

12 Versnellen en afbuigen

Elektrisch en magnetisch veld | vwo



Uitwerkingen opgaven leerboek

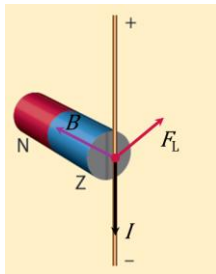
12.1 INTRODUCTIE

Opgave 1

- a Waar
- b Niet waar: Magnetische veldlijnen snijden elkaar nooit.
- c Niet waar: De eenheid van magnetische veldsterkte is tesla.

Opgave 2

- a Zie figuur.



- b Zie figuur.
- c $F_L = B \cdot I \cdot l \rightarrow B = \frac{F_L}{I \cdot l} = \frac{0,12 \cdot 10^{-3}}{8,6 \times 0,060} = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{ T}$

12.2 ELEKTRISCHE VELDEN

Opgave 3

- a Waar
- b Waar
- c Niet waar: Een positieve en een negatieve lading trekken elkaar aan, twee positieve of twee negatieve ladingen stoten elkaar af.
- d Waar
- e Niet waar: De elektrische kracht werkt op een positieve lading in dezelfde richting als het elektrisch veld, maar op een negatieve lading in tegenovergestelde richting.
- f Niet waar: Elektrische veldlijnen lopen van de positieve lading naar de negatieve lading.

Opgave 4

- a Elektrische veldlijnen beginnen bij een positieve lading en eindigen bij een negatieve lading. Het negatief geladen voorwerp bevindt zich dus aan de kant waar de veldlijnen naartoe wijzen en dat is de linkerkant.
- b Hoe dichter de veldlijnen naast elkaar liggen, des te groter is de veldsterkte ter plaatse, dus is de elektrische veldsterkte het grootst in punt A.
- c Geen van beide.
- d Bij een radiaal veld lopen de veldlijnen allemaal in een rechte lijn naar het centrum toe of van het centrum af. De veldsterkte neemt daarbij kwadratisch af met de afstand tot de lading in het centrum.
- e Bij een homogeen veld is de veldsterkte overal gelijk gericht en overal even groot.

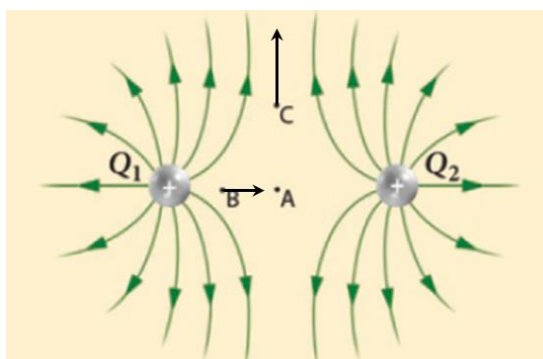


Opgave 5

- a Bij het langs elkaar wrijven van de ballon en de trui springen er elektronen over van de trui naar de ballon of andersom, waardoor de trui positief geladen wordt en de ballon negatief of andersom.
- b De trui en de ballon zijn dan verschillend geladen en zullen elkaar dus aantrekken.
- c Doordat er bij het ene voorwerp evenveel (negatieve) lading verdwijnt als er bij het andere voorwerp bij komt, is de positieve lading die op het ene voorwerp ontstaat altijd precies even groot als de negatieve lading op het andere voorwerp.

Opgave 6

- a Punt A bevindt zich midden tussen de twee positieve ladingen in. De elektrische veldsterkte in punt A veroorzaakt door de linkerlading is precies even groot als de veldsterkte veroorzaakt door de rechterlading maar tegengesteld gericht. Samengesteld levert dit een netto veldsterkte van 0.
- b In punt B is de richting van het elektrisch veld naar rechts, doordat het veld van Q_1 in punt B sterker is dan dat van Q_2 . Zie figuur.



- c In punt C is de horizontale component van het elektrisch veld van Q_1 precies even groot als en tegengesteld aan de horizontale component van het elektrisch veld van Q_2 , terwijl de verticale componenten even groot en gelijk gericht zijn. Dus is de richting van het netto elektrisch veld naar boven, langs de middellloodlijn van Q_1 - Q_2 . Zie figuur.

Opgave 7

- a De negatief geladen kant van de ballon stoot de elektronen in de muur af, waardoor deze elektronen opschuiven in de muur (influentie). Hierdoor wordt het stukje van de muur naast de ballon positief geladen.
- b De positieve lading in de muur zit dichterbij de ballon dan de negatieve lading in de muur. Daardoor is de aantrekkende kracht van de positieve lading op de ballon groter.

Opgave 8

- a Bij het aanraken van de knop van de elektroscop springen er elektronen van het negatief geladen voorwerp over op de bol. Hierdoor worden de knop en ook de blaadjes aluminiumfolie negatief geladen. De negatief geladen blaadjes stoten elkaar af en gaan dus uit elkaar staan.
- b Als het voorwerp positief is geladen, zullen er elektronen van de knop overspringen naar het voorwerp en worden elektronen uit de blaadjes naar boven getrokken. De knop en de blaadjes aluminiumfolie krijgen daardoor een positieve lading, zodat ook nu de blaadjes elkaar afstoten en uit elkaar gaan staan.
- c Nee, je kunt met een elektroscop dus niet bepalen of een voorwerp positief of negatief geladen is.



Opgave 9

- a Als er een negatief geladen voorwerp in de buurt van de knop wordt gehouden, zullen er elektronen vanuit de knop, door de stang naar de blaadjes geduwd worden. (Door een positief geladen voorwerp in de buurt van een ongeladen elektroscop te houden, gebeurt precies het omgekeerde.) Hierdoor krijgen de aluminium blaadjes een lading, gelijk aan die van het voorwerp, en stoten ze elkaar af.
- b Als je het geladen voorwerp weer weghaalt, zullen de elektronen zich weer gelijkmatig verdelen over de knop, de stang en de blaadjes en is alles weer neutraal geladen. De blaadjes staan dan niet meer van elkaar af.

Opgave 10

Eigen antwoord.

Opgave 11

- a De bolletjes hebben beide een positieve lading, dus ze stoten elkaar af.
- b $F_{el} = f \cdot \frac{q \cdot Q}{r^2} = 8,988 \cdot 10^9 \times \frac{3,5 \cdot 10^{-6} \times 7,0 \cdot 10^{-6}}{0,50^2} = 0,88 \text{ N}$
- c De elektrische kracht is omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand tussen de bolletjes, dus als de afstand $10 \times$ zo groot is, is de elektrische kracht $100 \times$ zo klein.
- d De elektrische kracht is evenredig met de lading van elk bolletje, dus als de lading van elk bolletje $10 \times$ zo groot is, is de elektrische kracht $100 \times$ zo groot.

Opgave 12

- a Een naar links gericht elektrisch veld oefent op een positieve lading een kracht naar links uit en op een negatieve lading een kracht naar rechts. Het veld is dus naar links gericht.
- b $\vec{F}_{el} = q \cdot \vec{E}$ geeft voor de elektrische veldsterkte $E = \frac{F_{el}}{q} = \frac{7,7 \cdot 10^{-15}}{1,60 \cdot 10^{-19}} = 4,8 \cdot 10^4 \text{ N/C}$.
- c $F = m_e \cdot a \rightarrow a = \frac{F}{m_e} = \frac{7,7 \cdot 10^{-15}}{9,11 \cdot 10^{-31}} = 8,5 \cdot 10^{15} \text{ m/s}^2$

Opgave 13

- a Het veldlijnenpatroon is symmetrisch: rondom Q_1 is het patroon hetzelfde als rondom Q_2 (even ver uit elkaar en de richtingen zijn in spiegelbeeld), dus zijn de ladingen even groot. Dat de veldsterkte op de middelloodlijn tussen de bollen overall horizontaal gericht is, geeft ook aan dat beide ladingen even groot zijn.
- b De ladingen trekken elkaar aan. De elektrische kracht op Q_1 werkt naar rechts en de elektrische kracht op Q_2 werkt naar links.
- c $F_{el} = f \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$ waarbij Q_1 en Q_2 even groot zijn. Dit geeft: $F_{el} = f \cdot \frac{Q^2}{r^2}$.
 $r = Q \cdot \sqrt{\frac{f}{F_{el}}} = 2,0 \cdot 10^{-6} \times \sqrt{\frac{8,988 \cdot 10^9}{8,3 \cdot 10^{-2}}} = 0,66 \text{ m}$
- d $\vec{F}_{el} = q \cdot \vec{E}$ geeft voor de elektrische veldsterkte $E = \frac{F_{el}}{q} = \frac{8,3 \cdot 10^{-2}}{2,0 \cdot 10^{-6}} = 4,2 \cdot 10^4 \text{ N/C}$.

