

Vwo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

10.1 Elektrische velden

Opgave 1

- a Hoeveel elektronen naar de zijden doek zijn gegaan bereken je met de elementaire lading.

$$n = \frac{Q}{e}$$

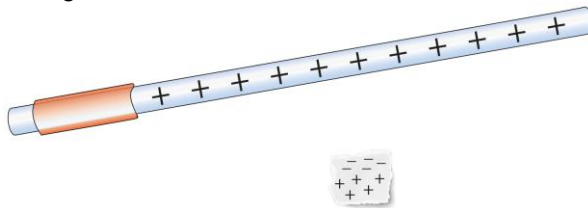
$$Q = 9,0 \text{ nC} = 9,0 \cdot 10^{-9} \text{ C}$$

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \quad (\text{zie BINAS tabel 7A})$$

$$\text{Invullen levert: } n = \frac{9,0 \cdot 10^{-9}}{1,602 \cdot 10^{-19}} = 5,61 \cdot 10^{10}$$

$$\text{Afgerond: } n = 5,6 \cdot 10^{10}.$$

- b Zie figuur 10.1.



Figuur 10.1

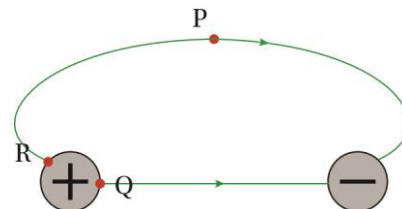
De snippet wordt aangetrokken door een elektrische kracht. Deze elektrische kracht ontstaat omdat door de positief geladen staaf de elektronen in de snippet zich een klein beetje verplaatsen richting de positieve staaf. De snippet krijgt daardoor een negatief (en een positief) geladen kant. De afstand van de positief geladen staaf tot de negatief geladen kant is kleiner dan de afstand tot de positief geladen kant. Daardoor is de aantrekkende kracht op de papiersnipper groter dan de afstotende kracht.

Als de snippet contact maakt met de positief geladen staaf, gaat een deel van de elektronen van de snippet naar de staaf. De snippet wordt daardoor ook positief geladen. Twee positief geladen voorwerpen stoten elkaar af. Dus valt de snippet weer terug.

Opgave 2

Een veldlijn staat loodrecht op het metalen oppervlak en loopt van het oppervlak van de positieve lading naar het oppervlak van de negatieve lading.

- a Zie figuur 10.2.
b Zie figuur 10.2.



Figuur 10.2

Opgave 3

De elektrische kracht bereken je met de wet van Coulomb.

De afstand tussen de ladingen bereken je met de straal van de aarde.

$$r = 2R_{\text{pool}}$$

$$R_{\text{pool}} = 6357 \text{ km} = 6357 \cdot 10^3 \text{ m} \quad (\text{zie BINAS tabel 31 voetnoot 3})$$

$$r = 2 \times 6357 \cdot 10^3 = 1,271 \cdot 10^7 \text{ m}$$

$$F_{\text{el}} = f \cdot \frac{q \cdot Q}{r^2}$$

$$f = 8,987 \cdot 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2} \quad (\text{zie BINAS tabel 7A})$$

$$q = 1,0 \text{ C}$$

$$Q = 1,0 \text{ C}$$

$$\text{Invullen levert: } F_{\text{el}} = 8,987 \cdot 10^9 \times \frac{1,0 \times 1,0}{(1,271 \cdot 10^7)^2}$$

$$F_{\text{el}} = 5,56 \cdot 10^{-5} \text{ N}$$

$$\text{Afgerond: } F_{\text{el}} = 5,6 \cdot 10^{-5} \text{ N}.$$

Vwo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

Opgave 4

- a De versnelling bereken je met de tweede wet van Newton.
De resulterende kracht is de elektrische kracht.
De elektrische kracht bereken je met de formule voor de elektrische veldkracht.

$$F_{\text{el}} = q \cdot E$$

$$Q = 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ C}$$

$$E = 1,0 \cdot 10^3 \text{ N C}^{-1}$$

$$F_{\text{el}} = 1,6 \cdot 10^{-12} \times 1,0 \cdot 10^3 = 1,6 \cdot 10^{-9} \text{ N}$$

$$F_{\text{res}} = m \cdot a$$

$$F_{\text{res}} = F_{\text{el}} = 1,6 \cdot 10^{-9} \text{ N}$$

$$m = 3,2 \cdot 10^{-9} \text{ kg}$$

$$1,6 \cdot 10^{-9} = 3,2 \cdot 10^{-9} \cdot a$$

$$a = 0,50 \text{ m s}^{-2}$$

$$\text{Afgerond: } a = 0,50 \text{ m s}^{-2}.$$

- b Er werkt een resulterende kracht op de proeflading. De proeflading krijgt daardoor een versnelling die in de richting van de raaklijn ligt. Die versnelling laat de lading 'uit de baan vliegen'.

Opgave 5

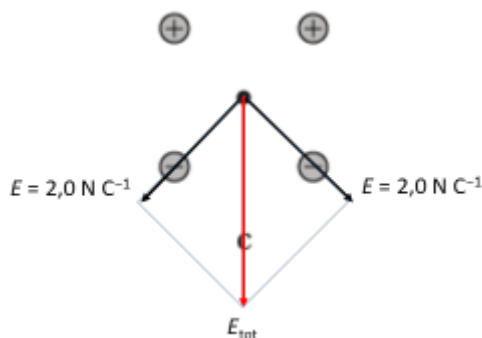
- a Dat de elektrische veldsterkte in het midden 0 N C^{-1} is, leg je uit met de resulterende veldsterkte op een diagonaal.

In figuur 10.10a en in figuur 10.10b van het boek zijn de richtingen van de elektrische veldsterkten op een diagonaal tegengesteld. In het midden van de diagonaal zijn de veldsterkten gelijk en tegengesteld gericht. Dus in het midden van een diagonaal heffen de veldsterkten elkaar op. Dit geldt voor alle diagonalen in de figuren a en b.

Daardoor is de resulterende veldsterkte in het midden van de figuren a en b 0 N C^{-1} .

- b De resulterende elektrische veldsterkte in het midden bepaal je met de resulterende elektrische veldsterkte op de diagonalen.
De resulterende elektrische veldsterkte op een diagonaal volgt uit de richtingen van de twee veldsterkten op de diagonaal.

In figuur 10.10c zijn de richtingen van de twee veldsterkten op een diagonaal hetzelfde. De veldsterkte op een diagonaal is dus $2,0 \text{ N C}^{-1}$. In figuur 10.3 hieronder is de totale veldsterkte getekend en die is dus groter dan die op een diagonaal. Dus groter dan $2,0 \text{ N C}^{-1}$.

**Figuur 10.3**

In figuur 10.9d heffen de veldsterkten van de diagonaal met de negatieve ladingen elkaar op. De richtingen van de veldsterkten op de andere diagonaal zijn hetzelfde. Dus de totale veldsterkte is $2,0 \text{ N C}^{-1}$.

Dus in figuur 10.9c is de elektrische veldsterkte in het midden het grootst.

Vwo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

c $F_{\text{el}} = q \cdot E$

$$F_{\text{el}} = f \cdot \frac{q \cdot Q}{r^2}$$

Uit deze twee formules volgt:

$$E_{\text{el}} = f \cdot \frac{Q}{r^2}$$

d De afstand bereken je met de stelling van Pythagoras.

De afstand van een lading tot het midden van het vierkant bereken je met de gegeven formule.

$$E_{\text{el}} = f \cdot \frac{Q}{r^2}$$

$$E = 1,0 \text{ NC}^{-1}$$

$$f = 8,987 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2 \text{C}^{-2} \quad (\text{zie BINAS tabel 7A})$$

$$Q = e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \quad (\text{zie BINAS tabel 7A})$$

$$\text{Invullen levert: } 1,0 = 8,987 \cdot 10^9 \times \frac{1,602 \cdot 10^{-19}}{r^2}.$$

$$r = 3,794 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

In een vierkant staan de diagonalen loodrecht op elkaar.

Voor de afstand tussen twee ladingen op een zijde geldt:

$$d = \sqrt{(3,794 \cdot 10^{-5})^2 + (3,794 \cdot 10^{-5})^2}$$

$$d = 5,366 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

$$\text{Afgerond: } d = 5,4 \cdot 10^{-5} \text{ m}.$$

Opgave 6

a De elektrische veldsterkte bereken je met de formule voor de elektrische veldkracht.

$$F_{\text{el}} = q \cdot E$$

$$F_{\text{el}} = 8,0 \cdot 10^{-16} \text{ N}$$

$$q = +1e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \quad (\text{zie BINAS tabel 7A})$$

$$\text{Invullen levert: } 8,0 \cdot 10^{-16} = 1,602 \cdot 10^{-19} \cdot E.$$

$$E = 4993 \text{ NC}^{-1}$$

$$\text{Afgerond: } E = 5,0 \text{ kNC}^{-1}.$$

b De kracht is even groot, omdat het elektrische veld tussen twee evenwijdige geladen platen homogeen is.

c De versnelling volgt uit de tweede wet van Newton.

$$F_{\text{res}} = m \cdot a$$

De lading van Pb^{2+} is twee keer zo groot, dus de elektrische kracht is 2,0 keer zo groot.De massa van Pb^{2+} is 207,2 u en de massa van Na^+ is 22,99 u.De massa van Pb^{2+} is dus meer dan twee keer zo groot als de massa van Na^+ .De versnelling van het Pb^{2+} -ion is dus kleiner dan de versnelling van het Na^+ -ion.**Opgave 7**

a De proeflading wordt afgestoten door lading L. L is positief, dus de proeflading in A ook.

b De elektrische kracht bereken je met $F_{\text{el}} = f \cdot \frac{q \cdot Q}{r^2}$.

De verhouding tussen de afstanden bepaal je in figuur 10.12.

Vwo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

$$F_{A,L} = f \cdot \frac{q_A \cdot Q_L}{r_{LA}^2} \text{ en } F_{A,R} = f \cdot \frac{q_A \cdot Q_R}{r_{RA}^2}$$

De ladingen in L en R zijn gelijk in grootte. Het verschil in elektrische kracht hangt dus uitsluitend af van de afstand.

De afstand LA is gelijk aan 4,80 cm. De afstand RA is gelijk aan 2,75 cm.

De kracht die R levert is dus $\left(\frac{4,80}{2,75}\right)^2 = 3,0$ keer zo groot.

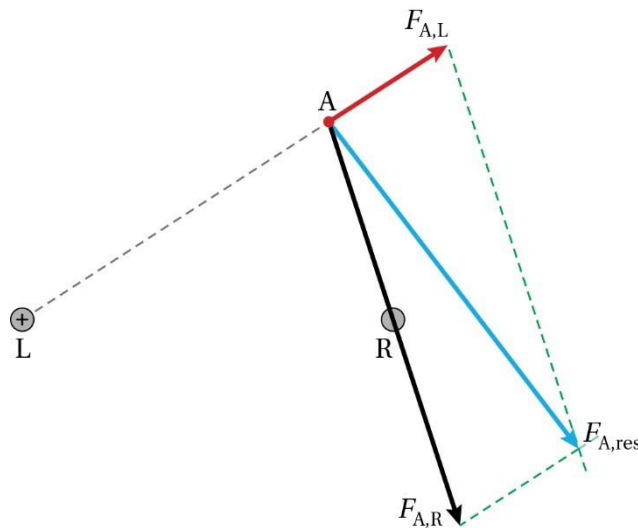
- c De resulterende kracht op de proeflading in A construeer je met de parallellogrammethode. De richting die de elektrische kracht R op proeflading in A uitoefent bereken je met de ladingen van R, L en de proeflading in A.

Zie figuur 10.4.

De lading van R is tegengesteld aan de lading van L.

$F_{A,L}$ wijst van af L af. Dus wijst $F_{A,R}$ in de richting van R.

Deze kracht is 3,0 keer zo groot als de kracht $F_{A,L}$.



Figuur 10.4

Opgave 8

- a De spankracht en de elektrische kracht construeer je met een methode voor een driekrachtenevenwicht.

De spankracht en de elektrische kracht zijn in evenwicht met de zwaartekracht.

De werklijn van de spankracht loopt over het touw.

De werklijn van de elektrische kracht staat loodrecht op de twee platen.

Zie figuur 10.5a.

Er zijn twee mogelijkheden.

Methode 1

Zie figuur 10.5b.

