

12 Elektromagnetisme vwo

12.1 Elektrische kracht

1**

a Schets de elektrische veldlijnen om de bollen.

- negatieve lading → veldlijnen komen aan
- veldlijnen komen loodrecht aan op het oppervlak
- veldlijnen snijden elkaar niet
- tussen de bollen zijn de veldlijnen gebogen

b Bereken de elektrische kracht die bol 1 op de lading Q uitoefent.

- $F_{el} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \quad | \quad q_1 = -2,0 \text{ C} \quad | \quad q_2 = +0,1 \text{ C}$
- $r^2 = x^2 + y^2 \rightarrow r^2 = 0,2^2 + 0,2^2 = 0,080 \text{ m}^2$
- $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,98755 \cdot 10^9 \text{ m/F}$
- $\frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} = \frac{-2,0 \cdot 0,1}{8,0 \cdot 10^{-2}} = -2,5$
- $F_{el} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} = 8,98755 \cdot 10^9 \cdot (-2,5) = -2,2469 \cdot 10^{10} = -2,2 \cdot 10^{10} \text{ N}$

c Teken deze kracht. Kies hiertoe een geschikte krachtenschaal.

- kracht van P naar middelpunt van bol 1
- kies bijvoorbeeld 10^{10} N per cm → lengte krachtpijl 2,2 cm

d Bereken de elektrische kracht die bol 2 op de lading Q uitoefent.

- $F_{el} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \quad | \quad q_1 = -2,0 \text{ C} \quad | \quad q_2 = +0,1 \text{ C}$
- $r^2 = x^2 + y^2 \rightarrow r^2 = 0,2^2 + 0,3^2 = 0,13 \text{ m}^2$
- $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,9875 \cdot 10^9 \text{ m/F}$
- $\frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} = \frac{-2,0 \cdot 0,1}{0,13} = -1,538$
- $F_{el} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} = 8,9875 \cdot 10^9 \cdot (-1,538) = -1,3827 \cdot 10^{10} = -1,4 \cdot 10^{10} \text{ N}$

e Teken deze kracht. Kies hiertoe een geschikte krachtenschaal.

- kracht van P naar middelpunt van bol 2
- kies bijvoorbeeld 10^{10} N per cm \rightarrow lengte krachtpijl 1,4 cm

f Construeer de resulterende kracht op lading Q in punt P.

- krachten optellen als vectoren
- maak parallellogram
- kracht heeft richting tussen bol 1 en bol 2 (meer naar bol 1)

g Bepaal de resulterende elektrische kracht op lading Q in punt P.

- opmeten de lengte van krachtpijl ΣF is 2,4 cm
- $\Sigma F = 2,4 \cdot 10^{10}$ N

2**

a Bereken de elektrische kracht waarmee het proton en het elektron elkaar aantrekken.

- $q_{\text{proton}} = 1,6022 \cdot 10^{-19}$ C | $q_{\text{elektron}} = -1,6022 \cdot 10^{-19}$ C | $r = 5,3 \cdot 10^{-11}$ m
- $F_{\text{el}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$ met $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,98755 \cdot 10^9$ m/F
- $F_{\text{el}} = 8,98755 \cdot 10^9 \cdot \frac{1,6022 \cdot 10^{-19} \cdot -1,6022 \cdot 10^{-19}}{(5,3 \cdot 10^{-11})^2} = 8,21316 \cdot 10^{-8} = 8,2 \cdot 10^{-8}$ N

b Bereken de gravitatiekracht waarmee het proton en het elektron elkaar aantrekken.

- $m_{\text{proton}} = 1,67262 \cdot 10^{-27}$ kg | $m_{\text{elektron}} = 9,10938 \cdot 10^{-31}$ kg | $r = 5,3 \cdot 10^{-11}$ m
- $F_{\text{grav}} = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$ met $G = 6,67384 \cdot 10^{-11}$ N m² kg⁻²
- $F_{\text{grav}} = 6,67384 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{1,67262 \cdot 10^{-27} \cdot 9,10938 \cdot 10^{-31}}{(5,3 \cdot 10^{-11})^2} = 3,62001 \cdot 10^{-47} = 3,6 \cdot 10^{-47}$ N

c Bereken de elektrische kracht waarmee de protonen elkaar afstoten.

- $q_{\text{proton}} = 1,6022 \cdot 10^{-19}$ C | $r = 1,0 \cdot 10^{-15}$ m
- $F_{\text{el}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$ met $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,98755 \cdot 10^9$ m/F
- $F_{\text{el}} = 8,98755 \cdot 10^9 \cdot \frac{(1,6022 \cdot 10^{-19})^2}{(1,0 \cdot 10^{-15})^2} = 230,7 = 2,3 \cdot 10^2$ N

3**

a Schets de elektrische veldlijnen tussen de plaat en de bol. Geef daarbij ook de richting van het E-veld aan.

- elektrische veldlijnen vertrekken loodrecht vanaf de positief geladen plaat
- veldlijnen komen aan loodrecht op het oppervlak van de bol
- veldlijnen zijn krom en snijden elkaar niet

- b** Schets de elektrische veldlijn door P.
- veldlijn vertrekt loodrecht vanaf de positief geladen plaat
 - veldlijn komt aan loodrecht op het oppervlak van de bol
 - veldlijn gaat door punt P
- c** Teken de elektrische kracht die op de proeflading in P werkt.
- \vec{F}_{el} is gericht langs de raaklijn aan de veldlijn door P naar de bol
 - \vec{F}_{el} grijpt aan in punt P op de proeflading
- d** Leg uit in welke richting de proeflading in P gaat bewegen als hij wordt losgelaten.
- proeflading gaat bewegen naar de bol en volgt de veldlijn
 - de veldlijn is het traject van de proeflading

4**

- a** Teken de elektrische veldlijnen om dit object.
- veldlijnen vertrekken loodrecht vanaf het oppervlak van het positief geladen object
 - veldlijnen zijn krom en snijden elkaar niet
- b** Leg uit waarom dit voor een metalen object altijd het geval is.
- binnenin een geleider is geen lading aanwezig
 - indien dit wel het geval zou zijn zouden de elektronen zich verplaatsen om deze lading te neutraliseren
 - alleen lading op het oppervlak
 - ladingdragers stoten elkaar af → gaan zo ver mogelijk van elkaar vandaan
 - ladingdragers verdelen zich over het oppervlak
- c** Beredeneer of zich in de holte lading bevindt.
- lading zit altijd op een ladingdrager (protonen en/of elektronen)
 - holte is leeg → geen ladingdragers
 - geen ladingdragers → geen lading
- d** Beredeneer of in de holte een elektrisch veld aanwezig is.
- binnenin metalen geleider is geen elektrisch veld aanwezig
 - holte ligt binnenin de geleider
 - geen elektrisch veld in de holte

5***

- a** Teken de krachten die op de bal werken op schaal.
- $F_z = m \cdot g = 5,0 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81 = 4,905 \cdot 10^{-2} \text{ N}$
 - de verticale component (y-richting) van de spankracht F_s is gelijk aan F_z
 - klap F_z om en teken het parallellogram

b Bereken de spankracht in het draad.

- α is hoek tussen de draad en de gestreepte lijn
- $F_{sy} = F_s \cdot \cos \alpha$
- $F_{sy} = F_z = 4,905 \cdot 10^{-2} \text{ N}$
- $\sin \alpha = \frac{15}{40} \rightarrow \alpha = 22,024^\circ$
- $F_s = \frac{F_{sy}}{\cos \alpha} = \frac{4,905 \cdot 10^{-2}}{\cos 22,024} = 5,291 \cdot 10^{-2} \text{ N}$

c Bereken de elektrische kracht op de bal.

- evenwicht \rightarrow horizontaal geen resulterende kracht $\rightarrow F_{el} = F_{sx}$
- $F_{el} = F_{sx} = F_s \cdot \sin \alpha = 5,291 \cdot 10^{-2} \cdot \sin 22,024 = 1,984 \cdot 10^{-2} = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ N}$

d Bereken de lading van de bal.

- $F_{el} = 1,984 \cdot 10^{-2} \text{ N} \quad | \quad E = 1,0 \cdot 10^4 \text{ N C}^{-1}$
- $F_{el} = q \cdot E$
- $q = \frac{F_{el}}{E} = \frac{1,984 \cdot 10^{-2}}{1,0 \cdot 10^4} = 1,984 \cdot 10^{-6} = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ C}$

6***

a Bereken de grootte van de lading.

- $r = 0,10 \text{ m} \quad | \quad E = 200 \text{ N/C} \quad | \quad q = \dots \text{ C}$
- $F_{el} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$ met $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,98755 \cdot 10^9 \text{ m/F}$
- sterkte E-veld van q_1 : $E = \frac{F_{el}}{q_2} \rightarrow E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1}{r^2}$
- $200 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1}{0,10^2} \rightarrow q_1 = 2,2253 \cdot 10^{-10} = 2,2 \cdot 10^{-10} \text{ C}$

b Hoe groot is de veldsterkte op 20 cm van de lading.

- $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1}{r^2}$
- de afstand wordt 2 keer zo groot
- de veldsterkte wordt $2^2 = 4$ keer zo klein
- op 20 cm is de veldsterkte: $E = 50 \text{ N/C}$

c Op welke afstand is de veldsterkte 1,0 N/C?

- $E = 1,0 \text{ N/C} \quad | \quad q = 2,2253 \cdot 10^{-10} \text{ C} \quad | \quad r = \dots \text{ m}$
- $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1}{r^2}$ met $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,98755 \cdot 10^9 \text{ m/F}$
- $1,0 = 8,98755 \cdot 10^9 \cdot \frac{2,2253 \cdot 10^{-10}}{r^2} \rightarrow r = 1,4142 = 1,4 \text{ m}$

12.2 Elektrische energie

- 1****
- a** Teken in Fig. 1 de elektrische veldlijnen. Geef daarbij ook de richting aan.
- veldlijnen verticaal omhoog
 - loodrecht op de platen
 - veldlijnen hebben een vaste afstand tot elkaar
- b** Bereken de arbeid die de elektrische kracht op het deeltje verricht.
- beweging staat loodrecht op de richting van de kracht
 - $W = F_{el} \cdot s \cdot \cos \alpha$ waarin α de hoek is tussen F_{el} en s
 - $\alpha = 90^\circ \rightarrow \cos \alpha = 0 \rightarrow F_{el}$ verricht geen arbeid
- c** Bereken de arbeid die de elektrische kracht op het deeltje verricht.
- $E = 5,0 \cdot 10^5 \text{ V/m} \mid q = 1,0 \cdot 10^{-8} \text{ C} \mid s = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ m} \mid \alpha = 0^\circ$
 - $W = F_{el} \cdot s \cdot \cos \alpha$ waarin α de hoek is tussen F_{el} en s
 - $W = q \cdot E \cdot s \quad (\cos 0 = 1)$
 - $W = 1,0 \cdot 10^{-8} \cdot 5,0 \cdot 10^5 \cdot 2,0 \cdot 10^{-3} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ J}$
- 2****
- a** Bereken de arbeid die de elektrische kracht op het deeltje verricht. Je hoeft geen rekening te houden met het teken van de arbeid.
- $W = q \cdot E \cdot s \quad (\cos 0 = 1)$
 - $W = 1,0 \cdot 5,0 \cdot 10^5 \cdot 1,0 \cdot 10^{-3} = 500 = 5,0 \cdot 10^2 \text{ J}$
- 3*****
- a** Toon dit aan.
- $E = \frac{Q}{\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot A}$ en $E = \frac{U}{d} \rightarrow \frac{U}{d} = \frac{Q}{\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot A}$
 - $C = \frac{Q}{U} \rightarrow C = \frac{\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot A}{d} \rightarrow C = \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$
- 4*****
- a** Teken de elektrische veldlijnen tussen de platen.
- veldlijnen loodrecht op de platen
 - met gebogen lijnen van + naar -
 - verder naar rechts wordt de afstand tussen de veldlijnen groter
- b** Bereken de elektrische energie die hiervoor nodig is.

- $U = 150 \text{ V}$ | $q = 20 \cdot 10^{-3} \text{ C}$ | $E_{\text{el}} = \dots \text{ J}$
- $E_{\text{el}} = q \cdot U \rightarrow E_{\text{el}} = 20 \cdot 10^{-3} \cdot 150 = 3,0 \text{ J}$

c Ga na of de benodigde elektrische energie voor beide proefladingen gelijk is.

- $E_{\text{el}} = q \cdot U$
- q en U zijn gelijk $\rightarrow E_{\text{el}}$ is onafhankelijk van de weg waarlangs de lading wordt verplaatst
- E_{el} is voor beide proefladingen gelijk

d Leg uit waarom de afstand tussen de platen invloed heeft op de afstand tussen de veldlijnen.

