

Hoofdstuk 10 Elektromagnetisme

10.1 Elektrische velden

Opgave 1

- a ► Hoeveel elektronen n naar de zijden doek zijn gegaan bereken je met de lading van de staaf en de elementaire lading.

$$Q = n \cdot e$$

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

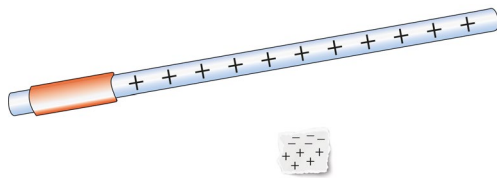
$$e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C} \quad (\text{zie Binas tabel 7A})$$

$$\text{Invullen levert: } 9,0 \cdot 10^{-9} = n \cdot 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$n = \frac{9,0 \cdot 10^{-9}}{1,60 \cdot 10^{-19}} = 5,625 \cdot 10^{10}$$

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

- b De snipper wordt aangetrokken door een elektrische kracht. Deze elektrische kracht ontstaat doordat de elektronen in de snipper zich een klein beetje verplaatsen richting de positieve staaf. Zie in figuur 10.1 de verdeling van de lading in de snipper.



Figuur 10.1

De snipper krijgt daardoor een negatief (en een positief) geladen kant. De afstand van de positief geladen staaf tot de negatief geladen kant van de snipper 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 snipper contact maakt met de positief geladen staaf, gaat een deel van de elektronen van de snipper naar de staaf. De snipper wordt daardoor ook positief geladen. Twee positief geladen voorwerpen stoten elkaar af. Dus valt de snipper weer terug.

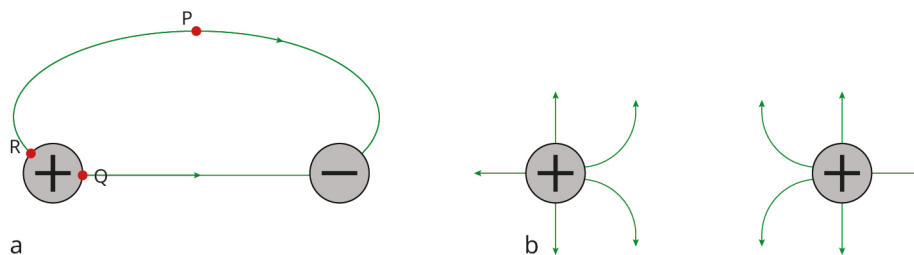
Opgave 2

- abc ► Bij het tekenen van een veldlijn hou je rekening met de kenmerken van een elektrische veldlijn.

Bij de vragen a en b hou je rekening met vier kenmerken van elektrische veldlijnen:

- 1 Een veldlijn staat loodrecht op het oppervlak van een geleider.
- 2 Binnen in een geleider is geen veldlijn.
- 3 De veldlijn loopt van het oppervlak van de positieve lading naar het oppervlak van de negatieve lading.
- 4 Veldlijnen kunnen elkaar niet snijden.

In figuur 10.2 zijn de veldlijnen getekend.



Figuur 10.2

Opgave 3

- De elektrische kracht F_{el} tussen de ladingen bereken je met de wet van Coulomb.

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

$$f = 8,99 \cdot 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2} \quad (\text{zie Binas tabel 7A})$$

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

$$Q = 1,0 \text{ C} \quad (\text{Vul voor de grootte van de kracht de positieve waarde van de lading in.})$$

- De afstand r tussen de ladingen op de polen bereken je met de straal van de aarde.

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

$$R_{\text{pool}} = 6357 \text{ km} = 6357 \cdot 10^3 \text{ m} = 6,357 \cdot 10^6 \text{ m} \quad (\text{zie Binas tabel 31 voetnoot 3})$$

$$\text{Invullen levert: } r = 2 \times 6,357 \cdot 10^6 = 1,2714 \cdot 10^7 \text{ m}$$

- Invullen van f , q , Q en r in de formule $F_{\text{el}} = f \cdot \frac{q \cdot Q}{r^2}$:

$$F_{\text{el}} = 8,99 \cdot 10^9 \times \frac{1,0 \times 1,0}{(1,2714 \cdot 10^7)^2} = 5,562 \cdot 10^{-5} \text{ N}$$

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

Opgave 4

- Wat de fout in elke veldlijn is, leid je af met behulp van de kenmerken van elektrische veldlijnen.

Lijn 1: De veldlijn staat niet loodrecht op de bolvormige geleider.

Lijn 2: De veldlijn staat niet loodrecht op de rechte geleider.

Lijn 3: De richting van de veldlijn is van – naar + en dat moet van + naar – zijn.

Lijn 4: De veldlijn loopt in de plaat en de bolvormige geleider, maar in een geleider is geen elektrisch veld.

Opgave 5

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

In figuur 10a en in figuur 10b 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.

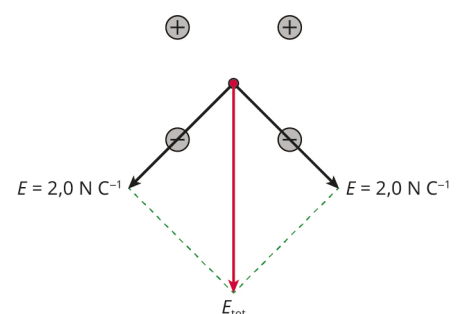
Daardoor is de resulterende veldsterkte in het midden van de figuren a en b 0 N C^{-1} .

- b ► De resulterende elektrische veldsterkte E_{tot} in het midden bepaal je met de resulterende elektrische veldsterkte op de diagonalen.
- De resulterende elektrische veldsterkte op een diagonaal construeer je met de twee veldsterkten op de diagonaal.

In figuur 10c zijn de richtingen van de twee veldsterkten op een diagonaal hetzelfde. De veldsterkte op een diagonaal is dus $2,0 \text{ N C}^{-1}$.

De resulterende veldsterkte van beide diagonalen construeer je met de parallellogrammethode.

In de constructie van figuur 10.3 zie je dat de totale veldsterkte groter is dan de veldsterkte op een diagonaal. Dus de resulterende veldsterkte in figuur 10c is groter dan $2,0 \text{ N C}^{-1}$.



Figuur 10.3

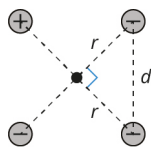
In figuur 10d heffen de veldsterkten van de diagonaal met de twee negatieve ladingen elkaar op. De richtingen van de twee veldsterkten op de andere diagonaal zijn hetzelfde. De veldsterkte op deze diagonaal is dus $2,0 \text{ N C}^{-1}$. Daardoor is de totale veldsterkte in figuur 10d gelijk aan $2,0 \text{ N C}^{-1}$. Dus in figuur 10c is de elektrische veldsterkte in het midden groter dan in figuur 10d.

- c ► De formule leid je af met de formule voor de wet van Coulomb en de formule voor de elektrische (veld)kracht in een elektrisch veld.

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

$$\text{Uit deze twee formules volgt: } E = f \cdot \frac{Q}{r^2}$$

- d ► De afstand d bereken je met de stelling van Pythagoras.
In een vierkant staan de diagonalen loodrecht op elkaar en zijn de rechthoekszijden aan elkaar gelijk.
 $d^2 = r^2 + r^2 = 2r^2$
Zie de driehoek aan de rechterkant in figuur 10.4.



Figuur 10.4

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

$$E = f \cdot \frac{Q}{r^2}$$

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

$$f = 8,99 \cdot 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2} \text{ (zie Binas tabel 7A)}$$

$$Q = e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C (zie Binas tabel 7A)}$$

$$\text{Invullen levert: } 1,0 = 8,99 \cdot 10^9 \times \frac{1,60 \cdot 10^{-19}}{r^2}$$

$$r^2 = 8,99 \cdot 10^9 \times \frac{1,60 \cdot 10^{-19}}{1,0} = 1,44 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2$$

- Invullen van r^2 in de formule $d^2 = 2r^2$:

$$d^2 = 2 \times 1,44 \cdot 10^{-9} = 2,88 \cdot 10^{-9}$$

$$d = \sqrt{2,88 \cdot 10^{-9}} = 5,3666 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

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

Opgave 6

- a ► Dat de elektrische veldsterkte E gelijk is aan $5,0 \text{ kN C}^{-1}$ toon je aan met de formule voor de elektrische (veld)kracht.

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

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

$$q = +1e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C (zie Binas tabel 7A)}$$

$$\text{Invullen levert: } 8,0 \cdot 10^{-16} = 1,60 \cdot 10^{-19} \cdot E$$

$$E = \frac{8,0 \cdot 10^{-16}}{1,60 \cdot 10^{-19}} = 5,000 \cdot 10^3 \text{ N C}^{-1} = 5,000 \text{ kN C}^{-1}$$

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

5 vwo hoofdstuk 10 uitwerkingen

- b ► De elektrische kracht F_{el} bereken je met de formule voor de elektrische (veld)kracht.
 $F_{\text{el}} = q \cdot E$
 q is gelijk, want het gaat om hetzelfde deeltje.
 E is gelijk, want het elektrische veld tussen twee evenwijdige geladen platen is homogeen.
 Dus de elektrische kracht is even groot.
- c ► De versnelling a bereken je met de tweede wet van Newton en de krachten in de horizontale richting.
 $F_{\text{res}} = m \cdot a$ en $\vec{F}_{\text{res}} = \vec{F}_{\text{el}} + \vec{F}_{\text{w}}$
 F_{w} is verwaarloosbaar.
 $F_{\text{el}} = m \cdot a$
 m van Pb^{2+} is ongeveer negen keer groter dan m van Na^+ .

- De elektrische kracht F_{el} bereken je met de formule voor de elektrische veldkracht.
 $F_{\text{el}} = q \cdot E$
 q van $\text{Pb}^{2+} = 2q$ van Na^+
 E is gelijk, want het elektrische veld tussen twee evenwijdige geladen platen is homogeen.
 Invullen levert: $F_{\text{el}} = (q \text{ is twee keer groter}) \times (E \text{ is gelijk})$
 F_{el} van Pb^{2+} is twee keer groter.

- Invullen van de veranderingen in de formule $F_{\text{el}} = m \cdot a$:
 $(F_{\text{el,Pb}^{2+}} \text{ is twee keer groter}) = (m_{\text{Pb}^{2+}} \text{ is ongeveer negen keer groter}) \cdot a_{\text{Pb}^{2+}}$
 Dus a van Pb^{2+} is kleiner dan a van Na^+ .

Opgave 7

- a ► Of de proeflading positief is of negatief, leid je af uit de lading van L en de richting van de elektrische kracht.
 De richting van de elektrische kracht is van L af. De proeflading wordt dus afgestoten door lading L . De lading L is positief, dus de proeflading in A ook.
- b ► De verhouding van de elektrische krachten $\frac{F_{\text{el,AR}}}{F_{\text{el,AL}}}$ bereken je met de wet van Coulomb toegepast op de geladen bollen L en R :

$$F_{\text{el,AL}} = f \cdot \frac{q_A \cdot Q_L}{r_{\text{AL}}^2} \text{ en } F_{\text{el,AR}} = f \cdot \frac{q_A \cdot Q_R}{r_{\text{AR}}^2}$$

$$\text{Dus } \frac{F_{\text{el,AR}}}{F_{\text{el,AL}}} = \frac{r_{\text{AL}}^2 \cdot Q_R}{r_{\text{AR}}^2 \cdot Q_L}$$

De ladingen Q_R en Q_L zijn even groot.

$$\frac{F_{\text{el,AR}}}{F_{\text{el,AL}}} = \frac{r_{\text{AL}}^2}{r_{\text{AR}}^2} = \left(\frac{r_{\text{AL}}}{r_{\text{AR}}} \right)^2$$

- De verhouding tussen de afstanden $\frac{r_{\text{AL}}}{r_{\text{AR}}}$ bepaal je in figuur 12.

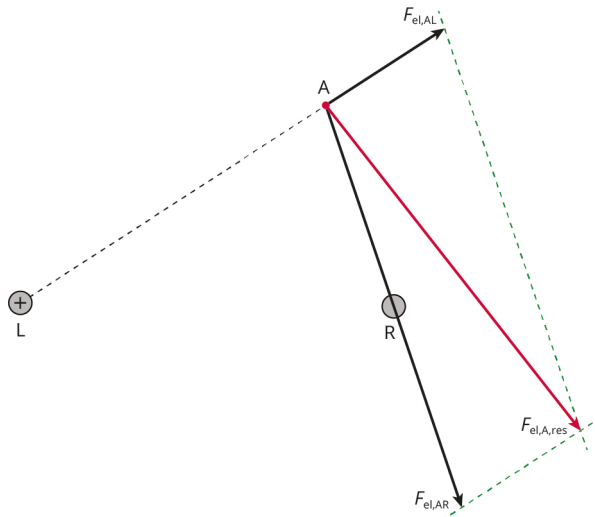
In figuur 12 meet je $r_{\text{AL}} = 4,8 \text{ cm}$ en $r_{\text{AR}} = 2,8 \text{ cm}$.

- Invullen van r_{AL} en r_{AR} in de formule $\frac{F_{\text{el,AR}}}{F_{\text{el,AL}}} = \left(\frac{r_{\text{AL}}}{r_{\text{AR}}} \right)^2$:

$$\frac{F_{\text{el,AR}}}{F_{\text{el,AL}}} = \left(\frac{4,8}{2,8} \right)^2 = 2,938$$

Afgerond is $F_{\text{el,AR}}$ dus 3 keer zo groot als $F_{\text{el,AL}}$.