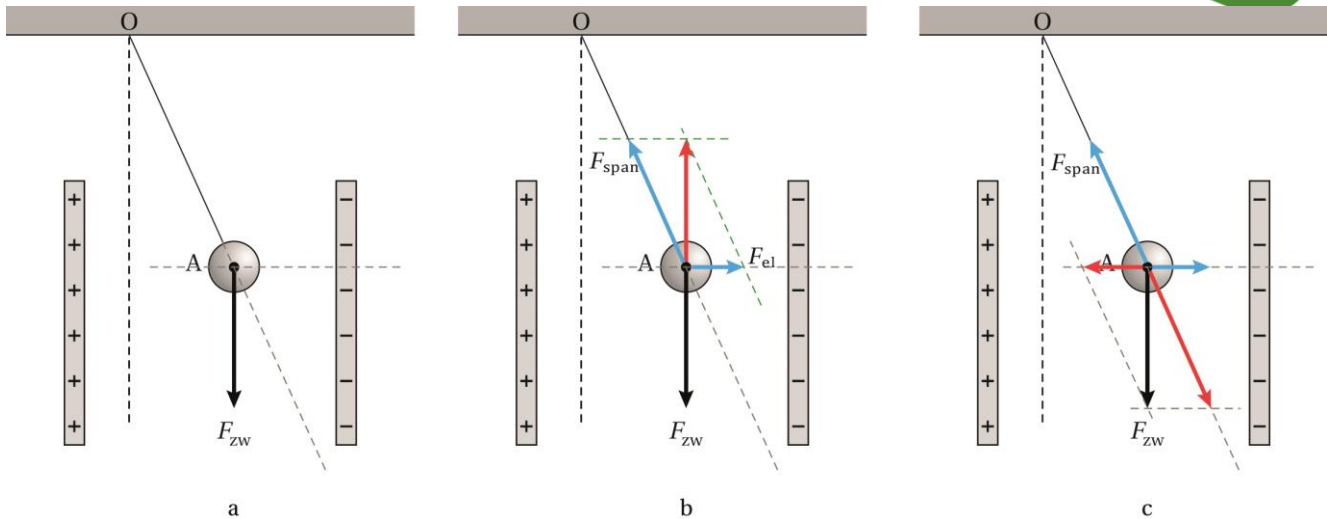
De resulterende kracht van de spankracht en de elektrische kracht is even groot als de zwaartekracht, maar tegengesteld gericht. Je tekent dus eerst de kracht die even groot is als de zwaartekracht, maar tegengesteld gericht: rode pijl. Vervolgens ontbind je deze kracht over de werklijnen.

Methode 2

Je ontbindt eerst de zwaartekracht in componenten over de werklijnen: de rode pijlen.

Vervolgens teken je de tegengestelde en even grote krachten van deze pijlen.

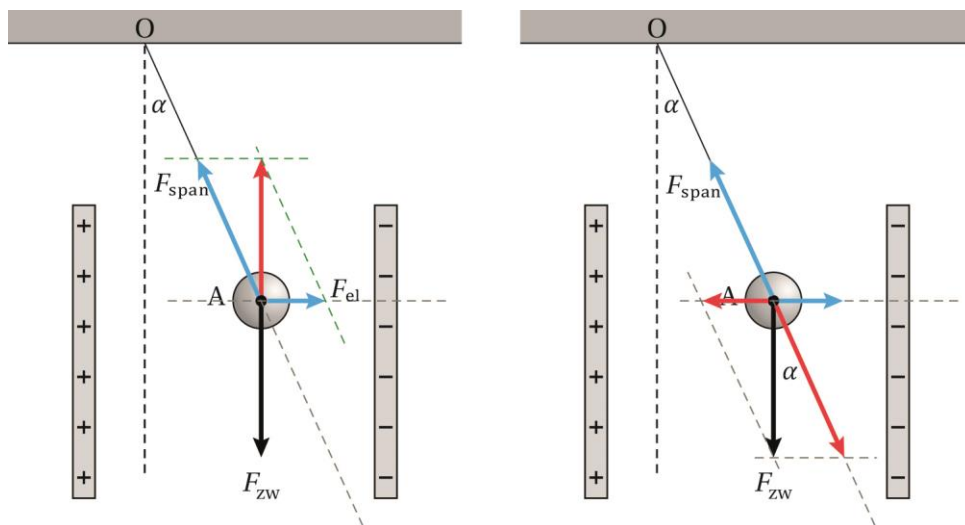
Vwo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen



Figuur 10.5

- b De elektrische kracht bereken je met een goniometrische formule waarin de zwaartekracht een rol speelt.
De zwaartekracht bereken je met de formule voor de zwaartekracht.
Hoek α bereken je met een goniometrische formule waarin de afstanden een rol spelen.

Zie figuur 10.6.



Figuur 10.6

$$\sin(\alpha) = \frac{4,3}{71,7}$$

$$\alpha = 3,438^\circ$$

$$F_{zw} = m \cdot g$$

$$m = 9,2 \text{ g} = 9,2 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

$$g = 9,81 \text{ m s}^{-2} \quad (\text{zie BINAS tabel 7A})$$

$$F_{zw} = 9,2 \cdot 10^{-3} \times 9,81 = 9,025 \cdot 10^{-2} \text{ N}$$

Vwo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

$$\tan(\alpha) = \frac{F_{\text{el}}}{F_{\text{zw}}}$$

$$\tan(3,438^\circ) = \frac{F_{\text{el}}}{9,025 \cdot 10^{-2}}$$

$$F_{\text{el}} = 5,422 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

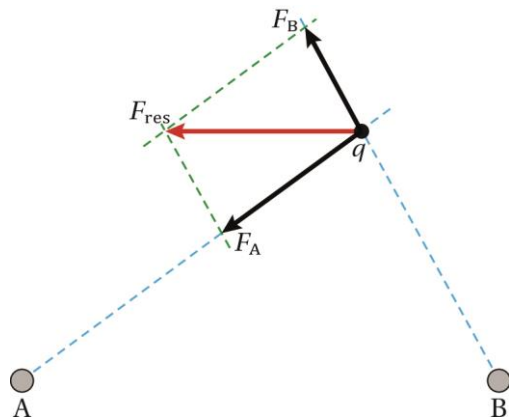
$$\text{Afgerond: } F_{\text{el}} = 5,4 \cdot 10^{-3} \text{ N.}$$

- c De uitwijking van het bolletje is evenredig met de elektrische veldsterkte. Door het bolletje op meerdere plaatsen tussen de geladen platen te plaatsen, zie je dat de uitwijking overal hetzelfde is.

Opgave 9

- a De grootte van de elektrische krachten bepaal je met de lengte van de pijlen van de elektrische krachten.
De elektrische krachten volgen uit de componenten van de resulterende kracht.
De componenten construeer je met de omgekeerde parallellogrammethode.
De werklijnen van de elektrische krachten lopen over de verbindinglijnen tussen de middelpunten van de ladingen.

Zie figuur 10.7.



Figuur 10.7

- b De lading van B bereken je met de lading van q en de richting van de elektrische kracht.
De lading van q bereken je met de lading van A en de richting van de elektrische kracht.

De kracht van A op q werkt in de richting van A. Dus A en q trekken elkaar aan.

A is negatief. Dus de lading van q is positief.

De kracht van B op q werkt van B af. Dus B en q stoten elkaar af.

q is positief. Dus de lading van B is ook positief.

- c Dat lading A groter is dan lading B leg je uit met de wet van Coulomb en de afstand r .

$$F_{\text{el}} = f \cdot \frac{q \cdot Q}{r^2}$$

De afstand r is het grootst voor lading A. Hoe groter de afstand, des te kleiner is de kracht.
Omdat de kracht van A toch groter is dan de kracht van B, moet de lading van A dus groter zijn dan de lading van B.

- d De verhouding tussen de lading van A en van B bereken je met behulp van de wet van Coulomb.
De verhouding van de elektrische krachten volgt uit de lengte van de krachtpijlen in figuur 10.6.
De afstanden tussen de ladingen bepaal je in figuur 10.6.

Vwo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

$$F_A = f \cdot \frac{q \cdot Q_A}{r_A^2} \text{ en } F_B = f \cdot \frac{q \cdot Q_B}{r_B^2}$$

$$r_A = 5,55 \text{ cm}$$

$$r_B = 3,75 \text{ cm}$$

De component F_A is 2,25 cm lang.

De component F_B is 1,50 cm lang.

De verhouding tussen de krachten F_A en F_B is dus gelijk aan

$$\frac{F_A}{F_B} = \frac{\left(f \cdot \frac{q \cdot Q_A}{r_A^2} \right)}{\left(f \cdot \frac{q \cdot Q_B}{r_B^2} \right)} = \frac{r_B^2}{r_A^2} \cdot \frac{Q_A}{Q_B}$$

$$\frac{2,25}{1,50} = \frac{3,75^2}{5,55^2} \cdot \frac{Q_A}{Q_B}$$

$$\frac{Q_A}{Q_B} = 3,285$$

$$\text{Afgerond: } \frac{Q_A}{Q_B} = 3,3.$$

Vwo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

10.2 Elektrische energie

Opgave 10

- a De spanning bereken je met de formule voor de toename van elektrische energie.
De verandering van de elektrische energie bereken je met de verandering van de kinetische energie.
De kinetische energie bereken je met de formule voor kinetische energie.

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{eind}}^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{begin}}^2$$

$$m = 1,672 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \quad (\text{zie BINAS tabel 7B})$$

$$v_{\text{eind}} = c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1} \quad (\text{zie BINAS tabel 7A})$$

$$v_{\text{begin}} = 0 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Invullen levert: } \Delta E_k = \frac{1}{2} \times 1,672 \cdot 10^{-27} \times (2,998 \cdot 10^8)^2 - 0$$

$$\Delta E_k = 7,513 \cdot 10^{-11} \text{ J}$$

$$\Delta E_k = q \cdot U$$

$$q = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$\text{Invullen levert: } 7,513 \cdot 10^{-11} = 1,602 \cdot 10^{-19} \cdot U.$$

$$U = 4,69 \cdot 10^8 \text{ V, oftewel 469 miljoen volt}$$

- b De snelheid bereken je met de formule voor kinetische energie.
De verandering in kinetische energie bereken je met de verandering van de elektrische energie.
De spanning tussen buis 1 en buis 10 bereken je met het aantal oversteken.

Tussen buis 1 en buis 10 zitten 9 oversteken.

$$U = 9 \times 20 \text{ kV} = 180 \text{ kV}$$

$$\Delta E_k = q \cdot U$$

$$q = 1e$$

$$U = 180 \text{ kV} = 180 \cdot 10^3 \text{ V}$$

$$\text{Invullen levert: } \Delta E_k = 1 \times 180 \cdot 10^3 = 1,8 \cdot 10^5 \text{ eV} = 0,18 \text{ MeV.}$$

$$\Delta E_k = 0,18 \text{ MeV} = 0,18 \cdot 10^6 \times 1,602 \cdot 10^{-19} = 2,88 \cdot 10^{-14} \text{ J}$$

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{eind}}^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{begin}}^2$$

ΔE_k is positief omdat de snelheid toeneemt.

$$m = 1,672 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \quad (\text{zie BINAS tabel 7B})$$

$$v_{\text{begin}} = 0 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Invullen levert: } 2,88 \cdot 10^{-14} = \frac{1}{2} \times 1,672 \cdot 10^{-27} \cdot v_{\text{eind}}^2 - 0.$$

$$v_{\text{eind}} = 5,87 \cdot 10^6 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Afgerond: } v_{\text{eind}} = 5,9 \cdot 10^6 \text{ m s}^{-1}.$$

Opgave 11

- a Het alfadeeltje wordt afgeremd. Het alfadeeltje is positief. Plaat Q is dus ook positief. Dus de linker plaat is negatief.
- b De beginsnelheid van de snelste alfadeeltjes bereken je met de verandering van de kinetische energie.
De verandering in kinetische energie bereken je met de verandering van de elektrische energie.

$$\Delta E_k = q \cdot U$$

$$q = 2e = 2 \times 1,602 \cdot 10^{-19} = 3,204 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$U = 2,6 \text{ MV} = 2,6 \cdot 10^6 \text{ V}$$

$$\text{Invullen levert: } \Delta E_{\text{el}} = 3,204 \cdot 10^{-19} \times 2,6 \cdot 10^6 = 8,33 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{eind}}^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{begin}}^2$$

Vwo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

ΔE_k is negatief omdat de snelheid afneemt.

$$m_\alpha = 4,0 \text{ u} = 4,0 \times 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \quad (\text{zie BINAS tabel 7B})$$

$$m_\alpha = 6,64 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$m = 6,64 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$v_{\text{eind}} = 0 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Invullen levert: } -8,33 \cdot 10^{-13} = 0 - \frac{1}{2} \times 6,64 \cdot 10^{-27} \cdot v_{\text{begin}}^2$$

$$v_{\text{begin}} = 1,58 \cdot 10^7 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Afgerond: } v_{\text{begin}} = 1,6 \cdot 10^7 \text{ m s}^{-1}.$$

Opgave 12

- a De snelheid bereken je met de formule voor kinetische energie.
De verandering in kinetische energie bereken je met de verandering van de elektrische energie.

$$\Delta E_k = q \cdot U$$

$$q = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$U = 20 \text{ kV} = 20 \cdot 10^3 \text{ V}$$

$$\text{Invullen levert: } \Delta E_k = 1,602 \cdot 10^{-19} \times 20 \cdot 10^3 = 3,204 \cdot 10^{-15} \text{ J}$$

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{eind}}^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{begin}}^2$$

ΔE_k is positief omdat de snelheid toeneemt.

$$m = 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \quad (\text{zie BINAS tabel 7A})$$

$$v_{\text{begin}} = 0 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Invullen levert: } 3,204 \cdot 10^{-15} = \frac{1}{2} \times 9,109 \cdot 10^{-31} \cdot v_{\text{eind}}^2 - 0$$

$$v_{\text{eind}} = 8,387 \cdot 10^7 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Afgerond: } v_{\text{eind}} = 8,4 \cdot 10^7 \text{ m s}^{-1}.$$

- b Het aantal elektronen per seconde bereken je met de stroomsterkte en de lading van een elektron.
De stroomsterkte bereken je met de formule voor elektrisch vermogen.

$$P = U \cdot I$$

$$P = 10 \text{ kW} = 10 \cdot 10^3 \text{ W}$$

$$U = 20 \text{ kV} = 20 \cdot 10^3 \text{ V}$$

$$\text{Invullen levert: } 10 \cdot 10^3 = 20 \cdot 10^3 \cdot I$$

$$I = 5,00 \cdot 10^{-1} \text{ A}$$

Per seconde stroomt door de draad $5,00 \cdot 10^{-1} \text{ C}$ aan lading.

$$n = \frac{5,000 \cdot 10^{-1}}{1,602 \cdot 10^{-19}} = 3,1210 \cdot 10^{18} \text{ elektronen per seconde}$$

$$\text{Afgerond: } n = 3,1 \cdot 10^{18}.$$

- c Het aantal kg koelwater dat per seconde langs de anode stroomt, bereken je met de hoeveelheid warmte die per seconde moet worden afgevoerd.
De hoeveelheid warmte die per seconde moet worden afgevoerd, bereken je met het rendement van het röntgenapparaat.

$$\eta = \frac{P_{\text{afvoer}}}{P_{\text{in}}}$$

$$\eta = 0,99 \text{ want slechts 1\% wordt nuttig gebruikt.}$$

$$P_{\text{in}} = 10 \text{ kW} = 10 \cdot 10^3 \text{ W}$$

$$\text{Invullen levert: } 0,99 = \frac{P_{\text{afvoer}}}{10 \cdot 10^4}$$

$$P_{\text{afvoer}} = 9,9 \cdot 10^3 \text{ W}$$

Er moet per seconde $9,9 \cdot 10^3 \text{ J}$ aan warmte worden afgevoerd.