Opgave 14

- a De elektronen stoten elkaar af en gaan dus zo ver mogelijk uit elkaar zitten. Hierdoor wordt de lading homogeen verdeeld over het oppervlak van de bol.
- b De totale lading van de bol bestaat uit enorm veel elektronen die homogeen verdeeld zijn over de bol. De negatieve lading waardoor een enkel elektron wordt afgestoten, kun je dus geconcentreerd denken in het middelpunt van de bol. Elk enkel elektron ondervindt dus een afstotende kracht vanuit het middelpunt naar buiten, dus radiaal gericht.
- c $F_{el} = f \cdot \frac{q \cdot Q}{r^2} = 8,988 \cdot 10^9 \times \frac{(-1,60 \cdot 10^{-19}) \times (-4,5 \cdot 10^{-6})}{0,085^2} = 9,0 \cdot 10^{-13} \text{ N}$
- d $E = \frac{F_{el}}{q} = \frac{9,0 \cdot 10^{-13}}{1,60 \cdot 10^{-19}} = 5,6 \cdot 10^6 \text{ N/C}$



Opgave 15

- a $F_{el} = f \cdot \frac{q \cdot Q}{r^2}$ geeft met $\vec{F}_{el} = q \cdot \vec{E}$ dat $E = \frac{F_{el}}{q} = f \cdot \frac{Q}{r^2}$.
- b Ja, deze formule geldt ook op grotere afstand van de bol.

Opgave 16

- a $F_{el} = f \cdot \frac{q \cdot Q}{r^2}$ waarbij de ladingen q en Q allebei even groot zijn, dus

$$F_{el} = f \cdot \frac{q^2}{r^2} \rightarrow q = r \cdot \sqrt{\frac{F_{el}}{f}} = 0,20 \times \sqrt{\frac{5,0}{8,988 \cdot 10^9}} = 4,7 \cdot 10^{-6} \text{ C} = 4,7 \text{ } \mu\text{C}$$

- b Het elektron bevindt zich op een afstand van 10 cm van beide bollen. De grootte van de elektrische kracht van één bolletje op een afstand van 10 cm is:

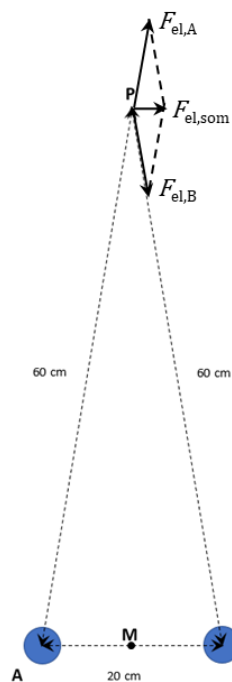
$$F_{el} = f \cdot \frac{q \cdot Q}{r^2} = 8,988 \cdot 10^9 \times \frac{1,60 \cdot 10^{-19} \times 4,7 \cdot 10^{-6}}{0,10^2} = 6,76 \cdot 10^{-13} \text{ N}$$

Dus is de grootte van de elektrische kracht van beide bolletjes samen:

$$F_{el} = 2 \times 6,76 \cdot 10^{-13} = 1,4 \cdot 10^{-12} \text{ N}$$

Beide bollen oefenen een aantrekkende kracht op elkaar uit en bol A heeft een negatieve lading, dus heeft bol B een positieve lading. De richting van de resulterende kracht op het elektron is dus naar rechts.

- c $E = \frac{F_{el}}{q} = \frac{1,4 \cdot 10^{-12}}{1,60 \cdot 10^{-19}} = 8,4 \cdot 10^6 \text{ N/C}$
- d Zie figuur: het elektron wordt afgestoten door A en aangetrokken door B.



De verticale componenten van $F_{el,A}$ en $F_{el,B}$ heffen elkaar op.

$$F_{el,A} = F_{el,B} = f \cdot \frac{q \cdot Q}{r^2} = 8,988 \cdot 10^9 \times \frac{1,60 \cdot 10^{-19} \times 4,7 \cdot 10^{-6}}{0,60^2} = 1,88 \cdot 10^{-14} \text{ N}$$

Uit de geometrie van de tekening volgt dat $F_{el,som} \propto 3 \times \left(= \frac{60 \text{ cm}}{20 \text{ cm}} \right)$ zo klein is als $F_{el,A}$ en $F_{el,B}$.

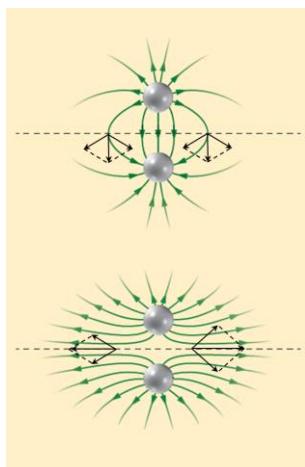
$$F_{el,som} = \frac{F_{el,A}}{3} = \frac{1,88 \cdot 10^{-14}}{3} = 6,3 \cdot 10^{-15} \text{ N}$$

- e $E = \frac{F_{el}}{q} = \frac{6,3 \cdot 10^{-15}}{1,60 \cdot 10^{-19}} = 3,9 \cdot 10^4 \text{ N/C}$



Opgave 17

- a De veldlijnenpatronen zijn symmetrisch in de getekende middelloodlijnen, dus moeten beide ladingen even groot zijn.
- b Midden tussen de twee positief geladen voorwerpen is de elektrische veldsterkte van de ene lading precies even groot maar tegengesteld gericht aan de elektrische veldsterkte van de andere lading, zodat de som nul is en dus de netto elektrische veldsterkte nul is. Op deze middelloodlijn zijn dan ook geen veldlijnen getekend.
- c Dat de elektrische veldsterkte een vectorgrootheid is betekent dat de elektrische veldsterkte een grootte én een richting heeft. Samenstellen van verschillende veldsterktes tot de netto veldsterkte doe je dan ook met een parallelogramconstructie.
- d Zie figuur. Het veld van elke bol is radiaal gericht en daardoor weet je de richting van die veldlijnen.



- e Zie bovenstaande figuur.

Opgave 18

- a $F_{\text{el}} = f \cdot \frac{q \cdot Q}{r^2} = 8,988 \cdot 10^9 \times \frac{2,6 \cdot 10^{-14} \times 4,8 \cdot 10^{-8}}{0,50^2} = 4,5 \cdot 10^{-11} \text{ N}$
- b We kunnen de veldsterkte van de grotere bol ter plaatse van de kleine lading berekenen met:

$$E = \frac{F_{\text{el}}}{q} = \frac{4,5 \cdot 10^{-11}}{2,6 \cdot 10^{-14}} = 1,7 \cdot 10^3 \text{ N/C}$$
- c Actie = (-)reactie dus de kracht van de kleine lading op de grotere bol is ook $4,5 \cdot 10^{-11} \text{ N}$.
- d De afstand tot (het midden van) de grotere bol is $5 \times$ zo klein en het verband tussen de elektrische veldsterkte en de afstand is omgekeerd kwadratisch met deze afstand, dus zal de veldsterkte $25 \times$ zo groot zijn:

$$E = 25 \times 1,7 \cdot 10^3 = 4,3 \cdot 10^4 \text{ N/C}$$

Opgave 19

- a In een neutraal griesmeelkorreltje worden elektronen door het elektrisch veld naar één kant geduwd, tegen de richting van de veldlijn in. De andere kant wordt daardoor een beetje positief en langs de veldlijn geduwd. Verschillende griesmeelkorrels trekken elkaar daardoor aan, gericht langs de veldlijnen.
- b Op de middelloodlijn van de twee voorwerpen zie je dat de veldlijnen horizontaal lopen (de griesmeelkorreltjes vormen slierten loodrecht op deze middelloodlijn). Dit betekent dat er een veldlijn rechtstreeks van het ene voorwerp naar het andere voorwerp loopt en dat kan alleen als de ladingen tegengesteld zijn (vergelijk met het bovenste plaatje van figuur 22).
- c Binnen de koperen ring vormen de korreltjes geen slierten maar liggen gewoon los door elkaar. Dit betekent dat er binnen de koperen ring geen elektrisch veld en dus geen lading is.
- d Nee, je kunt niet zien welk voorwerp negatief geladen is, omdat het niet duidelijk is welke kant van een griesmeelkorreltje positief is en welke kant negatief.



Opgave 20

- a De griesmeelkorreltjes vormen slierten loodrecht op de twee stangetjes, dus de elektrische veldlijnen lopen rechtstreeks van het ene naar het andere stangetje. Dat kan alleen als de ladingen tegengesteld zijn (vergelijk met figuur 11).
- b De griesmeelkorreltjes liggen in evenwijdige lijnen met ongeveer gelijke afstanden tussen de stangetjes, dus lopen de elektrische veldlijnen evenwijdig en zitten ze even ver van elkaar. Dat betekent dat het veld homogeen is.
- c $E = \frac{F_{el}}{q} = \frac{3,5 \cdot 10^{-14}}{1,60 \cdot 10^{-19}} = 2,2 \cdot 10^5 \text{ N/C}$. De elektrische kracht op het elektron is omhoog gericht en het elektron heeft een negatieve lading, dus is de elektrische veldsterkte omlaag gericht.

Opgave 21

- a $F_{el} = q \cdot E = 1,60 \cdot 10^{-19} \times 3,0 \cdot 10^6 = 4,8 \cdot 10^{-13} \text{ N}$
- b $F = m_e \cdot a \rightarrow a = \frac{F}{m_e} = \frac{4,8 \cdot 10^{-13}}{9,11 \cdot 10^{-31}} = 5,3 \cdot 10^{17} \text{ m/s}^2$
- c De massa van een ion (geladen atoom) is vele malen groter dan de massa van een elektron, dus zal bij gelijke kracht de versnelling veel kleiner zijn.
- d Door de elektrische influentie krijgt het metalen voorwerp een positief en een negatief uiteinde. Dichter bij de bol is de veldsterkte van de bol groter en daardoor ook de influentie. Het dichtstbijzijnde uiteinde van het metalen voorwerp is dan nog meer geladen en draagt dus meer bij aan de veldsterkte tussen de bol en het metalen voorwerp.
- e De man bevindt zich helemaal binnen de geladen kooi en binnen een geleider is er geen elektrisch veld, dus ben je daar veilig (zie ook opgave 19c).