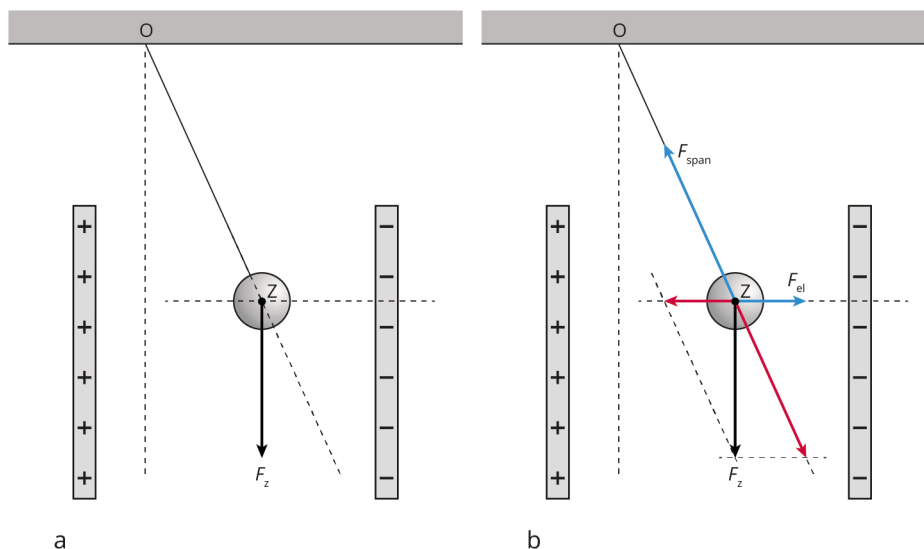
- c ► De resulterende kracht $F_{el,A,res}$ op de proeflading in A construeer je met de parallellogrammethode. Zie de constructie in figuur 10.5.
De lengte van de pijl van $F_{el,AR}$ is 3 keer zo lang als de pijl van $F_{el,AL}$.
- De richting van de pijl van $F_{el,AR}$ bereken je met de ladingen van R, L en de proeflading in A.
De lading van R is tegengesteld aan de lading van L.
 $F_{el,AL}$ wijst van L af. Dus wijst $F_{el,AR}$ in de richting van R.



Figuur 10.5

Opgave 8

- a ► De spankracht F_{span} en de elektrische kracht F_{el} schets je met ontbinden en omklappen. De werklijn van de spankracht F_{span} heeft dezelfde richting als de stand van het touw. De werklijn van de elektrische kracht F_{el} staat loodrecht op de twee geladen platen. Zie de gestreepte lijnen in figuur 10.6a.



Figuur 10.6

Je ontbindt eerst de zwaartekracht in componenten over de werklijnen. Zie de rode pijlen in figuur 10.6b. Vervolgens teken je de tegengestelde en even grote krachten van deze pijlen. Zie de blauwe pijlen in figuur 10.6b.

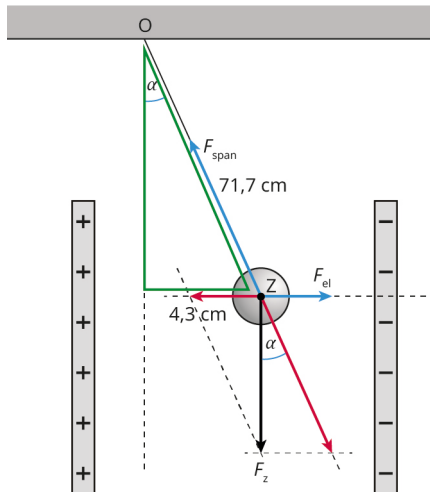
- b ► De elektrische kracht F_{el} bereken je met een goniometrische verhouding waarin ook de zwaartekracht een rol speelt.

Zie de constructie in figuur 10.7.

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

$$F_z = m \cdot g = 9,2 \cdot 10^{-3} \times 9,81 = 9,03 \cdot 10^{-2} \text{ N} \quad (9,2 \text{ g} = 9,2 \cdot 10^{-3} \text{ kg})$$

- Hoek α bereken je met een goniometrische verhouding waarin de afstanden een rol spelen.
Zie de groene rechthoekige driehoek in figuur 10.7.



Figuur 10.7

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

$$\alpha = 3,44^\circ$$

- Invullen van α en F_z in de formule $\tan(\alpha) = \frac{F_{el}}{F_z}$:

$$\tan(3,438^\circ) = \frac{F_{el}}{9,03 \cdot 10^{-2}}$$

$$F_{el} = 9,02 \cdot 10^{-2} \times \tan(3,44^\circ) = 5,422 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

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

- c De uitwijking van het bolletje is recht evenredig met de elektrische kracht, zie vraag b.
De elektrische kracht is recht evenredig met de elektrische veldsterkte ($F_{el} = q \cdot E$).
Door het bolletje op meerdere plaatsen tussen de geladen platen te plaatsen, zie je dat de uitwijking overal hetzelfde is. Dus is de elektrische veldsterkte overal hetzelfde.
Als de elektrische veldsterkte overal hetzelfde is, is het elektrisch veld homogeen.

10.2 Elektrische energie

Opgave 9

- a ► De spanning U om een proton tot bijna de lichtsnelheid te versnellen bereken je met de formule voor de spanning en de verandering van de kinetische energie.

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

$$q = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C} \quad (\text{positieve waarde gebruiken})$$

- De verandering van de kinetische energie ΔE_k bereken je met de formule voor de kinetische energie.

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

$$m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \quad (\text{zie Binas tabel 7B})$$

$$v_{\text{eind}} = c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1} \quad (\text{zie Binas tabel 7A})$$

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

$$\text{Invullen levert: } \Delta E_k = \frac{1}{2} \times 1,67 \cdot 10^{-27} \times (3,00 \cdot 10^8)^2 - 0 = 7,52 \cdot 10^{-11} \text{ J}$$

- Invullen van q en ΔE_k in de formule $\Delta E_k = q \cdot U$:

$$7,52 \cdot 10^{-11} = 1,60 \cdot 10^{-19} \cdot U$$

$$U = \frac{7,52 \cdot 10^{-11}}{1,60 \cdot 10^{-19}} = 4,70 \cdot 10^8 \text{ V}$$

Dit is dus honderden miljoenen volt.

- b ► De snelheid v_{10} van een proton in de tiende buis bereken je met de formule voor de kinetische energie.

$$E_{k,10} = \frac{1}{2} m \cdot v_{10}^2$$

$$m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \quad (\text{zie Binas tabel 7B})$$

- De kinetische energie $\Delta E_{k,10}$ bereken je met het verband tussen de spanning en de verandering van de kinetische energie voor een geladen deeltje in een elektrisch veld.

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

$$\Delta E_k = E_{k,10} - E_{k,1} = E_{k,10} \quad (\text{In buis 1 is de snelheid } 0 \text{ m s}^{-1} \text{ en dus } E_{k,1} \text{ ook.})$$

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

- De spanning U tussen buis 1 en buis 10 bereken je met het aantal oversteken en de spanning per oversteek.

Tussen buis 1 en buis 10 zitten 9 oversteken van 180 V.

$$U = 9 \times 20 \text{ kV} = 180 \text{ kV} = 180 \cdot 10^3 \text{ V}$$

- Invullen van $\Delta E_k = E_{k,10}$ en U in de formule $\Delta E_k = q \cdot U$:

$$\Delta E_{k,10} = 1,60 \cdot 10^{-19} \times 180 \cdot 10^3 = 2,88 \cdot 10^{-14} \text{ J}$$

Invullen van $E_{k,10}$ en m in de formule $E_{k,10} = \frac{1}{2} m \cdot v_{10}^2$:

$$2,88 \cdot 10^{-14} = \frac{1}{2} \times 1,67 \cdot 10^{-27} \cdot v_{10}^2$$

$$v_{10} = \sqrt{\frac{2 \times 2,88 \cdot 10^{-14}}{1,67 \cdot 10^{-27}}} = 5,8730 \cdot 10^6 \text{ m s}^{-1}$$

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

5 vwo hoofdstuk 10 uitwerkingen

Opgave 10

- a Het alfadeeltje wordt afgeremd tijdens de beweging van P naar Q. Het alfadeeltje is positief. Plaat Q is dus ook positief. Dus de linker plaat is negatief.

- b ► Dat de kinetische energie $E_{k,P}$ van de snelste deeltjes $5,2 \cdot 10^6$ eV is, laat je zien met de verandering van de kinetische energie.

$$\Delta E_k = E_{k,Q} - E_{k,P}$$

$$E_{k,Q} = 0 \text{ J} \quad (\text{De snelheid bij Q is } 0 \text{ m s}^{-1}.)$$

$$\Delta E_k = E_{k,P} \quad (E_{k,P} \text{ moet een positieve waarde krijgen en } \Delta E_k \text{ dus ook.})$$

- De verandering van de kinetische energie ΔE_k bereken je met het verband tussen de spanning en de verandering van de kinetische energie voor een geladen deeltje in een elektrisch veld.

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

$$q = 2e$$

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

$$\text{Invullen levert: } \Delta E_k = 2 \times 2,6 \cdot 10^6 = 5,20 \cdot 10^6 \text{ eV}$$

$$\text{Invullen van } \Delta E_k \text{ in de formule } \Delta E_k = E_{k,P}:$$

$$5,20 \cdot 10^6 \text{ eV} = E_{k,P}$$

$$\text{Afgerond: } E_{k,P} = 5,2 \cdot 10^6 \text{ eV.}$$

- c ► De beginsnelheid v_P van de snelste alfadeeltjes bereken je met de formule voor de kinetische energie.

$$E_{k,P} = \frac{1}{2} m \cdot v_P^2$$

$$E_{k,P} = 5,2 \cdot 10^6 \text{ eV} = 5,2 \cdot 10^6 \times 1,60 \cdot 10^{-19} = 8,32 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

$$m = 4u = 4 \times 1,66 \cdot 10^{-27} = 6,64 \cdot 10^{-27} \quad (\text{zie Binas tabel 7B})$$

$$\text{Invullen levert: } 8,32 \cdot 10^{-13} = \frac{1}{2} \times 6,64 \cdot 10^{-27} \cdot v_P^2$$

$$v_P = \sqrt{\frac{2 \times 8,32 \cdot 10^{-13}}{6,64 \cdot 10^{-27}}} = 1,5830 \cdot 10^7 \text{ m s}^{-1}$$

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

Opgave 11

- a ► Of de waarde van de regelbare weerstand dan groter of kleiner moet worden gemaakt, beredeneer je met het kenmerk van de spanning in een serieschakeling.

$$U_1 = U_2 + U_3$$

$$U_1 \text{ is gelijk.}$$

$$U_2 = U_{PQ} = U_{AK} \text{ wordt groter.}$$

$$\text{Invullen levert: } (U_1 \text{ is gelijk}) = (U_2 \text{ wordt groter}) + U_3$$

$$U_3 \text{ wordt dus kleiner.}$$

De waarde van de regelbare weerstand moet dus kleiner worden gemaakt om de versnелspanning te vergroten.

- b ► De snelheid v_A waarmee de elektronen de anode treffen bereken je met de formule voor de kinetische energie.

$$E_{k,A} = \frac{1}{2} m \cdot v_A^2$$

$$m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \quad (\text{zie Binas tabel 7B})$$

- De kinetische energie $E_{k,A}$ bereken je met de verandering van de kinetische energie.

$$\Delta E_k = E_{k,A} - E_{k,K}$$

$$E_{k,K} = 0 \text{ J} \quad (\text{De snelheid bij de kathode is } 0 \text{ m s}^{-1}.)$$

$$\Delta E_k = E_{k,A}$$

5 vwo hoofdstuk 10 uitwerkingen

- De verandering van de kinetische energie ΔE_k bereken je met het verband tussen de spanning en de verandering van de kinetische energie voor een geladen deeltje in een elektrisch veld.

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

$$q = e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C} \quad (\text{zie Binas tabel 7A})$$

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

$$\text{Invullen levert: } \Delta E_k = 1,60 \cdot 10^{-19} \times 20 \cdot 10^3 = 3,20 \cdot 10^{-15} \text{ J}$$

- Invullen van $E_{k,A} = \Delta E_k$ en m in de formule $E_{k,A} = \frac{1}{2} m \cdot v_A^2$:

$$3,20 \cdot 10^{-15} = \frac{1}{2} \times 9,11 \cdot 10^{-31} \cdot v_A^2$$

$$v_A = \sqrt{\frac{2 \times 3,20 \cdot 10^{-15}}{9,11 \cdot 10^{-31}}} = 8,3817 \cdot 10^7 \text{ m s}^{-1}$$

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

- c ► Het aantal elektronen n dat per seconde van de kathode naar de anode gaat bereken je met de lading van een elektron en de stroomsterkte van de kathode naar de anode.

$$Q = n \cdot e$$

$$Q \text{ per seconde} = I$$

$$e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C} \quad (\text{zie Binas tabel 7A})$$

- De stroomsterkte I bereken je met de formule voor het vermogen.

$$P = U \cdot I$$

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

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

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

$$I = \frac{20 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3} = 0,500 \text{ A}$$

$$\text{Dus er gaat } 0,500 \text{ C per seconde van de kathode naar de anode.}$$

- Invullen van $Q \text{ per seconde} = I$ en e in de formule $Q = n \cdot e$:

$$0,500 = n \cdot 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

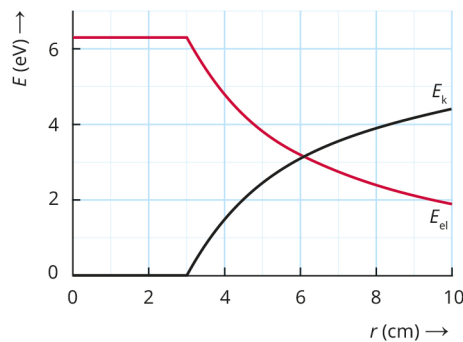
$$n = \frac{0,500}{1,60 \cdot 10^{-19}} = 3,125 \cdot 10^{18}$$

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

Opgave 12

- 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 ► Dat het elektron versnelt na loskomen van de bol, leg je uit met de wet van behoud van energie. Volgens de wet van behoud van energie blijft de hoeveelheid energie constant. Dus $E_{\text{el}} + E_k$ is constant. Volgens figuur 19 neemt de elektrische energie van een elektron af na $r = 3,0 \text{ cm}$. Dus neemt vanaf daar de kinetische energie van het elektron toe. Omdat de massa van het elektron constant blijft, neemt de snelheid van het elektron dus toe. Dat betekent dat het elektron versnelt.
- c – ► De grafiek voor de kinetische energie leid je af met behulp van de wet van behoud van energie en de grafiek van de elektrische energie. Volgens de wet van behoud van energie is de afname van de elektrische energie gelijk aan de toename van de kinetische energie. Als een elektron loskomt, is de snelheid van het elektron 0 m s^{-1} . Dus is de kinetische energie in het begin 0 eV . De grafiek begint dus op $E_k = 0 \text{ eV}$.