Vwo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$$c = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \text{ (zie BINAS tabel 11)}$$

$$\Delta T = \Delta t = 80 - 20 = 60 \text{ K}$$

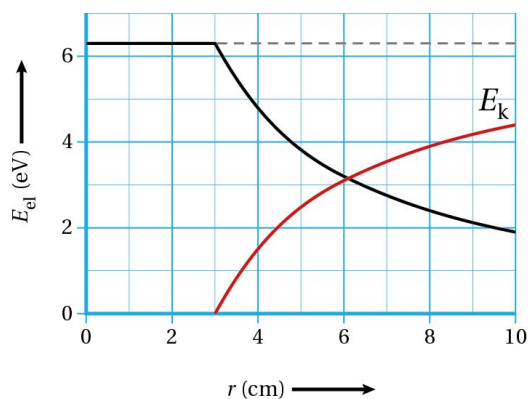
$$9,9 \cdot 10^3 = 4,18 \cdot 10^3 \cdot m \cdot 60$$

$$m = 3,94 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$$

Er moet afgerond $3,9 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$ per seconde aan koelwater langs de anode stromen.

Opgave 13

- a Aan de binnenkant van de metalen bol is de elektrische veldsterkte 0 N C^{-1} . Binnen in de metalen bol kan de elektrische kracht geen arbeid verrichten. Dus blijft de hoeveelheid elektrische energie in de metalen bol constant. Dat is het geval tot $r = 3,0 \text{ cm}$.
- b Volgens de wet van behoud van energie blijft de hoeveelheid energie constant. Dus $E_{\text{el}} + E_{\text{k}}$ is constant. Volgens figuur 10.20 van het boek neemt de elektrische energie van een elektron af. Dus neemt de kinetische energie van het elektron toe. Dus de snelheid van het elektron neemt toe. Dat betekent dat het elektron versnelt.
- c Zie figuur 10.8.

**Figuur 10.8**

- d De snelheid van het elektron bereken je met de formule voor kinetische energie. De maximale verandering in kinetische energie bereken je met de formule voor de kinetische energie in een elektrisch veld.

$$\Delta E_{\text{k}} = -\Delta E_{\text{el}}$$

$$\Delta E_{\text{el}} \text{ is maximaal } -6,3 \text{ eV} = -6,3 \times 1,602 \cdot 10^{-19} = -1,009 \cdot 10^{-18} \text{ J.}$$

$$\text{Dus } \Delta E_{\text{k}} = -(-1,009 \cdot 10^{-18} \text{ J}) = 1,009 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

$$\Delta E_{\text{k}} = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{eind}}^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{begin}}^2$$

$$v_{\text{begin}} = 0 \text{ m s}^{-1}$$

$$m = 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \quad (\text{zie BINAS tabel 7B})$$

$$\text{Invullen levert: } 1,009 \cdot 10^{-18} = \frac{1}{2} \times 9,109 \cdot 10^{-31} \cdot v_{\text{eind}}^2$$

$$v_{\text{eind}} = 1,488 \cdot 10^6 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Afgerond: } v_{\text{eind}} = 1,5 \cdot 10^6 \text{ m s}^{-1}.$$

- e Het elektron zal op de moleculen in de lucht botsen en daarbij kinetische energie verliezen.

Opgave 14

- a De maximale verandering in kinetische energie bereken je met de verandering van elektrische energie.

$$\Delta E_{\text{k}} = q \cdot U$$

$$q = +e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \quad (\text{zie BINAS tabel 7A})$$

$$U = 1,28 \text{ kV} = 1,28 \cdot 10^3 \text{ V}$$

$$\Delta E_{\text{k}} = 1,602 \cdot 10^{-19} \times 1,28 \cdot 10^3 = 2,050 \cdot 10^{-16} \text{ J}$$

$$\text{Afgerond: } \Delta E_{\text{k}} = 2,05 \cdot 10^{-16} \text{ J.}$$

Vwo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

- b De elektrische kracht beredeneer je met de wet van arbeid en kinetische energie.
De totale arbeid volgt uit de arbeid door de elektrische kracht.
De verandering in kinetische energie beredeneer je met de verandering in elektrische energie.

$$\Delta E_k = q \cdot U$$

De verandering in kinetische energie blijft hetzelfde omdat de lading en de spanning niet veranderen.

$$\sum W = \Delta E_k \text{ met } \sum W = W_{\text{el}} = F_{\text{el}} \cdot s$$

Als de kinetische energie niet verandert, verandert volgens de wet van arbeid en kinetische energie de totale arbeid ook niet.

Dus de arbeid door de elektrische kracht blijft hetzelfde.

$$W_{\text{el}} = F_{\text{el}} \cdot s$$

De afstand s is gehalveerd. Dus is de elektrische kracht twee keer zo groot.

- c De totale snelheidstoename bereken je met de formule voor de versnelling.
De versnelling bereken je met de tweede wet van Newton.

$$F_{\text{res}} = m \cdot a$$

$$F_{\text{res}} = 90 \text{ mN} = 90 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

Na 14 maanden is 60 kg verdwenen. De helft ervan is dus 30 kg.

$$m = 490 - 30 = 460 \text{ kg}$$

$$\text{Invullen levert: } 90 \cdot 10^{-3} = 460 \cdot a.$$

$$a = 1,956 \cdot 10^{-4} \text{ m s}^{-2}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Aantal seconden in 1 jaar: $3,15 \cdot 10^7 \text{ s}$ (zie BINAS tabel 5)

$$\Delta t = 14 \text{ maanden} = \frac{14}{12} \times 3,15 \cdot 10^7 = 3,675 \cdot 10^7 \text{ s}$$

$$\text{Invullen levert: } 1,956 \cdot 10^{-4} = \frac{\Delta v}{3,675 \cdot 10^7}$$

$$\Delta v = 7,188 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Afgerond: } \Delta v = 7,2 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}.$$

- d Door het uitstoten van positieve ionen wordt Deep Space zelf negatief geladen. Daardoor zou het uitstoten steeds lastiger worden en is de stuwkracht kleiner.

Opgave 15

- a De totale spanning bereken je met de formule voor de toename van de elektrische energie.
De verandering in elektrisch energie bereken je met de verandering van de kinetische energie.

$$\Delta E_k = q \cdot U$$

$$\Delta E_k = 200 \text{ MeV}$$

$$q = +e$$

$$\text{Invullen levert: } 200 \cdot 10^6 = 1 \cdot U.$$

$$\text{Afgerond: } U = 200 \cdot 10^6 \text{ V}$$

- b De snelheid bereken je met de kinetische energie uitgedrukt in J.

$$200 \cdot 10^6 \text{ eV} = 200 \cdot 10^6 \times 1,602 \cdot 10^{-19} = 3,204 \cdot 10^{-11} \text{ J}$$

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

$$m = 1,672 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \quad (\text{zie BINAS tabel 7B})$$

$$\text{Invullen levert: } 3,204 \cdot 10^{-11} = \frac{1}{2} \times 1,672 \cdot 10^{-27} \cdot v^2.$$

$$v = 1,957 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

Dat is meer dan twee keer zo groot als de werkelijke snelheid.

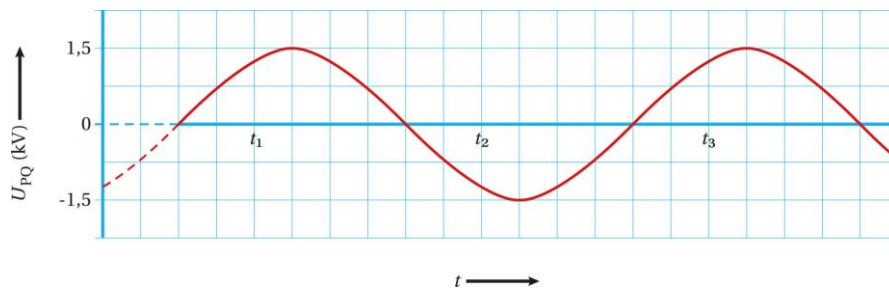
Dus je mag de snelheid bij deze energie niet op de klassieke manier berekenen.

Vwo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

- c De stopping power volgt uit de steilheid van de raaklijn aan de grafiek.
De steilheid is 10 MeV cm^{-1} als de raaklijn evenwijdig loopt aan de lijn door de punten (0; 300) en (30; 0).
Dat is het geval voor de raaklijn bij een indringdiepte van 22,5 cm.
Is de indringdiepte kleiner, dan loopt de raaklijn minder steil en is de stopping power ook kleiner.
- d De hoeveelheid energie van de straling is het grootst als de steilheid het grootst is.
Na 26 cm wordt er geen straling meer geabsorbeerd, dus het plaatje ontvangt geen energie van de straling.
De steilheid is het grootst net voor dit plaatje. Het bolletje ontvangt dus een grote hoeveelheid energie van de straling.
De steilheid is in het begin het kleinst. Het water ontvangt dus een kleine hoeveelheid energie van de straling.
- e Het bolletje bevindt zich 10 cm naar links en de grafiek moet hetzelfde blijven.
Dus schuift de grafiek 10 cm naar links en is de benodigde energie gelijk aan 150 MeV.

Opgave 16

- a Volgens figuur 10.25 van het boek is op t_1 de spanning van P ten opzichte van Q positief. Volgens figuur 10.24 is buis 1 dus positief ten opzichte van buis 2. Het proton is positief geladen. Dus het proton wordt afgestoten door de eerste buis en aangetrokken door de tweede buis.
Wanneer het proton zich tussen de tweede en de derde buis bevindt, is de spanning tussen P en Q omgekeerd, dus wordt het proton ook tussen de tweede en de derde buis versneld.
- b Tussen buis 2 en buis 3 is de spanning U_{PQ} juist negatief. Tussen buis 3 en buis 4 is de spanning U_{PQ} weer positief. Zie figuur 10.9.

**Figuur 10.9**

- c De protonen worden versneld en bewegen met steeds grotere snelheid. Tijdens het verblijf in een buis wordt de spanning tussen P en Q omgedraaid. Het proton moet dezelfde tijd doorbrengen in de buis. Bij een grotere snelheid leggen de protonen dus in dezelfde tijd een grotere afstand af. Dus de opeenvolgende buizen moeten steeds langer zijn.
- d De snelheid bereken je met de formule voor kinetische energie.
De verandering in kinetische energie bereken je met de verandering in elektrische energie.
De spanning tussen buis 1 en buis 5 bereken je met het aantal oversteken.

Als het proton zich bevindt in de vijfde buis, is het vier keer tussen twee buizen overgestoken.
 $U = 4 \times 1,3 \text{ kV} = 5,2 \text{ kV}$

$$\Delta E_k = q \cdot U$$

$$q = +1e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$U = 5,2 \text{ kV} = 5,2 \cdot 10^3 \text{ V}$$

$$\Delta E_k = 1,602 \cdot 10^{-19} \times 5,2 \cdot 10^3$$

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{eind}}^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{begin}}^2$$

ΔE_k is positief omdat de snelheid toeneemt.

$$m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$v_{\text{begin}} = 0 \text{ m s}^{-1}$$

Vwo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

$$\text{Invullen levert: } 8,33 \cdot 10^{-16} = \frac{1}{2} \times 1,67 \cdot 10^{-27} \cdot v_{\text{eind}}^2 - 0$$

$$v_{\text{eind}} = 9,988 \cdot 10^5 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Afgerond: } v_{\text{eind}} = 1,0 \cdot 10^6 \text{ m s}^{-1}.$$

- e De lengte van de buis bereken je met de formule voor de snelheid.
De tijd is de verblijftijd in een buis.
De verblijftijd in de buis volgt uit de tijd die nodig is voor het ompolen.
De tijd nodig voor het ompolen bereken je met de frequentie.