12.3 DEELTJES ELEKTRISCH VERSNELLEN

Opgave 22

- a Waar
- b Waar
- c Waar
- d Waar
- e Niet waar: Een proton ondervindt in een elektrisch veld een kleinere versnelling dan een elektron (doordat zijn massa groter is).

Opgave 23

- a Door het verhitten van de kathode met een gloeispiraal komen er elektronen los uit het metaal van de kathode, die vervolgens worden aangetrokken door de positieve anode.
- b De kathode is de negatieve elektrode.
- c Als de röntgenbuis niet vacuüm is, zullen de elektronen telkens afgeremd en verstrooid worden door botsingen met de luchtmoleculen.
- d Als de versnelspanning groter is, zal de kinetische energie van de elektronen vóór het treffen groter zijn. Bij het botsen wordt dan per elektron meer energie omgezet in stralingsenergie. De fotonenergie van de röntgenstraling zal dan groter zijn.
- e 'Harde' röntgenstraling heeft meer fotonenergie dan 'zachte' röntgenstraling.
- f 'Harde' röntgenstraling wordt gebruikt om tumoren te vernietigen bij kankerpatiënten.



Opgave 24

- a De kinetische energie van de elektronen wordt omgezet in elektromagnetische straling en warmte. De elektromagnetische straling die in een tl-buis ontstaat is uv-straling (dat in de emulsie aan de binnenkant van het glas weer wordt omgezet in onder andere zichtbaar licht). In een röntgenbuis ontstaat röntgenstraling.
- b De fotonenergie van zichtbaar licht is veel kleiner dan van röntgenstraling. Die grote fotonenergie heeft de röntgenstraling te danken aan de grote snelheid die de elektronen hebben bij de botsing tegen het trefplaatje.
- c De versnellingsspanning in een röntgenbuis is veel hoger dan in een tl-buis. Bovendien botsen de elektronen in een tl-buis voortdurend tegen de gasmoleculen en dan raken ze telkens weer een groot deel van de kinetische energie kwijt. Een röntgenbuis is vacuüm dus gaat er onderweg naar de anode (het trefplaatje) geen energie van de elektronen verloren aan botsingen.

Opgave 25

- a De 'truc' van de lineaire versneller is dat de wisselspanning 'verkeerd om' is gedurende de tijd dat de deeltjes zich binnen een metalen versnelbuis bevinden. De deeltjes kunnen dan niet worden afgeremd door een verkeerd gerichte spanning, doordat er binnen een geleider geen elektrisch veld is. In de perioden dat de deeltjes buiten en tussen twee versnelbuizen bewegen, heeft de versnellingsspanning de goede richting.
- b De snelheid van de deeltjes blijft binnen de versnelbuis constant en tussen de buizen worden de deeltjes steeds versneld. Elke volgende buis is langer dan de vorige, zodat de steeds sneller bewegende deeltjes toch even lang in elke buis verblijven.
- c Er zijn 7 buizen dus de protonen worden 6 keer versneld tussen de buizen. De totale versnellingsspanning is:
 $6 \times 250 \text{ kV} = 1,5 \cdot 10^3 \text{ kV} = 1,5 \text{ MV}.$

Opgave 26

- a In de draad is de richting van het elektrisch veld van de pluspool van de batterij naar de minpool.
- b De kracht op de elektronen in de draad is in omgekeerde richting: van de minpool van de batterij naar de pluspool.
- c De door het elektrisch veld versnelde elektronen botsen veel tegen de atomen (eigenlijk ionen) van de metalen draad en verliezen daarbij telkens snelheid. Daarbij ontstaat warmte in de draad.

Opgave 27

- a Als het elektron het elektrische veld 'oversteekt', wordt de elektrische energie omgezet in kinetische energie. Het elektron heeft dus de meeste elektrische energie bij de kathode want daar 'begint' het elektron aan zijn 'oversteek'.
- b Als de elektrische veldsterkte twee keer zo klein is, is de elektrische kracht ook twee keer zo klein.
- c Arbeid = kracht $\times$ afstand. Als de kracht twee keer zo groot wordt en de afstand twee keer zo klein, blijft de arbeid gelijk.

Opgave 28

Eigen antwoord.

Opgave 29

$$\Delta E_k = -\Delta E_{el} = -q \cdot U \rightarrow \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = -q \cdot U \rightarrow U = -\frac{1}{2} \cdot \frac{m \cdot v^2}{q} = \frac{1}{2} \times \frac{9,11 \cdot 10^{-31} \times (5,9 \cdot 10^6)^2}{1,60 \cdot 10^{-19}} = 99 \text{ V}$$

Opgave 30

- a Om een alfadeeltje te versnellen is een negatieve versnellingsspanning nodig:
 $U = -50 \text{ kV} \rightarrow \Delta E_k = -\Delta E_{el} = -5 \cdot q \cdot U = 5 \times 2e \times 50 \cdot 10^3 \text{ V} = 5,0 \cdot 10^5 \text{ eV}$
of $\Delta E_k = 1,6 \cdot 10^{-19} \times 5,0 \cdot 10^5 = 8,0 \cdot 10^{-14} \text{ J}$
- b $\Delta E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{\max}^2 \rightarrow v_{\max} = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta E_k}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 8,0 \cdot 10^{-14}}{6,645 \cdot 10^{-27}}} = 4,9 \cdot 10^6 \text{ m/s}$



Opgave 31

- a De energie van de protonen in de versneller kan ingesteld worden door de spanning in de versneller groter of kleiner te maken.
- b Bij het binnendringen verliezen de protonen energie, doordat ze voortdurend tegen atoomkernen botsen. Bij een grotere versnelspanning is de energie van de protonen groter en zullen ze meer botsingen kunnen 'overleven'. De indringdiepte van de protonen zal dus groter zijn bij een grotere versnelspanning.

Opgave 32

- a $I = 0,40 \text{ A} = 0,40 \text{ C/s}$ en de lading van één elektron is $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, dus stromen er

$$\frac{I}{Q} = \frac{0,40 \text{ C/s}}{1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C/elektron}} = 2,5 \cdot 10^{18} \text{ elektronen/s door de draad.}$$
- b De energie die één elektron afgeeft is $\Delta E_{\text{el}} = q \cdot U = 1e \times 6,0 \text{ V} = 6,0 \text{ eV}$ of $1,60 \cdot 10^{-19} \times 6,0 = 9,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.
- c De energie die per seconde in het lampje wordt afgegeven door de elektronen is als volgt te berekenen:

$$\frac{2,5 \cdot 10^{18} \text{ elektronen}}{\text{s}} \times \frac{9,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{\text{elektron}} = 2,4 \text{ J/s.}$$

Opgave 33

- a De energie die de elektronen krijgen bij het versnellen is $\Delta E_{\text{k}} = -q \cdot U = 1,60 \cdot 10^{-19} \times 3,0 \cdot 10^3 = 4,8 \cdot 10^{-16} \text{ J}$ en de kinetische energie van de elektronen was $E_{\text{k}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \times 9,11 \cdot 10^{-31} \times (400)^2 = 7,29 \cdot 10^{-26} \text{ J}$.
De kinetische energie van de elektronen is zo'n $10^{10} \times$ zo klein als de elektrische energie (en dus te verwaarlozen).
- b $\Delta E_{\text{k}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta E_{\text{k}}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 4,8 \cdot 10^{-16}}{9,11 \cdot 10^{-31}}} = 3,2 \cdot 10^7 \text{ m/s}$

Opgave 34

- a $\Delta E_{\text{k}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta E_{\text{k}}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 1,602 \cdot 10^{-19} \times 220 \cdot 10^6}{1,673 \cdot 10^{-27}}} = 2,05 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
- b Deze snelheid ligt in de buurt van de lichtsnelheid. Dan gaat de relativiteitstheorie gelden en wordt de massa groter.
- c Gebruik dat $v = 10\% \cdot c = 0,10 \times 3,00 \cdot 10^8 = 3,00 \cdot 10^7 \text{ m/s}$.
 $\Delta E_{\text{k}} = \frac{1}{2} \times 1,67 \cdot 10^{-27} \times (3,00 \cdot 10^7)^2 = 7,52 \cdot 10^{-13} \text{ J}$ dus $\Delta E_{\text{el}} = 7,52 \cdot 10^{-13} \text{ J}$
 De versnelspanning is dan $U = \frac{\Delta E_{\text{el}}}{q} = \frac{7,52 \cdot 10^{-13}}{1,60 \cdot 10^{-19}} = 4,7 \cdot 10^6 \text{ V} = 4,7 \text{ MV}$.
- d Bij het bereiken van 10% van de lichtsnelheid is de kinetische energie van een elektron $1800 \times$ zo klein als van een proton. De elektrische energie en de versnelspanning zullen dus ook $1800 \times$ zo klein zijn:

$$U = \frac{4,7 \cdot 10^6}{1800} = 2,6 \cdot 10^3 \text{ V} = 2,6 \text{ kV}$$

Opgave 35

- a Als de spanning drie keer zo groot wordt, wordt de energieomzetting van elektrische energie naar kinetische energie drie keer zo groot. De afstand blijft gelijk, dus wordt de elektrische kracht drie keer zo groot en dus ook de elektrische veldsterkte.
- b Als de spanning gelijk blijft en ook de lading van het elektron uiteraard, wordt er evenveel elektrische energie omgezet in bewegingsenergie. Als de afstand twee keer zo klein is, is de kracht op het elektron twee keer zo groot.
- c Als bij dezelfde spanning de afstand twee keer zo klein is, is de kracht twee keer zo groot en ook de elektrische veldsterkte (want de lading van het elektron is gelijk). Dus is de elektrische veldsterkte omgekeerd evenredig met de afstand.