In figuur 10.8 is de grafiek voor de kinetische energie getekend.



Figuur 10.8

- De snelheid $v_{\max}$ van het elektron bereken je met de formule voor de kinetische energie.

$$E_{k,\max} = \frac{1}{2} m \cdot v_{\max}^2$$

$$E_{k,\max} = 6,3 \text{ eV} = 6,3 \times 1,60 \cdot 10^{-19} = 1,00 \cdot 10^{-18} \text{ J} \quad (\text{aflezen in figuur 10.8, zie Binas tabel 5})$$

$$m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \quad (\text{zie Binas tabel 7A})$$

$$\text{Invullen levert: } 1,00 \cdot 10^{-18} = \frac{1}{2} \times 9,11 \cdot 10^{-31} \cdot v_{\max}^2$$

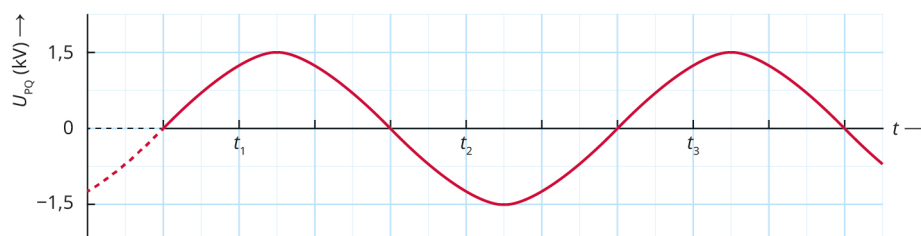
$$v_{\max} = \sqrt{\frac{2 \times 1,00 \cdot 10^{-18}}{9,11 \cdot 10^{-31}}} = 1,4817 \cdot 10^6 \text{ m s}^{-1}$$

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

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

Opgave 13

- a Volgens figuur 21 is op t_1 de spanning van P ten opzichte van Q positief. Volgens figuur 20 is buis 1 dus positief ten opzichte van buis 2. Een proton is positief geladen. Dus het proton wordt afgestoten door de eerste buis en aangetrokken door de tweede buis. Het proton wordt dus versneld tijdens de oversteek van de eerste naar de tweede buis.
- b De verblijftijd in een buis is steeds hetzelfde. Dus de tijdstippen t_2 en t_3 liggen op vergelijkbare punten. Tussen buis 2 en buis 3 is de spanning U_{PQ} negatief. Tussen buis 3 en buis 4 is de spanning U_{PQ} weer positief. In het diagram van figuur 10.9 zijn de plaatsen van t_2 en t_3 aangegeven.



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 omdat de frequentie van de wisselspanning constant is. Bij een grotere snelheid leggen de protonen in dezelfde tijd een grotere afstand af. Dus de opeenvolgende buizen moeten steeds langer zijn.

5 vwo hoofdstuk 10 uitwerkingen

- d ► In welke buis de snelheid $1,0 \cdot 10^6 \text{ m s}^{-1}$ is, bereken je met het aantal benodigde oversteken n , de spanning U_{PQ} per oversteek en de totale spanning U die nodig is voor de snelheid van $1,0 \cdot 10^6 \text{ m s}^{-1}$.

$$U = n \cdot U_{PQ}$$

$$U_{PQ} = 1,3 \text{ kV} = 1,3 \cdot 10^3 \text{ V}$$

- De totale spanning U bereken je met het verband tussen de spanning en de kinetische energie voor een geladen deeltje in een elektrisch veld.

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

$$\Delta E_k = E_{k,n} - E_{k,1} = E_{k,n} \text{ (want in buis 1 is de snelheid } 0 \text{ m s}^{-1} \text{ en } E_{k,1} \text{ dus ook)}$$

$$q = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

De kinetische energie $E_{k,n}$ bereken je met de formule voor de kinetische energie.

$$E_{k,n} = \frac{1}{2} m \cdot v_n^2$$

$$m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \quad (\text{zie Binas tabel 7B})$$

$$v_n = 1,0 \cdot 10^6 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Invullen levert: } E_{k,n} = \frac{1}{2} \times 1,67 \cdot 10^{-27} \times (1,0 \cdot 10^6)^2 = 8,35 \cdot 10^{-16} \text{ J}$$

- Invullen van $E_{k,n}$ en q in de formule $E_{k,n} = q \cdot U$:

$$8,35 \cdot 10^{-16} = q = 1,60 \cdot 10^{-19} \cdot U$$

$$U = \frac{8,35 \cdot 10^{-16}}{1,60 \cdot 10^{-19}} = 5,218 \cdot 10^3 \text{ V}$$

- Invullen van U en U_{PQ} in de formule $U = n \cdot U_{PQ}$:

$$5,218 \cdot 10^3 = n \cdot 1,3 \cdot 10^3$$

$$n = \frac{5,218 \cdot 10^3}{1,3 \cdot 10^3} = 4,01$$

Er zijn dus vier oversteken nodig. Dus in de vijfde buis is de snelheid $1,0 \cdot 10^6 \text{ m s}^{-1}$.

- e ► De lengte van de buis bereken je met de formule voor de verplaatsing bij een eenparige beweging.

$$s = v \cdot t$$

$$v = 1,0 \cdot 10^6 \text{ m s}^{-1}$$

- De tijd t bereken je met de periode T van het ompolen.

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

$$t = \frac{1}{2} T$$

- De periode T bereken je met de frequentie.

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

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

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

$$T = \frac{1}{2,0 \cdot 10^6} = 5,00 \cdot 10^{-7} \text{ s}$$

$$t = \frac{1}{2} \times 5,00 \cdot 10^{-7} = 2,50 \cdot 10^{-7} \text{ s}$$

- Invullen van v en t in de formule $s = v \cdot t$:

$$s = 1,0 \cdot 10^6 \times 2,5 \cdot 10^{-7} = 0,2500 \text{ m}$$

Afgerond: $s = 0,25 \text{ m}$.

Opgave 14

- a Dat de eenheid $V \cdot m^{-1}$ gelijk is aan de eenheid $N \cdot C^{-1}$, leid je af met behulp van Binas tabel 4.

$$[E] = V \cdot m^{-1}$$

$$V = J \cdot C^{-1} \quad (\text{zie Binas tabel 4 bij spanning (elektrische)})$$

$$J = N \cdot m \quad (\text{zie Binas tabel 4 bij energie})$$

$$\text{Invullen levert: } [E] = V \cdot m^{-1} = (J \cdot C^{-1}) \cdot m^{-1} = (N \cdot m) \cdot C^{-1} \cdot m^{-1} = N \cdot C^{-1}$$

$$\text{Dus } V \cdot m^{-1} = N \cdot C^{-1}.$$

- b – ► De formule $W_{\text{el}} = q \cdot E \cdot \Delta x$ leid je af met de formule voor de arbeid en de formule voor de elektrische kracht in een elektrisch veld.

$$W_{\text{el}} = F_{\text{el}} \cdot s \cdot \cos(\alpha) \text{ en } F_{\text{el}} = q \cdot E$$

$$s = \Delta x$$

$$\text{Invullen levert: } W_{\text{el}} = q \cdot E \cdot \Delta x \cdot \cos(\alpha)$$

- De waarde van hoek α leid je af uit de richting van de elektrische kracht en de richting van de verplaatsing.

De richting van de elektrische kracht op een positief geladen deeltje komt overeen met de richting van het elektrisch veld en is in figuur 22 dus van A naar B.

De richting van de verplaatsing is ook van A naar B.

Dus de hoek $\alpha = 0^\circ$.

- Invullen van α in de formule $W_{\text{el}} = q \cdot E \cdot \Delta x \cdot \cos(\alpha)$:

$$W_{\text{el}} = q \cdot E \cdot \Delta x \cdot \cos(0) = q \cdot E \cdot \Delta x \cdot 1 = q \cdot E \cdot \Delta x$$

$$\text{Dus } W_{\text{el}} = q \cdot E \cdot \Delta x.$$

- De formule voor de wet van arbeid en kinetische energie is $\Sigma W = \Delta E_k$.

Voor de verandering van de kinetische energie geldt ook $\Delta E_k = q \cdot U$.

Er zijn geen andere krachten / andere krachten zijn verwaarloosbaar. Dus $\Sigma W = W_{\text{el}} = q \cdot E \cdot \Delta x$.

$$\text{Invullen levert: } q \cdot E \cdot \Delta x = q \cdot U$$

Na wegdelen van q ontstaat $E \cdot \Delta x = U$.

$$\text{Hieruit volgt } E = \frac{U}{\Delta x}.$$

- c Zie de uitwerking in tabel 1.

	wordt 2× zo groot	wordt 2× zo klein	blijft gelijk
De elektrische veldsterkte	x		
De elektrische kracht	x		
De arbeid die de elektrische kracht verricht			x
De hoeveelheid omgezette elektrische energie			x

Tabel 1

Opgave 15

- a ► De maximale verandering in kinetische energie ΔE_k bereken je met het verband tussen de spanning en de kinetische energie.

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

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

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

$$\text{Invullen levert: } \Delta E_k = 1,602 \cdot 10^{-19} \times 1,28 \cdot 10^3 = 2,051 \cdot 10^{-16} \text{ J}$$

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

- b ► Dat de snelheidstoename hetzelfde blijft, beredeneer je met de verandering van de kinetische energie. Als de snelheidstoename hetzelfde blijft, dan is de verandering van de kinetische energie ook hetzelfde.

5 vwo hoofdstuk 10 uitwerkingen

- De verandering van de kinetische energie bereken je met het verband tussen de spanning en de kinetische energie.

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

q blijft gelijk.

U blijft gelijk.

Dus de verandering in kinetische energie blijft hetzelfde.

- c ► De totale snelheidstoename Δv bereken je met de formule voor de versnelling.

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

$$\Delta t = 14 \text{ maanden} = \frac{14}{12} \text{ jaar} = \frac{14}{12} \times 3,15 \cdot 10^7 = 3,675 \cdot 10^7 \text{ s} \quad (\text{zie Binas tabel 5})$$

- De versnelling a bereken je met de tweede wet van Newton.

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

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

$$m = 490 - 30 = 460 \text{ kg} \quad (\text{Na 14 maanden is 60 kg verdwenen, na 7 maanden dus de helft daarvan, 30 kg.})$$

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

$$a = \frac{90 \cdot 10^{-3}}{460} = 1,96 \cdot 10^{-4} \text{ m s}^{-2}$$

- Invullen van a en Δt in de formule $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$:

$$1,96 \cdot 10^{-4} = \frac{\Delta v}{3,675 \cdot 10^7}$$

$$\Delta v = 1,96 \cdot 10^{-4} \times 3,675 \cdot 10^7 = 7,2030 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}$$

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

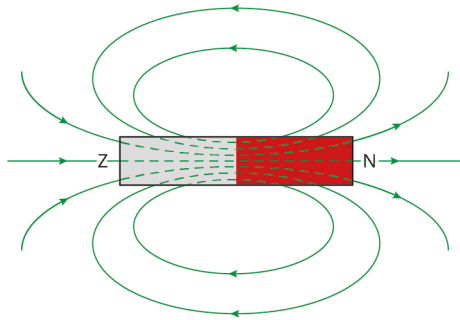
- d Door het uitstoten van positieve ionen wordt Deep Space zelf negatief geladen. Daardoor ontstaat een steeds groter wordende aantrekkende kracht. Het uitstoten van positieve ionen wordt dan steeds lastiger en de stuwkracht wordt daardoor kleiner.

10.3 Elektromagnetisme

Opgave 16

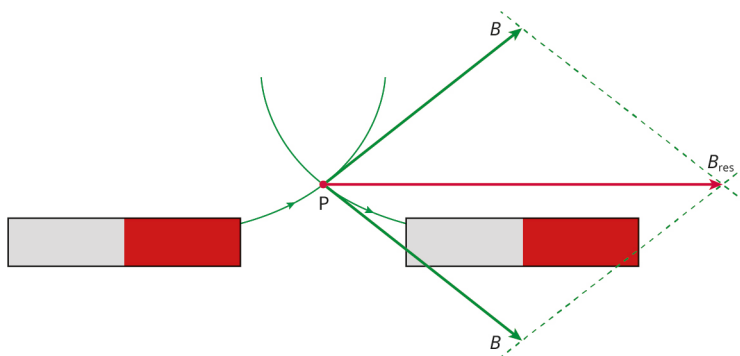
- a ► De richting van de magnetische veldlijnen van een magneet beredeneer je uit de plaats van de noordpool en de zuidpool.

