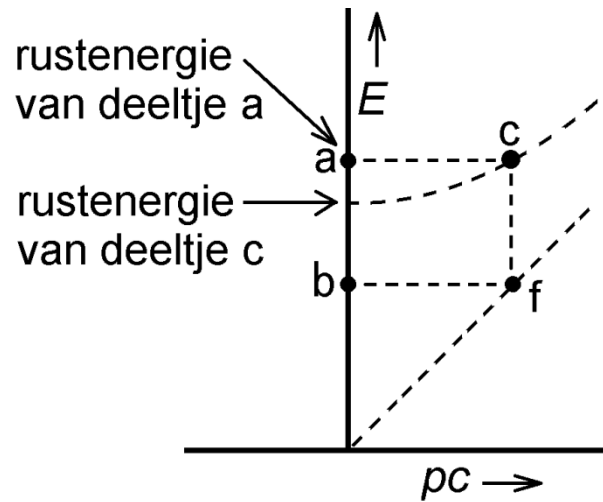


Opgave 4

a.

Voor: $\sim f \rightarrow$ (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.

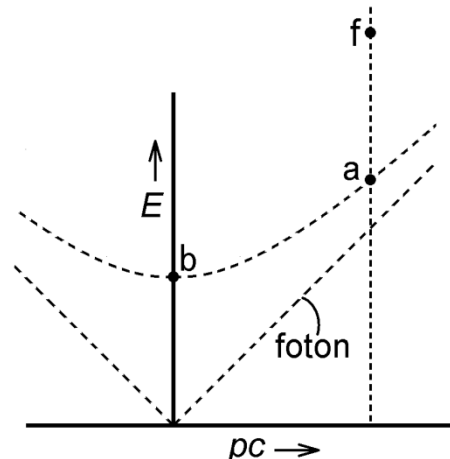
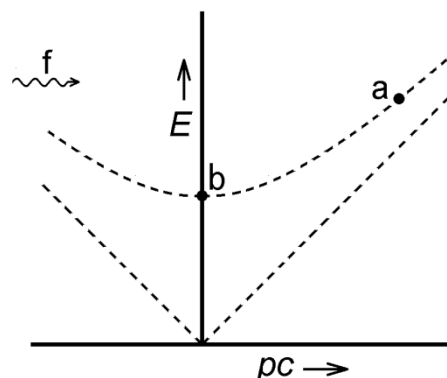
Zie het onderstaande linker E-pc-diagram..

b.

Uit het onderstaande rechter E-pc-diagram blijkt dat het niet kan. Volgens de wet van behoud van impuls en de wet van behoud van energie zou het deeltje na de reactie bij stip f horen. Deze stip ligt echter niet op de rechte stippellijn die is aangeduid met 'foton'.

Voor: (a) $\rightarrow$ (b)

Na(?):



Uitwerkingen § 9

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:

$$mc^2 + mc^2 = E_f + E_f.$$

Hieruit volgt:

$$E_f = mc^2.$$

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.

Wet van behoud van energie geeft:

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

Hieruit volgt:

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

b.

Wet van behoud van impuls geeft:

$$p_1 = -p_2 + p_m$$

Hieruit volgt:

$$p_1 + p_2 = p_m$$

Hieruit volgt:

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

Gebruikmaking van de formule $p^2 c^2 = E^2 - m^2 c^4$ geeft:

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

Hieronder volgt het bewijs dat uit vergelijking 1 en vergelijking 2 de genoemde formule volgt (valt buiten de lesstof).

Uit verg.1 volgt:

$$E_m^2 = (E_1 - E_2)^2 + m^2 c^4 + 2(E_1 - E_2)mc^2$$

Als we deze vergelijking substitueren in verg. 2 en daarna kwadrateren krijgen we:

$$E_1^2 + E_2^2 + 2E_1 E_2 = (E_1 - E_2)^2 + m^2 c^4 + 2(E_1 - E_2)mc^2 - m^2 c^4$$

Deze vergelijking kunnen we vereenvoudigen tot:

$$2E_1 E_2 = -2E_1 E_2 + 2(E_1 - E_2)mc^2$$

Hieruit volgt de genoemde vergelijking.

Opgave 3

a.

Wet van behoud van energie geeft:

$$E_f + M \cdot c^2 = m_1 \cdot c^2 + E_2$$

Hieruit volgt:

$$E_f + (M - m_1) \cdot c^2 = E_2$$

b.

Het foton heeft geen massa.

c.

Volgens de wet van behoud van impuls geldt:

$$p_f = p_2$$

Hierdoor vallen er twee termen in de vergelijking tegen elkaar weg en we krijgen dan:

$$(M - m_1)^2 c^4 + 2E_f \cdot (M - m_1) c^2 = m_2^2 c^4$$

d.

Als we alle termen delen door c^4 krijgen we:

$$(M - m_1)^2 + \frac{2E_f}{c^2} \cdot (M - m_1) = m_2^2$$

Hieruit volgt:

$$m_2^2 = (M - m_1)^2 \left(1 + \frac{2E_f}{(M - m_1)c^2} \right)$$

Hieruit volgt:

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

Opgave 4

a.

Een deel van de rustenergie van het atoom wordt omgezet in 1) fotonenergie en in 2) kinetische energie van het atoom na het uitzenden.

b.