Opgave 36

- a** Gebruik $E = \frac{U}{d}$ in $\vec{F}_{el} = q \cdot \vec{E} \rightarrow F_{el} = q \cdot \frac{U}{d}$ dus voor de arbeid van de elektrische kracht over een afstand d geldt dan: $W = F \cdot s = F_{el} \cdot d = q \cdot \frac{U}{d} \cdot d = q \cdot U$.
- b** $U = \frac{W}{q}$ dus de elektrische spanning tussen twee elektroden is de hoeveelheid omgezette elektrische energie per hoeveelheid lading die van de ene elektrode naar de andere elektrode gaat.
- c** $1 \text{ V} = 1 \text{ J/C}$
- d** Als lading en veldsterkte bekend zijn, is de elektrische kracht te bepalen en (bij bekende massa) ook de versnelling. Dus het klopt dat de veldsterkte de versnelling bepaalt. Uit de bij **a** afgeleide vergelijking blijkt dat als lading en spanning bekend zijn, de arbeid bepaald kan worden en die is gelijk aan de kinetische energie van het deeltje na het doorlopen van deze spanning. Uit de kinetische energie valt vervolgens de snelheid te berekenen (bij bekende massa). Het klopt dus ook dat de spanning de eindsnelheid bepaalt.

Opgave 37

- a** Als je C/s vermenigvuldigt met J/C krijg je Watt: $\frac{\text{C}}{\text{s}} \cdot \frac{\text{J}}{\text{C}} = \frac{\text{J}}{\text{s}} = \text{W}$.
- b** Watt is de eenheid van de grootte vermogen.
- c** $U \cdot I = \frac{\Delta E}{Q} \cdot \frac{Q}{t} = \frac{\Delta E}{t} = P$
- d** $I = \frac{Q}{t}$ invullen geeft $P = U \cdot I = \frac{U \cdot Q}{t}$.
Dit weer invullen in $E = P \cdot t$ geeft: $E = P \cdot t = \frac{U \cdot Q}{t} \cdot t = U \cdot Q = q \cdot U$ (zowel q als Q staan voor hoeveelheid lading in coulomb).

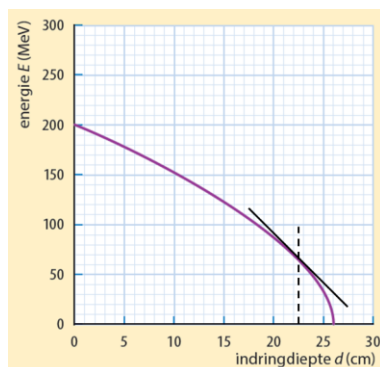
Opgave 38

- a** $\Delta E_k = -\Delta E_{el} = -q \cdot U = 1e \times 78,5 \cdot 10^3 = 78,5 \cdot 10^3 \text{ eV}$ of
 $\Delta E_k = -\Delta E_{el} = -q \cdot U = 1,602 \cdot 10^{-19} \times 78,5 \cdot 10^3 = 1,26 \cdot 10^{-14} \text{ J}$.
- b** $E_{\text{tot}} = 2,38 \cdot 10^{18} \cdot \Delta E_k = 2,38 \cdot 10^{18} \times 1,26 \cdot 10^{-14} = 2,99 \cdot 10^4 \text{ J per seconde}$.
- c** Er stromen $2,38 \cdot 10^{18}$ elektronen per seconde door de buis en die hebben elk een lading van $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, dus is de stroomsterkte $I = 2,38 \cdot 10^{18} \times 1,602 \cdot 10^{-19} = 0,381 \text{ A} = 381 \text{ mA}$.
Het vermogen is $P = U \cdot I = 78,5 \cdot 10^3 \times 381 \cdot 10^{-3} = 2,99 \cdot 10^4 \text{ W}$
- d** Er wordt $100\% - 98,2\% = 1,8\%$ van de kinetische energie van de elektronen omgezet in röntgenstraling. Het stralingsvermogen van deze röntgenbuis is dus:
 $P_{\text{str}} = 0,018 \times 2,99 \cdot 10^4 = 5,4 \cdot 10^2 \text{ W}$.
- e** Het grootste gedeelte van de energie van de elektronen wordt omgezet in warmte, dus ontstaat er veel warmte in de anode, die daarom gekoeld moet worden.

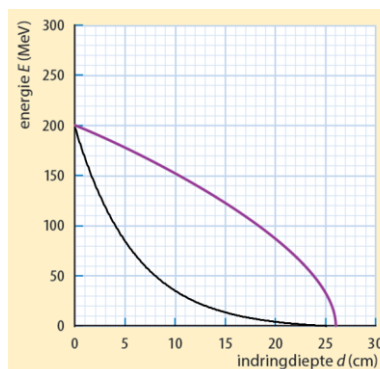


Opgave 39

- a De energieafname per centimeter (de 'stopping power') is de helling van de raaklijn aan de grafiek. Aan het begin loopt de grafiek vrij vlak, dus is de helling van de raaklijn veel kleiner dan aan het eind van de baan van de protonen.
- b Zoek in de grafiek het punt waar de helling gelijk is aan 10 MeV/cm (dat is in dit diagram een lijn onder een hoek van -45°). Dat is bij 22 à 23 cm (zie figuur).



- c Voor gammastraling geldt dat na elke halveringsdikte nog de helft van de staling over is, dus de energie van een bundel gammastraling neemt exponentieel af in het weefsel, zie de zwarte lijn in de figuur.



De 'stopping power' van gammastraling is dus het grootst aan het oppervlak van het weefsel in plaats van aan het eind van de baan. Bij protonenbestraling komt de meeste energie in de tumor terecht (om deze te vernietigen).

Opgave 40

- a $\Delta E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = -q \cdot U$ en de massa van een Xenon-atoom is
 $131 \text{ u} = 131 \times 1,66 \cdot 10^{-27} = 2,17 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$, dus $U = -\frac{1}{2} \cdot \frac{m \cdot v^2}{q} = -\frac{1}{2} \times \frac{2,17 \cdot 10^{-25} \times (30 \cdot 10^3)^2}{1,60 \cdot 10^{-19}} = -6,1 \cdot 10^2 \text{ V}$
 (Voor het versnellen van een positief ion is een negatieve versnelspanning nodig.)
- b $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{30 \cdot 10^3}{8,0 \cdot 10^{-6}} = 3,75 \cdot 10^9 \text{ m/s}^2 \rightarrow F_{\text{el}} = m \cdot a = 2,17 \cdot 10^{-25} \times 3,75 \cdot 10^9 = 8,15 \cdot 10^{-16} \text{ N} \rightarrow$
 $E = \frac{F_{\text{el}}}{q} = \frac{8,15 \cdot 10^{-16}}{1,60 \cdot 10^{-19}} = 5,1 \cdot 10^3 \text{ N/C}$
- c 15 maanden is 1,25 jaar dus $a_{\text{sonde}} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{3,6 \cdot 10^3}{1,25 \times 365 \times 24 \times 3600} = 9,13 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ en
 $F_{\text{stuw}} = m_{\text{sonde}} \cdot a_{\text{sonde}} \rightarrow m_{\text{sonde}} = \frac{F_{\text{stuw}}}{a_{\text{sonde}}} = \frac{92 \cdot 10^{-3}}{9,13 \cdot 10^{-5}} = 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg}$



12.4 DEELTJES MAGNETISCH AFBUIGEN

Opgave 41

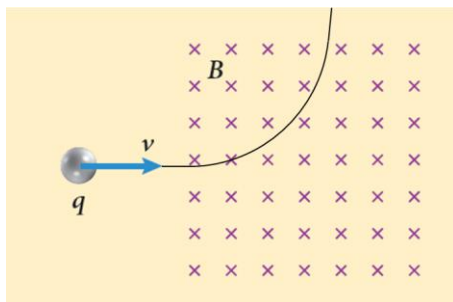
- a Niet waar: In een metalen stroomdraad werkt de lorentzkracht op de bewegende elektronen in de draad.
- b Waar
- c Waar
- d Niet waar: In een homogeen magnetisch veld kan een elektron alleen met een constante snelheid in een rechte lijn bewegen als het elektron in de richting van het magnetisch veld beweegt (zodat het elektron niet wordt afgebogen door het magnetisch veld).