- $E_{\text{el}} = W = F_{\text{el}} \cdot s \rightarrow E_{\text{el}} = q \cdot E \cdot s$
- E_{el} is constant en de afstand tussen de platen wordt groter
- $q \cdot E \cdot s$ blijft gelijk \rightarrow als s groter wordt, wordt E kleiner (want q blijft gelijk)

5***

a Leg uit waarom de onderste plaat op de minpool van de spanningsbron moet worden aangesloten om het druppeltje te laten zweven.

- de oliedruppels zijn negatief geladen (zie figuur)
- $\Sigma \vec{F} = \vec{F}_z + \vec{F}_{\text{el}} = 0$ want de druppeltjes staan stil
- \vec{F}_z is omlaag dus \vec{F}_{el} is omhoog gericht
- onderste plaat stoot de druppeltjes af en is dus negatief

b Leid deze formule af.

- $E_{\text{el}} = W = F_{\text{el}} \cdot s \rightarrow E_{\text{el}} = q \cdot E \cdot s$
- breng lading van de onderste naar de bovenste plaat $\rightarrow s = d$
- $E_{\text{el}} = q \cdot E \cdot d$ en $E_{\text{el}} = q \cdot U \rightarrow q \cdot U = q \cdot E \cdot d \rightarrow E = \frac{U}{d}$

c Leid deze formule af.

- $\Sigma \vec{F} = \vec{F}_z + \vec{F}_{\text{el}} = 0 \rightarrow F_{\text{el}} = F_z$
- $F_{\text{el}} = q \cdot E$ en $E = \frac{U}{d} \rightarrow F_{\text{el}} = q \cdot \frac{U}{d}$
- $F_{\text{el}} = F_z \rightarrow q \cdot \frac{U}{d} = m \cdot g \rightarrow q = \frac{m \cdot g \cdot d}{U}$

d Bereken de spanning waarbij een druppeltje met een massa van $3,0 \cdot 10^{-15} \text{ kg}$ en een overschot van 4 elektronen gaat zweven.

- $m = 3,0 \cdot 10^{-15} \text{ kg}$ | $d = 5,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ | $q = 4 \cdot 1,60218 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ | $U = \dots \text{ V}$
- $q = \frac{m \cdot g \cdot d}{U} \rightarrow U = \frac{m \cdot g \cdot d}{q}$
- $U = \frac{3,0 \cdot 10^{-15} \cdot 9,81 \cdot 5,0 \cdot 10^{-2}}{4 \cdot 1,60218 \cdot 10^{-19}} = 2,296 \cdot 10^3 = 2,3 \cdot 10^3 \text{ V}$

- Leg uit hoe Millikan te werk moet gaan om nauwkeurig de lading van één elektron te bepalen.
- volg een druppeltje en stel U in zodat het druppeltje gaat zweven $\rightarrow \Sigma \vec{F} = \vec{0}$
- herhaal dit met veel druppeltjes
- bereken steeds q en ontdek dat dit altijd een veelvoud is van e



12.3 Deeltjes versnellen

- 1*** a** Bereken het spanningsverschil tussen het deeltje en de bovenste plaat.
- $U_{\text{platen}} = 500 \text{ V} \quad | \quad d = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ m} \quad | \quad U_{\text{deeltje}} = \dots \text{ V}$
 - $E = \frac{U}{d} \rightarrow E = \frac{500}{2,0 \cdot 10^{-2}} = 2,5 \cdot 10^4 \text{ V/m}$
 - afstand tussen het deeltje en de bovenste plaat $\rightarrow s = 0,70 \cdot 10^{-2} \text{ m}$
 - $E_{\text{el}} = W = F_{\text{el}} \cdot s = q \cdot E \cdot s \rightarrow U = \frac{E_{\text{el}}}{q} = E \cdot s$
 - $U = E \cdot s \rightarrow U = 2,5 \cdot 10^4 \cdot 0,70 \cdot 10^{-2} = 175 = 1,8 \cdot 10^2 \text{ V}$
- b** Bereken de elektrische energie van het deeltje.
- $U = 175 \text{ V} \quad | \quad q = -30 \cdot 10^{-9} \text{ C} \quad | \quad E_{\text{el}} = \dots \text{ J}$
 - $E_{\text{el}} = q \cdot U \rightarrow E_{\text{el}} = -30 \cdot 10^{-9} \cdot 175 = -5,25 \cdot 10^{-6} = -5,3 \cdot 10^{-6} \text{ J}$
(minteken geeft aan dat het deeltje elektrische energie wordt omgezet naar kinetische energie)
- c** Bereken de snelheid waarmee het deeltje de bovenste plaat treft.
- $m = 5,0 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \quad | \quad E_{\text{el}} = 5,25 \cdot 10^{-6} \text{ J} \quad | \quad v_{\text{eind}} = \dots \text{ m/s}$
 - $E_{\text{el}} = \Delta E_K \rightarrow q \cdot U = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{eind}}^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{begin}}^2$
 - $5,25 \cdot 10^{-6} = 0,5 \cdot 5,0 \cdot 10^{-6} \cdot v_{\text{eind}}^2$ (deeltje vertrekt uit stilstand $\rightarrow v_{\text{begin}} = 0$)
 - $v_{\text{eind}} = 1,44914 = 1,4 \text{ m/s}$
- d** Bereken welke versnelling het deeltje heeft ondergaan.
- $v_{\text{gem}} = \frac{v_{\text{eind}}}{2} = \frac{1,44914}{2} = 0,724569 \cdot 10^{-1} \text{ m/s}$
 - $t = \frac{\Delta x}{v_{\text{gem}}} = \frac{0,70 \cdot 10^{-2}}{0,724569 \cdot 10^{-1}} = 9,66092 \cdot 10^{-3} \text{ s}$
 - $v_{\text{eind}} = a \cdot t \rightarrow a = \frac{v_{\text{eind}}}{t} \rightarrow a = \frac{1,44914 \cdot 10^{-1}}{9,66092 \cdot 10^{-3}} = 150 = 1,5 \cdot 10^2 \text{ m/s}^2$
- e** Bereken de elektrische kracht die op het deeltje heeft gewerkt.
- $m = 5,0 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \quad | \quad a = 150 \text{ m/s}^2 \quad | \quad \Sigma F = \dots \text{ N}$
 - $\Sigma F = m \cdot a$ met $\Sigma F = F_{\text{el}}$
 - $F_{\text{el}} = 5,0 \cdot 10^{-6} \cdot 150 = 7,5 \cdot 10^{-4} \text{ N}$
- OOK GOED**
- $q = -30 \cdot 10^{-9} \text{ C} \quad | \quad E = 2,5 \cdot 10^4 \text{ N/C} \quad | \quad F_{\text{el}} = \dots \text{ N}$
 - $F_{\text{el}} = q \cdot E \rightarrow F_{\text{el}} = -30 \cdot 10^{-9} \cdot 2,5 \cdot 10^4 = -7,5 \cdot 10^{-4} \text{ N}$
(minteken geeft aan dat de kracht naar boven is gericht)

f Bereken de sterkte van het elektrische veld in de condensator

- $q = -30 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ | $F_{\text{el}} = 7,5 \cdot 10^{-4} \text{ N}$ | $E = \dots \text{ N/C}$
- $7,5 \cdot 10^{-4} = -30 \cdot 10^{-9} \cdot E \rightarrow E = 2,5 \cdot 10^4 \text{ N/C}$

g Toon aan dat $E = \frac{U}{d}$

- $E = \frac{U}{d} = \frac{500}{2,0 \cdot 10^{-2}} = 2,5 \cdot 10^4 \text{ N/C}$
- in overeenstemming met f

2***

a Bereken de versnelspanning die nodig is om de elektronen een snelheid te geven van 1,0% van de lichtsnelheid.

- $v = 0,01 \cdot c = 2,99792 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ | $m_e = 9,10938 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ | $q = 1,60218 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- $E_{\text{el}} = \Delta E_K \rightarrow q \cdot U = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{eind}}^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{begin}}^2$
- $1,60218 \cdot 10^{-19} \cdot U = \frac{1}{2} \cdot 9,10938 \cdot 10^{-31} \cdot (2,99792 \cdot 10^8)^2 \rightarrow U = 25,5498 = 26 \text{ V}$

b Leg uit of de afstand d tussen de kathode K en de anode A van invloed is op de eindsnelheid van de elektronen.

- $E_{\text{el}} = \Delta E_K \rightarrow q \cdot U = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{eind}}^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{begin}}^2$
- afstand d staat niet in de formule $\rightarrow d$ heeft geen invloed

c Leg uit of de afstand d tussen de kathode K en de anode A van invloed is op de versnelling van de elektronen.

- $F_{\text{el}} = q \cdot E$ en $E = \frac{U}{d} \rightarrow F_{\text{el}} = q \cdot \frac{U}{d}$
- $\Sigma F = m \cdot a$ en $\Sigma F = F_{\text{el}} \rightarrow a = \frac{F_{\text{el}}}{m}$
- $a = \frac{q \cdot U}{m \cdot d}$
- q, U en m veranderen niet $\rightarrow a$ is afhankelijk van d

3***

a Leg uit of je de amplitude van de wisselspanning groter of kleiner moet maken.

- $E_{\text{el}} = \Delta E_K \rightarrow q \cdot U = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{eind}}^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{begin}}^2$
- v_{eind} hoger $\rightarrow U$ moet toenemen \rightarrow de amplitude moet groter worden

b Leg uit of je de frequentie van de wisselspanning groter of kleiner moet maken.

- de Ca^{2+} -ionen steken steeds sneller over tussen de buisjes
- de frequentie moet hoger worden

c Bereken de snelheid die de Ca^{2+} -ionen krijgen.

- 40 stappen van 5,0 kV \rightarrow totaal $40 \cdot 5,0 \cdot 10^3 = 2,0 \cdot 10^5$ V
- $m_{\text{Ca}} = 40 \cdot u = 40 \cdot 1,66054 \cdot 10^{-27} = 6,64216 \cdot 10^{-26}$ kg
- $q = 2 \cdot 1,60218 \cdot 10^{-19} = 3,20436 \cdot 10^{-19}$ C
- $E_{\text{el}} = \Delta E_{\text{K}} \rightarrow q \cdot U = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{eind}}^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{begin}}^2$
- $3,20436 \cdot 10^{-19} \cdot 2,0 \cdot 10^5 = \frac{1}{2} \cdot 6,64216 \cdot 10^{-26} \cdot v_{\text{eind}}^2$
- $v_{\text{eind}} = 1,38914 \cdot 10^6 = 1,4 \cdot 10^6$ m/s

d Leg uit of de kinetische energie van de versnelde Ba^{2+} ionen groter of kleiner is dan die van de versnelde Ca^{2+} ionen.

- $E_{\text{el}} = \Delta E_{\text{K}} \rightarrow q \cdot U = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{eind}}^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{begin}}^2$
- U blijft gelijk $\rightarrow E_{\text{K}}$ blijft gelijk

e Leg uit of de eindsnelheid van de versnelde Ba^{2+} ionen groter of kleiner is dan die van de versnelde Ca^{2+} ionen.

- massa Ba^{2+} ionen is 137,3 u en de massa van Ca^{2+} ionen is 40,08 u
- $E_{\text{K}} = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{eind}}^2$
- Ba^{2+} ionen hebben meer massa en E_{K} blijft gelijk
- de eindsnelheid van Ba^{2+} ionen is kleiner dan van Ca^{2+} ionen

4^{***}

a Bereken de energie in elektronvolt van de elektronen als ze de anode passeren.

- de versnelspanning is 15 kV
- de elektronen krijgen een energie van 15 keV

b Bereken de snelheid waarmee de elektronen de anode passeren.

- $q = 1,60218 \cdot 10^{-19}$ C | $U = 15 \cdot 10^3$ V | $m = 9,10938 \cdot 10^{-31}$ kg | $v = \dots$ m/s
- $q \cdot U = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{eind}}^2$
- $1,60218 \cdot 10^{-19} \cdot 15 \cdot 10^3 = \frac{1}{2} \cdot 9,10938 \cdot 10^{-31} \cdot v_{\text{eind}}^2 \rightarrow v_{\text{eind}} = 7,2639 \cdot 10^7 = 7,3 \cdot 10^7$ m/s

c Bereken de verticale component van de snelheid van de elektronen.

- $q = 1,60218 \cdot 10^{-19}$ C | $U = 2,0 \cdot 10^3$ V | $m = 9,10938 \cdot 10^{-31}$ kg | $v = \dots$ m/s
- $E_{\text{el}} = E_{\text{K}} \rightarrow q \cdot U = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{eind}}^2$
- $1,60218 \cdot 10^{-19} \cdot 2,0 \cdot 10^3 = \frac{1}{2} \cdot 9,10938 \cdot 10^{-31} \cdot v^2$
- $v = 2,65241 \cdot 10^7 = 2,7 \cdot 10^7$ m/s

d Bereken hoe ver van het midden de elektronenbundel het scherm raakt.