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = 2,0 \text{ MHz} = 2,0 \cdot 10^6 \text{ Hz}$$

$$\text{Invullen levert: } 2,0 \cdot 10^6 = \frac{1}{T}.$$

$$T = 5,0 \cdot 10^{-7} \text{ s}$$

De helft van de tijd is P positief en Q negatief. De andere helft omgekeerd.

De verblijftijd in de buis duurt dus een halve periode.

$$t = 0,5T = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ s}$$

$$s = v \cdot t$$

$$\text{Invullen levert: } s = 1,0 \cdot 10^6 \times 2,5 \cdot 10^{-7} = 0,25 \text{ m.}$$

De lengte van de buis is 0,25 m.

Vwo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

10.3 Elektromagnetisme**Opgave 17**

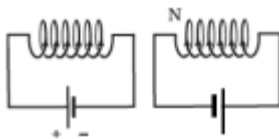
- a De richting van de magnetische veldlijnen in de spoel volgt uit de plaats van de noordpool.

Binnen in een magneet (spoel) wijzen de veldlijnen van de zuid- naar de noordpool.

Dus van rechts naar links in de rechter spoel.

- b De minpool en de pluspool van de batterij volgt uit de richting van de elektrische stroom door de windingen van de spoel.

Zie figuur 10.10.



Figuur 10.10

De elektrische stroom loopt van de pluspool van de batterij via de windingen naar de minpool van de batterij.

Dus de rechterkant van de batterij is de pluspool en de linkerkant is de minpool.

- c Of de spoelen elkaar afstoten of aantrekken, hangt af van de plaats van noordpool van de linker spoel.

De plaats van de noordpool hangt af van de richting van de veldlijnen in de linker spoel.

De richting van de veldlijnen in de spoel beredeneer je met de rechterhandregel.

Je gebruikt de rechterhandregel: Je duim geeft de richting van de veldlijnen binnen de spoel aan. De gekromde vingers geven de stroomrichting aan.

Dus de noordpool bij de linker spoel bevindt zich links en de zuidpool rechts.

De spoelen trekken elkaar dus aan.

- d Plaats een ijzeren kern in de spoelen: dan wordt de magnetische inductie groter en daardoor ook de (aantrekkende) kracht tussen de spoelen.

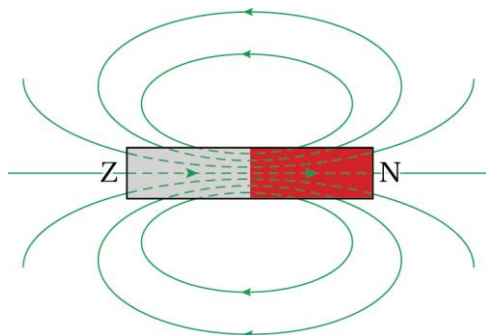
Opgave 18

- a De richting van de magnetische veldlijnen van een magneet volgt uit de plaats van de noordpool.

Zie figuur 10.11.

Binnen in een magneet (spoel) wijzen de veldlijnen van de zuid- naar de noordpool.

Buiten de magneet wijzen de veldlijnen dus van de noord- naar de zuidpool.



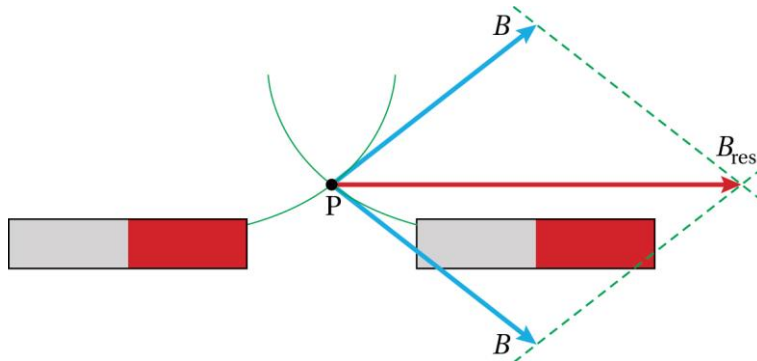
Figuur 10.11

Vwo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

- b De resulterende magnetische inductie construeer je met de parallellogrammethode. De richting van de magnetische inductie leid je af met de richting van de raaklijn aan een veldlijn. De grootte van de magnetische inductie volgt uit de plaats van punt P ten opzichte van de twee magneten.

Zie figuur 10.12.

De richting van de raaklijn geeft de richting aan van de magnetische inductie in een punt P. Aan de buitenkant van een magneet wijzen de veldlijnen van de noord- naar de zuidpool. De richting van het magnetisch veld wijst langs de raaklijn aan een veldlijn. Omdat P even ver van beide magneten af ligt, is de lengte van de pijl even groot.



Figuur 10.12

Opgave 19

- a Of de naald met de klok meedraait of ertegenin, volgt uit de resulterende magnetische inductie van het aardmagnetisch veld en het magnetisch veld in de spoel. De richting van het magnetisch veld in de spoel hangt af van de plaats van de noord- en zuidpool van de spoel. De noordpool van de spoel volgt uit de rechterhandregel. De richting van de stroom volgt uit de plus- en minpool van de spanningsbron.

Je gebruikt de rechterhandregel.

De gekromde vingers volgen de richting van de stroom. Je duim wijst dan naar links. Dus de linkerkant van de spoel is de noordpool.

De rode kant van de kompasnaald gaat zich dus naar links richten.

Daardoor draait de kompasnaald met de wijzers van de klok mee.

- b De hoek van de kompasnaald bepaal je met de richting van de resulterende magnetische inductie.

De richting van de resulterende magnetische inductie bepaal je met de grootte van het aardmagnetisch veld en de grootte van het magnetisch veld in de spoel.

De grootte van het magnetisch veld in de spoel bepaal je met de stroomsterkte door de spoel.

De grootte van het aardmagnetisch veld is constant.

Hoe groter de stroom, des te sterker is het magnetisch veld in horizontale richting: de kompasnaald wijst dan meer naar links. De hoek met de verticaal wordt dan groter.

Is de stroom zeer groot, dan is het magnetisch veld van de spoel veel groter dan het magnetisch veld van de aarde en zal de kompasnaald bijna geheel naar links wijzen. De hoek heeft dus een maximum van 90° .

- c De waarde van het magnetisch veld van de aarde bepaal je uit de grootte van het magnetisch veld van de spoel en de hoek van de kompasnaald.

De grootte van het magnetisch veld in de spoel bepaal je met de stroomsterkte door de spoel.

De grootte van de stroomsterkte door de spoel bepaal je met de hoek van de kompasnaald.

Vwo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

Kies een hoek voor de kompasnaald, bijvoorbeeld 45° . (Dit is makkelijk omdat dan het magnetisch veld van de spoel even groot is als het magnetisch veld van de aarde.)
Uit figuur 10.49 in het boek volgt dat bij een hoek van 45° de stroomsterkte gelijk is aan 14 mA.

Uit figuur 10.48 in het boek volgt dat bij een stroomsterkte van 14 mA de magnetische inductie van de spoel gelijk is aan $23 \mu\text{T}$.

De magnetische inductie van de aarde is gelijk aan de magnetische inductie van de spoel:
 $23 \mu\text{T} = 2,3 \cdot 10^{-5} \text{ T}$.

- d Dat Vincent een te lage waarde vindt, leg je uit met de horizontale en verticale component van de magnetische inductie van het aardmagnetisch veld.

De opstelling staat horizontaal op tafel, dus Vincent meet enkel de horizontale component van het magnetisch veld van de aarde.

Hou je rekening met de verticale component, dan is de resulterende magnetische inductie groter.

Vincent vindt dus een te lage waarde.

Opgave 20

- a De richting van het magnetisch veld in een punt volgt uit de richtingen en de grootte van de magnetische velden van de twee stroomdraden.
De richting van een magnetisch veld rond een stroomdraad bepaal je met de rechterhandregel.
De grootte bepaal je
- met de afstand tot de stroomdraad en
- met de grootte van stroomsterkte.

De rechterhandregel geeft de richting van het magnetisch veld van een stroomdraad.

De duim volgt de stroomrichting, de gekromde vingers de veldlijnen.

De richting van het magnetisch veld is de resultante van de velden van de twee stroomdraden.

Punt P

In P leveren allebei de draden een magnetisch veld naar de bovenkant van de pagina.

Dus de richting van de resulterende magnetische inductie is naar de bovenkant van de pagina.

Punt Q

In Q levert de linkerdraad een magnetisch veld naar de bovenkant van de pagina, en de rechterdraad een veld naar de onderkant. Omdat de stroom in de rechterdraad groter is, en omdat Q dicht bij de rechter draad ligt dan bij de linker draad, is het veld van de rechter draad groter.

Het magnetisch veld wijst dus naar de onderkant van de pagina.

Punt R

In R levert de linkerdraad een magnetische inductie naar de onderkant van de pagina en de rechterdraad een magnetische inductie naar de bovenkant van de pagina. R ligt even ver af van beide draden en de stroomsterkte in de twee draden is even groot. De magnetische inducties heffen elkaar op in punt R. Er is dus geen magnetisch veld in R.

Punt S

In S leveren beide draden een magnetische inductie naar de onderkant van de pagina. Het magnetisch veld in S wijst dus naar de onderkant van de pagina.

- b In R is geen magnetisch veld.

Het magnetisch veld in P is sterker dan het magnetisch veld in Q.

In punt S leveren beide draden een magnetisch veld omlaag.

De afstand van S tot de rechterdraad is 1,5 cm en de afstand van Q tot de rechterdraad is 1,0 cm. De magnetische inductie door de rechterdraad in S is daardoor 1,5 keer zo klein als de magnetisch inductie in Q door de rechterdraad.

De afstand van S tot de linkerdraad is 4,5 cm en de afstand van Q tot de linkerdraad is 4,0 cm.

Dus het veld in S is recht evenredig met $\frac{2,0}{1,5} + \frac{2,0}{4,5} = 1,77$.

Het veld in Q is recht evenredig met $\frac{2,0}{1,0} - \frac{1,0}{4,0} = 1,75$.

Dus het veld in S is sterker dan het veld in Q.

Oplopende volgorde in magnetische inductie: R, Q, S, P.

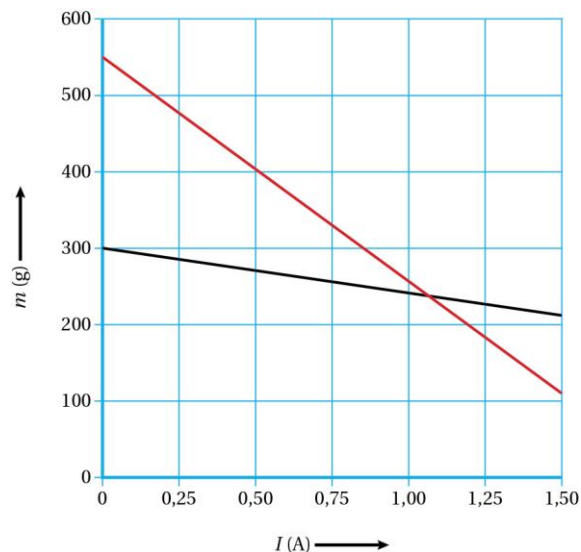
Vwo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

Opgave 21

- a De richting van de stroom bereken je met de rechterhandregel: de richting van de duim geeft de plaats van de noordpool van de spoel aan. De plaats van de noordpool van de spoel volgt uit de plaats van de noordpool van de magneet en het gegeven dat de spoel wordt aangetrokken.

De noordpool van de magneet zit aan de onderkant. Als de magneet wordt aangetrokken, is de zuidpool van de spoel aan de bovenkant en de noordpool van de spoel aan de onderkant. Bij gebruik van de rechterhandregel is de duim naar de noordpool van de spoel gericht, dus naar beneden. De gekromde vingers geven dan aan dat de stroom van Q naar P loopt.

- b De magneet wordt door de spoel aangetrokken. Het veld van de spoel is sterker in de buurt van de spoel. Als de magneet een klein beetje richting de spoel beweegt, wordt hij dus sterker aangetrokken. Dat heeft weer tot gevolg dat de magneet verder naar de spoel beweegt.
- c De lijn in figuur 10.53 van het boek is een rechte lijn. De afname van de massa is een maat voor de magnetische inductie. De afname van de massa is recht evenredig met de stroomsterkte. Als $I = 0$ A, is de afname van de massa 0 g. Is I gelijk aan 1,50 A, dan is de afname van de massa 90 g. Dit is een rechte lijn door de oorsprong. Het verband tussen de stroomsterkte en de magnetische inductie is dus inderdaad recht evenredig.
- e De ijzeren kern heeft een massa. De weegschaal geeft bij $I = 0,0$ A dus een hogere waarde aan. De ijzeren kern versterkt het magnetisch veld van de spoel. Hierdoor is bij eenzelfde verandering van stroomsterkte de verandering van de massa groter. De lijn loopt steiler. Zie figuur 10.13.