Opgave 42

- a In een elektrisch veld kan de elektrische kracht in de bewegingsrichting van de elektronen werken en zo de elektronen versnellen. Maar in een magnetisch veld werkt de lorentzkracht altijd loodrecht op de bewegingsrichting van het elektron en kan daardoor de grootte van de snelheid van het elektron niet veranderen.
- b Als de richting van (een component van) het elektrisch veld loodrecht op de elektronenbundel staat, zal het elektrisch veld de elektronenbundel afbuigen. Het zal echter geen cirkelvormige baan zijn zoals bij een magnetisch veld, omdat de richting van de elektrische kracht niet meedraait met de elektronenbundel.

Opgave 43

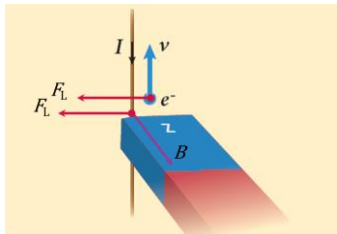
- a De richting van de lorentzkracht is steeds loodrecht op de snelheid van het deeltje, dus verandert de grootte van de snelheid van het deeltje niet en daarmee verandert de grootte van de lorentzkracht ook niet. Maar de richting van de snelheid van het deeltje verandert wel onder invloed van de lorentzkracht en daarmee verandert ook de richting van de lorentzkracht zelf.
- b De richting van de lorentzkracht is steeds loodrecht op de richting van de snelheid van het deeltje dus werkt de lorentzkracht als middelpuntzoekende kracht voor het deeltje en beschrijft het deeltje een cirkelbaan.
- c De richting van de stroom is naar rechts en de richting van het magneetveld het papier in, dus zal het deeltje naar boven toe worden afgebogen volgens een cirkelvormige baan. Eenmaal buiten het magnetisch veld vervolgt het deeltje zijn weg in een rechte lijn, zie figuur.





Opgave 44

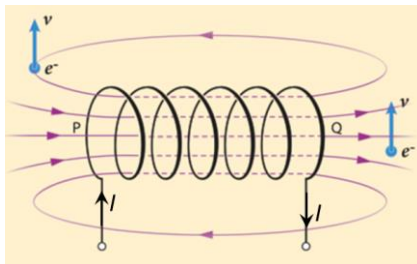
- a Elektronen bewegen altijd in tegenovergestelde richting als de stroom, dus als de stroomrichting omlaag is bewegen de elektronen omhoog.
- b Het magnetisch veld is naar de zuidpool toe, zie figuur.



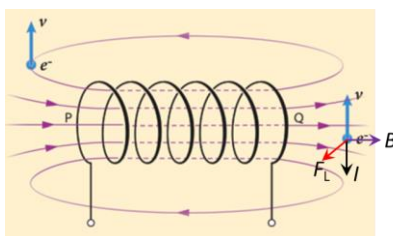
- c De Lorentzkracht is naar links, zie figuur.
- d Het negatief geladen elektron beweegt tegen de richting van de stroom in, dus is de 'stroomrichting' ook nu naar beneden en de richting van de Lorentzkracht hetzelfde, zie figuur.

Opgave 45

- a Het magnetisch veld is in de spoel naar rechts gericht, dus is met de rechterhandregel te bepalen dat de richting van de stroom bij de bovenkant van de spoel naar voren is gericht. In de spoel loopt de stroom dus van P naar Q, zie figuur.



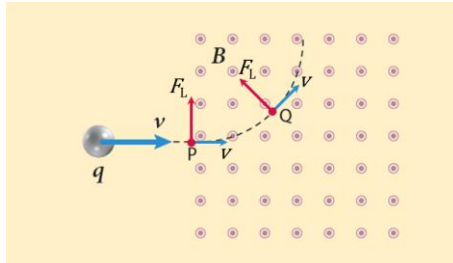
- b Op het elektron links werkt geen Lorentzkracht, want hier is de richting van het magneetveld van boven naar beneden, terwijl het elektron recht naar boven beweegt. Richting van magneetveld en richting van de snelheid vallen hier dus samen.
- c Het elektron rechts beweegt naar boven dus is de richting van de 'stroom' naar beneden. De richting van het magneetveld is hier naar rechts en dus wijst de Lorentzkracht hier het papier uit, zie figuur.



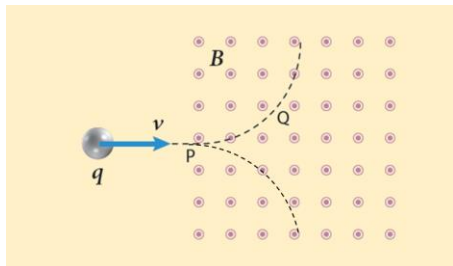


Opgave 46

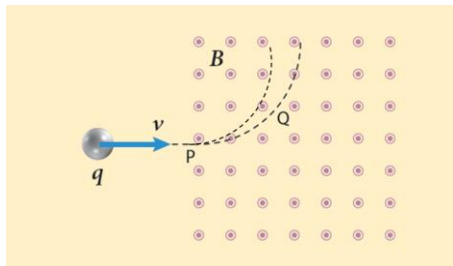
a Zie figuur.



- b De lorentzkracht is in punt P naar boven en het magneetveld is het papier uit gericht, dus is de richting van de 'stroom' naar links gericht. Het deeltje beweegt naar rechts en dat betekent dat het een negatief deeltje is.
- c Als het deeltje een tegenovergestelde lading heeft wordt het naar onderen afgebogen, zie figuur.



- d De massa is kleiner en de lorentzkracht is even groot. Het lichtere deeltje wordt sterker afgebogen dus is de straal van de baan kleiner, zie figuur.



Opgave 47

- a Als het veld niet homogeen is, zal de lorentzkracht niet overal even groot zijn. De lorentzkracht werkt als middelpuntzoekende kracht maar als deze niet constant is, zal de straal van de cirkel niet constant zijn. De deeltjes zullen dan dus geen cirkelbaan beschrijven.
- b De richting van de lorentzkracht is steeds loodrecht gericht op het magneetveld en loodrecht op de snelheid. Zo kan de lorentzkracht wel de richting van de snelheid veranderen maar niet de grootte.

Opgave 48

- a Het magneetveld van de LHC is niet over de hele baan aanwezig, dus wordt niet overal een cirkelbaan beschreven.
- b De deeltjes zullen op sommige gedeelten rechtuit gaan (en daar ook versneld worden door een elektrisch veld). Op de plaatsen waar de magneten staan, worden ze volgens een cirkelbaan afgebogen.



Opgave 49

- a $F_L = B \cdot I \cdot l$
- b De lorentzkracht zal afhangen van de sterkte van het magnetisch veld, de grootte van de lading van het deeltje en de snelheid van het deeltje.
- c $F_L = B \cdot q \cdot v$

Opgave 50

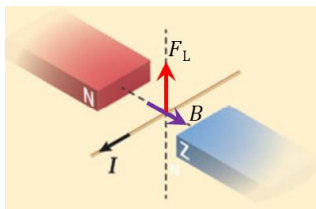
Eigen antwoord.

Opgave 51

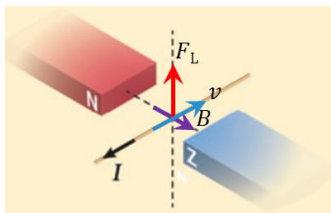
- a De lorentzkracht is op beide deeltjes even groot, want de lading is even groot en de snelheid ook.
- b De massa van het proton is veel groter dan de massa van het elektron, dus is de invloed van de lorentzkracht op de beweging van het proton veel kleiner dan op de beweging van het elektron.
- c Het proton draait de andere kant op als het elektron en de straal van de baan van het proton is veel groter dan de straal van de baan van het elektron.

Opgave 52

- a De richting van het magnetisch veld is van noord naar zuid, dus schuin naar rechts voor. Samen met de stroomrichting volgt uit de rechterhandregel dat de lorentzkracht omhoog gericht is, zie figuur.



- b De vrije elektronen bewegen in de tegenovergestelde richting van de stroom, maar de lorentzkracht is weer omhoog gericht, zie figuur.



- c $F_L = B \cdot I \cdot l \rightarrow l = \frac{F_L}{B \cdot I} = \frac{14 \cdot 10^{-3}}{40 \cdot 10^{-3} \times 6,8} = 0,051 \text{ m} = 5,1 \text{ cm}$
- d $F_L = B \cdot q \cdot v \rightarrow v = \frac{F_L}{B \cdot q} = \frac{1,1 \cdot 10^{-23}}{40 \cdot 10^{-3} \times 1,60 \cdot 10^{-19}} = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$

Opgave 53

- a Als het proton één omloop heeft doorlopen, is het twee keer versneld:

$$\Delta E_k = 2 \cdot q \cdot U \rightarrow \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = 2 \cdot q \cdot U \rightarrow v = \sqrt{\frac{4 \cdot q \cdot U}{m}} = \sqrt{\frac{4 \times 1,60 \cdot 10^{-19} \times 50 \cdot 10^3}{1,67 \cdot 10^{-27}}} = 4,4 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

- b $F_{\text{mpz}} = \frac{m \cdot v^2}{r} = \frac{1,67 \cdot 10^{-27} \times (2,5 \cdot 10^7)^2}{0,48} = 2,17 \cdot 10^{-12} \text{ N}$

$$F_L = F_{\text{mpz}} \text{ geeft } B \cdot q \cdot v = 2,17 \cdot 10^{-12} \rightarrow B = \frac{2,17 \cdot 10^{-12}}{2,5 \cdot 10^7 \times 1,60 \cdot 10^{-19}} = 0,54 \text{ T}$$

- c $v = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{T} \rightarrow T = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{v} = \frac{2 \times \pi \times 0,48}{2,5 \cdot 10^7} = 1,2 \cdot 10^{-7} \text{ s}$. De omlooptijd is $1,2 \cdot 10^{-7} \text{ s}$, dus een halve cirkelbaan wordt afgelegd in $\frac{1}{2} \times 1,2 \cdot 10^{-7} = 6,0 \cdot 10^{-8} \text{ s}$.