- $v_x = 7,2639 \cdot 10^7$ m/s | $\Delta x = 0,30$ m | $t = \dots$ s
- $\Delta x = v_x \cdot t \rightarrow 0,3 = 7,2639 \cdot 10^7 \cdot t \rightarrow t = 4,13 \cdot 10^{-9}$ s
- $\Delta y = v_y \cdot t \rightarrow \Delta y = 2,65241 \cdot 10^7 \cdot 4,13 \cdot 10^{-9} \rightarrow \Delta y = 1,0954 \cdot 10^{-1} = 0,11$ m

- e Leg uit of de snelheid van de elektronen verandert bij een plattere beeldbuis.
 - de snelheid van de elektronen wordt alleen bepaald door de versnelspanning
 - de afstand tussen de anode en de kathode heeft geen invloed op de snelheid van de elektronen

- f Helpt het om bij een plattere beeldbuis de afbuigspanning te veranderen of maakt het niets uit?
 - bij een grotere afbuigspanning wordt de afbuighoek groter
 - dit is nodig om bij een plattere beeldbuis de rand van het scherm te bereiken

- g Helpt het om bij een plattere beeldbuis de versnelspanning te veranderen of maakt het niets uit?
 - bij een kleinere versnelspanning wordt de tijd waarin de elektronen naar het scherm bewegen groter
 - bij dezelfde afbuigspanning worden de elektronen nu meer afgebogen
 - dit is nodig om bij een plattere beeldbuis de rand van het scherm te bereiken

- h Helpt het om bij een plattere beeldbuis de lengte van de afbuigplaten te veranderen of maakt het niets uit?
 - hoe langer de elektronen tussen de afbuigplaten zijn hoe groter de afbuigspanning
 - de lengte van de afbuigplaten heeft invloed op de afbuigspanning
 - bij een grotere afbuigspanning wordt de afbuighoek groter
 - dit is nodig om bij een plattere beeldbuis de rand van het scherm te bereiken

5***

- a Bereken de energie van de versnelde elektronen in joule.
 - $q = 1,60218 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ | $U = 60 \cdot 10^3 \text{ V}$ | $E_{\text{el}} = \dots \text{ J}$
 - $E_{\text{el}} = q \cdot U$
 - $E_{\text{el}} = 1,60218 \cdot 10^{-19} \cdot 60 \cdot 10^3 = 4,80654 \cdot 10^{-15} = 4,8 \cdot 10^{-15} \text{ J}$

- b Bereken de eindsnelheid van de elektronen.
 - $E_{\text{el}} = 4,80654 \cdot 10^{-15} \text{ J}$ | $m = 9,10938 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ | $v = \dots \text{ m/s}$
 - $E_{\text{el}} = E_{\text{K}} = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{eind}}^2$
 - $4,80654 \cdot 10^{-15} = \frac{1}{2} \cdot 9,10938 \cdot 10^{-31} \cdot v_{\text{eind}}^2 \rightarrow v_{\text{eind}} = 1,02728 \cdot 10^8 = 1,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

- c Bereken hoeveel elektronen per seconde aankomen bij de kathode.
 - $I = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ A}$ | $q = 1,60218 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
 - ampère is passerende lading per seconde
 - aantal per seconde: $N = \frac{7,5 \cdot 10^{-3}}{1,60218 \cdot 10^{-19}} = 4,68112 \cdot 10^{16} = 4,7 \cdot 10^{16} \text{ el. per seconde}$

- d Leg uit of de energie van de versnelde elektronen groter wordt, kleiner wordt of gelijk blijft als de spanning over de gloeidraad toeneemt.
 - de spanning over de gloeidraad heeft geen invloed op de versnelling

- de spanning over de gloeidraad heeft geen invloed op de energie van de versnelde elektronen
- e** Verandert het vermogen van een röntgenbuis als de spanning over de gloeidraad toeneemt? Leg uit.
- per seconde worden er meer elektronen uitgezonden
 - per seconde wordt er meer röntgenstraling geproduceerd
 - het vermogen van de röntgenbuis wordt groter
- f** Verandert het vermogen van een röntgenbuis als de spanning tussen de kathode en de anode toeneemt? Leg uit.
- door de grotere versnelspanning krijgt ieder elektron meer elektrische energie
 - een deel van deze energie wordt uitgezonden als röntgenstraling
 - het vermogen van de röntgenbuis wordt groter

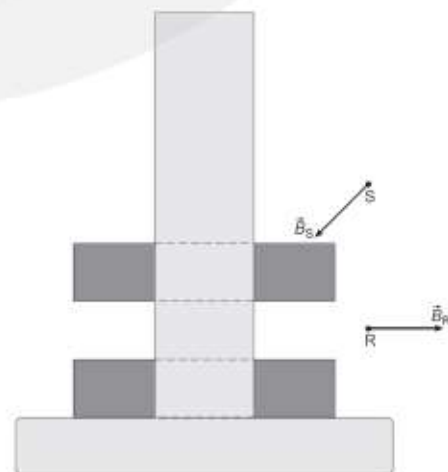
12.4 Het magnetisch veld

- 1**
- a** Leg uit waarom magnetische veldlijnen elkaar niet snijden.
- de richting van een veldlijn geeft de richting aan waarin de noordpool van een proefmagneet wijst
 - een proefmagneet kan niet in twee verschillende richtingen wijzen
- b** Leg uit waarom magnetische veldlijnen gesloten krommen zijn.
- er bestaan geen losse magnetische noordpolen of zuidpolen
 - de veldlijnen vertrekken van de noordpool en gaan naar de zuidpool
 - de veldlijnen vertrekken en komen aan op hetzelfde voorwerp
- c** Leg uit of je een magneet kunt maken met twee noordpolen en twee zuidpolen. Zo ja, teken de veldlijnen van zo'n magneet.
- ja dat kan, bijvoorbeeld een vierkant met boven en onder de noordpolen en links en rechts de zuidpolen
 - **maak schets**
- d** Leg uit of je een magneet kunt maken met twee noordpolen en één zuidpool. Zo ja, teken de veldlijnen van zo'n magneet.
- ja dat kan, bijvoorbeeld een Y vormige magneet met bovenaan twee noordpolen en onderaan een zuidpool
 - **maak schets**
- 2**
- a** Leg uit hoe je kunt aantonen dat het geen twee magneten zijn.
- er is altijd aantrekking, ook nadat je één van de twee omkeert
- b** Hoe kun je bepalen welke van de twee de magneet is?
- pak een staafje vast en breng de zijkant naar het midden van het andere staafje
 - voel je aantrekking → de staaf die je vasthebt is de magneet
 - voel je geen aantrekking → de staaf die je vasthebt is het ijzer
- 3**
- a** Welke uitspraken zijn waar:
- staafje 1 en staafje 2 zijn magneten → NIET WAAR
 - staafje 1 of staafje 2 is een magneet → WAAR
 - staafje 3 is geen magneet → WAAR
 - staafje 1 trekt staafje 3 altijd aan → WAAR

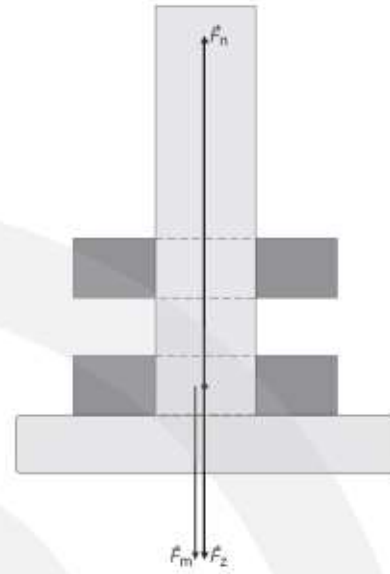
- 4****
- a** Trekken de breukvlakken elkaar altijd aan?
- ja, want de ene kant van het breukvlak wordt een zuidpool en de andere kant een noordpool
- b** Trekken de breukvlakken elkaar altijd aan?
- ja, want de ene kant van het breukvlak wordt een zuidpool en de andere kant een noordpool
- c** Trekken de breukvlakken elkaar aan?
- nee, de breukvlakken hebben een noordpool en een zuidpool
 - de breukvlakken stoten elkaar af

- 5****
- a** Leg uit of het magneetveld op aarde overal even sterk is.
- nee, bij de Noord- en Zuidpool hebben de veldlijnen de grootste dichtheid en is het magnetisch veld het sterkst
- b** Leg uit waaraan je kunt zien dat de magnetische noordpool zich op de geografische Zuidpool bevindt.
- de veldlijnen verlaten daar het aardoppervlak
- c** Leg uit of een kompas op het zuidelijk halfrond naar het noorden wijst of naar het zuiden.
- op het zuidelijk halfrond wijst een kompas naar het noorden
- d** Leg uit in welke richting een kompas op de evenaar wijst.
- op de evenaar wijst een kompas naar het noorden
- e** Leg uit in welke richting een kompas op de Zuidpool wijst.
- op de Zuidpool wijst een kompas in willekeurige richting

- 6****
- a** Teken zowel in R als in S de vector B die de richting van het resulterende magneetveld van de twee magneten weergeeft.
- vector B in punt R horizontaal gericht
 - vector B in punt R naar rechts
 - vector B in punt S heeft component naar links



- b** Teken in figuur 2 alle overige krachten die op de onderste magneet werken in de juiste verhouding tot de getekende vector F_z . Je hoeft daarbij niet te letten op het aangrijpingspunt van de krachten.
- de bovenste magneet oefent magnetische kracht \vec{F}_m op de onderste magneet uit
 - \vec{F}_m is even groot als \vec{F}_z , want de magneten hebben gelijke massa
 - \vec{F}_n verticaal omhoog en \vec{F}_m verticaal omlaag getekend
 - \vec{F}_n is even groot is als \vec{F}_m en \vec{F}_z samen



12.5 Elektromagnetisme

- 1*** a Leg uit in welke richting de elektronen door de draad bewegen.
- rechterhandregel voor draad → duim wijst naar links
 - stroom gaat naar links → elektronen bewegen naar rechts
- 2**** a Teken de magnetische veldlijnen om de draad.
- magnetische veldlijnen zijn cirkelvormig
 - de noordpool van de kompasnaald geeft de richting van de veldlijn aan
 - veldlijnen hebben een draairichting tegen de klok in
- b Geef de stroomrichting aan met een kruisje of een stip.
- rechterhandregel voor draad → vingers gekromd zoals de veldlijnen
 - duim wijst het papier uit → de stroom komt het papier uit
 - dit geef je aan met een stip
- c Geef met een pijltje aan hoe een kompasnaald wordt gericht op de plaatsen P en Q.
- de veldlijnen geen cirkelvormig om de draad tegen de wijzers van de klok in
 - bij P is de richting van het B-veld verticaal omhoog
 - bij Q is de richting van het B-veld naar linksonder (zuidwest)
- 3**** a Bepaal voor beide spoelen waar de magnetische noord- en zuidpool zich bevinden.
- Links: rechterhandregel voor spoel → noordpool naar beneden
 - Rechts: rechterhandregel voor spoel → noordpool naar beneden
- b Teken voor beide spoelen de magnetische veldlijnen.
- binnenin de spoel van boven naar onder
 - buiten de spoel om van onder met een boog naar boven
- 4**** a Bedenk het voorschrift voor de kurkentrekkerregel.
- draai de kurkentrekker zodat hij in de richting van de elektrische stroom beweegt
 - de draairichting is gelijk aan de draaiing van het magnetisch veld
- 5***** a Bepaal waar de magnetische noord- en zuidpool zich bevinden.
- rechterhandregel voor spoel → noordpool naar boven

- b** Teken de magnetische veldlijnen in én om de spoel.
- binnenin de spoel van onder naar boven
 - buiten de spoel om van boven met een boog naar onder

c Bereken de magnetische inductie in de spoel.

- $U = 24 \text{ V} \quad | \quad R = 6,0 \, \Omega \quad | \quad I = \dots \text{ A}$
- $U = I \cdot R \rightarrow 24 = I \cdot 6 \rightarrow I = 4,0 \text{ A}$
- $N = 6 \quad | \quad I = 4,0 \text{ A} \quad | \quad \ell = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ m} \quad | \quad B = \dots \text{ T}$
- $B = \mu_0 \cdot \frac{N \cdot I}{\ell}$ met $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T m A}^{-1}$
- $B = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{6 \cdot 4,0}{2,0 \cdot 10^{-2}} = 1,50796 \cdot 10^{-3} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ T}$

d Noem drie mogelijkheden om de magnetische inductie in de spoel te vergroten.