**Figuur 10.13**

Vwo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

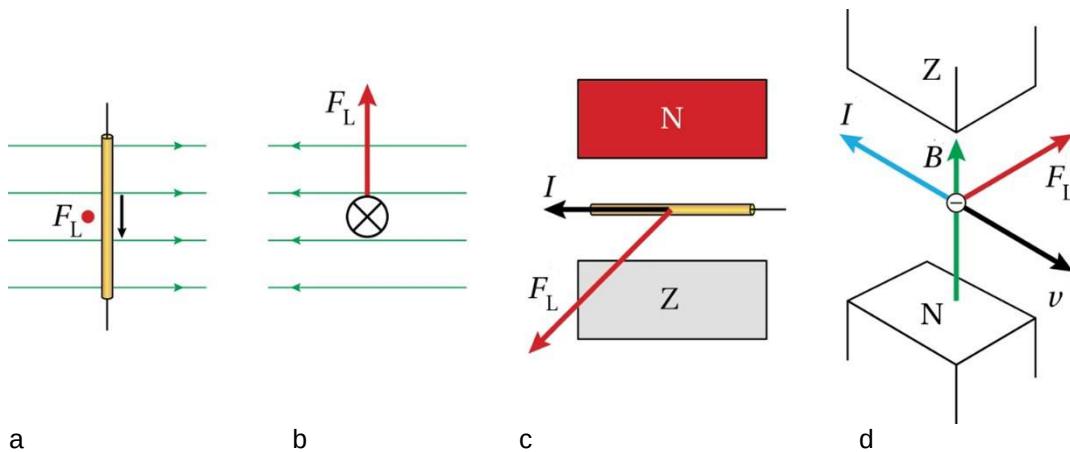
10.4 Lorentzkracht

Opgave 22

De richting van de ontbrekende grootte bepaal je met de FBI-regel (linkerhandregel).

De Lorentzkracht staat steeds loodrecht op het vlak gevormd door de stroom en de magnetische inductie.

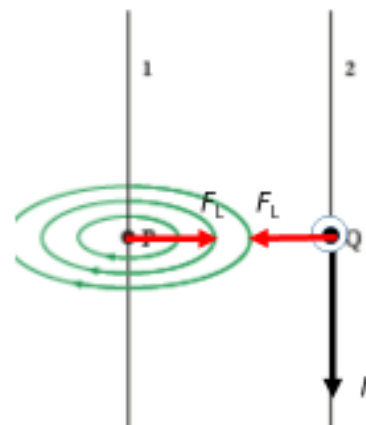
- Zie figuur 10.14a.
De Lorentzkracht komt de pagina uit.
- Zie figuur 10.14b.
De Lorentzkracht wijst naar de bovenkant van de pagina.
- De stroom wijst naar links.
Zie figuur 10.14c.
- Zie figuur 10.14d.
De stroomrichting wijst tegen de richting van v in, omdat het deeltje negatief geladen is.
Het magnetisch veld wijst naar de bovenkant van de pagina.



Figuur 10.14

Opgave 23

- Zie figuur 10.15.
De richting van de stroom in punt Q is gelijk aan de richting van de stroom in punt P. De richting van de stroom in P leid je af met de rechterhandregel.
 - De gekromde vingers volgen de richting van de veldlijnen rond draad 1. De richting van de stroom is dus van boven naar beneden. Dus de richting van de stroom in Q is ook van boven naar beneden.
 - De richting van het magnetisch veld in punt Q volgt uit het veldlijnenpatroon rond draad 1. De richting van het magnetisch veld is dus de pagina uit. De richting van de Lorentzkracht in punt Q volgt uit de FBI-regel. De Lorentzkracht wijst dus richting draad 1.
 - De richting van de Lorentzkracht in punt P volgt uit de FBI-regel. De stroomrichting in draad 1 is naar beneden. De stroom door draad 2 veroorzaakt een magnetisch veld rond draad 2, waarbij de richting van dat veld in punt P de pagina in is gericht. Dus de Lorentzkracht in punt P is tegengesteld aan die in punt Q.



Figuur 10.15

Vwo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

- b De eenheid van c leid je af met behulp van de eenheden van de grootheden in de formule.

$$[B] = [c] \cdot \frac{[I]}{[r]}$$

$$[B] = T$$

$$[I] = A$$

$$[r] = m$$

$$\text{Invullen levert: } T = [c] \cdot \frac{A}{m}.$$

$$[c] = T \, m \, A^{-1}$$

- c De lorentzkracht bereken je met de formule voor de lorentzkracht.
De magnetische inductie bereken je met de gegeven formule.

$$B = c \cdot \frac{I}{r}$$

$$c = 2,000 \cdot 10^{-7} \, T \, m \, A^{-1}$$

$$I = 12,5 \, A$$

$$r = 4,0 \, cm = 4,0 \cdot 10^{-2} \, m$$

$$\text{Invullen levert: } B = 2,000 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{12,5}{4,0 \cdot 10^{-2}}.$$

$$B = 6,25 \cdot 10^{-5} \, T$$

$$F_L = B \cdot I \cdot \ell$$

$$I = 12,5 \, A$$

$$\ell = 50 \, cm = 0,50 \, m$$

$$\text{Invullen levert: } F_L = 6,25 \cdot 10^{-5} \times 12,5 \times 0,50.$$

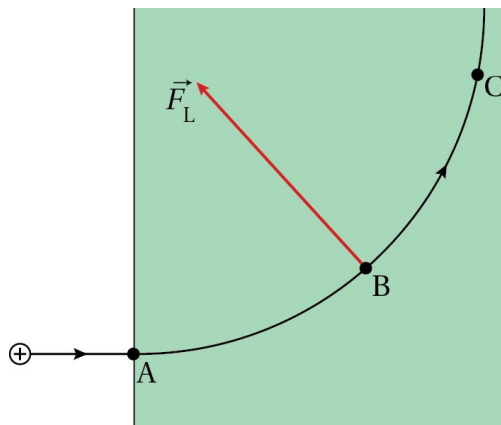
$$F_L = 3,906 \cdot 10^{-4} \, N$$

$$\text{Afgerond: } F_L = 3,9 \cdot 10^{-4} \, N.$$

- d De lorentzkrachten zijn naar elkaar toe gericht: de draden trekken elkaar aan.
Zie figuur 10.16.



Figuur 10.16



Figuur 10.17

Opgave 24

- a Zie figuur 10.17.
De richting van de lorentzkracht is loodrecht op de cirkelbaan en naar het middelpunt van de cirkel gericht.
- b De richting van het magnetisch veld leid je af met de FBI-regel (linkerhandregel).

De stroomrichting is gelijk aan de richting van de snelheid, omdat het deeltje positief geladen is (middelvinger).

De richting van de lorentzkracht is naar linksboven (duim). Zie figuur 10.16.

Volgens de FBI-regel is de richting van het magnetisch veld de pagina in.

Vwo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

- c Dat de arbeid door de lorentzkracht 0 J is, beredeneer je met de formule voor de arbeid.

$$W = F \cdot s \cdot \cos(\alpha)$$

De lorentzkracht staat steeds loodrecht op het vlak van I en B en daardoor steeds loodrecht op de cirkelbaan.

Dan geldt $\cos(90^\circ) = 0$ en daardoor de arbeid W ook.

- d Dat het deeltje een eenparige cirkelbeweging uitvoert, leg je uit met de beschrijving van een eenparige cirkelbeweging.

De snelheid beredeneer je met de wet van arbeid en kinetische energie.

Een deeltje voert een eenparige cirkelbeweging uit als

- de beweging in een cirkel is.
De resulterende kracht is gelijk aan de lorentzkracht en staat loodrecht op de baan van het deeltje.
- de beweging met constante snelheid gaat.
Omdat de resulterende kracht geen arbeid verricht, volgt uit de wet van arbeid en kinetische energie dat de kinetische energie constant is. Dat betekent dat de snelheid niet verandert.

- e De formule leid je af met de formules voor de lorentzkracht en de middelpuntzoekende kracht.

De resulterende kracht (= middelpuntzoekende kracht) wordt geleverd door de lorentzkracht op een geladen deeltje.

$$F_L = F_{\text{mpz}}$$

$$B \cdot q \cdot v = \frac{m \cdot v^2}{r} \quad (\text{delen door } v)$$

$$B \cdot q = \frac{m \cdot v}{r}$$

$$r = \frac{m \cdot v}{B \cdot q}$$

- f Of bij het afbuigen van een He^{2+} -kern de magnetische inductie even sterk, sterker of zwakker dan bij het afbuigen van een proton beredeneer je met de formule bij vraag e.

$$r = \frac{m \cdot v}{B \cdot q}$$

$$\text{Herschrijven levert: } B = \frac{m \cdot v}{r \cdot q}$$

$$m_{\text{He}} = 4 m_p$$

v blijft hetzelfde.

r blijft hetzelfde.

$$q_{\text{He}} = 2 q_p$$

$$\text{Invullen levert: } B_{\text{He}} = \frac{4m \cdot v}{r \cdot 2q} = 2 \frac{m \cdot v}{r \cdot q}$$

De magnetische inductie B moet 2 keer zo groot zijn.

Dus er is een sterkere magnetische inductie nodig.

Opgave 25

De richting waarin draad PQ gaat bewegen leid je af met de lorentzkrachten op draad PQ.

De richting van de lorentzkrachten leid je af met de FBI-regel.

De richting van het magnetisch veld rond staaf AB leid je af met de rechterhandregel.

Draad PQ gaat bewegen door de lorentzkrachten op de draad.

De lorentzkrachten ontstaan door de stroom in draad PQ en het magnetisch veld om draad AB, dat ontstaat door de stroom door draad AB.

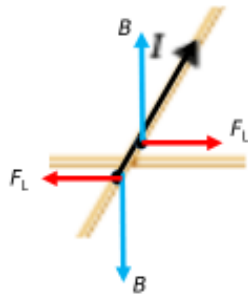
Vwo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

Het veld rond AB bestaat uit cirkels en snijdt draad PQ op twee plaatsen: een voor en een achter draad AB. In figuur 10.18 is de richting van de magnetische inductie aangegeven op de twee snijpunten van zo'n cirkelvormige veldlijn.

Met de FBI-regel leid je af dat de richtingen van de lorentzkrachten in die snijpunten tegengesteld zijn. Zie figuur 10.18.

De draad PQ gaat dus draaien, zodat punt P in de richting van A beweegt.

Dus is mogelijkheid C juist.



Figuur 10.18

Opgave 26

- a De richting van de magnetische inductie leid je af met behulp van de FBI-regel in het hoogste punt van de cirkelbaan.

De richting van de stroom I is in het hoogste punt naar links gericht (wijsvinger): elektronen zijn negatief geladen en bewegen in het hoogste punt naar rechts.

De lorentzkracht is de middelpuntzoekende kracht en is gericht naar het middelpunt van de cirkelbaan. De lorentzkracht is dus in het hoogste punt gericht naar de onderkant van de pagina (duim).

Uit de FBI-regel volgt dat de richting van de magnetische inductie de pagina in is.

- b De magnetische inductie bereken je met de formules voor de lorentzkracht en de middelpuntzoekende kracht.

De lorentzkracht is gelijk aan de middelpuntzoekende kracht.

$$F_L = F_{mpz}$$

$$B \cdot q \cdot v = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

$$q = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \quad (\text{zie BINAS tabel 7A})$$

$$m = 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \quad (\text{zie BINAS tabel 7B})$$

$$r = \frac{1}{2}d \text{ met } d = 8,0 \text{ cm}$$

$$\text{Dus } r = 4,0 \text{ cm} = 4,0 \cdot 10^{-2} \text{ m.}$$

$$\text{Invullen levert: } B \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \times 2,0 \cdot 10^7 = \frac{9,109 \cdot 10^{-31} \times (2,0 \cdot 10^7)^2}{4,0 \cdot 10^{-2}}.$$

$$B = 2,84 \cdot 10^{-3} \text{ T}$$

$$\text{Afgerond: } B = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ T.}$$

Opgave 27

- a De snelheid bereken je met de formule voor kinetische energie.
De verandering in kinetische energie bereken je met de verandering van de elektrische energie.

$$\Delta E_k = q \cdot U$$

$$q = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$U = 600 \text{ V}$$

$$\text{Invullen levert: } \Delta E_k = 1,602 \cdot 10^{-19} \times 600 = 9,612 \cdot 10^{-17} \text{ J.}$$

Vwo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{eind}}^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{begin}}^2$$

ΔE_k is positief omdat de snelheid toeneemt.

$$m = 3,446 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$$

$$v_{\text{begin}} = 0 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Invullen levert: } 9,612 \cdot 10^{-17} = \frac{1}{2} \times 3,446 \cdot 10^{-25} \cdot v_{\text{eind}}^2 - 0.$$

$$v_{\text{eind}} = 2,362 \cdot 10^4 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Afgerond: } v_{\text{eind}} = 2,36 \cdot 10^4 \text{ m s}^{-1}.$$

- b De afstand PQ bereken je met de straal van de cirkel.

De straal van de cirkel bereken je met de formules voor de lorentzkracht en de middelpuntzoekende kracht.