- d De snelheid van het deeltje in de halve cirkelbaan volgt uit $v = \frac{\pi \cdot r}{\Delta t} \rightarrow \Delta t = \pi \cdot \frac{r}{v}$ en dat betekent dat de tijd die het deeltje nodig heeft voor een halve cirkelbaan evenredig is met $\frac{r}{v}$. Uit $F_L = F_{\text{mpz}}$ volgt dat $B \cdot q \cdot v = \frac{m \cdot v^2}{r}$, dus dat $\frac{r}{v} = \frac{m}{B \cdot q}$ en dus constant is. Dat betekent dat de tijd Δt die het deeltje voor een halve cirkelbaan nodig heeft steeds gelijk blijft.
- e $\Delta t = \pi \cdot \frac{r}{v}$ invullen van $\frac{r}{v} = \frac{m}{B \cdot q}$ geeft: $\Delta t = \pi \cdot \frac{m}{B \cdot q} = \frac{\pi \cdot m}{B \cdot q}$.

Opgave 54

- a In de perioden dat het proton in een halve doos een halve cirkelbaan beschrijft wordt de spanning omgekeerd, zodat de spanning tussen de dozen het proton steeds weer versnelt.
- b Voor het afbuigen geldt dat $F_L = F_{\text{mpz}} \rightarrow B \cdot q \cdot v = \frac{m \cdot v^2}{r}$ dus $r = \frac{m \cdot v}{B \cdot q}$.
- c Doordat het proton een steeds grotere snelheid krijgt, neemt de straal van de cirkelbaan steeds toe (B , q en m blijven constant).
- d Voor het versnellen geldt dat $\Delta E_k = \Delta E_{\text{el}}$ en de elektrische energie die de deeltjes er steeds bij krijgen is telkens hetzelfde doordat de lading gelijk is, dus is de toename van de kinetische energie voor de deuteriumkernen even groot als voor de protonen.
- e Bij gelijke kinetische energie $\left(\frac{1}{2} m \cdot v^2\right)$ is de snelheid van de deuteriumkernen kleiner, doordat hun massa groter is. Als hun massa $2 \times$ zo groot is, is hun snelheid $\sqrt{2}$ keer zo klein. Dus is $(m \cdot v)$ van de deuteriumkernen groter en volgens $r = \frac{m \cdot v}{B \cdot q}$ is de straal van de cirkelbaan van de deuteriumkernen groter dan van de protonen.
- f De maximale straal van de baan wordt bepaald door de afmetingen van het cyclotron, dus is de straal van de baan bij verlaten van het cyclotron voor protonen en deuteriumkernen even groot. Bij gelijke energie, dus na even veel versnellingen, is de straal van de baan van deuteriumkernen groter (zie antwoord bij e). Als de deuteriumkern het cyclotron verlaat, stopt zijn energietoename. Maar een proton gaat dan in hetzelfde cyclotron nog vaker rond en krijgt dus meer energie. Dus is de energie waarmee de deuteriumkernen het cyclotron verlaten kleiner dan van de protonen.

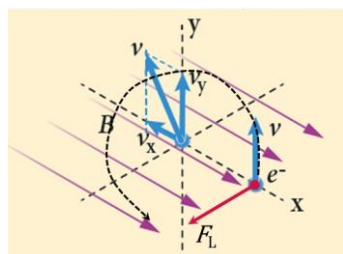
Opgave 55

- a Een alfadeeltje is een heliumkern en heeft een lading van $2e$. De straal van het cyclotron is $0,90$ m. De maximale snelheid is bereikt als de baanstraal van het deeltje $0,90$ m is geworden.
- $$F_L = F_{\text{mpz}} \rightarrow r = \frac{m \cdot v}{B \cdot q} \rightarrow v_{\text{max}} = \frac{B \cdot q \cdot r}{m} = \frac{0,78 \times 2 \times 1,60 \cdot 10^{-19} \times 0,90}{6,645 \cdot 10^{-27}} = 3,4 \cdot 10^7 \text{ m/s}$$
- b $E_{k,\text{max}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \times 6,645 \cdot 10^{-27} \times (3,4 \cdot 10^7)^2 = 3,8 \cdot 10^{-12} \text{ J}$ of:
- $$E_{k,\text{max}} = \frac{3,8 \cdot 10^{-12}}{1,60 \cdot 10^{-19}} = 2,4 \cdot 10^7 \text{ eV} = 24 \text{ MeV}$$
- c De lading van een proton is twee keer zo klein als de lading van een alfadeeltje, maar de massa is vier keer zo klein. De maximale straal is gelijk, dus zal de maximale snelheid $\left(v_{\text{max}} = \frac{B \cdot q \cdot r}{m}\right)$ van het proton twee keer zo groot zijn. De maximale kinetische energie van de protonen is dan even groot als van alfadeeltjes ($E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ met m vier keer zo klein en v^2 vier keer zo groot).



Opgave 56

- a Zie figuur.



- b Zie figuur.
 c Op v_x is de lorentzkracht nul, want de richting van het magneetveld is in de x-richting.
 d Er wordt in deze richting geen kracht uitgeoefend op het elektron, dus zal het elektron in deze richting met constante snelheid doorgaan. Het elektron voert dus een eenparige beweging uit.
 e In de andere richting voert het elektron een cirkelbeweging uit zoals geschetst bij b.
 f Het elektron voert een cirkelbeweging uit en verplaatst zich tegelijk loodrecht op het vlak van deze cirkel. Het resultaat is een spiraalvorm.

Opgave 57

- a De component van de snelheid loodrecht op het magneetveld wordt steeds afgebogen door de lorentzkracht, terwijl de component van de snelheid in de richting van de magnetische veldlijnen gelijk blijft. In die richting voeren de deeltjes een eenparige beweging uit. Samen vormen deze componenten dan een spiraalbeweging rondom de magnetische veldlijnen (zoals ook bij opgave 56 is beschreven).
 b Hoe dichter de deeltjes bij de aarde komen, hoe sterker het magneetveld van de aarde is, te zien aan de afnemende afstand tussen de veldlijnen, en dus hoe kleiner de straal van de spiraalbeweging die het deeltje uitvoert.
 c De geladen deeltjes 'volgen' de veldlijnen van het magnetisch veld. Die veldlijnen komen in de buurt van de Noordpool en de Zuidpool de atmosfeer binnen. Om het noorderlicht te kunnen zien, moet je in de buurt zijn van het gebied waar de magnetische veldlijnen de atmosfeer van de aarde binnengaan.

Opgave 58

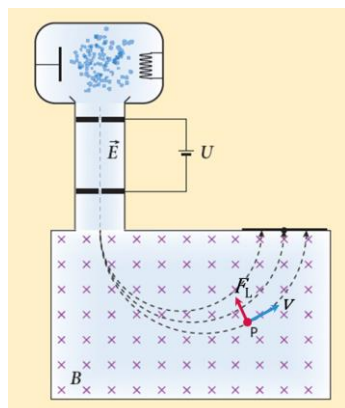
- a Als het deeltje in een rechte lijn beweegt, is de resulterende kracht op het deeltje gelijk aan nul en dus moet gelden dat: $F_{el} = F_L$.
 b De elektrische kracht is niet afhankelijk van de snelheid ($F_{el} = q \cdot E$) maar de lorentzkracht wel ($F_L = B \cdot q \cdot v$), dus is er maar één snelheid waarbij geldt dat $F_{el} = F_L$.
 c Invullen geeft: $q \cdot E = B \cdot q \cdot v \rightarrow v = \frac{E}{B}$, dus is er maar één snelheid mogelijk bij gegeven E en B .
 d Als het deeltje de juiste snelheid heeft, werkt de lorentzkracht tegen de elektrische kracht in, beide krachten staan dan loodrecht op de snelheid en het deeltje beweegt rechtuit. Op deeltjes die sneller/langzamer gaan, is de lorentzkracht groter/kleiner. Deze deeltjes zullen dus worden afgebogen in de richting van de lorentzkracht of in de tegenovergestelde richting.