- I groter maken
- meer wikkelingen per meter
- kern aanbrengen waardoor de veldsterkte met een factor μ wordt vergroot

12.6 Lorentzkracht

- 1****
- a** Teken in figuur 1 alle lorentzkrachten op het draadraam.
- draadraam draait rechtsom (met de wijzers van de klok mee)
 - F_L op de rechterdraad naar beneden
 - F_L op de linkerdraad naar boven
- b** Bepaal in figuur 1 in welke richting de stroom door het draadraam gaat.
- gebruik de linkerhandregel
 - stroom gaat door linkerdraad naar achteren en door rechterdraad naar voren
- c** Teken in figuur 2 alle lorentzkrachten op het draadraam.
- op draad rechtsboven F_L naar beneden
 - op draad linksonder F_L naar boven
- d** Bepaal in figuur 2 in welke richting de stroom door het draadraam gaat.
- gebruik de linkerhandregel
 - stroom gaat door de bovenste draad naar achteren en door onderste draad naar voren
- e** Teken in figuur 3 alle lorentzkrachten op het draadraam.
- linkerhandregel op rechterdraad $\rightarrow F_L$ wijst omhoog
 - linkerhandregel op linkerdraad $\rightarrow F_L$ wijst omlaag
- f** Leg uit of het draadraam in figuur 3 gaat draaien.
- het draadraam draait linksom (teken de wijzers van de klok)
- 2*****
- a** Teken in figuur 1 alle lorentzkrachten op het draadraam.
- F_L op linkerdraad is naar achteren gericht
 - F_L op rechterdraad is naar voren gericht
 - F_L op bovenste en onderste draadstukken is nul, want evenwijdig aan het B-veld
- b** Leg uit of het draadraam in figuur 1 gaat bewegen.
- de lorentzkrachten zorgen voor een draaiing van het draadraam
 - de linkerdraad beweegt naar achteren en de rechterdraad beweegt naar voren
- c** Teken in figuur 2 alle lorentzkrachten op het draadraam.
- F_L op de linkerdraad is naar links gericht
 - F_L op de rechterdraad is naar rechts gericht
 - F_L op de bovenste draden zijn naar boven gericht
 - F_L op de onderste draad is naar beneden gericht

- d** Leg uit of het draadraam in figuur 2 gaat bewegen.
- in geen enkele richting is er een netto lorentzkracht
 - draadraam komt niet in beweging
(de bovenste draad is beetje korter dan de onderste draad, dus netto is er kleine lorentzkracht naar beneden)
- e** Teken in figuur 3 alle lorentzkrachten op het draadraam.
- F_L op het deel van de linkerdraad in het B-veld is naar links gericht
 - F_L op het deel van rechterdraad in het B-veld is naar rechts gericht
 - de bovenste draad zit niet in het B-veld dus geen F_L
 - F_L op de onderste draad is naar beneden gericht
- f** Leg uit of het draadraam in figuur 3 gaat bewegen.
- er is er een netto lorentzkracht naar beneden gericht
 - het draadraam gaat naar beneden bewegen
- g** Bereken de sterkte van de stroom als de resulterende lorentzkracht op het draadraam 50 mN is.
- F_L op de onderste draad met lengte b veroorzaakt een netto lorentzkracht
 - $F_L = 0,050 \text{ N} \quad | \quad B = 0,10 \text{ T} \quad | \quad \ell = 0,35 \text{ m} \quad | \quad I = \dots \text{ A}$
 - $F_L = B \cdot I \cdot \ell$
 - $0,05 = 0,1 \cdot I \cdot 0,35 \quad \rightarrow \quad I = 1,42857 = 1,4 \text{ A}$

3***

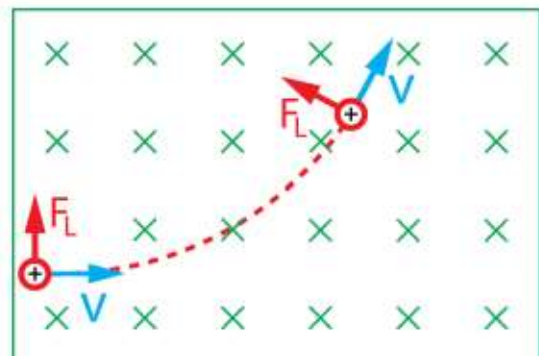
- a** Ga na of de horizontale component van het aardmagneetveld een lorentzkracht op de kabel veroorzaakt.
- de horizontale component van het aardmagneetveld is gericht naar het noorden
 - de kabel hangt in de noord-zuid richting
 - de stroom loopt evenwijdig aan het magnetisch veld
 - er ontstaat geen lorentzkracht
- b** Bereken de lorentzkracht die deze component uitoefent op een kabel van 200 m.
- $B = 4,3 \cdot 10^{-5} \text{ T} \quad | \quad I = 150 \text{ A} \quad | \quad \ell = 200 \text{ m} \quad | \quad F_L = \dots \text{ N}$
 - $F_L = B \cdot I \cdot \ell$
 - $F_L = 4,3 \cdot 10^{-5} \cdot 150 \cdot 200 = 1,29 = 1,3 \text{ N}$
- c** Bepaal de richting van de lorentzkracht.
- gebruik de linkerhandregel
 - op het noordelijk halfrond is de verticale component van B van boven naar onder gericht (zie figuur 1 bij de vraag)
 - I gaat van noord naar zuid
 - F_L is naar het oosten gericht
- d** Ga na of de lorentzkracht in Argentinië dezelfde richting heeft als in Nederland.
- Argentinië ligt op het zuidelijk halfrond

- op het zuidelijk halfrond is de verticale component van B van onder naar boven gericht (zie figuur 1 bij de vraag)
- I gaat van noord naar zuid
- F_L is naar het westen gericht

- 4*****
- a** Teken in punt P van de figuur de richting van de lorentzkracht.
- de richting van F_L is gelijk aan de richting waarin het projectiel gaat bewegen
 - richting schuin naar achteren zoals de getekende richting van de snelheidsvector
- b** Teken in punt P de richtingen van de stroom.
- stroom buiten de spanningsbron van + naar -
 - stroom door de staaf van links naar rechts
- c** Teken in punt P de richtingen van het magneetveld.
- F_L is schuin naar achteren gericht
 - stroom door de staaf van links naar rechts
 - magnetische veldlijnen gaan van boven naar beneden
- d** Bereken de grootte van de magnetische inductie.
- $F_L = 1,5 \cdot 10^5 \text{ N}$ | $I = 2,0 \cdot 10^6 \text{ A}$ | $\ell = 200 \text{ m}$ | $B = \dots \text{ T}$
 - $F_L = B \cdot I \cdot \ell$
 - $1,5 \cdot 10^5 = B \cdot 2,0 \cdot 10^6 \cdot 0,050 \rightarrow B = 1,5 \text{ T}$
- e** Bereken de snelheid die het projectiel krijgt. Verwaarloos de wrijvingkrachten.
- $F_L = 1,5 \cdot 10^5 \text{ N}$ | $m = 0,075 \text{ kg}$ | $a = \dots \text{ m/s}^2$
 - $F_L = \Sigma F = m \cdot a \rightarrow 1,5 \cdot 10^5 = 0,075 \cdot a \rightarrow a = 2,0 \cdot 10^6 \text{ m/s}^2$
 - $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ met $\Delta t = 0,50 \cdot 10^{-3} \text{ s}$
 - $2,0 \cdot 10^6 = \frac{\Delta v}{0,50 \cdot 10^{-3}} \rightarrow \Delta v = 1000 = 1,0 \cdot 10^3 \text{ m/s}$
 - beginsnelheid is nul $\rightarrow v_{\text{eind}} = 1,0 \cdot 10^3 \text{ m/s}$

Geladen deeltje in een magnetisch veld

- 5*****
- a** Teken de lorentzkracht op het moment dat het proton in het magneetveld komt.
- gebruik de linkerhandregel
 - magnetische veldlijnen gaan het papier in en v gaat naar rechts
 - F_L verticaal naar boven gericht
- b** Schets de baan van het proton.
- F_L steeds loodrecht op v



- homogeen magnetisch veld → cirkelvormige baan
- c** Teken de snelheid van het proton op het moment dat hij in punt P is aangekomen.
- de snelheidsvector is steeds gericht zoals de raaklijn van de baan
- d** Teken de lorentzkracht op het proton op het moment dat hij in punt P is aangekomen.
- F_L naar linksboven (zie figuur)
- e** Leg uit of de snelheid van het proton in punt P kleiner, groter of even groot is dan bij binnenkomst in het magneetveld.
- \vec{F}_L heeft geen component in de richting van de snelheid
 - als er geen wrijving is blijft v even groot
 - F_L zorgt alleen voor een verandering van de richting van het proton
- f** Leg uit of F_L op het proton in punt P kleiner, groter of even groot is dan bij binnenkomst in het magneetveld.
- $F_L = q \cdot v \cdot B$
 - v , q en B zijn constant
 - \vec{F}_L heeft een constante grootte, de richting van \vec{F}_L verandert wel

6*** a Toon dit aan.

- $F_L = F_{mpz} \rightarrow q \cdot v \cdot B = \frac{m \cdot v^2}{r} \rightarrow r = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}$

b Bereken de magnetische inductie.

- $m_{He} = 4,0 \cdot u = 4 \cdot 1,66054 \cdot 10^{-27} = 6,64216 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
- $q = 2 \cdot e = 2 \cdot 1,60218 \cdot 10^{-19} = 3,20436 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- $v = 0,01 \cdot c = 2,99792 \cdot 10^6 \text{ m/s} \quad | \quad r = \frac{1}{2} \cdot 0,50 = 0,25 \text{ m} \quad | \quad B = \dots \text{ T}$
- $F_L = F_{mpz} \rightarrow q \cdot v \cdot B = \frac{m \cdot v^2}{r} \rightarrow B = \frac{m \cdot v}{q \cdot r}$
- $B = \frac{6,64216 \cdot 10^{-27} \cdot 2,99792 \cdot 10^6}{3,20436 \cdot 10^{-19} \cdot 0,25} = 2,485696 \cdot 10^{-1} = 0,25 \text{ T}$

7*** a Bereken de straal van de cirkelbaan die de elektronen doorlopen.

- $m_e = 9,10938 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \quad | \quad v = 2,99792 \cdot 10^7 \text{ m/s} \quad | \quad q = 1,60218 \cdot 10^{-19} \text{ C} \quad |$
 $B = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ T} \quad | \quad r = \dots \text{ m}$
- $F_L = F_{mpz} \rightarrow q \cdot v \cdot B = \frac{m \cdot v^2}{r} \rightarrow r = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}$

- $r = \frac{9,10938 \cdot 10^{-31} \cdot 2,99792 \cdot 10^7}{1,60218 \cdot 10^{-19} \cdot 1,0 \cdot 10^{-3}} = 1,7045 \cdot 10^{-1} = 1,7 \cdot 10^{-1} \text{ m}$

b Schets in de figuur de banen die de positronen en de elektronen doorlopen.