De lorentzkracht op een geladen deeltje is gelijk aan de middelpuntzoekende kracht.

$$F_L = F_{\text{mpz}}$$

$$B \cdot q \cdot v = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

$$B = 1,8 \text{ T}$$

$$q = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \quad (\text{zie BINAS tabel 7A})$$

$$v = 2,36 \cdot 10^4 \text{ m s}^{-1}$$

$$m = 3,446 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$$

$$1,8 \times 1,602 \cdot 10^{-19} \times 2,36 \cdot 10^4 = \frac{3,446 \cdot 10^{-25} \times (2,36 \cdot 10^4)^2}{r}$$

$$\text{Dus } r = 2,82 \cdot 10^{-2} \text{ m.}$$

$$r = \frac{1}{2} d$$

Dus afstand PQ is afgerond 5,6 cm.

- c De gegeven formule leid je af met de formules gebruikt bij vraag a en vraag b.

$$\text{Uit vraag a blijkt } q \cdot U_{\text{AB}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2.$$

$$\text{Hieruit volgt } 2q \cdot U_{\text{AB}} = m \cdot v^2.$$

$$\text{Uit vraag b volgt } B \cdot q \cdot v = \frac{m \cdot v^2}{r}.$$

$$\text{Combineren van de twee formules levert } B \cdot q \cdot v = \frac{2q \cdot U_{\text{AB}}}{r}.$$

$$\text{Hieruit volgt } r = \frac{2U_{\text{AB}}}{B \cdot v}.$$

Voor de afstand PQ geldt $d = 2r$.

$$d = \frac{4U_{\text{AB}}}{B \cdot v}$$

- d Als de massa groter is en de lading en spanning blijven gelijk, dan is volgens de formule $q \cdot U_{\text{AB}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$ de snelheid v kleiner.

$$\text{In de formule } d = \frac{4U_{\text{AB}}}{B \cdot v} \text{ blijven } U_{\text{AB}} \text{ en } B \text{ hetzelfde. Omdat } v \text{ kleiner is, is } d \text{ dus groter.}$$

- e Als de lading twee keer zo groot is en de spanning en de massa blijven gelijk, dan is volgens de formule $q \cdot U_{\text{AB}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$ de snelheid v groter.

$$\text{In de formule } d = \frac{4U_{\text{AB}}}{B \cdot v} \text{ blijven } U_{\text{AB}} \text{ en } B \text{ hetzelfde. Omdat } v \text{ groter is, is } d \text{ dus kleiner.}$$

Vwo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

Opgave 28

- a De lading van het deeltje leid je af met de FBI-regel (linkerhandregel).

In punt P is de lorentzkracht naar het midden van de spiraal gericht: de pagina in (duim).

De magnetische inductie is schuin naar boven (wijsvinger).

De richting van de stroom in P is volgens de FBI-regel langs de winding van de spiraal naar boven. Dat is dezelfde richting als die waarin het deeltje beweegt. Dus de lading van het deeltje is positief.

- b De spiraalvorm verklaar je met de effecten die componenten van de lorentzkracht hebben op de beweging van het deeltje.

De loodrechte component van de lorentzkracht is naar het midden van de spiraal gericht en zorgt daardoor voor een cirkelbeweging.

De evenwijdige component van de lorentzkracht is naar rechts gericht. Daardoor beweegt het deeltje ook in de richting van de veldlijnen. De combinatie van die twee bewegingen levert een spiraalbeweging op.

- c Dat de diameter afneemt verklaar je met de formules van de middelpuntzoekende kracht en de lorentzkracht.

$$F_L = F_{mpz}$$

$$B \cdot q \cdot v = \frac{m \cdot v^2}{r} \quad (\text{delen door } v)$$

$$B \cdot q = \frac{m \cdot v}{r}$$

Tijdens de beweging vinden er botsingen plaats waardoor de snelheid van het deeltje afneemt. In de buurt van de aarde is het aardmagnetisch veld sterker omdat de veldlijnen dichter bij elkaar lopen. Zie figuur 10.70 in het boek. De waarde van q en m verandert niet tijdens de beweging. Zowel het groter worden van B als het kleiner worden van v leidt tot het afnemen van de straal r . En daardoor ook de diameter.

Opgave 29

- a Welk aansluitpunt de pluspool van de spanningsbron is, beredeneer je met de richting van de stroom in de onderkant van de spoel.

De richting van de stroom beredeneer je met de FBI-regel (linkerhandregel).

De richting van het magnetisch veld is van de noord- naar de zuidpool (wijsvinger).

De aanwijzing op de krachtmeter neemt toe. Dus de richting van de lorentzkracht is naar de onderkant van de pagina (duim).

Volgens de FBI-regel loopt de stroom dus van P naar Q.

Dus punt P is verbonden met de pluspool.

- b Dat de rechte niet door de oorsprong gaat, leg je uit met de kracht op de spoel als er geen stroom door de spoel loopt.

Bij een stroomsterkte nul is er geen lorentzkracht die op de spoel werkt. De kracht die de unster meet zonder stroomsterkte is dan gelijk aan de zwaartekracht op de spoel.

- c De steilheid van de grafieklijn leid je af met de definitie van steilheid in een (F, I) -diagram en de formule voor de lorentzkracht.

Voor de steilheid van de grafieklijn geldt $\frac{\Delta F}{\Delta I}$.

De toename van de kracht wordt veroorzaakt door de lorentzkracht.

Voor de lorentzkracht op een stroomvoerende draad geldt $F_L = B \cdot I \cdot \ell$.

Omdat de spoel uit N windingen bestaat, is de totale lorentzkracht op de spoel gelijk aan

$$F_L = N \cdot B \cdot I \cdot \ell.$$

Voor de steilheid geldt dus $\frac{\Delta F}{\Delta I} = \frac{N \cdot B \cdot I \cdot \ell}{I} = N \cdot B \cdot \ell$.

Vwo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

- d De steilheid van de grafieklijn is $\frac{\Delta F}{\Delta I} = \frac{3,17 - 2,83}{0,50 - 0,0} = 0,68 \text{ N A}^{-1}$.

De steilheid is gelijk aan $N \cdot B \cdot \ell$.

$$N = 200$$

$$\ell = 7,5 \text{ cm} = 7,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } 200 \times B \times 7,5 \cdot 10^{-2} = 0,68.$$

$$B = 4,53 \cdot 10^{-2} \text{ T}$$

$$\text{Afgerond: } B = 4,5 \cdot 10^{-2} \text{ T}.$$

Opgave 30

- a De grootte van de lorentzkracht leg je uit met de veranderingen van de grootheden in de formule voor de lorentzkracht.

$$F_L = B \cdot q \cdot v$$

Het magnetisch veld is homogeen, dus $B_1 = B_2$.

De lading van het proton verandert niet tijdens de beweging.

Als het proton in punt 2 is aangekomen, zijn er meer oversteken geweest. Dus de snelheid is in punt 2 groter dan in punt 1.

De lorentzkracht is in punt 2 groter dan in punt 1.

- b De formule leid je af met de formules voor de middelpuntzoekende kracht, de lorentzkracht op een bewegend geladen deeltje en de baansnelheid.

De middelpuntzoekende kracht is gelijk aan de lorentzkracht.

$$\frac{m \cdot v^2}{r} = B \cdot q \cdot v$$

$$\text{Dus } m \cdot v = B \cdot q \cdot r.$$

$$\text{Voor de baansnelheid geldt } v = \frac{2\pi r}{T}.$$

$$\text{Invullen levert: } m \cdot \frac{2\pi r}{T} = B \cdot q \cdot r.$$

$$\text{Hieruit volgt: } T = \frac{2\pi \cdot m}{B \cdot q}.$$

Hierin is T de tijd voor een hele cirkelbaan. Dus $T = 2t$.

$$\text{Hieruit volgt: } t = \frac{\pi \cdot m}{B \cdot q}.$$

- c Beide eigenschappen leg je uit met de gegeven formule, de formule voor de kinetische energie en de verandering van de kinetische energie en de elektrische energie.

Uit de formule bij vraag b volgt dat de tijdsduur voor een halve cirkelbaan steeds dezelfde is.

$$\text{Voor de snelheid geldt } E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2.$$

$$\text{Dus } v = \sqrt{\frac{2E_k}{m}}. \text{ Omdat de massa niet verandert, is } v \propto \sqrt{E_k}.$$

$$\Delta E_k = q \cdot U$$

De kinetische energie neemt toe, dus is de verandering in kinetische energie positief. Omdat q en U niet veranderen, is die toename steeds hetzelfde.

De kinetische energie neemt dus lineair toe. Omdat in de formule van de kinetische energie de snelheid in het kwadraat staat, is er een wortelverband tussen de snelheid en de kinetische energie. Hierdoor wordt de toename van de snelheid steeds kleiner.

Vwo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

10.5 Elektromotor

Opgave 31

- a De richting van de stroom beredeneer je met de FBI-regel (linkerhandregel).

Het blokje gaat omhoog, dus de lorentzkracht op CD is omhoog gericht (duim).

De magnetische inductie is van links naar rechts gericht (wijsvinger).

Met de FBI-regel vind je dan dat de stroom in zijde CD gericht is van D naar C.

De stroom loopt dus in de richting DCBA door de spoel.

- b De stroomsterkte bereken je met de formule voor de lorentzkracht op stroomvoerende draad.

$$F_L = B \cdot I \cdot \ell$$

In de getekende situatie is F_L op de zijde CD van de spoel 1,6 N.

De zijde bestaat uit 50 windingen.

Op één draadstuk van de zijde CD is de lorentzkracht dan gelijk aan:

$$F_L = \frac{1,6}{50} = 0,032 \text{ N}$$

$$B = 0,27 \text{ T}$$

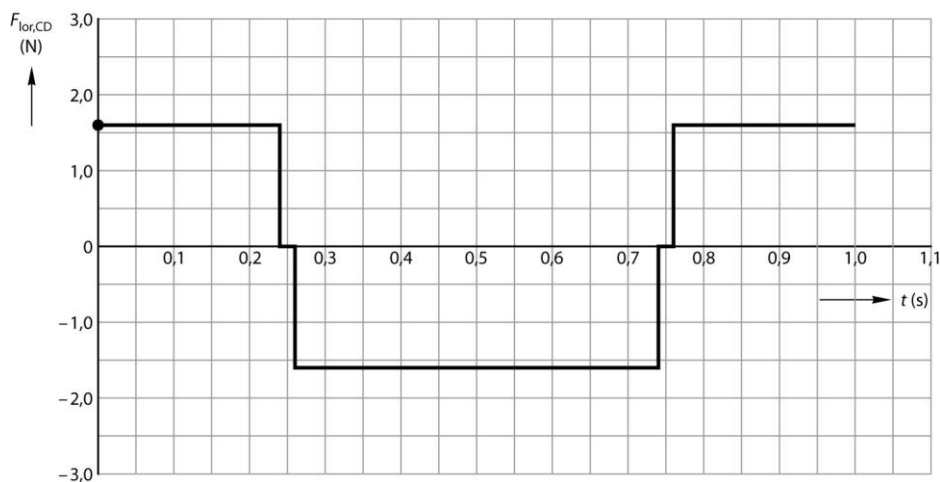
Een draad van zijde CD heeft een lengte $\ell = 3,8 \text{ cm} = 0,038 \text{ m}$.

Invullen levert: $0,032 = 0,27 \cdot I \cdot 0,038$.

$$I = 3,11 \text{ A}$$

Afgerond: $I = 3,1 \text{ A}$.

- c Zie figuur 10.19.



Figuur 10.19

Toelichting

Als door het draaien zijde CD iets omhoog gekomen is, is de stroomsterkte door CD niet veranderd. Ook is de richting van het magneetveld dan niet veranderd en is de stand van CD ten opzichte van de magnetische veldlijnen gelijk gebleven. De lorentzkracht blijft daarom verticaal omhoog staan. Dit blijft zo tot de spoel bijna een kwartslag is gedraaid en DA en CB verticaal staan.

Als de spoel een kwartslag is gedraaid komen de koolborstels op de isolerende laag tussen de collectorschijven en valt de stroomsterkte door de spoel even weg. Dan valt de lorentzkracht ook weg. In figuur 10.19 is dat getekend voor de tijd tussen 2,4 en 2,6 s. Door de traagheid draait de spoel verder en zullen de koolborstels op de volgende collectorschijf komen. De stroom loopt dan in de richting ABCD door de spoel en is dus omgedraaid. De lorentzkracht op CD is dan recht naar beneden gericht. De absolute waarde van de lorentzkracht is gelijk gebleven, maar $F_{\text{lor,CD}}$ is nu negatief. Dan is $F_{\text{lor,CD}} = -1,6 \text{ N}$. In figuur 10.19 is dat in de tijd van $t = 0,26 \text{ s}$ tot $t = 0,74 \text{ s}$.

Als de spoel vervolgens een halve slag is gedraaid, bevindt CD zich geheel beneden. Zodra de koolborstels weer op de isolerende laag tussen de collectorschijven komen valt de

Vwo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

stroomsterkte door de spoel even weg. Daarna keert de richting van de stroom door de spoel om. De lorentzkracht op CD wordt dan weer positief en dan is $F_{\text{lor,CD}} = +1,6 \text{ N}$ in de tijd van $t = 0,76 \text{ s}$ tot $t = 1,0 \text{ s}$ (einde van de te tekenen grafieklijn).

Opgave 32

- a De plaats van de noordpool beredeneer je met de richting van de magnetische inductie in de magneet.
De richting van de magnetische inductie beredeneer je met de FBI-regel (linkerhandregel).