Opgave 59

- a De negatieve kant van de spanningsbron zit aan de onderkant, dus worden de deeltjes versneld van de positieve naar de negatieve plaat en dat betekent dat de deeltjes positief moeten zijn.
 b Het magneetveld is het papier in en de lorentzkracht is bij binnenkomst van het magnetisch veld naar rechts gericht, dus zal de richting van de 'stroom' naar beneden zijn. De richting van de 'stroom' is hetzelfde als de richting waarin de deeltjes bewegen en dat betekent dat de deeltjes positief moeten zijn.



c Zie figuur.



d $\Delta E_k = q \cdot U \rightarrow \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = q \cdot U \rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot q \cdot U}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 2 \times 1,60 \cdot 10^{-19} \times 0,84 \cdot 10^3}{98 \times 1,66 \cdot 10^{-27}}} = 5,75 \cdot 10^4 \text{ m/s}$ en met

$$F_L = F_{\text{mpz}} \text{ volgt: } r = \frac{m \cdot v}{B \cdot q} = \frac{98 \times 1,66 \cdot 10^{-27} \times 5,75 \cdot 10^4}{0,18 \times 2 \times 1,60 \cdot 10^{-19}} = 0,16 \text{ m.}$$

e B , q en U zijn constant dus uit $v = \sqrt{\frac{2 \cdot q \cdot U}{m}}$ volgt dat de snelheid omgekeerd evenredig is met $\sqrt{m}$. Uit $r = \frac{m \cdot v}{B \cdot q}$ volgt dat de straal van de baan evenredig is met $m \cdot v$ dus geldt voor de straal van de baan dat deze evenredig is met $m \cdot \frac{1}{\sqrt{m}} = \sqrt{m}$. Bij een iets grotere massa zal de straal van de baan dus ook iets groter zijn.

12.5 VERDIEPING

Opgave 60

- a Het magneetveld is van boven naar beneden en de 'stroom' is voor de positieve ionen volgens de richting van v dus worden deze ionen door de lorentzkracht naar links afgebogen: in de richting van Q (hierdoor wordt Q positief).
- b Elektrode P is negatief.
- c De lorentzkracht buigt de positieve ionen naar links, terwijl de elektroden P en Q een elektrische kracht naar rechts uitoefenen op de positieve ionen. De lading op beide wanden blijft toenemen, totdat de elektrische kracht even groot is als de lorentzkracht. Negatieve ionen worden door de lorentzkracht naar rechts afgebogen en door de elektrische kracht naar links. Voor de negatieve ionen geldt precies hetzelfde evenwicht.
- d $F_L = F_{\text{el}} \rightarrow B \cdot q \cdot v = q \cdot E \rightarrow v = \frac{E}{B} = \frac{3,1 \cdot 10^{-2}}{0,15} = 0,21 \text{ m/s}$

Opgave 61

- a Het magnetisch veld is het papier in gericht en de richting van de 'stroom' is naar links. Dit geeft met de rechterhandregel dat de lorentzkracht naar onderen is gericht.
- b De negatieve (vrije) elektronen verzamelen zich voor een deel aan de onderkant, maar het plaatje is in totaal neutraal (evenveel plus als min). Dan moet de bovenkant van de plaat positief geladen zijn geworden, doordat daar minder vrije elektronen zijn.
- c Heel snel na het inschakelen van de stroom door het plaatje gaan de elektronen die door het plaatje heen bewegen rechthout. Dat kan alleen als de lorentzkracht op de elektronen evenwicht maakt met de elektrische kracht.
- d $F_{\text{el}} = q \cdot E = 1,60 \cdot 10^{-19} \times 6,5 \cdot 10^{-6} = 1,0 \cdot 10^{-24} \text{ N}$
- e $F_L = F_{\text{el}} \rightarrow B \cdot q \cdot v = F_{\text{el}} \rightarrow B = \frac{F_{\text{el}}}{q \cdot v} = \frac{1,0 \cdot 10^{-24}}{1,60 \cdot 10^{-19} \times 4,8 \cdot 10^{-2}} = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ T}$



Opgave 62

De elektronen leggen de afstand van 4,5 cm af in $\Delta t = \frac{\Delta s}{v_{\text{hor}}} = \frac{0,045}{1,2 \cdot 10^6} = 3,75 \cdot 10^{-8} \text{ s}$ dus geldt voor de verticale

$$\text{versnelling: } a_{\text{vert}} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{3,0 \cdot 10^5}{3,75 \cdot 10^{-8}} = 8,00 \cdot 10^{12} \text{ m/s}^2$$

Voor de verticale kracht geldt dan: $F_{\text{el}} = m \cdot a = 9,11 \cdot 10^{-31} \times 8,00 \cdot 10^{12} = 7,29 \cdot 10^{-18} \text{ N}$ en voor de verticale

$$\text{veldsterkte: } E = \frac{F_{\text{el}}}{q} = \frac{7,29 \cdot 10^{-18}}{1,60 \cdot 10^{-19}} = 46 \text{ N/C.}$$

Opgave 63

- a De spanning op de verticale afbuigplaten van de oscilloscoop (die voor horizontale afbuiging zorgen) neemt telkens toe van maximaal negatief tot 0 tot maximaal positief, waardoor de stip met een constante snelheid van links naar rechts over het beeldscherm beweegt.
- b De hartslagsensor is aangesloten op de horizontale platen die voor de verticale afbuiging zorgen.

Opgave 64

- a $T_{\text{oscilloscoop}} = \frac{1}{f} = \frac{1}{2,5 \cdot 10^3} = 4,0 \cdot 10^{-4} \text{ s} = 0,40 \text{ ms}$ (Verwaarloos hierbij de tijd waarin de stip weer terugspringt naar links.)

- b Op het scherm is af te lezen: $2T_{\text{toongenerator}} = 7,8 \text{ hokje}$ en $1 \text{ hokje} = \frac{4,0 \cdot 10^{-4}}{10} = 4,0 \cdot 10^{-5} \text{ s}$.

$$T_{\text{toongenerator}} = \frac{7,8}{2} \times 4,0 \cdot 10^{-5} = 1,56 \cdot 10^{-4} \text{ s} \rightarrow f = \frac{1}{T_{\text{toongenerator}}} = \frac{1}{1,56 \cdot 10^{-4}} = 6,4 \cdot 10^3 \text{ Hz} = 6,4 \text{ kHz}$$

12.6 AFSLUITING

Opgave 65

Eigen antwoord.

Opgave 66

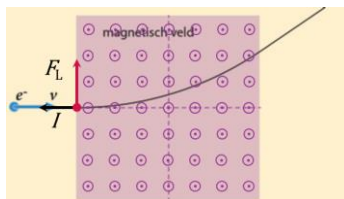
- a Een elektrisch veld beschrijft de wisselwerking tussen elektrische ladingen. De richting van de elektrische veldlijn geeft aan in welke richting de elektrische kracht werkt op een positieve lading in dat punt van het veld.
- b Bij een radiaal veld lopen de veldlijnen allemaal in een rechte lijn naar het centrum toe of van het centrum af. De veldsterkte neemt daarbij kwadratisch af met de afstand tot de lading in het centrum. Bij een homogeen elektrisch veld is de veldsterkte overal gelijk gericht en overal even groot.
- c De kracht die een elektrisch veld uitoefent op een geladen deeltje werkt in de richting van het elektrisch veld (of daar tegenin). Deze elektrische kracht kan het deeltje versnellen, afremmen of van richting veranderen. De kracht die een magnetisch veld uitoefent op een bewegend geladen deeltje werkt loodrecht op de bewegingsrichting van dat deeltje. Deze lorentzkracht kan alleen de richting van de snelheid van het geladen deeltje veranderen maar niet de grootte. Verder hangt de grootte van de lorentzkracht af van de snelheid van het geladen deeltje, en de elektrische kracht niet.
- d De eenheid van elektrische veldsterkte is newton per coulomb (N/C). Dat betekent dat de elektrische veldsterkte de elektrische kracht op een lading is gedeeld door de grootte van die lading (in coulomb). De elektrische kracht is dus evenredig met de lading van het deeltje.
- e Deze kracht bereken je met $F_{\text{el}} = f \cdot \frac{q^2}{r^2} = 8,988 \cdot 10^9 \times \frac{(1,602 \cdot 10^{-19})^2}{r^2} = \frac{2,307 \cdot 10^{-28}}{r^2}$. Hierin is r de onderlinge afstand tussen het proton en het elektron.
- f De kinetische energie van een deeltje met lading q dat versneld is over een bepaalde spanning U is te berekenen met $\Delta E_{\text{k}} = -\Delta E_{\text{el}}$ en $\Delta E_{\text{el}} = q \cdot U$.