- positronen hebben een lading van $+1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ en buigen af naar boven
- elektronen hebben een lading van $-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ en buigen af naar beneden



12.7 Inductiespanning

- 1^{***} a Teken de magnetische veldvector \vec{B} en geef de horizontale en de verticale componenten van \vec{B} aan. Gebruik als krachtschaal $1 \text{ cm} \leftrightarrow 0,5 \cdot 10^{-5} \text{ T}$.
- \vec{B} vector schuin naar beneden
 - B-veld pijl: horizontaal 3,6 cm en verticaal naar beneden 8,6 cm lang
- b Bereken de hoek ten opzichte van de normaal waaronder het aardmagnetisch veld in Nederland komt.
- $B_x = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ T} \quad | \quad B_y = 4,3 \cdot 10^{-5} \text{ T} \quad | \quad \alpha = \dots^\circ$
 - $\tan \alpha = \frac{\text{overstaand}}{\text{aanliggend}} = \frac{B_x}{B_y}$
 - $\tan \alpha = \frac{1,8 \cdot 10^{-5}}{4,3 \cdot 10^{-5}} = 0,41805 \rightarrow \alpha = 22,71441 = 23^\circ$
- c Bereken de maximale flux van het aardmagnetisch veld door een bladzijde met A4 formaat (210 x 297 mm).
- maximale flux $\rightarrow \cos \alpha = 1$ (vel papier moet schuin worden gezet)
 - $B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2} \rightarrow B = \sqrt{(1,8 \cdot 10^{-5})^2 + (4,3 \cdot 10^{-5})^2} = 4,66154 \cdot 10^{-5} \text{ T}$
 - $A = 0,21 \cdot 0,297 = 6,237 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \quad | \quad B_n = B = 4,66154 \cdot 10^{-5} \text{ T} \quad | \quad \Phi = \dots \text{ Wb}$
 - $\Phi = B_n \cdot A \rightarrow \Phi = 4,66154 \cdot 10^{-5} \cdot 6,237 \cdot 10^{-2} = 2,9074 \cdot 10^{-6} = 2,9 \cdot 10^{-6} \text{ Wb}$
- d Bereken de flux van het aardmagnetisch veld door een bladzijde met A4 formaat als de bladzijde plat op tafel ligt.
- $B = 4,66154 \cdot 10^{-5} \text{ T} \quad | \quad A = 6,237 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \quad | \quad \alpha = 22,7144^\circ \quad | \quad \Phi = \dots \text{ Wb}$
 - $\Phi = B \cdot A \cdot \cos \alpha$
 - $\Phi = 4,66154 \cdot 10^{-5} \cdot 6,237 \cdot 10^{-2} \cdot \cos 22,7144 = 2,68191 \cdot 10^{-6} = 2,7 \cdot 10^{-6} \text{ Wb}$
- OOK GOED
- $B_y = 4,3 \cdot 10^{-5} \text{ T} \quad | \quad A = 6,237 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \quad | \quad \Phi = \dots \text{ Wb}$
 - $\Phi = B_n \cdot A$ met $B_n = B_y$
 - $\Phi = 4,3 \cdot 10^{-5} \cdot 6,237 \cdot 10^{-2} = 2,68191 \cdot 10^{-6} = 2,7 \cdot 10^{-6} \text{ Wb}$
- d Leg uit hoe je het vel papier moet houden om ervoor te zorgen dat de flux van het aardmagnetisch veld door het papier nul is.
- dan moet je het papier zo schuin houden zodat er geen magnetische veldlijnen doorheen gaan (hoek van 22,7 graden)

2**

- a** Leg uit waaruit blijkt dat het magnetisch veld niet homogeen is.
- aan de linkerkant is de dichtheid van de magnetische veldlijnen groter dan aan de rechterkant

b Bereken de flux door het draadraam.

- linker gedeelte: $B_{\text{links}} = 0,60 \text{ T}$ | $A_{\text{links}} = 0,02 \cdot 0,02 = 4,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
- $\Phi_{\text{links}} = B \cdot A_{\text{links}}$ | $\Phi_{\text{links}} = 0,6 \cdot 4,0 \cdot 10^{-4} = 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$
- rechter gedeelte: $B_{\text{rechts}} = 0,30 \text{ T}$ | $A_{\text{rechts}} = 0,01 \cdot 0,02 = 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
- $\Phi_{\text{rechts}} = B \cdot A_{\text{rechts}}$ | $\Phi_{\text{rechts}} = 0,3 \cdot 2,0 \cdot 10^{-4} = 0,6 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$
- $\Phi_{\text{totaal}} = \Phi_{\text{links}} + \Phi_{\text{rechts}} \rightarrow \Phi_{\text{totaal}} = 2,4 \cdot 10^{-4} + 0,6 \cdot 10^{-4} = 3,0 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$

c Bereken opnieuw de flux door het draadraam.

- linker gedeelte: $B_{\text{links}} = 0,60 \text{ T}$ | $A_{\text{links}} = 0,01 \cdot 0,02 = 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
- $\Phi_{\text{links}} = B \cdot A_{\text{links}}$ | $\Phi_{\text{links}} = 0,6 \cdot 2,0 \cdot 10^{-4} = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$
- rechter gedeelte: $B_{\text{rechts}} = 0,30 \text{ T}$ | $A_{\text{rechts}} = 0,02 \cdot 0,02 = 4,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
- $\Phi_{\text{rechts}} = B \cdot A_{\text{rechts}}$ | $\Phi_{\text{rechts}} = 0,3 \cdot 4,0 \cdot 10^{-4} = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$
- $\Phi_{\text{totaal}} = \Phi_{\text{links}} + \Phi_{\text{rechts}} \rightarrow \Phi_{\text{totaal}} = 1,2 \cdot 10^{-4} + 1,2 \cdot 10^{-4} = 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$

3***

a Bereken het tijdstip waarop de achterkant van het draadraam in het veld komt.

- $\Delta x = 0,18 \text{ m}$ | $v_{\text{gem}} = 0,10 \text{ m/s}$ | $t = \dots \text{ s}$
- $\Delta x = v_{\text{gem}} \cdot t \rightarrow 0,18 = 0,1 \cdot t \rightarrow t = 1,8 \text{ s}$

b Bereken de fluxverandering $\Delta\Phi$ gedurende dit tijdsinterval.

- $B = B_n = 0,50 \text{ T}$ | $A = 0,12 \cdot 0,18 = 2,16 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$ | $\Phi = \dots \text{ Wb}$
- $\Phi_{\text{begin}} = 0$ | $\Phi_{\text{eind}} = B_n \cdot A$
- $\Delta\Phi = 0,5 \cdot 2,16 \cdot 10^{-2} = 1,08 \cdot 10^{-2} = 1,1 \cdot 10^{-2} \text{ Wb}$

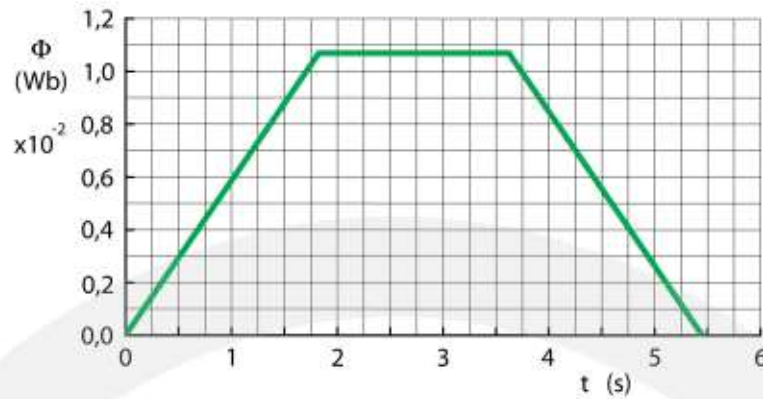
c Bepaal wanneer de voorkant van het draadraam het veld verlaat.

- draadraam: 4,5 cm in tekening is 18 cm in werkelijkheid
- veld: 9,0 cm in tekening is 36 cm in werkelijkheid
- $\Delta x = 0,36 \text{ m}$ | $v_{\text{gem}} = 0,10 \text{ m/s}$ | $t = \dots \text{ s}$
- $\Delta x = v_{\text{gem}} \cdot t \rightarrow 0,36 = 0,1 \cdot t \rightarrow t = 3,6 \text{ s}$

d Bepaal wanneer de achterkant van het draadraam het veld verlaat.

- achterkant komt 1,8 s na de voorkant uit het veld
- de achterkant verlaat na $3,6 + 1,8 = 5,4 \text{ s}$ het veld

e Teken het (flux, tijd)-diagram van de beweging van het draadraam door het magneetveld.



4***

a Bereken de magnetische flux door het draadraam.

- $B_n = B = 0,20 \text{ T}$ | $A = \frac{1}{2} \cdot 0,10 \cdot 0,15 = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ | $\Phi = \dots \text{ Wb}$
- $\Phi = B_n \cdot A \rightarrow \Phi = 0,2 \cdot 7,5 \cdot 10^{-3} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}$

b leg uit of de trilling harmonisch is.

- Φ is recht evenredig met de vervorming van de veer
- het (Φ, t) -diagram is sinusvormig
- het (u, t) -diagram is ook sinusvormig
- de trilling is harmonisch

c Bepaal de amplitude van de trilling.

- de maximale verandering van Φ is $2,5 \cdot 10^{-3} - 0,5 \cdot 10^{-3} = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}$
- $\Phi = B_n \cdot A \rightarrow \Delta\Phi = B_n \cdot \Delta A$
- $\Delta\Phi = B_n \cdot \Delta A \rightarrow 2,0 \cdot 10^{-3} = 0,2 \cdot \Delta A \rightarrow \Delta A = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$
- $A = \text{breedte} \times \text{lengte}$ | de breedte verandert niet
- $\Delta A = 0,1 \cdot \Delta\ell \rightarrow 1,0 \cdot 10^{-2} = 0,1 \cdot \Delta\ell \rightarrow \Delta\ell = 0,10 \text{ m}$
- de amplitude is de helft van $\Delta\ell \rightarrow A = \frac{1}{2} \cdot 0,1 = 5,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}$

d Bepaal de frequentie van de trilling.

- twee trillingen in 1,0 s
- $2 \cdot T = 1,0 \rightarrow T = 0,5 \text{ s} \rightarrow f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,5} = 2,0 \text{ Hz}$

e Bepaal over welke afstand het draadraam naar beneden is getrokken.

- het draadraam gaat trillen met een amplitude van 5,0 cm
- het draadraam is 5,0 cm naar beneden getrokken

De inductiewet van Faraday

5**

a Leg uit waarom er in de spoel geen inductiespanning wordt opgewekt.

- $U_{\text{ind}} = N \cdot \frac{d\Phi}{dt}$
- Φ verandert niet in de tijd $\rightarrow d\Phi = 0 \rightarrow \frac{d\Phi}{dt} = 0 \rightarrow U_{\text{ind}} = 0 \text{ V}$

- b** Leg uit wat je moet doen om ervoor te zorgen dat er in de spoel wel inductiespanning wordt opgewekt.
- de magneet bewegen ten opzichte van de spoel
- c** Leg uit waarom er in de spoel een zeer kleine inductiestroom wordt opgewekt.
- de weerstand van de voltmeter is zeer hoog
 - $U_{\text{ind}} = I_{\text{ind}} \cdot R \rightarrow I_{\text{ind}} = \frac{U_{\text{ind}}}{R}$ is zeer klein
- d** Leg uit wat je moet doen om ervoor te zorgen dat er in de spoel een grotere inductiestroom wordt opgewekt.
- de voltmeter vervangen door een lagere weerstand OF
 - parallel aan de voltmeter een lagere weerstand aanbrengen (een shunt)

6**

- a** Leg uit waarom er in de spoel inductiespanning wordt opgewekt.
- $U_{\text{ind}} = N \cdot \frac{d\Phi}{dt}$
 - omdat de staafmagneet naar toe spoel beweegt verandert de flux in de tijd
 - hierdoor ontstaat een inductiespanning
- b** Leg uit welke factoren van belang zijn bij de grootte van de inductiestroom.
- de sterkte van de staafmagneet
 - de afstand tussen de staafmagneet en de spoel
 - de relatieve snelheid van de spoel en de staafmagneet
 - het aantal windingen van de spoel
 - de weerstand van de spoel en van de stroommeter

7**

- a** Leg uit wat je moet doen om een inductiestroom in de spoel op te wekken.
- de spoel in en uit het veld bewegen OF
 - de spoel om de breedte-as ronddraaien
- b** Leg uit welke factoren van belang zijn bij de grootte van de inductiestroom.
- de sterkte van de hoefmagneet
 - de snelheid waarmee de flux door de spoel verandert $d\Phi/dt$
 - het aantal windingen van de spoel
 - de weerstand van de spoel en van de stroommeter
- c** Leg uit welke denkfout Jan hierbij maakt.
- Jan houdt geen rekening met het gegeven dat je 3,20 m draad hebt en dat de omtrek van een winding halveert als je het aantal windingen verdubbelt

d Bereken hoe de inductiestroom verandert als er 32 windingen in het koperdraad gemaakt zijn in plaats van 16. Ga ervan uit dat verder alles hetzelfde blijft.

- $U_{\text{ind}} = N \cdot \frac{d\Phi}{dt}$ | N wordt 2 keer zo groot
- de omtrek van een winding wordt 2 keer zo klein
- omtrek 2 keer zo klein \rightarrow oppervlakte wordt 4 keer zo klein
- Φ wordt 4 keer zo klein $\rightarrow d\Phi/dt$ wordt 4 keer zo klein
- $U_{\text{ind}} = N \cdot \frac{d\Phi}{dt} \rightarrow U_{\text{ind}}$ wordt 2 keer zo klein $\rightarrow I_{\text{ind}}$ wordt 2 keer zo klein

8** In experiment 1 wordt de spoel weggetrokken van de hoefmagneet.

a Schets het verloop van de inductiespanning.

- (U_{ind}, t) -diagram heeft een piek (omhoog of naar beneden)

In experiment 2 wordt de spoel tussen de polen in de lengte rondgedraaid.

b Schets het verloop van de inductiespanning.

- er wordt geen inductiespanning opgewekt want de flux verandert niet

In experiment 3 wordt de spoel tussen de polen in de breedte rondgedraaid.

c Schets het verloop van de inductiespanning.