Buiten een magneet is de richting van een veldlijn van de noord- naar de zuidpool, in de magneet van de zuid- naar de noordpool. Zie figuur 10.10.



Figuur 10.10

- b ► De resulterende magnetische inductie construeer je met de parallellogrammethode. Omdat punt P even ver van beide magneten af ligt, is de grootte van de magnetische inductie in punt P voor beide magneten dezelfde. De lengte van de pijl mag je zelf kiezen, als de lengtes maar aan elkaar gelijk zijn.
- De richting van de magnetische inductie leid je af met de richting van de raaklijn aan een veldlijn. De richting van de veldlijn van de linker magneet is van de noordpool af, naar rechtsboven gericht. De magnetische inductie is dus ook naar rechtsboven gericht. De richting van de veldlijn van de rechter magneet is naar de zuidpool toe, naar rechtsonder gericht. De magnetische inductie is dus ook naar rechtsonder gericht. Zie de constructie in figuur 10.11.

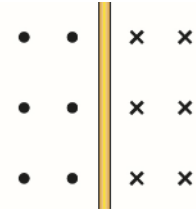


Figuur 10.11

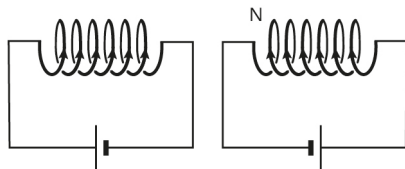
De resulterende magnetische inductie B_{res} is horizontaal naar rechts gericht. Dus is de kompasnaald precies horizontaal gericht.

Opgave 17

- a ► De richting van de elektrische stroom bepaal je met de rechterhandregel voor een stroomdraad.
 ► De richting van de magnetische veldlijnen leid je af uit figuur 43 met behulp van de notatieregels. De magnetische veldlijnen komen aan de rechterkant de pagina uit en gaan aan de linkerkant de pagina in. Volgens de rechterhandregel voor een stroomdraad loopt de elektrische stroom van de bovenkant van de pagina naar de onderkant van de pagina.
- b Wanneer de plus- en minpool van de spanningsbron worden verwisseld, wisselt de richting van de elektrische stroom. Dan wisselt volgens de rechterhandregel voor een stroomdraad de richting van de magnetische veldlijnen. Zie figuur 10.12.

**Figuur 10.12****Opgave 18**

- a ► De richting van de magnetische veldlijnen in de spoel beredeneer je uit de plaats van de noordpool (en de zuidpool).
 In een spoel lopen de magnetische veldlijnen van de zuidpool naar de noordpool. Dus lopen de in rechter spoel de magnetische veldlijnen van rechts naar links.
- b ► De minpool en de pluspool van de batterij beredeneer je uit de richting van de elektrische stroom door de windingen van de spoel.
 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. Zie figuur 10.13.

**Figuur 10.13**

- c ► Of de spoelen elkaar afstoten of aantrekken, hangt af van de plaats van de noordpool en de zuidpool van de linker spoel.
 Is de rechterkant van de linker spoel de noordpool, dan stoten de spoelen elkaar af.
 Is de rechterkant van de linker spoel de zuidpool, dan trekken de spoelen elkaar aan.
- De plaats van de noordpool van de linker spoel beredeneer je met de rechterhandregel voor een stroomspoel.
 Volgens de rechterhandregel is je duim gericht van rechts naar links. De veldlijnen lopen in de linker spoel van rechts naar links. Dus bevindt de noordpool van de linker spoel zich aan de linkerkant en de zuidpool aan de rechterkant.
 De spoelen trekken elkaar dus aan.
- d Plaats een ijzeren kern in een spoel of in beide spoelen: dan wordt de magnetische inductie groter en daardoor ook de (aantrekkende) kracht tussen de spoelen.

Opgave 19

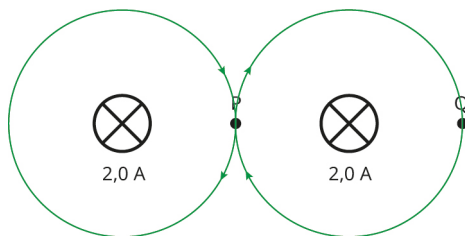
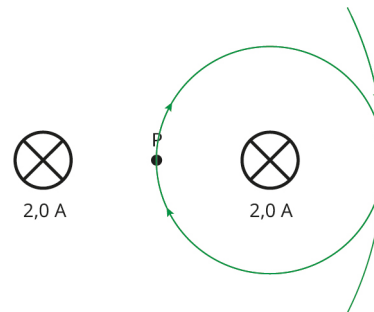
- a – ► Dat de magnetische inductie B in punt P gelijk is aan 0 T, toon je aan met de grootte en de richting van de magnetische inductie van de linker draad en van de rechter draad.

$$B_{P,links} = B_{P,rechts} \quad (\text{De afstand van P tot beide draden en de stroomsterkte door beide draden zijn gelijk.})$$

- De richting van $B_{P,links}$ en $B_{P,rechts}$ bereken je met de rechterhandregel voor een stroomdraad. Volgens de rechterhandregel is voor beide stroomdraden de richting van je duim de pagina in. De veldlijnen lopen rond de draden volgens de richting van de wijzers van de klok. In punt P zijn de richtingen van de veldlijnen tegengesteld aan elkaar. Zie de schets van de veldlijnen in figuur 10.14.

De magnetische inducties $B_{P,links}$ en $B_{P,rechts}$ zijn even groot en tegengesteld gericht. Dus is de magnetische inductie in punt P gelijk aan 0 T.

- In punt Q zijn de richtingen van de veldlijnen van beide draden volgens de wijzers van de klok. In punt Q is de richting van het magnetisch veld dus naar de onderkant van de pagina. Zie de schets van de veldlijnen in figuur 10.15.

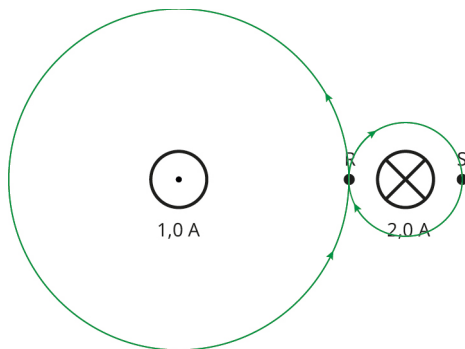
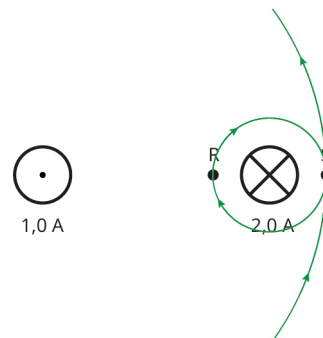
**Figuur 10.14****Figuur 10.15**

- b – Punt R

De richting van de veldlijnen van de linker draad is tegengesteld aan die van de rechter draad. In punt R zijn beide richtingen naar de bovenkant van de pagina. Dus de richting van het magnetisch veld is naar de bovenkant van de pagina. Zie de schets van de veldlijnen in figuur 10.16.

- Punt S

In punt S levert de linker draad een magnetisch veld naar de bovenkant van de pagina, en de rechter draad een veld naar de onderkant. Omdat de stroom in de rechter draad groter is, en omdat punt S dichterbij de rechter draad ligt dan bij de linker draad, is de magnetische inductie van de rechter draad groter dan die van de linker draad. Het magnetisch veld wijst dus naar de onderkant van de pagina. Zie de schets van de veldlijnen in figuur 10.17.

**Figuur 10.16****Figuur 10.17**

5 vwo hoofdstuk 10 uitwerkingen

Opgave 20

- a ► Of de naald met de klok mee draait of ertegenin, leid je af uit de richting die de rode kant van de naald van een kompas krijgt in het magnetisch veld van de stroomspoel.

De richting van de rode kant van de naald van een kompas komt overeen met de richting van het resulterende veld van het aardmagnetisch veld en het magnetisch veld in een stroomspoel.

De richting van het aardmagnetisch veld is loodrecht op de spoel.

De richting van het magnetisch veld in een stroomspoel is van de zuidpool naar de noordpool van de spoel.

- De plaats van de noordpool van de stroomspoel beredeneer je met de rechterhandregel voor de stroomspoel.

De richting van de elektrische stroom is van de pluspool van de spanningsbron naar de minpool.

Volgens de rechterhandregel is je duim gericht van rechts naar links. Dus de veldlijnen lopen in de spoel van rechts naar links. Dus de noordpool bevindt zich bij de spoel aan de linkerkant en de zuidpool aan de rechterkant.

De rode kant van de kompasnaald gaat zich dus steeds meer naar links richten. Daardoor draait de kompasnaald met de klok mee.

- b ► De hoek α 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 en de richting van het aardmagnetisch veld blijven hetzelfde.

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

De richting van het magnetisch veld in de spoel is horizontaal. Hoe groter de stroomsterkte is, hoe sterker het magnetisch veld in horizontale richting is.

De kompasnaald draait steeds meer, waardoor de hoek met de verticaal steeds groter wordt.

Is de stroomsterkte zeer groot, dan is het magnetisch veld van de spoel veel groter dan het magnetisch veld van de aarde en zal de kompasnaald vrijwel horizontaal wijzen. De hoek heeft dus een maximum van 90° .

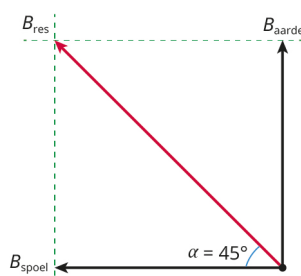
- c – ► De waarde van de magnetische inductie van de aarde B_{aarde} bereken je met een goniometrische verhouding.

$$\tan(\alpha) = \frac{B_{\text{aarde}}}{B_{\text{spoel}}}$$

Zie de constructie in figuur 10.18.

Als $\alpha = 45^\circ$, is $\tan(\alpha) = 1$.

Dus $B_{\text{aarde}} = B_{\text{spoel}}$.



Figuur 10.18

- ► De grootte van de magnetische inductie in de spoel B_{spoel} bepaal je met de stroomsterkte door de spoel bij een hoek van 45° .

$I = 14 \text{ mA}$ als $\alpha = 45^\circ$ (aflezen in figuur 48)

$B_{\text{spoel}} = 23 \text{ } \mu\text{T}$ als $I = 14 \text{ mA}$ (aflezen in figuur 47)

Dus $B_{\text{aarde}} = 23 \text{ } \mu\text{T} = 2,3 \cdot 10^{-5} \text{ T}$.

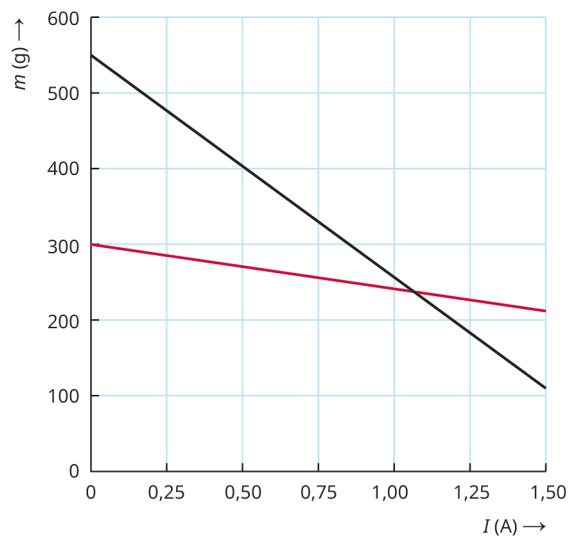
- d ► Dat Younes een te lage waarde vindt, leg je uit met de horizontale en verticale component van de magnetische inductie van het aardmagnetisch veld.

De opstelling staat horizontaal op tafel, dus Younes 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. Younes vindt dus een te lage waarde.

Opgave 21

- a ► De richting van de elektrische stroom bepaal je met de rechterhandregel.
Als de stroom wordt ingeschakeld, geeft de weegschaal een kleinere waarde aan. Dus wordt de spoel aangetrokken door de magneet. De zuidpool van de spoel bevindt zich dus aan de bovenkant en de noordpool aan de onderkant.
Volgens de rechterhandregel loopt de stroom dan van Q naar P.
- b ► Of het verband tussen de stroomsterkte en de magnetische inductie recht evenredig is, leg je uit door te beredeneren of de grafiek een rechte lijn door de oorsprong is.
De afname van de massa is een maat voor de magnetische inductie.
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. De lijn in figuur 50 is een rechte lijn. Dus is de grafiek van de afname van de massa een rechte lijn door de oorsprong.
Het verband tussen de stroomsterkte en de magnetische inductie is dus inderdaad recht evenredig.
- c ► Het verband tussen de massa die de weegschaal aangeeft en de stroomsterkte met een ijzeren kern in de stroomspoel, bepaal je door na te gaan wat de invloed is van de ijzeren kern.
De ijzeren kern heeft een massa. De weegschaal geeft bij $I = 0,0$ A dus een hogere waarde aan dan 300 g. De ijzeren kern versterkt het magnetisch veld van de spoel. Hierdoor is bij eenzelfde verandering van stroomsterkte de verandering van de massa groter. De grafiek loopt dus steiler.
De grafiek is dus een rechte lijn die steiler is en begint op een hogere waarde dan 300 g. Zie figuur 10.19.