De magneet draait rechtsom, dus waar de stroomdraad contact maakt met de zijkant van de magneet, wijst de lorentzkracht de pagina in (duim).

De elektrische stroom loopt van de bovenkant van de batterij naar de zijkant van de magneet en gaat daar dus de magneet in (middelvinger).

Uit de FBI-regel volgt dat de richting van het magnetisch veld naar de bovenkant van de pagina is.

Binnen in een magneet wijzen de veldlijnen van de zuid- naar de noordpool. De noordpool bevindt zich dus aan de bovenkant van de magneet.

- b Een manier om de draairichting om te keren bedenk je met een manier om de richting van de lorentzkracht om te draaien.

De richting van de lorentzkracht draait om als een van de grootheden van de FBI-regel van richting verandert.

Door de batterij om te draaien, draait de richting van de stroom om.

Door de magneet om te draaien, draait de richting van het magnetisch veld om.

Opgave 33

- a Welke grafiek juist is, leid je af met de formule voor de lorentzkracht op een stroomvoerende draad.

Voor de lorentzkracht op een stroomvoerende draad geldt $F_L = B \cdot I \cdot \ell$.

De lorentzkracht is recht evenredig met de stroomsterkte. Bij $I = 0,80 \text{ A}$ komt het blok los van de weegschaal. Dan geeft de weegschaal dus $m = 0 \text{ g}$ aan. Alleen grafiek c is een rechte die door het punt $(0,80; 0)$ gaat.

- b Grafiek b en d zijn geen rechte lijnen. Grafiek a gaat niet door $(0,80; 0)$.

Opgave 34

- a De draairichting van de motoras beredeneer je met de richting van de lorentzkracht.
De richting van de lorentzkracht beredeneer je met de FBI-regel (linkerhandregel).

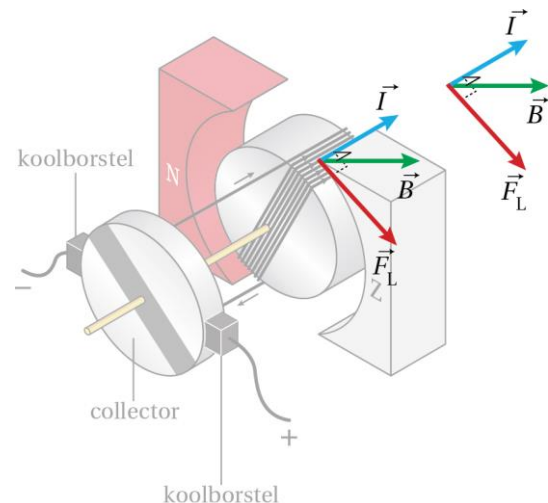
Zie figuur 10.20.

De richting van de stroom is naar de achterkant van de spoel (middelvinger).

Het magnetisch veld wijst van de noord- naar de zuidpool (wijsvinger).

Volgens de FBI-regel wijst de lorentzkracht op het bovenste deel van de wikkelingen naar rechtsonder (duim).

De motor draait dus met de wijzers van de klok mee.

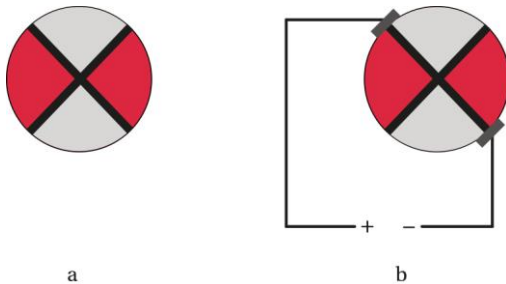


Figuur 10.20

- b Bij wisselspanning verandert de richting van de stroom voortdurend. Omdat de richting van het magnetisch veld niet verandert, verandert voortdurend de richting van de lorentzkracht. De motor werkt niet op wisselspanning.

Vwo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

- c Het isolatiemateriaal tussen de twee schijven geleidt geen stroom. Er loopt in de stand van figuur 10.85b van het boek geen stroom. Er is dus ook geen lorentzkracht. De motor gaat niet draaien.
- d Zie figuur 10.21.
Omdat de spoelen onder een hoek van 90° staan, moet de richting van de stroom door het spoeltje om de 90° omkeren. De cirkelschijf van de collector moet dus in vier segmenten van 90° worden verdeeld, die met isolatiemateriaal van elkaar gescheiden moeten zijn.



Figuur 10.21

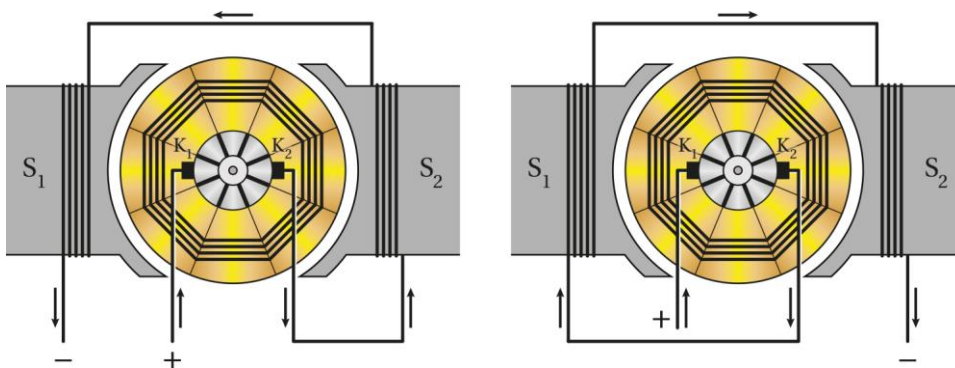
- e De pluspool maakt altijd contact met de rode en/of met de grijze windingen. Er loopt dus altijd stroom door de windingen. Dus de motor gaat dan altijd draaien.
Als de koolborstels even groot zijn als de isolerende laag, dan kan een situatie ontstaan zoals in figuur 10.85. Er loopt dan geen stroom door een spoel waardoor er geen lorentzkrachten zijn en dus draait de motor niet.

Opgave 35

- a Een manier om de draairichting om te keren bedenk je met een manier om de richting van de lorentzkracht om te draaien.
De richting van de lorentzkracht draait om als een van de grootheden van de FBI-regel van richting verandert.

De draairichting van de motoras keert om als de richting van de lorentzkracht is omgedraaid. Dat kan door óf de richting van de stroom óf de richting van het magnetisch veld om te keren. Je verandert alleen de stroomrichting door de aansluitingen van de koolborstels K_1 en K_2 te verwisselen.

Je verandert alleen de richting van het magnetisch veld van een spoel door spoel S_2 te verbinden met de minpool van de spanningsbron en K_2 te verbinden met spoel S_1 . Vergelijk figuur 10.22a met 10.22b.



Figuur 10.22

- b Als je de richting van de stroom omdraait, dan verandert ook de richting van de stroom in de spoelen S_1 en S_2 . Dus de richting van het magnetisch veld van de spoelen én de richting van de stroom door de wikkelingen van de rotor worden veranderd. Daarom blijft de lorentzkracht dezelfde kant op wijzen. De motor werkt op dus wisselspanning.

Vwo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

10.6 Elektromagnetische inductie**Opgave 36**

- a De flux volgt uit de formule voor de magnetische flux.

$$\Phi = B_{\perp} \cdot A$$

In figuur 10.97 A is de magnetische flux twee keer zo groot als in figuur 10.97 E.

De oppervlakte van de cirkel in figuur A is de helft van die in figuur 10.88 E.

Uit het bovenstaande volgt dat $\Phi_A = \Phi_E$.

- b De situaties rangschik je met de formule voor magnetische flux.

De flux in situatie E is de helft van die in situatie B, omdat de veldlijndichtheid is gehalveerd.

De flux in situatie C is de helft van die in situatie E, omdat de oppervlakte is gehalveerd.

In situatie D gaan geen veldlijnen door de ring. Dus de flux = 0 Wb.

In situatie F is de hoek tussen de veldlijnen en de oppervlakte van de ring 45° .

$\cos(45^\circ) = 0,70$. Dus de flux in situatie F ligt tussen die van B en E in.

De volgorde is dus B – F – E – C – D.

Opgave 37

- a Dat de spoelen in serie zijn aangesloten leg je uit met de grootheden waarvan de stroomsterkte afhangt.

De stroomsterkte hangt af van de inductiespanning en van de weerstand van de spoel. De weerstand hangt af van de lengte van de draad. Door de spoelen in serie aan te sluiten, is de weerstand van de stroomkring voor elke spoel hetzelfde.

Zo is de grootte van de stroomsterkte een maat voor de grootte van de inductiespanning.

- b De stroomsterkte bij spoel C beredeneer je met de wet van Ohm.

De spanning beredeneer je met een van de formules voor de inductiespanning.

De inductiespanning is recht evenredig met het aantal windingen. Dus de inductiespanning is bij spoel C drie keer zo groot als bij spoel A.

Omdat de weerstand hetzelfde is, is volgens de wet van Ohm de stroomsterkte bij spoel C drie keer zo groot als bij spoel A.

Je verwacht bij 3000 windingen dus een stroomsterkte van $1,4 \times 3 = 4,2$ mA.

- c Of de gemiddelde snelheid groter of kleiner is, beredeneer je met een van de formules voor de inductiespanning.

De gemeten stroomsterkte is groter dan verwacht. Dus is de inductiespanning groter.

De inductiespanning is groter als de fluxverandering per seconde groter is.

Marlou heeft de magneet dus sneller bewogen. De gemiddelde snelheid was dus groter.

- d De stroomsterkte is evenredig met de inductiespanning.

De inductiespanning is evenredig met het aantal windingen en met de fluxverandering.

De fluxverandering is evenredig met de magnetische inductie en de oppervlakte.

Marlou heeft dus de volgende mogelijkheden:

- sterkere magneet gebruiken
- spoel met grotere diameter gebruiken
- spoel met meer windingen gebruiken
- magneet sneller bewegen

Vwo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

Opgave 38

- a De richting van het magnetisch veld van een spoel is afhankelijk van de richting van de stroom door de spoel. Bij een wisselstroom verandert de richting van de stroom voortdurend. De richting van het magnetisch veld verandert dus ook voortdurend.
- b Een inductiestroom ontstaat wanneer er een inductiespanning wordt opgewekt. De inductiespanning is evenredig met de fluxverandering. Doordat het magnetisch veld door de bodem van de pan voortdurend verandert, ontstaat er een inductiespanning. Er ontstaat dus een inductiestroom.
- c Bij gelijkstroom verandert het magnetisch veld van de spoel niet. Er is dan geen fluxverandering en dus ook geen inductiespanning.

Opgave 39

- a De frequentie bereken je met de knippertijd.
De knippertijd is de tijd tussen twee maxima van de fluxveranderingen.

Doordat de magneet ronddraait, verandert de flux door de spoel. Als de fluxverandering maximaal is, gaat het lampje even aan. De fluxverandering is twee keer per omlooptijd

maximaal. Het lampje gaat dus elke $\frac{0,40}{2} = 0,20$ s even aan.

$$f = \frac{1}{T}$$

$$T = 0,20 \text{ s}$$

$$\text{Invullen levert: } f = \frac{1}{0,20}$$

$$f = 5,0 \text{ Hz}$$

- b Welk verband juist is, leid je af met de formules voor inductiespanning en de formule voor magnetische flux.

De inductiespanning is evenredig met de fluxverandering per tijdseenheid: $U_{\text{ind}} \propto \frac{d\Phi}{dt}$.

De inductiespanning is evenredig met het aantal windingen N : $U_{\text{ind}} \propto N$.

De fluxverandering is evenredig met de magnetische inductie B : $\Phi = B_{\perp} \cdot A$.

Uit de eerste twee formules volgt:

$$U_{\text{ind}} \propto N \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$

Gecombineerd met de derde formule ontstaat:

$$U_{\text{ind}} \propto N \cdot \frac{dB \cdot A}{dt}$$

Omdat oppervlakte A een constante is, is verband B dus juist.

Opgave 40

- a De flux bereken je met de formule voor de magnetische flux.
De loodrechte component van de magnetische inductie bereken je met een goniometrische formule.

De windingen van de spoel lopen evenwijdig aan de veldlijnen, dus $B_{\perp} = 0 \text{ T}$.

$$\Phi = B_{\perp} \cdot A$$

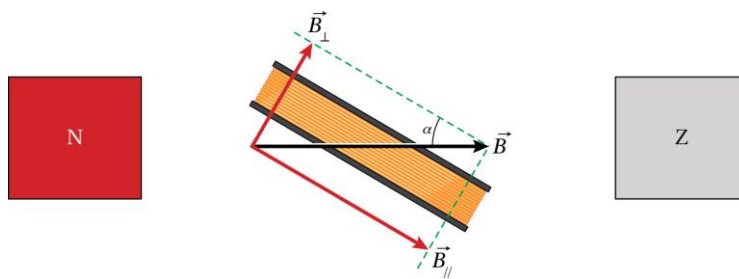
$$A = 8,0 \text{ cm}^2 = 8,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0 \times 8,0 \cdot 10^{-4} = 0,0 \text{ Wb}$$

- b De flux bereken je met de formule voor de magnetische flux.
De loodrechte component van de magnetische inductie bereken je met een goniometrische formule.