- (U_{ind}, t) -diagram is sinusvormig

9** **a** Geef de richting aan van het magneetveld in spoel 1.

- kijk naar de richting van de stroom
- gebruik rechterhandregel voor een spoel
- de noordpool ligt aan de linkerkant

b Geef de richting aan van het magneetveld in spoel 2.

- veldlijnen van spoel 1 komen in spoel 2
- veldlijnen lopen binnen in spoel 2 van rechts naar links

c Leg uit of er stroom door de stroommeter loopt.

- de flux verandert niet in de tijd

- $U_{\text{ind}} = N \cdot \frac{d\Phi}{dt} = 0$

- er loopt geen stroom door de stroommeter

d Leg uit wat de stroommeter aangeeft als de weerstand van de variabele weerstand kleiner wordt gemaakt.

- variabele weerstand wordt kleiner \rightarrow meer stroom door spoel 1
- sterker magneetveld in spoel 1 \rightarrow veldlijnen van spoel 1 komen in spoel 2
- magneetveld in spoel 2 neemt toe $\rightarrow \Phi$ neemt toe in de tijd
- U_{ind} wordt opgewekt \rightarrow stroommeter geeft een positieve waarde aan

- e Leg uit wat de stroommeter aangeeft als in S_1 een weekijzeren kern wordt geplaatst.
 - sterker magneetveld in spoel 1 \rightarrow veldlijnen van spoel 1 komen in spoel 2
 - magneetveld in spoel 2 neemt toe $\rightarrow \Phi$ in spoel 2 neemt toe
 - U_{ind} wordt opgewekt \rightarrow de stroommeter geeft een positieve waarde aan

- f Leg uit wat de stroommeter aangeeft als de afstand tussen S_1 en S_2 toeneemt.
 - minder veldlijnen van spoel 1 komen in spoel 2 $\rightarrow B$ -veld in spoel 2 neemt af
 - Φ in spoel 2 neemt af in de tijd $\rightarrow U_{ind}$ keert van teken om
 - stroommeter geeft een negatieve waarde aan

- g Leg uit wat de stroommeter aangeeft als de schakelaar wordt geopend.
 - er komen geen veldlijnen van spoel 1 meer in spoel 2
 - magneetveld in spoel 2 neemt af
 - Φ in spoel 2 neemt af in de tijd $\rightarrow U_{ind}$ keert van teken om
 - stroommeter geeft een negatieve waarde aan

10***

- a Leg uit op welke tijdstippen de inductiespanning nul volt is.
 - $U_{ind} = N \cdot \frac{d\Phi}{dt} = 0$ als de flux niet verandert in de tijd
 - dit gebeurt als Φ een maximum of minimum heeft
 - $t = 0,125 \text{ s} \quad | \quad t = 0,375 \text{ s} \quad | \quad t = 0,625 \text{ s} \quad | \quad t = 0,875 \text{ s} \quad | \quad t = 1,125 \text{ s}$

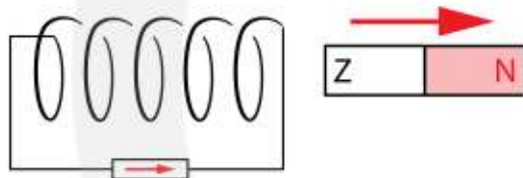
- b Bepaal de maximale grootte van de inductiespanning.
 - $U_{ind} = N \cdot \frac{d\Phi}{dt}$ met $N = 1$
 - om het maximum van $d\Phi/dt$ te bepalen moet je een raaklijn teken op de plaatsen waar de (Φ, t) -grafiek het steilst is en daarvan de richtingscoëfficiënt bepalen
 - $\left(\frac{d\Phi}{dt}\right)_{max} = \frac{2,5 \cdot 10^{-3}}{0,2} = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ Wb/s}$
 - $U_{ind} = N \cdot \frac{d\Phi}{dt} \rightarrow U_{ind max} = 1 \cdot 1,25 \cdot 10^{-3} = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ V}$

12.8 Richting van de inductiestroom

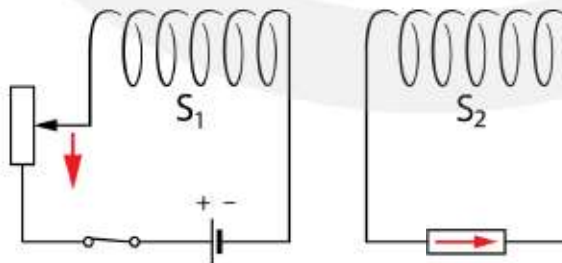
- 1** a Geef de richting van de inductiestroom door de weerstand aan.
- Lenz → in de spoel ontstaat een noordpool aan de linkerkant
 - gebruik rechterhandregel voor een spoel
 - stroom loopt door de weerstand van rechts naar links



- b Geef de richting van de inductiestroom door de weerstand aan.
- Lenz → in de spoel ontstaat een noordpool aan de rechterkant
 - gebruik rechterhandregel voor een spoel
 - stroom loopt door de weerstand van links naar rechts



- 2** a Geef de richting van de inductiestroom door R aan.
- noordpool van spoel 1 ligt aan de linkerkant en de zuidpool aan de rechterkant
 - variabele weerstand wordt kleiner → de stroomsterkte door spoel 1 neemt toe →
 - sterker magneetveld in spoel 1 → veldlijnen van spoel 1 komen in spoel 2 →
 - Lenz → spoel 2 maakt een zuidpool aan de linkerkant
 - gebruik rechterhandregel voor spoel 2
 - stroom loopt door de weerstand van links naar rechts



- 3** a Geef de richting van de inductiestroom door het draadraam aan.
- veldlijnen gaan door het draadraam van rechts naar links
 - flux neemt toe in de tijd
 - Lenz → het draadraam maakt een noordpool aan de rechterkant
 - gebruik rechterhandregel voor een spoel
 - stroom loopt in het voorste deel van boven naar onder

- b** Geef de richting van de inductiestroom door het draadraam aan.
- veldlijnen gaan door het draadraam van rechts naar links
 - flux neemt af in de tijd
 - Lenz → het draadraam maakt een noordpool aan de linkerkant
 - gebruik rechterhandregel voor een spoel
 - stroom loopt in het voorste deel van onder naar boven
- c** Gaat er op dit moment een inductiestroom door het draadraam? Zo ja, in welke richting gaat deze stroom?
- aan de voorkant is de draad niet gesloten → er kan geen stroom lopen

- 4***** **a** Geef de richting aan van de inductiestroom die in deze stand door het draadraam gaat.
- veldlijnen gaan door het draadraam van rechts naar links
 - de flux verandert niet in de tijd
 - $U_{\text{ind}} = 0$
 - er loopt geen stroom door het draadraam

- b** Geef de richting aan van de inductiestroom die in deze stand door het draadraam gaat.
- bij deze stand gaan er geen veldlijnen door het draadraam
 - maar de flux verandert wel in de tijd omdat het draadraam draait
 - Lenz → het draadraam maakt een noordpool aan de bovenkant
 - gebruik rechterhandregel voor een spoel
 - stroom loopt in het voorste deel van links naar rechts

- c** Geef de richting aan van de inductiestroom die in deze stand door het draadraam gaat.
- bij deze stand gaan er geen veldlijnen door het draadraam
 - maar de flux verandert wel in de tijd omdat het draadraam draait
 - Lenz → het draadraam maakt een noordpool aan de bovenkant
 - gebruik rechterhandregel voor een spoel
 - stroom loopt in het voorste deel van links naar rechts

- 5***** **a** Leg uit in welke situatie de meeste kracht nodig is om het draadraam in beweging te houden.
- in situatie A is er geen gesloten draadraam → $I_{\text{ind}} = 0$ → $F_L = B \cdot I_{\text{ind}} \cdot \ell = 0$
 - in situatie B is er een gesloten draadraam met minimale weerstand
 - I_{ind} is maximaal → F_L is maximaal
 - in situatie C is er een gesloten draadraam met een weerstand
 - I_{ind} is kleiner dan in situatie B → F_L is kleiner dan in situatie B
 - in situatie B is F_L maximaal en is dus de meeste kracht nodig

b Leg uit wie er gelijk heeft, Pepijn of Suzanne. Geef een sluitende redenering.

- hogere draaisnelheid $\frac{d\Phi}{dt}$ groter $\rightarrow U_{\text{ind}}$ groter $\rightarrow I_{\text{ind}}$ groter $\rightarrow F_L$ groter
- Suzanne heeft dus gelijk

6***

a Leg uit hoe de stroom door de spoel loopt als het magneetje de spoel nadert.

- de flux in de spoel neemt toe in de tijd
- Lenz \rightarrow er ontstaat een noordpool bij de spoel aan de bovenkant
- gebruik de rechterhandregel voor een spoel
- een kleine stroom loopt door de voltmeter van links naar rechts

b Leg uit waarom elke puls twee tegengestelde pieken heeft.

- $U_{\text{ind}} = N \cdot \frac{d\Phi}{dt}$
- bij het naderen van de magneet is $d\Phi/dt$ in de spoel positief en bij het verwijderen negatief

c Bepaal de snelheid van de fiets.

- tijdsduur tussen twee doorgangen is $0,90 - 0,30 = 0,60$ s
- $28 \text{ inch} = 28 \cdot 2,54 = 0,7112$ m $\rightarrow r = 0,3556$ m
- omtrek $= 2\pi \cdot r \rightarrow$ omtrek $= 2\pi \cdot 0,3556 = 2,2343$ m
- $s = v_{\text{gem}} \cdot t \rightarrow 2,2343 = v_{\text{gem}} \cdot 0,6 \rightarrow v_{\text{gem}} = 3,72383 = 3,7$ m/s

d Bereken wanneer de 2^e puls komt.

- de 2^e puls komt nu na 1,2 s dus 1,5 s na $t = 0$

e Leg uit of de pulsen nu groter of kleiner zijn dan in figuur 2.

- lagere snelheid $\rightarrow d\Phi/dt$ is kleiner $\rightarrow U_{\text{ind}}$ is kleiner
- de pulsen zijn minder hoog

f Leg uit of de pulsen nu breder of smaller zijn dan in figuur 2.

- het passeren van het magneetje duurt langer
- de pulsen worden breder

7***

a Bereken de versnelling van het karretje vlak nadat het is losgelaten.

- $F_z = m \cdot g$ met $m = 1,0 \cdot 10^{-2}$ kg $\rightarrow F_z = 9,81 \cdot 10^{-2}$ N
- $\Sigma F = m \cdot a$ met $m = 6,0 \cdot 10^{-2}$ kg (het karretje en het gewichtje versnellen beide)
- $9,81 \cdot 10^{-2} = 6,0 \cdot 10^{-2} \cdot a \rightarrow a = 1,635 = 1,64$ m/s²

- b** Leg uit dat er door de rails een inductiestroom gaat lopen.
- door de beweging van het karretje neemt de flux toe
 - een verandering van de flux veroorzaakt U_{ind} en daarmee ook I_{ind}
- c** Beredeneer in welke richting de stroom door weerstand R loopt.
- F_L werkt versnelling tegen en staat op het karretje naar links
 - linkerhandregel: stroom door het karretje van voor naar achter
 - stroom door de weerstand van achter naar voor
- OOK GOED**
- er ontstaat tegenflux met de noordpool van draadraam omhoog
 - rechterhandregel voor spoel
 - stroom door het karretje van voor naar achter
 - stroom door de weerstand van achter naar voor
- d** Leg uit waarom de snelheid na een poosje constant wordt.
- als de snelheid van het karretje toeneemt neemt ook $d\Phi/dt$ toe
 - U_{ind} wordt groter $\rightarrow I_{ind}$ wordt groter $\rightarrow F_L = B \cdot I \cdot \ell$ neemt toe
 - $\Sigma \vec{F} = \vec{F}_z + \vec{F}_L \rightarrow \Sigma F = F_z - F_L$
 - de snelheid neemt toe totdat $\Sigma F = 0$
 - vanaf dat moment blijft de snelheid constant
- e** Bereken de grootte van de lorentzkracht op het karretje nadat het met een constante snelheid is gaan rijden.
- constante snelheid $\rightarrow \Sigma F = F_z - F_L = 0 \rightarrow F_L = F_z = 9,81 \cdot 10^{-2} \text{ N}$
- f** Bereken de inductiestroom als het karretje met constante snelheid is gaan rijden.
- $B \cdot I \cdot \ell = m \cdot g \rightarrow 0,8 \cdot I_{ind} \cdot 0,12 = 9,81 \cdot 10^{-2} \rightarrow I_{ind} = 1,021875 = 1,02 \text{ A}$
- g** Bereken de inductiespanning als het karretje met constante snelheid is gaan rijden.
- $U_{ind} = I_{ind} \cdot R$ met $R = 0,15 \Omega$
 - $U_{ind} = 1,021875 \cdot 0,15 = 0,153281 = 0,153 \text{ V}$
- h** Geef de relatie tussen de fluxtoename en de constante snelheid van het karretje
- $U_{ind} = N \cdot \frac{d\Phi}{dt} \rightarrow U_{ind} = \Delta\Phi = B_n \cdot \Delta A$ per seconde
 - $\Delta A = \Delta(\text{breedte} \times \text{lengte})$ | de breedte verandert niet
 - de verandering van de lengte per seconde is gelijk aan de snelheid van het karretje
 - $\Delta A = \text{breedte} \times v \rightarrow U_{ind} = B_n \cdot \text{breedte} \cdot v$
- i** Bereken de constante snelheid van het karretje.
- $U_{ind} = B_n \cdot \text{breedte} \cdot v$ (zie vorige vraag)
 - $0,153281 = 0,8 \cdot 0,12 \cdot v \rightarrow v = 1,59668 = 1,60 \text{ m/s}$

8****

a Bereken uit U_{ind} en I_{ind} het opgewekte elektrische vermogen.