Figuur 10.19

10.4 Lorentzkracht

Opgave 22

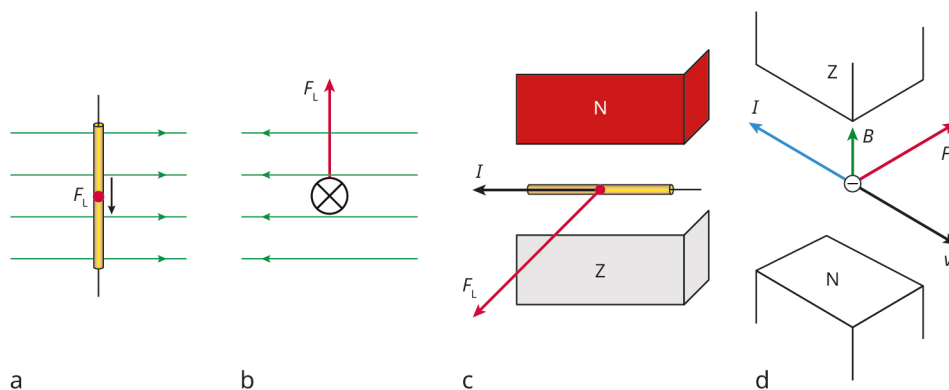
► De richting van de ontbrekende grootte bepaal je met de FBI-regel (linkerhandregel).

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

De richting van de elektrische stroom is dezelfde als de richting waarin een positief geladen deeltje beweegt en tegengesteld aan de richting waarin een negatief geladen deeltje beweegt.

Zie figuur 10.20:

- In figuur a is de richting van de Lorentzkracht F_L de pagina uit.
 - In figuur b is de richting van de Lorentzkracht F_L naar de bovenkant van de pagina.
 - In figuur c is de richting van de elektrische stroom I naar de linkerkant van de pagina.
 - In figuur d is de richting van de elektrische stroom I tegengesteld aan de richting waarin het negatief geladen deeltje beweegt.
- De richting van de magnetische inductie B is naar de bovenkant van de pagina.



Figuur 10.20

Opgave 23

- a – ► De richting van de elektrische stroom in punt Q leid je af uit de richting van de elektrische stroom in punt P.
- De richting van de elektrische stroom in punt P leid je af met de rechterhandregel. Volgens de rechterhandregel is de richting van de elektrische stroom in punt P naar de onderkant van de pagina.

In beide draden loopt de elektrische stroom dezelfde kant op. Dus is de richting van de elektrische stroom in punt Q ook naar de onderkant van de pagina.

Zie de blauwe pijlen in figuur 10.21a.

- ► De richting van de magnetische inductie in punt Q bepaal je met de richting van de veldlijnen behorend bij punt P.

Het magnetisch veld rond draad 1 is verantwoordelijk voor de magnetische inductie in punt Q.

Uit de richting van de getekende veldlijnen behorend bij punt P leid je af dat de richting van de magnetische inductie in punt Q de pagina uit is.

Zie de groene dikke punt in punt Q in figuur 10.21b.

- ► De richting van de Lorentzkracht in punt Q bereken je met de FBI-regel. Volgens de FBI-regel is de richting van de Lorentzkracht in punt Q naar links in de richting van draad 1. Zie de rode pijl in punt Q in figuur 10.21c.

- ► De richting van de lorentzkracht F_L in punt P beredeneer je met de FBI-regel.

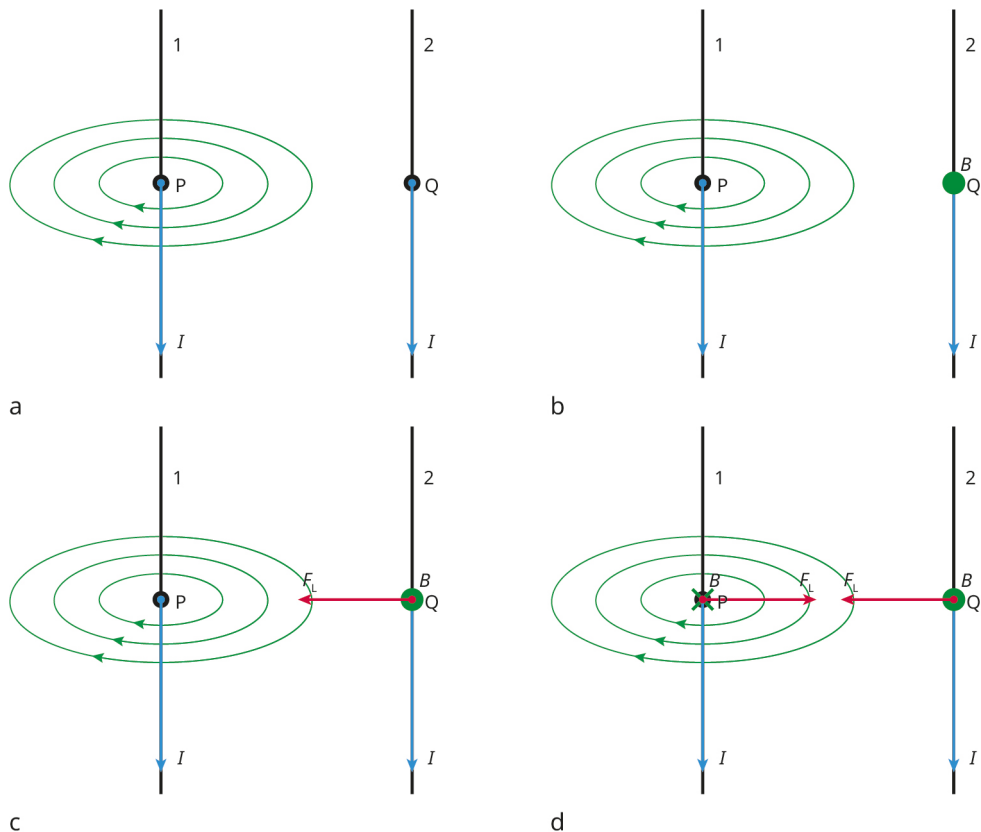
De stroomrichting I in draad 1 is naar de onderkant van de pagina.

De stroom door draad 2 veroorzaakt een magnetisch veld rond draad 2, waarbij de richting van de magnetische inductie B in punt P de pagina in is. Zie het groene kruis in figuur 10.21d.

Volgens de FBI-regel is de richting van de lorentzkracht in punt P naar rechts in de richting van draad 2.

Zie de rode pijl in punt P in figuur 10.21d.

De lorentzkrachten zijn dus tegengesteld gericht.



Figuur 10.21

- b ► De eenheid van c leid je af met behulp van de eenheden van de grootheden in de gegeven 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 F_L bereken je met de formule voor de lorentzkracht.

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

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

$$\ell = 50 \, \text{cm} = 0,50 \, m$$

5 vwo hoofdstuk 10 uitwerkingen

- De magnetische inductie B bereken je met de gegeven formule.

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

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

$$I = 12,5 \text{ A}$$

$$r = 4,0 \text{ cm} = 0,040 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } B = 2,000 \cdot 10^{-7} \times \frac{12,5}{0,040} = 6,25 \cdot 10^{-5} \text{ T}$$

- Invullen van B , I en ℓ in de formule $F_L = B \cdot I \cdot \ell$:

$$F_L = 6,25 \cdot 10^{-5} \times 12,5 \times 0,50 = 3,906 \cdot 10^{-4} \text{ N}$$

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

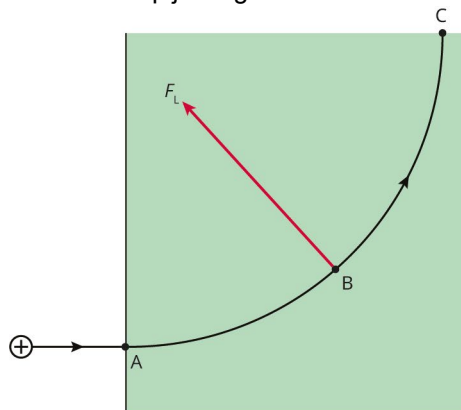
- d De lorentzkrachten zijn naar elkaar toe gericht, zie figuur 10.21d.
De draden trekken elkaar dus aan.
Zie de schets in figuur 10.22.



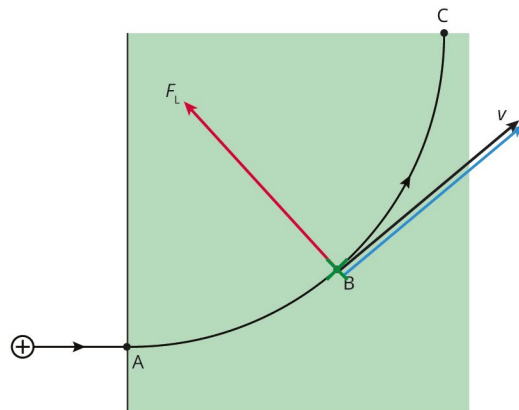
Figuur 10.22

Opgave 24

- a De lorentzkracht F_L levert de middelpuntzoekende kracht. Dus is de richting van de lorentzkracht loodrecht op de cirkelbaan en naar het middelpunt van de cirkel gericht.
Zie de rode pijl in figuur 10.23a.



a



b

Figuur 10.23

- b ► De richting van de magnetische inductie B leid je af met de FBI-regel (linkerhandregel).
De stroomrichting I is gelijk aan de richting van de snelheid, omdat het deeltje positief geladen is.
De richting van de lorentzkracht F_L is naar linksboven. Zie figuur 10.23b.
Volgens de FBI-regel is de richting van de magnetische inductie B de pagina in.
Zie het groene kruis in figuur 10.23b.
- c – ► Dat de arbeid W_L door de lorentzkracht 0 J is, bereken je met de formule voor de arbeid.
 $W_L = F_L \cdot s \cdot \cos(\alpha)$
De lorentzkracht F_L staat steeds loodrecht op het vlak van I en B en daardoor steeds loodrecht op de cirkelbaan. Dan is de hoek tussen de richting van de lorentzkracht en de richting van de verplaatsing steeds 90° . Dus $\cos(90^\circ) = 0$ en daardoor is de arbeid W ook 0.
- ► Dat het deeltje een eenparige cirkelbeweging uitvoert, leg je uit door aan te tonen dat zowel de grootte van de snelheid als de grootte van de middelpuntzoekende kracht constant zijn.

5 vwo hoofdstuk 10 uitwerkingen

- Dat de snelheid constant blijft, bereken je met de wet van arbeid en kinetische energie.

$$\Sigma W = \Delta E_k$$

$$\Sigma W = W_L = 0 \quad (\text{De richting van } F_L \text{ staat loodrecht op de bewegingsrichting.})$$

Dus de verandering van de kinetische energie is 0 J. De kinetische energie verandert niet. Dat betekent dat de grootte van de snelheid niet verandert.

- Dat de lorentzkracht F_L constant is, bereken je met de formule voor de lorentzkracht.

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

B is constant.

q is constant.

v is constant.

Dus de lorentzkracht F_L blijft gelijk.

Als zowel de grootte van de snelheid als de grootte van de middelpuntzoekende kracht constant zijn, voert het deeltje een eenparige cirkelbeweging uit.

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

De lorentzkracht F_L zorgt voor de middelpuntzoekende kracht F_{mpz} .

$$F_L = F_{mpz}$$

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

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

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

- e ► Of voor het afbuigen van een He^{2+} -kern een even sterke, sterkere of zwakkere magnetische inductie B nodig is dan voor het afbuigen van een proton, leg je uit met de formule bij vraag d.

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

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

v blijft hetzelfde.

r blijft hetzelfde. (De afbuiging is even sterk.)

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

$$\text{Invullen levert: } (r \text{ blijft gelijk}) = \frac{(m \text{ is vier keer zo groot}) \cdot (v \text{ blijft gelijk})}{B \cdot (q \text{ is twee keer zo groot})}$$

De magnetische inductie B moet twee keer zo groot zijn.

Er is dus een sterkere magnetische inductie nodig.

Opgave 25

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

De lorentzkracht F_L levert 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.

- De richting van de elektrische stroom I in het hoogste punt leid je af uit de richting waarin de elektronen bewegen in het hoogste punt.

De elektronen worden omlaag weggeschoten en bewegen in de cirkelbaan volgens de wijzers van de klok. In het hoogste punt bewegen de elektronen dus naar rechts. Elektronen zijn negatief geladen. Dus de elektrische stroom I is in het hoogste punt gericht naar links.

Volgens de FBI-regel is de richting van de magnetische inductie B dan de pagina in.

- b – ► De gevraagde formule leid je af met de formules voor de lorentzkracht en de middelpuntzoekende kracht.

De lorentzkracht F_L levert de middelpuntzoekende kracht F_{mpz} .

$$F_L = F_{mpz}$$

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

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

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

- ► De gevraagde formule leid je af uit het verband tussen de spanning en de kinetische energie.

$$\Delta E_k = q \cdot U \text{ en } \Delta E_k = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{eind}}^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{begin}}^2 \text{ met } v_{\text{eind}} = v \text{ en } v_{\text{begin}} = 0 \text{ m s}^{-1}$$

$$q \cdot U = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad (q = e)$$

$$\frac{2U \cdot e}{m} = v^2$$

► Combineren van $\frac{e}{m} = \frac{v}{B \cdot r}$ en $\frac{2U \cdot e}{m} = v^2$:

Uit $\frac{e}{m} = \frac{v}{B \cdot r}$ volgt $v = \frac{B \cdot e \cdot r}{m}$.

Invullen van $v = \frac{B \cdot e \cdot r}{m}$ in $\frac{2U \cdot e}{m} = v^2$:

$$\frac{2U \cdot e}{m} = \frac{B^2 \cdot e^2 \cdot r^2}{m^2}$$

$$2U = \frac{B^2 \cdot e \cdot r^2}{m} \quad (\text{delen door } e \text{ en vermenigvuldigen met } m)$$

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{B^2 \cdot r^2}$$

- c ► De verhouding e/m bereken je met de gegeven formule.