In figuur 10.23 zie je stand van de spoel na 30° .

Vwo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

**Figuur 10.23**

$$\frac{B_{\perp}}{B} = \sin(\alpha)$$

$$B = 3,2 \text{ mT} = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ T}$$

$$\alpha = 30^{\circ}$$

$$\text{Invullen levert: } \frac{B_{\perp}}{3,2 \cdot 10^{-3}} = \sin(30^{\circ})$$

$$B_{\perp} = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ T}$$

$$\Phi = B_{\perp} \cdot A$$

$$A = 8,0 \text{ cm}^2 = 8,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\Phi = 1,6 \cdot 10^{-3} \times 8,0 \cdot 10^{-4} = 1,28 \cdot 10^{-6} \text{ Wb}$$

$$\text{Afgerond: } \Phi = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ Wb.}$$

- c De flux neemt toe tot een maximale waarde als de spoel 90° is gedraaid.
De fluxverandering is dan steeds positief, maar neemt af tot 0 Wb s^{-1} .
De inductiespanning is dan positief en neemt af tot 0 V .
Draait de spoel 90° verder, dan neemt de flux af tot 0 Wb .
De fluxverandering is steeds negatief en neemt toe tot maximaal.
De inductiespanning is dan negatief.
Bij verder draaien wordt de inductiespanning uiteindelijk weer positief. Er is dus sprake van een wisselspanning.
- d De spoel gaat steeds sneller draaien. Als de spoel sneller draait, is de fluxverandering per tijdseenheid groter en de inductiespanning dus ook.
Als de spoel sneller draait, dan is de tijd tussen de momenten waarop de inductiespanning maximaal is, kleiner.
Diagram a komt overeen met dit verloop van de inductiespanning.

Opgave 41

- a De inductiespanning leid je af met een formule voor inductiespanning.

De inductiespanning is evenredig met de fluxverandering per tijdseenheid.

Als de magneet zich midden in de spoel bevindt, dan is de flux maximaal en houdt dezelfde waarde zolang de magneet zich in de spoel bevindt.

De fluxverandering is dan gelijk aan nul. De inductiespanning is dus gelijk aan nul.

- b De maximale inductiespanning is recht evenredig met de snelheid van de magneet.
De inductiespanning is recht evenredig met het aantal windingen van de spoel.
Er geldt dus: $U_{\text{ind}} = \text{constante} \cdot N \cdot v$.

Op $t = 0,27 \text{ s}$ bereikt de magneet de maximale inductiespanning in de tweede spoel.

De snelheid van de magneet is dan $v = g \cdot t = 9,81 \times 0,27 = 2,6487 \text{ m s}^{-1}$.

De inductiespanning is dan $1,35 \text{ V}$. De tweede spoel bevat 600 windingen.

$$1,35 = \text{constante} \times 600 \times 2,6487$$

$$\text{constante} = 8,494 \cdot 10^{-4} \text{ V} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-1}$$

Vwo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

Op $t = 0,11$ s bereikt de magneet de maximale spanning in de eerste spoel.

De snelheid van de magneet is dan $v = g \cdot t = 9,81 \times 0,11 = 1,079 \text{ m s}^{-1}$.

De inductiespanning is dan 0,35 V.

$$0,35 = 8,494 \cdot 10^{-4} \times N \times 1,079$$

$$N = 3,81 \cdot 10^2$$

Afgerond heeft de eerste spoel $3,8 \cdot 10^2$ windingen.

Op $t = 0,36$ s bereikt de magneet de maximale spanning in de derde spoel.

De snelheid van de magneet is dan $v = g \cdot t = 9,81 \times 0,36 = 3,531 \text{ m s}^{-1}$.

De inductiespanning is dan 0,80 V.

$$0,80 = 8,494 \cdot 10^{-4} \times N \times 3,531$$

$$N = 2,66 \cdot 10^2$$

Afgerond heeft de derde spoel $2,7 \cdot 10^2$ windingen.

- c De inductiespanning is recht evenredig met de fluxverandering per tijdseenheid.
De inductiespanning volgt dus uit de steilheid van de raaklijn aan de (flux, tijd)-grafiek.

Op $t = 0,11$ s is de raaklijn aan de grafiek minder steil dan op $t = 0,17$ s.

De inductiespanning is op $t = 0,11$ s dus kleiner dan op $t = 0,17$ s.

Vwo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

10.7 Afsluiting

Opgave 42

- a Het aantal keren dat de elektronen de spanning moeten doorlopen, bereken je met de totale benodigde spanning.

De totale benodigde spanning bereken je met de formule voor de toename van elektrische energie.

De toename van de elektrische energie volgt uit de kinetische energie in een elektrisch veld.

De kinetische energie bereken je met de formule voor de kinetische energie.

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{eind}}^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{begin}}^2$$

$$m = 1,672 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \quad (\text{zie BINAS tabel 7B})$$

$$v_{\text{eind}} = 1,2 \cdot 10^7 \text{ m s}^{-1}$$

$$v_{\text{begin}} = 0 \text{ m s}^{-1}$$

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} \times 1,672 \cdot 10^{-27} \times (1,2 \cdot 10^7)^2 - \frac{1}{2} \times 1,672 \cdot 10^{-27} \times (0)^2$$

$$\Delta E_k = 1,203 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

$$\text{Dus } \Delta E_k = \Delta E_{\text{el}}$$

$$\Delta E_{\text{el}} = q \cdot U_{\text{totaal}}$$

$$q = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$\text{Invullen levert: } 1,203 \cdot 10^{-13} = 1,602 \cdot 10^{-19} \times U.$$

$$U_{\text{totaal}} = 7,5 \cdot 10^5 \text{ V}$$

$$\text{Het proton moet dus } \frac{7,5 \cdot 10^5}{5,0 \cdot 10^3} = 1,5 \cdot 10^2 \text{ keer het spanningsverschil van 5,0 kV doorlopen.}$$

- b De snelheid van de protonen bereken je met de afstand en de tijd voor een rondje.

De afstand bereken je met de diameter van de ring.

De tijd bereken je met de omlooptijd van het proton.

De omlooptijd bereken je met de frequentie.

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = 11245 \text{ Hz}$$

$$\text{Invullen levert: } 11245 = \frac{1}{T}$$

$$T = 8,8928 \cdot 10^{-5} \text{ s}$$

$$s = \pi \cdot d$$

$$d = 8,4858 \text{ km} = 8,4858 \cdot 10^3 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } s = \pi \times 8,4858 \cdot 10^3.$$

$$s = 26658,9 \text{ m}$$

$$s = v \cdot t$$

$$26658,9 = v \times 8,8928 \cdot 10^{-5}$$

$$\text{Invullen levert: } v = 2,997810 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}.$$

De lichtsnelheid is gelijk aan $2,997924 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$. De snelheid van de protonen is dus gelijk

$$\text{aan } \frac{2,997810 \cdot 10^8}{2,997924 \cdot 10^8} = 0,999962 = 99,9962\%.$$

De snelheid wijkt dus $100 - 99,9962 = 3,8 \cdot 10^{-3} \%$ af van de lichtsnelheid.

Afgerond: $4 \cdot 10^{-3} \%$.

- c Voor de kinetische energie van een deeltje geldt $E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$.

Uit figuur 10.107 van het leerboek blijkt dat de massa tot oneindig toeneemt in de buurt van de lichtsnelheid. De kinetische energie moet dus oneindig groot worden om de lichtsnelheid te bereiken en dat is onmogelijk.

Vwo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

- d De richting van het magnetisch veld beredeneer je met de FBI-regel (linkerhandregel).

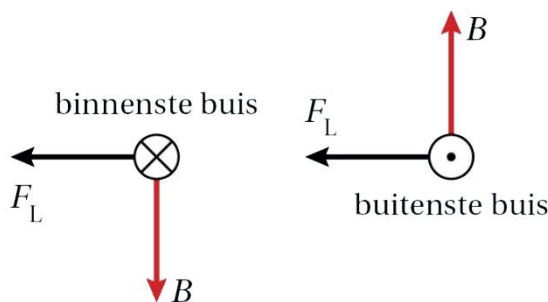
Zie figuur 10.24.

De protonen worden door de Lorentzkracht afgebogen. Bij punt A wijst de Lorentzkracht in beide ringen naar het midden van de cirkel. Dus naar links (duim).

Bij de binnenste buis gaat een stroom bij punt A de pagina in (middelvinger).

Met behulp van de FBI-regel bepaal je dat het magnetisch veld in de binnenste ring naar de onderkant van de pagina wijst.

De buitenste buis heeft een stroomrichting naar je toe bij punt A. Met behulp van de linkerhandregel bepaal je dat het magnetisch veld in de buitenste ring naar de bovenkant van de pagina wijst.



Figuur 10.24

- e Het aantal protonen in een groepje bereken je met het aantal groepjes en het totale aantal protonen in een omloop.
Het aantal protonen in een omloop bereken je met de totale lading in een omloop en de lading van een proton.
De totale lading in een omloop bereken je met de stroomsterkte en de tijd voor een omloop.
De tijd voor een omloop bereken je met het aantal omlopen per seconde van de protonen.

De protonen gaan per seconde 11 245 keer de ring rond.

Dus de tijd voor een omloop is $\frac{1}{11\,245} = 8,8928 \cdot 10^{-5} \text{ s}$.

$$I = \frac{Q}{t}$$

$$I = 0,582 \text{ C}$$

$$\text{Invullen levert: } 0,582 = \frac{Q}{8,8928 \cdot 10^{-5}}$$

$$Q = 5,1756 \cdot 10^{-5} \text{ C}$$

Een proton heeft een lading van $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Het aantal protonen in een omloop is

$$\frac{5,1756 \cdot 10^{-5}}{1,602 \cdot 10^{-19}} = 3,2307 \cdot 10^{14} \text{ protonen.}$$

Er bevinden zich 2808 groepen protonen in de buis.

$$\text{Elke groepje bevat dus } \frac{3,2307 \cdot 10^{14}}{2808} = 1,150 \cdot 10^{11} \text{ protonen.}$$

Afgerond: $1,15 \cdot 10^{11}$ protonen per groepje.

Vwo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

Opgave 43

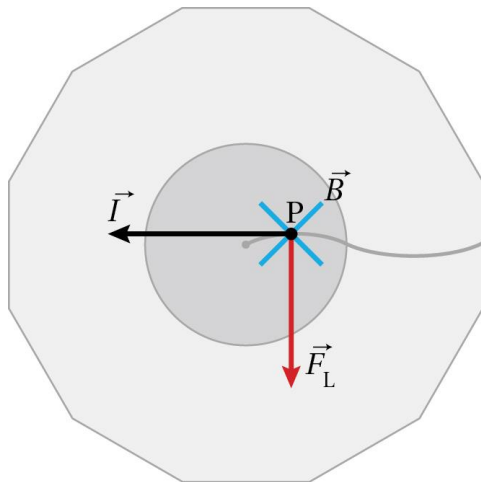
- a Of het deeltje een muon of een antimuon is bepaal je met de richting van de stroom en de richting waarin het deeltje beweegt.
De richting van de stroom bereken je met de FBI-regel (linkerhandregel).

Zie figuur 10.25.

Het deeltje wordt door de Lorentzkracht afgebogen. De Lorentzkracht in P is dus naar het middelpunt van de cirkel gericht (duim).

Het magnetisch veld wijst de pagina in (wijsvinger).

Met behulp van de FBI-regel bepaal je de richting van de stroom. De stroom loopt in punt P naar links. Het deeltje beweegt de andere kant op. De lading van het deeltje is dus negatief. Het deeltje is dus een muon.



Figuur 10.25

- b De lading van het deeltje is tegenovergesteld, dus positief. Het beweegt naar links. De richting van de stroom is dus gelijk aan de richting van de stroom bij het deeltje uit vraag a. Het magnetisch veld heeft dezelfde richting, dus is de Lorentzkracht naar beneden gericht. Het deeltje wordt dus dezelfde kant op afgebogen. Baan b is correct.
- c Dat de delen dezelfde eenheid hebben leg je uit met de eenheden van de andere grootheden.

$$E = B \cdot q \cdot c \cdot r$$

$[E] = \text{J}$ Dit is hetzelfde als Nm . (zie BINAS tabel 4)

$$[B \cdot q \cdot c] = [B \cdot q \cdot v] = [F_L] = \text{N}$$

$$[r] = \text{m}$$

De rechterterm heeft dus ook de eenheid Nm .

Dus de eenheden zijn hetzelfde.

- d Of een oorzaak de grotere straal kan verklaren, leg je uit met de gegeven formule.

Uit de formule $E = B \cdot q \cdot c \cdot r$ blijkt dat de totale energie van het deeltje evenredig is met de straal r . Als de snelheid van een deeltje door botsingen kleiner wordt, neemt zijn kinetische energie af. En dus neemt zijn totale energie af.

Omdat de grootheden B , q en c niet veranderen, wordt dus zijn straal r kleiner.

Oorzaak I kan de grotere straal dus niet verklaren.

Als de grootheden E , q en c niet veranderen, blijkt uit de formule $E = B \cdot q \cdot c \cdot r$ dat de straal r dan groter wordt als het magnetisch veld B kleiner wordt.

Oorzaak II kan de grotere straal dus wel verklaren.