Uit de wet van behoud van energie volgt:

$$Mc^2 = E_f + E_m$$

Hieruit volgt:

$$Mc^2 - E_f = E_m$$

Hieruit volgt:

$$M^2 c^4 + E_f^2 - 2 \cdot Mc^2 \cdot E_f = E_m^2$$

c.

Met behulp van de formule $E^2 = p^2c^2 + m^2c^4$ vinden we:

$$M^2c^4 + p_f^2c^2 - 2 \cdot Mc^2 \cdot E_f = p_m^2c^2 + m^2c^4$$

Volgens de wet van behoud van impuls geldt:

$$0 = p_f + p_m.$$

We krijgen dan:

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

d.

Alle termen delen door c^4 geeft:

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

Hieruit volgt:

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

Opgave 5

a.

Uit de wet van behoud van energie volgt:

$$Mc^2 = E_1 + E_2$$

Hieruit volgt:

$$Mc^2 - E_1 = E_2$$

Linker- en rechterlid kwadrateren geeft:

$$M^2c^4 + E_1^2 - 2 \cdot Mc^2 \cdot E_1 = E_2^2$$

b.

Met behulp van de formule $E^2 = p^2c^2 + m^2c^4$ vinden we:

$$M^2c^4 + p_1^2c^2 + m_1^2c^4 - 2 \cdot Mc^2 \cdot E_1 = p_2^2c^2 + m_2^2c^4$$

Volgens de wet van behoud van impuls geldt:

$$0 = p_1 + p_2.$$

We krijgen dan:

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

c.

Hergroeperen geeft:

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

Delen door $2Mc^2$ geeft de te bewijzen formule.

Opgave 6

a.

Uit de wet van behoud van energie volgt:

$$E + mc^2 = E_G$$

Linker- en rechterlid kwadrateren geeft:

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

b.

Met behulp van de formule $E^2 = p^2c^2 + m^2c^4$ vinden we:

$$p^2c^2 + m^2c^4 + m^2c^4 + 2Emc^2 = p_G^2c^2 + (4m)^2c^4$$

Volgens de wet van behoud van impuls geldt:

$$p = p_G$$

We krijgen dan:

$$2m^2c^4 + 2Emc^2 = (4m)^2c^4$$

c.

Alle termen delen door mc^2 geeft:

$$2mc^2 + 2E = 16mc^2$$

Hieruit volgt

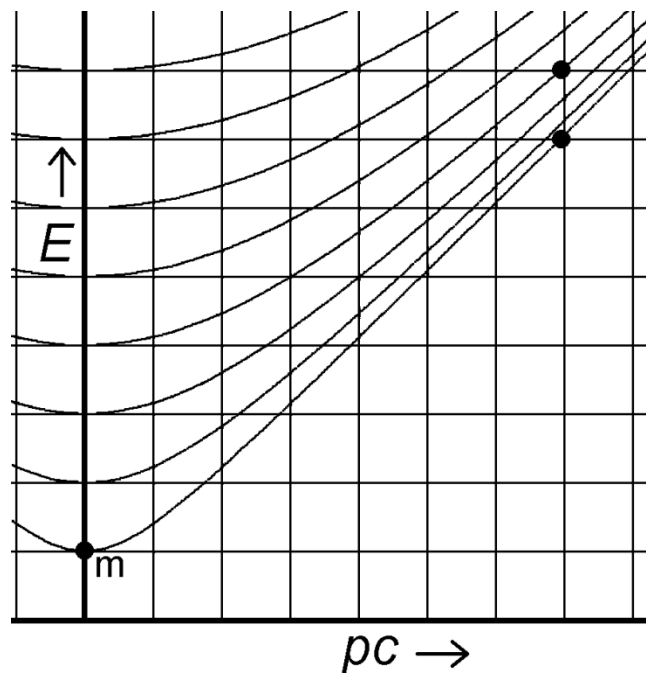
$$E = 7mc^2.$$

d.

6

e.

Zie het diagram hiernaast.



Uitwerkingen § 10

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 in zijn grondtoestand.

Opgave 2

In het algemeen geldt dat de totale massa van een stelsel van deeltjes NIET gelijk is aan de optelsom van de massa's van de bestanddelen.

Stel dat we een atoom op zouden bouwen uit een atoomkern en losse elektronen. Met losse elektronen bedoelen we elektronen die zich op grote afstand van de kern bevinden. Er zou dan energie vrij komen omdat de elektronen (negatief geladen) worden aangetrokken door de atoomkern (positief geladen). Als de elektronen bijvoorbeeld één voor één in een baan rond de kern gebracht zouden worden, zou er elke keer een foton vrijkomen. Deze vrijkomende energie was daarvoor rustenergie. Kortom: de massa van het atoom is kleiner dan de som van de massa's van de oorspronkelijke deeltjes.

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 verschijnt in de vorm van 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

$$\begin{aligned} &= m(\text{U-235-kern}) - m(\text{Xe-140-kern}) - m(\text{Sr-94-kern}) - m(\text{neutron}) \\ &= 234,9935 \text{ u} - 139,8918 \text{ u} - 93,8944 \text{ u} - 1,0086649 \text{ u} \\ &= 0,1986 \text{ u} \end{aligned}$$

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 § 11

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.

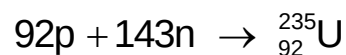
De kernmassa per nucleon is het kleinst voor middelgrote kernen (rond een massagetel van 60) maar de verschillen zijn zeer klein.

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: $7,1 - 1,1 = 6,0 \text{ MeV}$.

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

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