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{B^2 \cdot r^2}$$

$$U = 1,14 \text{ kV} = 1,14 \cdot 10^3 \text{ V}$$

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

$$r = \frac{1}{2} d = \frac{1}{2} \times 8,0 = 4,0 \text{ cm} = 0,040 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } \frac{e}{m} = \frac{2 \times 1,14 \cdot 10^3}{2,84 \cdot 10^{-3} \times 0,040^2} = 1,7668 \cdot 10^{11} \text{ C kg}^{-1}$$

$$\text{Afgerond: } \frac{e}{m} = 1,77 \cdot 10^{11} \text{ C kg}^{-1}.$$

Opgave 26

- a ► Dat de ionen Pb^{+} de afbuigruijnte binnenkomen met een snelheid van $2,36 \cdot 10^4 \text{ m s}^{-1}$, toon je aan met de verandering in kinetische energie.

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

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

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

5 vwo hoofdstuk 10 uitwerkingen

De verandering in kinetische energie ΔE_k bereken je met het verband tussen de spanning en de kinetische energie voor een geladen deeltje in een elektrisch veld.

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

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

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

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

► Invullen van ΔE_k , m en v_{begin} in de formule $\Delta E_k = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{eind}}^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{begin}}^2$:

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

$$v_{\text{eind}} = \sqrt{\frac{2 \times 9,612 \cdot 10^{-17}}{3,446 \cdot 10^{-25}}} = 2,36191 \cdot 10^4 \text{ m s}^{-1}$$

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

- b ► Dat de diameter d voor de afstand PQ gelijk is aan 5,6 cm, bereken je met de straal van de halve cirkel die de ionen afleggen.

$$d = 2r$$

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

$$F_L = F_{\text{mpz}} \quad (\text{De lorentzkracht levert de middelpuntzoekende kracht.})$$

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

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

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

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

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

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

$$\text{Dus } r = \frac{3,446 \cdot 10^{-25} \times (2,36 \cdot 10^4)^2}{1,8 \times 1,602 \cdot 10^{-19} \times 2,36 \cdot 10^4} = 2,82 \cdot 10^{-2} \text{ m}.$$

► Invullen van r in de formule $PQ = 2r$:

$$PQ = 2 \times 2,82 \cdot 10^{-2} = 5,64 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$\text{Afgerond: } PQ = 5,6 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 5,6 \text{ cm}.$$

- c ► De gegeven formule leid je af met de formules gebruikt bij vraag a en vraag b en de formule $d = 2r$.

$$\text{vraag a} \quad \Delta E_k = q \cdot U \text{ en } \Delta E_k = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{eind}}^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{begin}}^2$$

$$\text{met } U = U_{AB}, v_{\text{eind}} = v \text{ en } v_{\text{begin}} = 0 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Combineren levert: } q \cdot U_{AB} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

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

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

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

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

► Invullen in de formule $d = 2r$:

$$d = 2 \times \frac{2U_{AB}}{B \cdot v} = \frac{4U_{AB}}{B \cdot v} \text{ dus } d = \frac{4U_{AB}}{B \cdot v}$$

- d ► Of de diameter d groter of kleiner is bij een isotoop met een grotere massa beredeneer je met de gegeven formule.

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

U_{AB} blijft gelijk.

B blijft gelijk.

- De verandering van de snelheid v beredeneer je met de formule voor de spanning en de verandering van de kinetische energie.

$$q \cdot U_{AB} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

q blijft gelijk.

U_{AB} blijft gelijk.

m wordt groter.

Invullen levert: $(q \text{ blijft gelijk}) \cdot (U_{AB} \text{ blijft gelijk}) = \frac{1}{2} (m \text{ wordt groter}) \cdot v^2$

Dus v wordt kleiner.

- Invullen van de veranderingen in de formule $d = \frac{4U_{AB}}{B \cdot v}$:

$$d = \frac{4(U_{AB} \text{ blijft gelijk})}{(B \text{ blijft gelijk}) \cdot (v \text{ wordt kleiner})}$$

d wordt dus groter.

- e ► Of de diameter d groter of kleiner is bij een loodion met lading $2+$ beredeneer je met de gegeven formule.

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

U_{AB} blijft gelijk.

B blijft gelijk.

- De verandering van de snelheid v beredeneer je met de formule voor de spanning en de verandering van de kinetische energie.

$$q \cdot U_{AB} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

q wordt groter.

U_{AB} blijft gelijk.

m blijft gelijk.

Invullen levert: $(q \text{ wordt groter}) \cdot (U_{AB} \text{ blijft gelijk}) = \frac{1}{2} (m \text{ blijft gelijk}) \cdot v^2$

Dus v wordt groter.

- Invullen van de veranderingen in de formule $d = \frac{4U_{AB}}{B \cdot v}$:

$$d = \frac{4(U_{AB} \text{ blijft gelijk})}{(B \text{ blijft gelijk}) \cdot (v \text{ wordt groter})}$$

d wordt dus kleiner.

Opgave 27

- 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.
De magnetische inductie is schuin naar boven.
Volgens de FBI-regel is de richting van de elektrische stroom in P langs de winding van de spiraal gericht naar rechtsboven. 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 de 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 – ► Het verband tussen de gevraagde grootheden leid je af met de formules voor de middelpuntzoekende kracht en de lorentzkracht en de formule $d = 2r$.
 $F_L = F_{\text{mpz}}$ (De lorentzkracht levert de middelpuntzoekende kracht.)
 $B \cdot q \cdot v = \frac{m \cdot v^2}{r}$ (delen door v)
 $B \cdot q = \frac{m \cdot v}{r}$
- Combineren met $d = 2r$ levert: $B \cdot q = \frac{2m \cdot v}{d}$
- ► Dat de diameter d afneemt, verklaar je met het bovenstaande verband.
 B wordt groter. (In de buurt van de aarde liggen de veldlijnen dichter bij elkaar. Zie figuur 65.)
 q blijft gelijk.
 m blijft gelijk.
 v wordt kleiner. (Er vinden botsingen plaats waardoor de snelheid van het deeltje afneemt.)
Invullen levert: $(B \text{ wordt groter}) \cdot (q \text{ blijft gelijk}) = \frac{2(m \text{ blijft gelijk}) \cdot (v \text{ wordt kleiner})}{d}$
Dus d wordt kleiner.

Opgave 28

- a ► Welk aansluitpunt de pluspool van de spanningsbron is, beredeneer je met de richting van de elektrische stroom in de onderkant van de spoel.
► De richting van de elektrische stroom in de onderkant van de spoel beredeneer je met de FBI-regel (linkerhandregel).
De richting van de magnetische inductie B is van de noordpool naar de zuidpool.
De richting van de lorentzkracht F_L is naar de onderkant van de pagina, omdat de aanwijzing op de krachtmeter toeneemt.
Volgens de FBI-regel loopt de elektrische stroom I dus van P naar Q.
Dus punt P is verbonden met de pluspool van de spanningsbron.
- b ► Dat de rechte lijn niet door de oorsprong gaat, leg je uit met de krachten die werken op de spoel.
Op de spoel werken de zwaartekracht en de lorentzkracht verticaal naar onderen gericht.
Als de stroomsterkte 0 A is, is de lorentzkracht op de spoel gelijk aan 0 N.
De waarde die de krachtmeter dan aangeeft is gelijk aan de zwaartekracht op de spoel.
Dus bij $I = 0$ A geeft de krachtmeter de waarde van de zwaartekracht aan.
Dus gaat de rechte lijn in het diagram niet door de oorsprong.

5 vwo hoofdstuk 10 uitwerkingen

- c ► De steilheid van de grafiek toon je aan met de formule voor de steilheid in een (F, I) -diagram en de formule voor de Lorentzkracht.

Voor de steilheid van de grafiek geldt $\frac{\Delta F}{\Delta I} = \frac{F_{\text{eind}} - F_{\text{begin}}}{I_{\text{eind}} - I_{\text{begin}}} = \frac{(F_z + F_L) - F_z}{I - 0} = \frac{F_L}{I}$.

- De totale Lorentzkracht F_L op de spoel leid je af met de formule voor de Lorentzkracht op een stroomvoerende draad en het aantal windingen.

Voor de Lorentzkracht $F_{L, \text{draad}}$ op een stroomvoerende draad geldt $F_{L, \text{draad}} = B \cdot I \cdot \ell$.

De spoel bestaat uit N windingen.

Dus de totale Lorentzkracht $F_{L, \text{spoel}}$ op de spoel is gelijk aan $F_{L, \text{spoel}} = N \cdot B \cdot I \cdot \ell$.

- Invullen van $F_L = N \cdot B \cdot I \cdot \ell$ in de formule $\frac{\Delta F}{\Delta I} = \frac{F_L}{I}$:

$$\frac{\Delta F}{\Delta I} = \frac{N \cdot B \cdot I \cdot \ell}{I} = N \cdot B \cdot \ell$$

- d ► De magnetische inductie B bepaal je met de formule voor de steilheid van de grafiek.

$$\frac{\Delta F}{\Delta I} = N \cdot B \cdot \ell$$

$$N = 200$$

$$\ell = 7,5 \text{ cm} = 0,075 \text{ m}$$

- $\frac{\Delta F}{\Delta I}$ bepaal je met de steilheid van de grafiek.

Je gebruikt de coördinaten van twee punten op de grafiek die ver uit elkaar liggen en gemakkelijk af te lezen zijn. Bijvoorbeeld in figuur 68 de punten bij $I = 0,0 \text{ A}$ en $I = 0,5 \text{ A}$.

$$\frac{\Delta F}{\Delta I} = \frac{3,17 - 2,83}{0,50 - 0,0} = 0,680 \text{ N A}^{-1}$$

- Invullen van $\frac{\Delta F}{\Delta I}$, N en ℓ in de formule $\frac{\Delta F}{\Delta I} = N \cdot B \cdot \ell$:

$$0,680 = 200 \times B \times 0,075$$

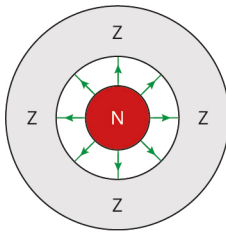
$$B = \frac{0,680}{200 \times 0,075} = 4,533 \cdot 10^{-2} \text{ T}$$

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

10.5 Luidspreker en elektromotor

Opgave 29

- a – Zie de veldlijnen in figuur 10.24. De richting van de veldlijnen is van N naar Z.



Figuur 10.24

- Het magnetisch veld is radiaal. De afstand tussen het spoeltje en de noordpool (en zuidpool) is steeds even groot. Dus is de magnetische inductie op de plaats van het spoeltje even groot.

- b ► De stroomsterkte I door de spoel bereken je met de formule voor de lorentzkracht.

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

$$F_L = 0,28 \text{ N}$$

$$B = 0,23 \text{ T}$$

- De lengte ℓ bereken je met de lengte van de zijde CD en het aantal windingen.

$$\ell = N \cdot CD$$

$$N = 150$$

$$\ell = 3,5 \text{ cm} = 0,035 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } \ell = 150 \times 0,035 = 5,25 \text{ m}$$

Invullen van F_L en ℓ in de formule $F_L = B \cdot I \cdot \ell$:

$$0,28 = 0,23 \cdot I \cdot 5,25$$

$$I = \frac{0,28}{0,23 \times 5,25} = 0,2319 \text{ A}$$

Afgerond: $I = 0,23 \text{ A}$.

- c ► De richting waarin de conus beweegt beredeneer je met de richting van de lorentzkracht.
► De richting van de lorentzkracht F_L beredeneer je met de FBI-regel (linkerhandregel) op de *bovenkant* van de spoel.

De richting van de magnetische inductie B is van N naar Z en op de bovenkant van de spoel dus naar de bovenkant van de pagina.

De richting van de elektrische stroom I is aan de bovenkant van de spoel de pagina in.

Volgens de FBI-regel is de richting van de lorentzkracht op de bovenkant van de spoel dan naar de rechterkant van de pagina.

De conus beweegt dus naar rechts.

of

- De richting van de lorentzkracht F_L beredeneer je met de FBI-regel (linkerhandregel) op de *onderkant* van de spoel.

De richting van de magnetische inductie B is van N naar Z en op de onderkant van de spoel dus naar de onderkant van de pagina.

De richting van de elektrische stroom I is aan de onderkant van de spoel de pagina uit.

Volgens de FBI-regel is de richting van de lorentzkracht F_L op de onderkant van de spoel dan naar de rechterkant van de pagina.

De conus beweegt dus naar rechts.

Opgave 30

- a ► De richting van de elektrische stroom I leg je uit met de FBI-regel (linkerhandregel) in punt P.

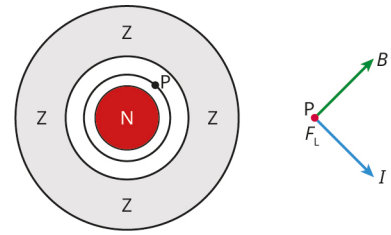
Zie figuur 10.25.

De richting van de magnetische inductie B is van N naar Z en dus naar rechtsboven gericht.

De richting van de lorentzkracht F_L is de pagina uit gericht, want de spoel beweegt versneld de pagina uit.

Volgens de FBI-regel is de richting van de elektrische stroom dan naar rechtsonder gericht.

Dus met de wijzers van de klok mee.