- $P = U \cdot I \rightarrow P = 0,153821 \cdot 1,021875 = 0,156634 = 0,157 \text{ W}$

b Geef een uitdrukking voor het vermogen van de zwaartekracht op het blokje.

- $P = F \cdot v$ met $F = F_z$ op het gewichtje

c Stel deze vermogens aan elkaar gelijk en bereken de snelheid van het blokje. Wrijvingskracht wordt verwaarloosd.

- $U_{\text{ind}} \cdot I_{\text{ind}} = m \cdot g \cdot v \rightarrow 0,156634 = 1,0 \cdot 10^{-2} \cdot 9,81 \cdot v \rightarrow v = 1,59668 = 1,60 \text{ m/s}$

d Bereken de constante snelheid die het karretje uiteindelijk krijgt.

- de snelheid van karretje is gelijk aan de snelheid van het blokje

- $v = 1,59668 = 1,60 \text{ m/s}$

Examenvragen havo

Luidspreker (aangepast)

- 2p **a** Leg uit waarom een luidspreker waarbij de magneet aan het membraan is bevestigd minder goed werkt.
- een magneet heeft meer massa dan een spoel → om een magneet te versnellen is meer kracht nodig 1
 - om een grotere F_L te krijgen moet de stroomsterkte groter worden en/of een sterkere magneet worden gebruikt 1
- 2p **b** Bepaal de richting van de kracht die in punt P van figuur 1b werkt.
- B-veldlijnen van N naar Z en stroomsterkte zoals aangegeven 1
 - linkerhandregel → F_L is naar achteren gericht 1
- 3p **c** Bereken de sterkte van de stroom die dan door het spoeltje loopt.
- omtrek = $\pi \cdot d$ → $65 \times \text{omtrek} = 65 \cdot \pi \cdot d$ → $\ell = 65 \cdot \pi \cdot 2,6 \cdot 10^{-2} = 5,3093 \text{ m}$ 1
 - $F_L = 7,8 \cdot 10^{-2} \text{ N}$ | $B = 1,24 \text{ T}$ | $\ell = 5,30929 \text{ m}$ | $I = \dots \text{ A}$
 - gebruik $F_L = B \cdot I \cdot \ell$ 1
 - $7,8 \cdot 10^{-2} = 1,24 \cdot I \cdot 5,30929$ → $I = 1,18478 \cdot 10^{-2} = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ A}$ 1
- 3p **d** Leg uit of onderstaande veranderingen de luidspreker beter geschikt maken om hoge tonen te produceren.
- hoge tonen → grote frequentie → snelle omkering → grote versnelling van de conus
 - $\Sigma F = F_L = m \cdot a$ → $B \cdot I \cdot \ell = m \cdot a$ → $a = \frac{B \cdot I \cdot \ell}{m}$
 - – sterkere magneet → B neemt toe → beter geschikt 1
 - – meer mindingen → ℓ neemt toe → beter geschikt 1
 - – spoel en conus lichter → m neem af → beter geschikt 1

Scheepsaandrijving zonder schroef

- 4p **a** Bereken de spanning tussen de platen A en B.
- lengte waterdraad is 0,20 m 1
 - doorsnede van waterdraad is $0,25 \times 1,80 = 0,45 \text{ m}^2$ 1
 - $R = \rho \cdot \frac{\ell}{A}$ met $\rho = 0,23 \Omega \cdot \text{m}$ → $R = 0,23 \cdot \frac{0,20}{0,45} = 0,10222 \Omega$ 1
 - $U = I \cdot R$ met $I = 4,0 \cdot 10^3 \text{ A}$ → $U = 4,0 \cdot 10^3 \cdot 0,1022 = 4,0889 \cdot 10^2 = 4,1 \cdot 10^2 \text{ V}$ 1
- 3p **b** Teken in punt P in de figuur op de bijlage de vectoren die de richting aangeven van het magnetisch veld, van de elektrische stroom en van de lorentzkracht op het zeewater.
- tussen de platen gaat de stroom van links naar rechts 1
 - tussen de platen gaat het magnetisch veld van boven naar beneden 1

- tussen de platen gaat de lorentzkracht naar achter 1
- 2p **c** Leg uit of de boot in de richting van de lorentzkracht gaat bewegen of juist de andere kant op.
- de boot oefent op het zeewater een lorentzkracht naar achteren uit → 3^e wet Newton → het water oefent op de boot een even grote kracht naar voren uit 1
 - de boot gaat naar voren bewegen → dus tegenovergesteld aan de richting van de lorentzkracht 1
- 3p **d** Bereken de grootte van de lorentzkracht die opgewekt wordt in één buis.
- lengte waterdraad is 0,20 m 1
 - $B = 3,9 \text{ T} \quad | \quad I = 4,0 \cdot 10^3 \text{ A} \quad | \quad \ell = 0,20 \text{ m} \quad | \quad F_L = \dots \text{ N}$
 - gebruik $F_L = B \cdot I \cdot \ell$ 1
 - $F_L = 3,9 \cdot 4,0 \cdot 10^3 \cdot 0,2 = 3,12 \cdot 10^3 = 3,1 \cdot 10^3 \text{ N}$ 1
- 2p **e** Geef daarvoor een verklaring.
- zoetwater is een slechtere geleider dan zout water 1
 - de stroomsterkte in zoetwater is kleiner en daarom is ook F_L kleiner 1

Magneettrein

- 3p **a** Bereken de grootte van de kracht van één elektromagneet op het weekijzer, als de trein zweeft.
- inzicht bij zweven $F_{\text{magneten totaal}} = F_Z$ 1
 - $F_Z = m \cdot g \rightarrow F_Z = 1,8 \cdot 10^5 \cdot 9,81 = 1,7658 \cdot 10^6 \text{ N}$ 1
 - 46 magneten $\rightarrow F_{\text{magneet}} = \frac{1,7658 \cdot 10^6}{46} = 3,8387 \cdot 10^4 = 3,8 \cdot 10^4 \text{ N}$ 1
- 2p **b** Bereken de grootte van de lorentzkracht op dit stuk kabel.
- gebruik $F_L = B \cdot I \cdot \ell$ 1
 - $F_L = 7,3 \cdot 1,2 \cdot 10^3 \cdot 0,26 = 2,2776 \cdot 10^3 = 2,3 \cdot 10^3 \text{ N}$ 1
- 3p **c** Leg uit of de stroom in elektromagneet 2 in dezelfde richting loopt als in elektromagneet 1 of in tegengestelde richting.
- linkerhandregel → stroom van R naar S → F_L naar links 1
 - magnetische veldlijnen van boven naar beneden 1
 - consequente conclusie → stroomrichting in elektromagneet 2 is tegengesteld aan de stroomrichting in elektromagneet 1 1
- OOK GOED**
- constateer dat in stuk RS de stroomrichting tegengesteld is aan die in PQ 1
 - F_L heeft dezelfde richting → het B-veld bij RS is tegengesteld aan die bij PQ 1
 - de stroomrichting in elektromagneet 2 is tegengesteld aan die in 1 1

- 2p **d** Leg uit waarom de trein naar rechts beweegt. Gebruik bij je uitleg een natuurkundige wet.
- de trein oefent op de kabel een lorentzkracht naar achteren uit 1
 - 3^e wet Newton → de kabel oefent op de trein een even grote kracht naar voren uit 1
- 4p **e** Bereken de frequentie van de wisselstroom in de kabel in deze situatie.
- $v_{\text{gem}} = \frac{400}{3,6} = 111,111 \text{ m/s}$ 1
 - $s = v_{\text{gem}} \cdot t \rightarrow 0,26 \text{ m} = 111,111 \cdot t \rightarrow t = 2,34 \cdot 10^{-3} \text{ s}$ 1
 - per periode verandert de stroomrichting twee keer van teken →
 $T = 2 \cdot 2,34 \cdot 10^{-3} = 4,68 \cdot 10^{-3} \text{ s}$ 1
 - $f = \frac{1}{T} \rightarrow f = \frac{1}{4,68 \cdot 10^{-3}} = 2,1367 \cdot 10^2 = 2,1 \cdot 10^2 \text{ Hz}$ 1

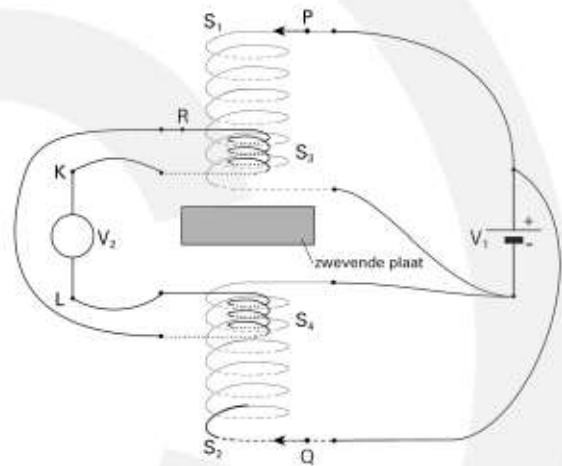
Examenvragen vwo

Magnetisch zweven

- 4p **a** In welke situatie zijn de krachten juist weergegeven? Leg van ieder van de drie andere situaties uit waarom de krachten daarin niet juist zijn weergegeven.
- A is onjuist want F_2 is omlaag gericht én F_2 is kleiner dan F_1 1
 - B is onjuist, want de resulterende kracht moet nul zijn, en dat is niet zo bij B 1
 - D is onjuist, want de magnetische krachten zijn aantrekkend, dus hebben F_1 en F_2 hier de verkeerde richting 1
 - C is juist, want $\Sigma F = 0$ en de F_1 en F_2 hebben de juiste richting 1

- 3p **b** Teken in figuur 3 de aansluitingen tussen de spoelen S_1 en S_2 en spanningsbron V_1 . Geef daartoe eerst in de punten P en Q met een pijltje de richting van de elektrische stroom aan.

- stroomrichtingen in PO en Q juist 1
- consequente aansluiting van S_1 en S_2 op V_1 1
- S_1 en S_2 zijn parallel geschakeld 1



- 4p **c** Leg aan de hand van de schakeling in figuur 3 uit of de spanning van aansluitpunt K dan hoger of lager moet zijn dan die van punt L om dit te corrigeren. Beredeneer daartoe eerst hoe het magnetische veld van S_3 en hoe de stroom door punt R dan gericht moeten zijn.
- het B-veld boven de plaat moet kleiner worden, zodat de plaat omlaag beweegt 1
 - het B-veld van S_3 moet tegengesteld zijn aan het B-veld van S_1 1
 - rechterhandregel: noordpool S_3 staat omhoog \rightarrow de stroomrichting in R is naar rechts 1
 - K heeft dus een lagere spanning dan L 1

- 5p **d** Geef aan welke stappen je achtereenvolgens moet zetten om B te berekenen. Doe dit door aan te geven welke formules je moet gebruiken en hoe je aan de waarden komt van alle grootheden en constanten die in deze formules staan. Je hoeft de berekeningen niet uit te voeren.