Figuur 10.25

- b Tijdens een trilling komt de spoel twee keer in een uiterste stand. De verandering van de richting komt doordat de richting van de elektrische stroom verandert. Dus de elektrische stroom verandert $2 \times 460 = 920$ keer per seconde van richting.
- c Als de stroomsterkte I toeneemt, wordt de lorentzkracht F_L volgens $F_L = B \cdot I \cdot l$ groter. Daardoor beweegt het spoeltje met een grotere amplitude. Het geluid klinkt dan harder.

Opgave 31

- a ► De plaats van de noordpool van de magneet beredeneer je met de richting van de magnetische inductie in de magneet.

► De richting van de magnetische inductie B beredeneer je met de FBI-regel (linkerhandregel). De FBI-regel pas je toe op het contactpunt van de draad met de magneet aan de voorzijde van de magneet.

De voorzijde van de magneet draait naar links. Dus in het contactpunt is de lorentzkracht F_L naar links gericht.

De elektrische stroom I loopt van de pluspool aan de onderkant van de batterij naar de magneet en gaat aan de voorzijde via het contactpunt de magneet weer uit. Dus de richting van de elektrische stroom is daar de pagina uit gericht.

Volgens de FBI-regel is de richting van de magnetische inductie naar de bovenkant van de pagina.

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

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

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

- Door de magneet om te draaien, draait de richting van de magnetische inductie B om.
- Door de batterij om te draaien, draait de richting van de elektrische stroom I om.

Opgave 32

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

Het blokje gaat omhoog, dus de richting van de lorentzkracht F_L op zijde CD is naar de bovenkant van de pagina.

De richting van de magnetische inductie B is van N naar Z.

Volgens de FBI-regel is de richting van de stroomsterkte I in zijde CD van D naar C.

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

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

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

$$F_L = 1,6 \text{ N}$$

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

- De lengte ℓ bereken je met de lengte van de zijde CD en het aantal windingen.

$$\ell = N \cdot \text{CD}$$

$$N = 50$$

$$\ell = 3,8 \text{ cm} = 0,038 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } \ell = 50 \times 0,038 = 1,90 \text{ m}$$

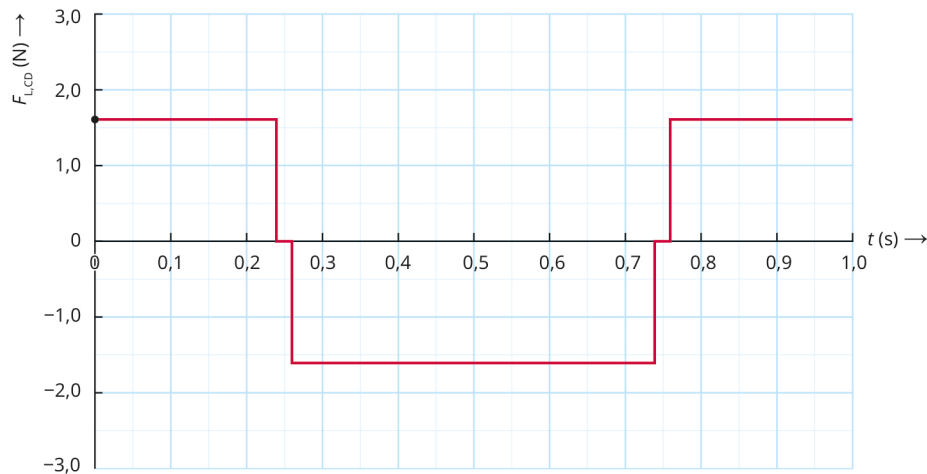
Invullen van F_L en ℓ in de formule $F_L = B \cdot I \cdot \ell$:

$$1,6 = 0,27 \cdot I \cdot 1,90$$

$$I = \frac{1,6}{0,27 \times 1,90} = 3,119 \text{ A}$$

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

- c Zie de grafiek in figuur 10.26.



Figuur 10.26

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 bijna verticaal staan.

Als de spoel bijna een kwartslag is gedraaid, komen de koolborstels op de isolerende laag tussen de collectorschijven en valt de stroomsterkte door de spoel even weg. Dan is de lorentzkracht ook even 0 N.

In figuur 10.26 is dat getekend voor de tijd tussen 0,24 s en 0,26 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 $F_{L,CD}$ is nu tegengesteld gericht en dus negatief. Dan is $F_{L,CD} = -1,6 \text{ N}$. In figuur 10.26 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 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 $F_{L,CD} = +1,6 \text{ N}$ in de tijd van $t = 0,76 \text{ s}$ tot $t = 1,0 \text{ s}$.

- d Bij $I = 0,80$ A komt het blok los van de weegschaal. Dan geeft de weegschaal dus $m = 0$ g aan.
De (m, I) -grafiek moet dus door het punt $(0,80; 0)$ gaan.
Dus de grafieken a en b zijn niet juist.
- e De massa m die de weegschaal aangeeft is een maat voor het verschil tussen de zwaartekracht en de lorentzkracht.
De zwaartekracht blijft hetzelfde.
De lorentzkracht is recht evenredig met de stroomsterkte.
Dus het verschil tussen de zwaartekracht en de lorentzkracht neemt gelijkmatig af.
Dus het verband tussen m en I is lineair.
De grafiek kan dus geen kromme lijn zijn.
Grafiek c is de juiste.

Opgave 33

- a ► De draairichting van de motoras bepaal je met de richting van de lorentzkracht.
► De richting van de lorentzkracht F_L bereken je met de FBI-regel (linkerhandregel).

Zie figuur 10.27.

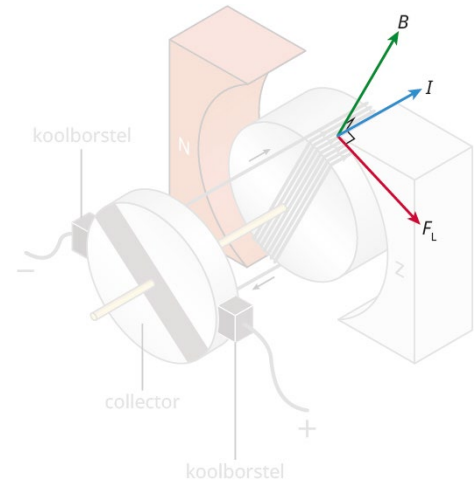
De richting van de elektrische stroom I is naar de achterkant van de spoel.

De richting van de magnetische inductie B is van de noordpool naar de zuidpool.

Volgens de FBI-regel is de richting van de lorentzkracht F_L op het bovenste deel van de wikkelingen naar rechtsonder.

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

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



Figuur 10.27

- c Het isolatiemateriaal tussen de twee schijven geleidt geen elektrische stroom. Er loopt in de stand van figuur 79b geen elektrische stroom. Er is dus ook geen lorentzkracht. De motor gaat niet draaien.
- d De pluspool maakt altijd contact met de rode en/of met de grijze windingen. Er loopt dus altijd elektrische 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 79b. Er loopt dan geen stroom door de spoel waardoor er geen lorentzkrachten zijn en dus draait de motor niet.
- e Als je bij een seriemotor de richting van de elektrische stroom omdraait, dan verandert ook de richting van de elektrische stroom in de spoelen S_1 en S_2 . Dus de richting van het magnetisch veld van de spoelen én de richting van de elektrische stroom door de wikkelingen van de rotor veranderen. Daardoor blijft de lorentzkracht dezelfde kant op wijzen. De motor werkt dus ook op wisselspanning.

10.6 Elektromagnetische inductie

Opgave 34

- a ► Dat de flux Φ in situatie A gelijk is aan die in E leg je uit met de formule voor de magnetische flux.

$$\Phi_A = B_{\perp,A} \cdot A_A$$

$$B_{\perp,A} = 2B_{\perp,E}$$

$$A_A = 0,5A_E$$

Invullen levert: $\Phi_A = (B_{\perp,A} \text{ twee keer zo groot}) \cdot (A_A \text{ twee keer zo klein})$

Dus $\Phi_A = \Phi_E$.

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

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

$$\Phi_E = 0,5\Phi_B \quad (B \text{ gehalveerd, } A \text{ gelijk})$$

$$\Phi_C = 0,5\Phi_E \quad (B \text{ gelijk, } A \text{ gehalveerd})$$

$$\Phi_D = 0 \text{ Wb} \quad (\text{Er gaan geen veldlijnen door de ring.})$$

$$\Phi_B > \Phi_F > \Phi_E \quad (\text{De hoek tussen de veldlijnen en de oppervlakte van de ring is } 45^\circ.$$

Dus $B_{\perp,F}$ ligt tussen die van B en E in.)

De volgorde is dus B – F – E – C – D.

Opgave 35

- a ► Waarom de weerstand van een spoel in de opstelling van Yara niet van belang is voor haar onderzoeksvraag leg je uit met het kenmerk voor weerstand in een serieschakeling.

Voor de weerstand in de stroomkring van een serieschakeling geldt $R_{\text{tot}} = R_1 + R_2 + R_3$.

De weerstand van de stroomkring bij het onderzoek van Yara wordt dus bepaald door de weerstanden van de drie spoelen samen. Tijdens het onderzoek van Yara verandert R_{tot} niet.

Daardoor is de weerstand van een spoel niet van belang voor haar onderzoeksvraag.

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

$$U_{\text{ind},C} = I_{\text{ind},C} \cdot R$$

R is gelijk.

- De inductiespanning $U_{\text{ind},C}$ bereken je met een formule voor de inductiespanning.

$$U_{\text{ind}} \propto N$$

Het aantal windingen is in spoel C drie keer zo groot als in spoel A.

Dus $U_{\text{ind},C}$ is drie keer zo groot als $U_{\text{ind},A}$.

- Invullen van de veranderingen levert: ($U_{\text{ind},C}$ is drie keer zo groot) = $I_{\text{ind},C} \cdot (R \text{ is gelijk})$

Dus $I_{\text{ind},C}$ is drie keer zo groot.

$$\text{Dus } I_{\text{ind},C} = 3 \times 1,4 = 4,2 \text{ mA.}$$

- c ► Of de gemiddelde snelheid groter of kleiner is, bereken je met een formule voor de inductiespanning.

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

U_{ind} is groter. (De gemeten stroomsterkte is groter dan verwacht.)

Dus is $\frac{d\Phi}{dt}$ groter.

Yara heeft de magneet dus sneller bewogen.

De gemiddelde snelheid was dus groter.

5 vwo hoofdstuk 10 uitwerkingen

Opgave 36

- a – De richting van het magnetisch veld van een spoel is afhankelijk van de richting van de stroom door de windingen van de spoel. Bij een wisselspanning wisselen de aansluitpunten telkens van positief naar negatief en andersom. Dus de richting van de elektrische stroom door de windingen van de spoel verandert steeds. Daardoor verandert ook steeds de richting van het magnetisch veld.
- Omdat de richting van het magnetisch veld van de spoel steeds verandert, verandert voortdurend het magnetisch veld in de bodem van de pan. Daardoor ontstaat over de uiteinden van de bodem een inductiespanning en dus ontstaat er een inductiestroom.
- b Bij gelijkstroom verandert het magnetisch veld van de spoel niet. Er is dan geen fluxverandering en dus ook geen inductiespanning en inductiestroom in de bodem van de pan.

Opgave 37

- a ► De flux Φ bereken je met de formule voor de magnetische flux.

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

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

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

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

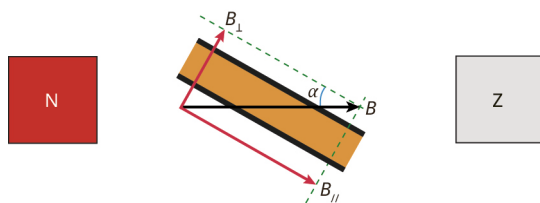
- b ► De flux Φ bereken je met de formule voor de magnetische flux.

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

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

- De loodrechte component $B_{\perp}$ van de magnetische inductie bereken je met een goniometrische verhouding.

In figuur 10.28 zie je de stand van de spoel na 30° draaiing.



Figuur 10.28

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

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

$$\alpha = 30^\circ$$

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

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

Invullen van $B_{\perp}$ en A in de formule $\Phi = B_{\perp} \cdot A$:

$$\Phi = 1,6 \cdot 10^{-3} \times 8,0 \cdot 10^{-4} = 1,280 \cdot 10^{-6} \text{ Wb}$$

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

- c ► Dat de inductiespanning over de spoel een wisselspanning is, leg je uit met de fluxverandering. 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 .

5 vwo hoofdstuk 10 uitwerkingen

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 ► Welk diagram de inductiespanning juist weergeeft, leg je uit door twee verbanden te bepalen:
- het verband tussen de snelheid en de grootte van de inductiespanning,
 - het verband tussen de snelheid en de tijdstippen waarop de inductiespanning maximaal is.

Als de spoel sneller draait, is de fluxverandering per tijdseenheid groter en de inductiespanning dus ook.

Als de spoel sneller draait, is de tijd tussen de momenten waarop de inductiespanning maximaal is, kleiner.

Diagram a komt overeen met dit verloop van de inductiespanning.

Opgave 38

- a ► Dat de inductiespanning over de spoel een wisselspanning is, leg je uit met de fluxverandering. Geluidsgolven zijn longitudinale golven. De pakketjes lucht trillen heen en weer. Daardoor beweegt het membraan met de spoel ook heen en weer. De fluxverandering neemt afwisselend toe en af, waardoor de spanning positief en negatief is. Daardoor ontstaat een wisselspanning over de uiteinden van de spoel.
- b ► Waarom de frequentie hetzelfde is, leg je uit met de fluxverandering. De frequentie van de wisselspanning hangt af van de frequentie waarmee het membraan heen en weer beweegt. De frequentie van de geluidsgolven is hetzelfde. Voor elke microfoon beweegt het membraan dus met dezelfde frequentie heen en weer. Daardoor is de frequentie van de wisselspanning voor elke microfoon hetzelfde.

- c ► Waardoor de amplitudes verschillend kunnen zijn verklaar je met de formules voor de inductiespanning.

$$U_{\text{ind}} \propto N \text{ en } U_{\text{ind}} \propto \frac{d\phi}{dt}$$

Hoe groter de inductiespanning U_{ind} , hoe groter de amplitude A is.

De amplitude A is groter als het aantal windingen N van de spoel groter is.

De amplitude A is groter als de fluxverandering $\frac{d\phi}{dt}$ groter is. Dat is het geval als de magneet sterker is.

- d ► Of de amplitude toeneemt, leg je uit met een formule voor de inductiespanning.

$$U_{\text{ind}} \propto \frac{d\phi}{dt}$$

Bij een hogere frequentie is de trillingstijd kleiner. De fluxverandering vindt plaats in een kleinere tijd. Dus wordt de inductiespanning groter en daardoor de amplitude ook.

Dus Elsa heeft gelijk.

Opgave 39

- a ► De frequentie f bereken je met de knippertijd.

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

T is de tijd tussen twee maxima van de fluxverandering.

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.

$$T = \frac{0,40}{2} = 0,200 \text{ s}$$

$$\text{Invullen levert: } f = \frac{1}{0,200} = 5,000 \text{ Hz}$$

Afgerond: $f = 5,0 \text{ Hz}$.

5 vwo hoofdstuk 10 uitwerkingen

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

$$U_{\text{ind}} \propto \frac{d\phi}{dt}, \quad U_{\text{ind}} \propto N \text{ en } \phi = B_{\perp} \cdot A$$

Uit de eerste twee formules volgt:

$$U_{\text{ind}} \propto \frac{d\phi}{dt}$$

Gecombineerd met de derde formule ontstaat:

$$U_{\text{ind}} \propto N \cdot \frac{d(B_{\perp} \cdot A)}{dt}$$

Versand B is dus juist.

- Het aantal windingen N is een constante.

De oppervlakte A is een constante.

De inductiespanning is groter als:

- 1 de spoel en de draaischijf dichter bij elkaar staan: de magnetische inductie B in de spoel is dan groter;
- 2 de draaisnelheid wordt verhoogd: de omlooptijd T is dan kleiner.

Opgave 40

- a ► De inductiespanning U_{ind} leid je af met een formule voor de inductiespanning.

$$U_{\text{ind}} \propto \frac{d\phi}{dt}$$

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 ► Het aantal windingen van een spoel bepaal je met een formule voor de inductiespanning en het verband tussen de inductiespanning en de snelheid.

$$U_{\text{ind}} \propto N \text{ en } U_{\text{ind}} \propto v$$

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 $t = 0,27$ s bereikt de magneet de maximale inductiespanning in de tweede spoel.

De snelheid v van de magneet is dan $v = g \cdot t = 9,81 \times 0,27 = 2,65 \text{ m s}^{-1}$. In figuur 98b lees je dan af dat de inductiespanning bij de eerste piek van de tweede spoel gelijk is aan 1,37 V. De tweede spoel bevat 600 windingen.

$$1,37 = \text{constante} \times 600 \times 2,65$$

$$\text{constante} = 8,616 \cdot 10^{-4} \text{ V s m}^{-1}$$

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

De snelheid van de magneet is dan $v = g \cdot t = 9,81 \times 0,11 = 1,08 \text{ m s}^{-1}$. In figuur 98b lees je dan af dat de inductiespanning bij de eerste piek van de eerste spoel gelijk is aan 0,38 V.

$$0,38 = 8,616 \cdot 10^{-4} \times N \times 1,08$$

$$N = 408,4$$

Afgerond heeft de eerste spoel $4,1 \cdot 10^2$ windingen.

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

De snelheid van de magneet is dan $v = g \cdot t = 9,81 \times 0,36 = 3,53 \text{ m s}^{-1}$.

De inductiespanning is dan 0,87 V.

$$0,87 = 8,616 \cdot 10^{-4} \times N \times 3,53$$

$$N = 286,0$$

Afgerond heeft de derde spoel $2,9 \cdot 10^2$ windingen.

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

10.7 Afsluiting

Opgave 41 LHC

- a ► Het aantal keren n dat de protonen de spanning moeten doorlopen, bereken je met de totale benodigde spanning en de versnellingsspanning.

$$n = \frac{U_{\text{totaal}}}{U_{\text{versnel}}}$$

$$U_{\text{versnel}} = 5,0 \text{ kV} = 5,0 \cdot 10^3 \text{ V}$$

- De totale benodigde spanning U_{totaal} bereken je met de formule voor de spanning en de verandering van de kinetische energie.

$$\Delta E_k = q \cdot U_{\text{totaal}}$$

$$q = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

- De verandering van de kinetische energie ΔE_k bereken je met de formule voor de kinetische energie.

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

$$m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \quad (\text{zie Binas tabel 7B})$$

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

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

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} \times 1,67 \cdot 10^{-27} \times (1,2 \cdot 10^7)^2 - 0 = 1,20 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

- Invullen van q en ΔE_k in de formule $\Delta E_k = q \cdot U$:

$$1,20 \cdot 10^{-13} = 1,60 \cdot 10^{-19} \cdot U$$

$$U_{\text{totaal}} = \frac{1,20 \cdot 10^{-13}}{1,60 \cdot 10^{-19}} = 7,50 \cdot 10^5 \text{ V}$$

Invullen van U_{totaal} en U_{versnel} in de formule $n = \frac{U_{\text{totaal}}}{U_{\text{versnel}}}$:

$$n = \frac{7,50 \cdot 10^5}{5,0 \cdot 10^3} = 1,500 \cdot 10^2$$

Dus de protonen moeten $1,5 \cdot 10^2$ keer het spanningsverschil van 5,0 kV doorlopen.

- b ► Hoeveel procent de snelheid verschilt van de lichtsnelheid bereken je met de verhouding tussen de lichtsnelheid en de snelheid van de protonen.

$$\text{percentage} = \frac{v}{c} \cdot 100\%$$

$$c = 2,997924 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1} \quad (\text{zie Binas tabel 7A})$$

- De snelheid van de protonen bereken je met de formule voor de verplaatsing bij een eenparige beweging.

$$s = v \cdot t$$

- De tijd t is de omlooptijd T van het proton en bereken je met de frequentie.

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

$$f = 11\,245 \text{ Hz}$$

$$\text{Invullen levert: } 11\,245 = \frac{1}{t}$$

$$t = \frac{1}{11\,245} = 8,89284 \cdot 10^{-5} \text{ s}$$

5 vwo hoofdstuk 10 uitwerkingen

- De afstand s bereken je met de diameter van de ring.

$$s = \pi \cdot d$$

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

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

$$s = 26\,658,9 \text{ m}$$

- Invullen van s en t in de formule $s = v \cdot t$:

$$26\,658,9 = v \times 8,8928 \cdot 10^{-5}$$

$$v = \frac{26\,658,9}{8,8928 \cdot 10^{-5}} = 2,997810 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

- Invullen van v en c in de formule $\text{percentage} = \frac{v}{c} \cdot 100\%$:

$$\text{percentage} = \frac{2,997810 \cdot 10^8}{2,997924 \cdot 10^8} \cdot 100\% = 99,996197\%$$

De snelheid verschilt dus $100 - 99,996197 = 3,80 \cdot 10^{-3} \%$ van de lichtsnelheid.

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

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

Uit figuur 101 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.

- d ► De richting van de magnetische inductie bepaal je met de FBI-regel (linkerhandregel).

De protonen worden door de lorentzkracht afgebogen.

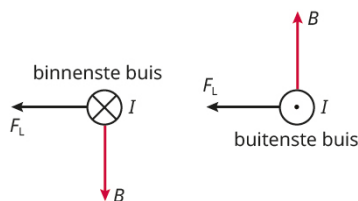
De lorentzkracht F_L wijst in beide ringen naar het midden van de cirkel. Dus in punt A naar de linkerkant van de pagina.

Bij de binnenste buis gaat een stroom I bij punt A de pagina in.

Met behulp van de FBI-regel bepaal je dat de magnetische inductie B 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 de magnetische inductie in de buitenste ring naar de bovenkant van de pagina wijst.

Zie figuur 10.29 voor de schematische weergave bij punt A.



Figuur 10.29

- e ► Het aantal protonen in een groepje bereken je met het aantal groepjes en het totale aantal protonen in een omloop.

$$\text{aantal protonen per groep} = \frac{n}{\text{aantal groepen}}$$

$$\text{aantal groepen} = 2808$$

- Het aantal protonen n in een omloop bereken je met de totale lading in een omloop en de lading van een proton.

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

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

- De totale lading Q in een omloop bereken je met de formule voor de stroomsterkte.

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

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

$$t = \frac{1}{11\,245} = 8,89284 \cdot 10^{-5} \text{ s} \quad (\text{zie vraag b})$$

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

$$Q = 0,582 \times 8,8928 \cdot 10^{-5} = 5,176 \cdot 10^{-5} \text{ C}$$

- Invullen van Q en q in de formule $n = \frac{Q}{q}$:

$$n = \frac{5,176 \cdot 10^{-5}}{1,602 \cdot 10^{-19}} = 3,2310 \cdot 10^{14} \text{ protonen}$$

- Invullen van n en het aantal groepen in de formule aantal protonen per groep = $\frac{n}{\text{aantal groepen}}$

$$\text{aantal protonen per groep} = \frac{3,2307 \cdot 10^{14}}{2808} = 1,15064 \cdot 10^{11} \text{ protonen}$$

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

Opgave 42 Joystick met hallsensor

- a ► De diameter d bereken je met de oppervlakte van de doorsnede van de draad.

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2$$

- De dwarsdoorsnede A van de gloeidraad bereken je met de formule voor de soortelijke weerstand.

$$\rho = \frac{R \cdot A}{\ell}$$

$$\rho = 0,54 \, \Omega \text{ m}$$

$$R = 100 \text{ k}\Omega = 100 \cdot 10^3 \, \Omega$$

$$\ell = 14 \text{ cm} = 0,14 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } 0,54 = \frac{100 \cdot 10^3 \cdot A}{0,14}$$

$$A = \frac{0,54 \times 0,14}{100 \cdot 10^3} = 7,56 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2$$

- Invullen van A in de formule $A = \frac{1}{4} \pi d^2$:

$$7,56 \cdot 10^{-7} = \frac{1}{4} \pi d^2:$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 7,56 \cdot 10^{-7}}{\pi}} = 9,811 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Afgerond: $d = 9,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}$.

5 vwo hoofdstuk 10 uitwerkingen

- b ► De spanning U_{AC} over AC bepaal je met de verhouding van de weerstanden.

$$\frac{U_{AC}}{U_{AB}} = \frac{R_{AC}}{R_{AB}}$$

$$U_{AB} = 5,0 \text{ V}$$

Het punt C zit op twee derde van de booglengte AB. De verhouding van de weerstanden $\frac{R_{AC}}{R_{AB}} = \frac{2}{3}$.

Invullen levert: $\frac{U_{AC}}{5,0} = \frac{2}{3}$

$$U_{AC} = 5,0 \times \frac{2}{3} = 3,333 \text{ V}$$

Afgerond: $U_{AC} = 3,3 \text{ V}$.

- c – ► Waar de negatieve lading ontstaat en waar de positieve lading ontstaat beredeneer je met de FBI-regel.

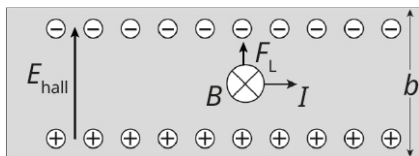
De richting van de magnetische inductie B is de pagina in.

De richting van de elektrische stroom I is naar de rechterkant van de pagina.

Volgens de FBI-regel is de richting van de lorentzkracht F_L naar de bovenkant van de pagina.

Door de lorentzkracht op de elektronen bewegen de elektronen naar de zijkant van de strip. Dus zitten de elektronen aan de bovenkant en zit de positieve lading aan de onderkant.

Zie figuur 10.30.



Figuur 10.30

- De richting van het elektrisch veld E_{hall} is van plus naar min.
Dus is het elektrisch veld E_{hall} naar de bovenkant van de pagina gericht.

- d ► De gevraagde formule leid je af met de formule voor de lorentzkracht en de formule voor de elektrische kracht.

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

$$B \cdot q \cdot v = q \cdot E$$

$$B \cdot v = E \text{ met } E = \frac{U}{\Delta x} = \frac{U_{\text{hall}}}{b}$$

Invullen levert: $B \cdot v = \frac{U_{\text{hall}}}{b}$

Hieruit volgt: $U_{\text{hall}} = B \cdot b \cdot v$

- e De hallspanning U_{hall} is het grootst als het magneetveld loodrecht op het hallplaatje staat. Dat is dus bij -90° en bij 90° . Figuur II en IV vallen dan af.
De hallspanning U_{hall} is evenredig met de component van de lorentzkracht evenwijdig aan het hallplaatje en daarmee evenredig met de sinus van de hoek en dus niet met de hoek zelf. Dus is het figuur a.

- f ► De orde van grootte leid je af met de gegeven formule in vraag d.

$$U_{\text{hall}} = B \cdot b \cdot v$$

De grootte van de hallspanning is in de orde van $1 \mu\text{V} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ V}$.

De grootte van B is in de orde van $0,1 \text{ T}$.

De grootte van b is in de orde van $1 \text{ cm} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ m}$.

Invullen levert: $1 \cdot 10^{-6} = 0,1 \times 1 \cdot 10^{-2} \cdot v$

$$v = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m s}^{-1}$$

Het juiste antwoord is dus keuze A.