- gebruik $B = \mu_0 \cdot \frac{N \cdot I}{l_{\text{spoel}}}$ μ_0 opzoeken, N en l_{spoel} zijn gegeven 1
- gebruik $U = I \cdot R$ U is gegeven 1
- gebruik $R = \rho \cdot \frac{l_{\text{draad}}}{A}$ ρ opzoeken, A is gegeven 1
- l_{draad} volgt uit $480 \times$ (omtrek winding) 1
- eerst R uitrekenen, dan I uitrekenen en daarna B uitrekenen 1

Deep Space

- 3p **a** Bereken hoeveel de kinetische energie van het xenon-ion in het elektrische veld maximaal verandert.
- inzicht: $W = \Delta E_k$ 1
 - gebruik: $W = q \cdot U$ 1
 - $q \cdot U = \Delta E_k = 1,6022 \cdot 10^{-19} \cdot 1,28 \cdot 10^3 = 2,05 \cdot 10^{-16} \text{ J}$ 1
- 3p **b** Toon aan dat de kracht die de ionen in het elektrische veld ondervinden dan tweemaal zo groot zou zijn.
- inzicht: $F = q \cdot E$ 1
 - inzicht: $E = \frac{U}{d}$ 1
 - $F = q \cdot \frac{U}{d}$ q en U blijven gelijk, d wordt gehalveerd $\rightarrow F$ twee keer zo groot 1
- 3p **c** Leg uit welke gevolgen dit zou hebben voor de snelheidstoename van Deep Space.
- $q \cdot U = \Delta E_k \rightarrow$ de ionsnelheid is afhankelijk van U 1
 - de ionsnelheid is niet afhankelijk van d 1
 - de afstand tussen de elektroden heeft geen gevolg voor de snelheidstoename 1
- OOK GOED
- de kracht 2 keer zo groot en de afstand 2 keer zo klein \rightarrow de arbeid blijft gelijk 1
 - $W = \Delta E_k \rightarrow$ de snelheidstoename blijft gelijk 1
 - de afstand tussen de elektroden heeft geen gevolg voor de snelheidstoename 1
- 4p **d** Bereken hoe groot die snelheidstoename is op basis van de in het artikel genoemde stuwkracht. Neem daarbij voor de massa van Deep Space zijn massa na 7,0 maanden.
- na 7 maanden: $m = \frac{490 + 430}{2} = 460 \text{ kg}$ 1
 - gebruik $\Sigma F = m \cdot a$ en $\Delta v = a \cdot \Delta t$ 1
 - $a = \frac{90 \cdot 10^{-3}}{460} = 1,96 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}^2$ 1
 - $\Delta v = 1,96 \cdot 10^{-4} \cdot 3,68 \cdot 10^7 = 7,2 \cdot 10^3 \text{ m/s} = 7,2 \text{ km/s}$ 1
- Als voor de massa na 7,0 maanden 520 kg is genomen: geen aftrek.*

Ralph en Norton

- 4p **a** Toon aan dat de baansnelheid van Norton binnen de hier gegeven nauwkeurigheid gelijk is aan die van Ralph.
- gebruik $v = \frac{2\pi \cdot r}{T}$ en inzicht $T_{\text{Ralph}} = T_{\text{Norton}}$ 1
 - inzicht $r_{\text{Ralph}} = 6,378 \cdot 10^6 + 1,000 \cdot 10^6 = 7,378 \cdot 10^6 \text{ m}$ en $r_{\text{Norton}} = r_{\text{Ralph}} + 4000$ 1
 - inzicht dat $r_{\text{Ralph}} = r_{\text{Norton}}$ binnen de gegeven nauwkeurigheid 1
 - conclusie $v_{\text{Ralph}} = v_{\text{Norton}}$ binnen de gegeven nauwkeurigheid 1

- 3p **b** Bereken de totale lorentzkracht op alle vrije elektronen samen.
- gebruik $F_L = B \cdot q \cdot v$ met $B = 3,0 \cdot 10^{-5} \text{ T}$ en $v = 7,4 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}$ 1
 - inzicht $q = 1,1 \cdot 10^{23} \cdot 1,60218 \cdot 10^{-19} = 1,7624 \cdot 10^4 \text{ C}$ 1
 - $F_L = 3,0 \cdot 10^{-5} \cdot 1,1 \cdot 10^{23} \cdot 1,60218 \cdot 10^{-19} \cdot 7,4 \cdot 10^3 = 3,9 \cdot 10^3 \text{ N}$ 1
- 3p **c** Beredeneer welke richting de lorentzkracht heeft op de vrije elektronen in de koperdraad.
- gebruik de linkerhandregel met \vec{v} naar rechts en \vec{B} omhoog 1
 - \vec{F}_L op positieve lading is van de aarde af gericht 1
 - elektronen hebben een negatieve lading dus \vec{F}_L elektronen naar de aarde toe 1
- 4p **d** Bereken de elektrische spanning over de draad. Bereken daartoe eerst de elektrische veldsterkte in de draad.
- inzicht $F_{el} = F_L \rightarrow q \cdot E = B \cdot q \cdot v \rightarrow E = B \cdot v$ 1
 - $E = 3,0 \cdot 10^{-5} \cdot 7,4 \cdot 10^3 = 0,222 \text{ N/C}$ 1
 - gebruik $U = E \cdot d$ 1
 - $U = 0,222 \cdot 4000 = 888 = 8,9 \cdot 10^2 \text{ V}$ 1

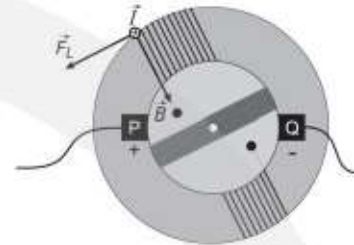
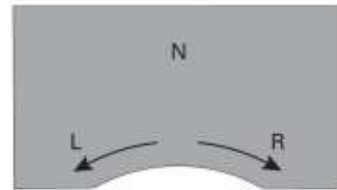
Beeldscherm

- 4p **a** Beredeneer of de elektronen afkomstig van het 'rode' of van het 'blauwe' elektrodenkanon de grootste snelheid hebben. Leid daartoe eerst een verband af tussen de snelheid van de elektronen en de kromtestraal van hun baan in het magneetveld \vec{B} .
- inzicht $F_L = F_{mpz} \rightarrow B \cdot q \cdot v = \frac{m \cdot v^2}{r}$ 1
 - hieruit volgt $v = \frac{B \cdot q \cdot r}{m}$ 1
 - B , q en m zijn constant $\rightarrow v$ neemt toe als r groter wordt 1
 - $r_{blauw} > r_{rood} \rightarrow v_{blauw} > v_{rood}$ dus elektronen richting blauw hebben de grootste snelheid 1
- 3p **b** Leg uit of B op het zuidelijk halfrond sterker of juist minder sterk moet zijn dan op het noordelijk halfrond.
- inzicht \vec{B} in het TV toestel is omlaag gericht 1
 - noordelijk halfrond: B -veld aarde heeft component omlaag $\rightarrow B$ -velden TV en aarde versterken elkaar
 - zuidelijk halfrond: B -veld aarde heeft component omhoog $\rightarrow B$ -velden TV en aarde verzwakken elkaar 1
 - op het zuidelijk halfrond moet het B -veld van de TV sterker zijn dan op het noordelijk halfrond 1

Fietskar duwt fiets

3p **a** Beredeneer of de motor linksom (L) of rechtsom (R) draait. Geef daartoe in figuur 2 de richtingen aan van \vec{I} , \vec{B} en \vec{F}_L in het punt S.

- juiste richting \vec{I} 1
- juiste richting \vec{B} 1
- consequente richting \vec{F}_L en conclusie 1



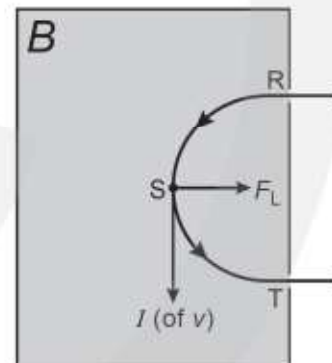
3p **b** Leg uit dat de remkracht groter is naarmate de fietssnelheid groter is.

- bij een grotere snelheid is de fluxverandering per seconde groter 1
- hierdoor wordt de inductiespanning en de inductiestroom groter 1
- hierdoor wordt de lorentzkracht en dus de remkracht groter 1

Nieuw element

3p **a** Bepaal de richting van de magnetische inductie B. Teken daartoe eerst in figuur 2 in het punt S:

- de richting van de stroom I of snelheid v; 1
- de richting van de lorentzkracht F_L op de ionen. 1
- juiste richting I of v 1
- juiste richting F_L 1
- B-veld gaat papier in (kruisjes) 1



5p **b** Bereken de grootte van de magnetische inductie B.

- inzicht $m = 48 u = 48 \cdot 1,66054 \cdot 10^{-27} = 7,97059 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$ 1
- $q \cdot U = \Delta E_K \rightarrow 2 \cdot 1,6022 \cdot 10^{-19} \cdot 2,4 \cdot 10^3 = \frac{1}{2} \cdot 7,97 \cdot 10^{-26} \cdot v^2 \rightarrow v = 1,389 \cdot 10^5 \text{ m/s}$ 1
- gebruik $F_L = F_{mpz} \rightarrow B \cdot q \cdot v = \frac{m \cdot v^2}{r}$ 1
- inzicht afstand $RT = 2 \cdot r$ en $q = 2e$ 1
- $B = \frac{m \cdot v}{q \cdot r} \rightarrow B = \frac{7,97 \cdot 10^{-26} \cdot 1,389 \cdot 10^5}{2 \cdot 1,6022 \cdot 10^{-19} \cdot 0,263} = 0,1314 = 0,131 \text{ T}$ 1

4p **c** Beredeneer voor elk van de genoemde grootheden of de ingestelde waarde daartoe moet worden vergroot of verkleind.

- $q \cdot U = \Delta E_K \rightarrow$ een grotere spanning is nodig om de ionen een grotere snelheid te geven 1
- de amplitude van de wisselspanning moet groter worden 1
- bij een grotere snelheid is de verblijfstijd tussen de buisjes kleiner 1
- de frequentie van de wisselspanning moet daarom groter worden 1

Fietsdynamo

- 2p **a** Leg uit hoe met een dynamo spanning wordt opgewekt. Gebruik daarbij in ieder geval het woord flux.
- door het draaien van de as van de dynamo verandert het B-veld in de spoel 1
 - de flux verandert hierdoor en dit geeft een inductiespanning 1
- 3p **b** Bepaal de frequentie waarmee het wielje ronddraait.
- inzicht dat vier perioden correspondeert met één omwenteling 1
 - aflezen 4 periode in 82 ms 1
 - $f = \frac{1}{T} \rightarrow f = \frac{1}{82 \cdot 10^{-3}} = 12,195 = 12 \text{ Hz}$ 1

Massaspectrometer

- 2p **a** Beredeneer welke van de drie isotopen in P de grootste snelheid heeft.
- $q \cdot U = \Delta E_K \rightarrow \Delta E_K$ is voor Mg^{2+} en Ca^{2+} gelijk want zelfde lading en spanning 1
 - $E_K = \frac{1}{2} m \cdot v^2$ Mg^{2+} heeft kleinere massa dan $Ca^{2+} \rightarrow$ snelheid Mg^{2+} is groter 1
- 3p **b** Bepaal in figuur 1 de richting van het magnetisch veld in ruimte (3). Geef daartoe eerst in punt S de richtingen aan van de snelheid en de lorentzkracht.
- richting snelheid goed 1
 - richting lorentzkracht goed 1
 - consequente conclusie (B-veld uit het vlak van de tekening \rightarrow stippen) 1
- 4p **c** Leid deze formule af uit formules die in Binas staan.
- inzicht $q \cdot U = \Delta E_K \rightarrow q \cdot U = \frac{1}{2} m \cdot v^2$ (want de beginsnelheid is nul) 1
 - inzicht $F_L = F_{mpz} \rightarrow B \cdot q \cdot v = \frac{m \cdot v^2}{r}$ 1
 - hieruit volgt $v = \frac{B \cdot q \cdot r}{m} \rightarrow \frac{1}{2} m \cdot v^2 = \frac{1}{2} m \cdot \frac{B^2 \cdot q^2 \cdot r^2}{m^2} = \frac{B^2 \cdot q^2 \cdot r^2}{2 \cdot m}$ 1
 - invullen $q \cdot U = \frac{B^2 \cdot q^2 \cdot r^2}{2 \cdot m} \rightarrow m = \frac{B^2 \cdot q^2 \cdot r^2}{2 \cdot q \cdot U} \rightarrow m = \frac{B^2 \cdot q \cdot r^2}{2 \cdot U}$ 1
- 3p **d** Bereken de versnelling waarbij lood-207-ionen in de detector in punt Q terechtkomen.
- $m = 207 \text{ u} = 207 \cdot 1,66054 \cdot 10^{-27} = 3,43732 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$ 1
 - inzicht $q = e = 1,60218 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ 1
 - $m = \frac{B^2 \cdot q \cdot r^2}{2 \cdot U} \rightarrow U = \frac{B^2 \cdot q \cdot r^2}{2 \cdot m} \rightarrow U = \frac{0,182^2 \cdot 1,60218 \cdot 10^{-19} \cdot (\frac{1}{2} \cdot 0,56)^2}{2 \cdot 3,43732 \cdot 10^{-25}} = 605 \text{ V}$ 1