- g** Bij een röntgenapparaat worden de elektronen die vrijkomen bij de door een gloeispiraal verhitte kathode versneld door een grote spanning tussen kathode en anode. Als de elektronen vervolgens met hoge snelheid tegen de anode botsen ontstaat röntgenstraling. Door het instellen van deze versnelspanning kan de fotonenergie van de röntgenstraling ingesteld worden.
- h** In een lineaire deeltjesversneller zorgt een reeks van steeds langer wordende cilindervormige elektroden die om en om zijn aangesloten op een wisselspanningsbron voor de versnelling van de deeltjes. In de perioden dat de elektrische kracht ze niet zou versnellen maar afremmen, bewegen de deeltjes binnen de metalen cilinders waardoor ze afgeschermd zijn voor het elektrische veld.
- i** Eigenlijk wordt de elektrische energie ($q \cdot U$) gebruikt voor een toename van de kinetische energie ($\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{\text{eind}}^2 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{\text{begin}}^2$), dus alleen als $v_{\text{begin}} \approx 0$ zal gelden dat $q \cdot U = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{\text{eind}}^2$.
- j** $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ en $1 \text{ J} = \frac{1}{1,602 \cdot 10^{-19}} \text{ eV}$
- k** De grootte van de lorentzkracht op een bewegend geladen deeltje bereken je met $F_L = B \cdot q \cdot v$. Hierin is B de sterkte van het magneetveld (in T), q de lading van het deeltje (in C) en v de snelheid van het deeltje (in m/s).
- l** Bij het bepalen van de richting van de lorentzkracht maak je gebruik van de richting van de stroom. Een positief deeltje heeft dezelfde 'stroomrichting' als de richting waarin het beweegt en een negatief deeltje heeft een 'stroomrichting' die tegengesteld is aan de bewegingsrichting.
- m** Alleen een snelheid(scomponent) loodrecht op de richting van een magnetisch veld veroorzaakt een lorentzkracht, dus als het elektrisch geladen deeltje loodrecht op het homogene magneetveld beweegt zal het een cirkelbaan gaan beschrijven.
- n** De straal r van een cirkelbaan van een geladen deeltje in een homogeen magnetisch veld kun je berekenen door te stellen dat de lorentzkracht de benodigde middelpuntzoekende kracht levert: $F_L = F_{\text{mpz}} \rightarrow B \cdot q \cdot v = \frac{m \cdot v^2}{r} \rightarrow r = \frac{m \cdot v}{B \cdot q}$. Hierin is m de massa van het deeltje (in kg), v de snelheid van het deeltje (in m/s), B de sterkte van het magneetveld (in T) en q de lading van het deeltje (in C).

Opgave 67

- a** $q \cdot U = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot q \cdot U}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 1,60 \cdot 10^{-19} \times 2,4 \cdot 10^3}{9,11 \cdot 10^{-31}}} = 2,9 \cdot 10^7 \text{ m/s}$
- b** De (negatieve) elektronen bewegen naar rechts, dus is de 'stroomrichting' naar links. De lorentzkracht is omhoog, dus is de richting van het magnetisch veld het papier uit, zie figuur.



c $F_L = F_{\text{mpz}} = \frac{m \cdot v^2}{r} \rightarrow r = \frac{m \cdot v}{F_L} = \frac{9,11 \cdot 10^{-31} \times (2,9 \cdot 10^7)^2}{1,4 \cdot 10^{-14}} = 0,055 \text{ m}$

Opgave 68

- a** $\Delta E_k = -\Delta E_{\text{el}} \rightarrow \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = -q \cdot U \rightarrow U = -\frac{1}{2} \cdot \frac{m \cdot v^2}{q} = -\frac{1}{2} \times \frac{3,34 \cdot 10^{-27} \times (4,8 \cdot 10^6)^2}{1,60 \cdot 10^{-19}} = -2,4 \cdot 10^5 \text{ V}$
(Voor het versnellen van een proton of deutron is een negatieve versnelspanning nodig, dat wil zeggen dat de protonen of deutronen beginnen bij de anode en door de kathode uit het kanon komen).
- b** $F_L = F_{\text{mpz}} \rightarrow r = \frac{m \cdot v}{B \cdot q} \rightarrow B = \frac{m \cdot v}{r \cdot q} = \frac{3,34 \cdot 10^{-27} \times 4,8 \cdot 10^6}{0,052 \times 1,60 \cdot 10^{-19}} = 1,9 \text{ T}$



Opgave 69

a $B_{\perp} = B \cdot \cos(45^{\circ}) = 5,0 \cdot 10^{-5} \times \cos(45^{\circ}) = 3,5 \cdot 10^{-5} \text{ T}$

b $F_L = B_{\perp} \cdot q \cdot v = 3,5 \cdot 10^{-5} \times 1550 \cdot 10^{-6} \times \frac{800}{3,6} = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ N}$

Opgave 70

Oriëntatie:

Bereken eerst de snelheid van de protonen nadat ze versneld zijn door een spanning van 500 V en daarna de straal van de cirkelbaan die de protonen doorlopen in het magneetveld. De diameter van de cirkelbaan geeft aan waar de protonen terecht zullen komen. Met de afstand tussen het gat in elektrode C en het midden van de detector DE is nu te berekenen op welke afstand van het midden van de detector de protonen gedetecteerd worden.

Uitwerking:

$$\Delta E_k = -\Delta E_{el} \rightarrow \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = -q \cdot U \rightarrow v = \sqrt{\frac{-2 \cdot q \cdot U}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 1,602 \cdot 10^{-19} \times 500}{1,673 \cdot 10^{-27}}} = 3,094 \cdot 10^5 \text{ m/s}$$

(Voor het versnellen van een proton of deutron is een negatieve versnelspanning nodig.)

$$F_L = F_{mpz} \rightarrow r = \frac{m \cdot v}{B \cdot q} = \frac{1,673 \cdot 10^{-27} \times 3,094 \cdot 10^5}{1,24 \cdot 10^{-2} \times 1,602 \cdot 10^{-19}} = 0,2606 \text{ m} \rightarrow d = 2 \cdot r = 2 \times 0,2606 = 0,521 \text{ m}$$

De gevraagde afstand is $0,521 - 0,500 = 0,021 \text{ m} = 2,1 \text{ cm}$.

Opgave 71

a De massa van een N14-ion is 14,00 u.

$$\Delta E_k = -\Delta E_{el} \rightarrow \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = -q \cdot U \rightarrow v = \sqrt{\frac{-2 \cdot q \cdot U}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 1,602 \cdot 10^{-19} \times 500 \cdot 10^3}{14,00 \times 1,661 \cdot 10^{-27}}} = 2,625 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

(Voor het versnellen van een positief ion is een negatieve versnelspanning nodig.)

$$F_L = F_{mpz} \rightarrow r = \frac{m \cdot v}{B \cdot q} = \frac{14,00 \times 1,661 \cdot 10^{-27} \times 2,625 \cdot 10^6}{0,80 \times 1,602 \cdot 10^{-19}} = 0,48 \text{ m}$$

b De massa van een N15-ion is 15,00 u. Bereken opnieuw de straal:

$$v = \sqrt{\frac{-2 \cdot q \cdot U}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 1,602 \cdot 10^{-19} \times 500 \cdot 10^3}{15,00 \times 1,661 \cdot 10^{-27}}} = 2,536 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

$$r = \frac{m \cdot v}{B \cdot q} = \frac{15,00 \times 1,661 \cdot 10^{-27} \times 2,536 \cdot 10^6}{0,80 \times 1,602 \cdot 10^{-19}} = 0,49 \text{ m}$$

De ionen doorlopen een halve cirkel in de massaspectrometer, dus is de afstand tussen de plaatsen waar de N14- en N15-ionen de detector treffen: $2 \cdot (0,49 - 0,48) = 0,02 \text{ m} = 2 \text{ cm}$.

Opgave 72

Oriëntatie:

Gebruik voor het versnellen dat $\Delta E_k = -\Delta E_{el} \rightarrow q \cdot U_{AB} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ (negeer het min-teken) en voor het afbuigen dat $F_L = F_{mpz} \rightarrow r = \frac{m \cdot v}{B \cdot q}$.

In de gevraagde vergelijking $m = \frac{B^2 \cdot q \cdot r^2}{2 \cdot U_{AB}}$ is te zien dat er geen snelheid v staat. Je werkt de snelheid weg door één van de eerste twee vergelijkingen om te schrijven in de vorm $v = \dots$ en dit in de andere vergelijking in te vullen.

Uitwerking:

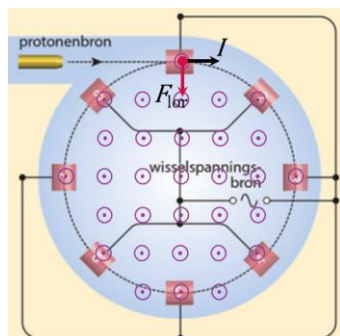
$$r = \frac{m \cdot v}{B \cdot q} \rightarrow v = \frac{B \cdot q \cdot r}{m} \text{ invullen in } q \cdot U_{AB} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \text{ geeft: } q \cdot U_{AB} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \left(\frac{B \cdot q \cdot r}{m}\right)^2 \rightarrow$$

$$U_{AB} = \frac{1}{2} \cdot \frac{B^2 \cdot q \cdot r^2}{m} \rightarrow m = \frac{B^2 \cdot q \cdot r^2}{2 \cdot U_{AB}}$$



Opgave 73

- a De (positieve) protonen worden bij 1 naar beneden afgebogen dus is de richting van de 'stroom' naar rechts en de lorentzkracht naar beneden. Dat betekent dat het magneetveld het papier uit is, zie figuur.



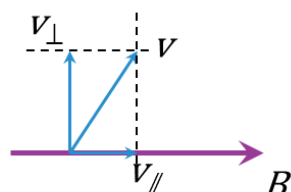
- b Voor het afbuigen geldt (via $F_L = F_{mpz}$) dat $r = \frac{m \cdot v}{B \cdot q}$. Als de snelheid van de deeltjes toeneemt en de straal van de baan gelijk moet blijven, zal het magneetveld B sterker moeten worden.
- c Als de protonen tussen buis 1 en 2 versneld worden zijn de buizen 1, 3, 5 en 7 op dat moment verbonden met de positieve pool en de buizen 2, 4, 6 en 8 met de negatieve pool van de wisselspanningsbron.
- d De afstanden tussen de elektroden zijn allemaal even lang maar de snelheid van de protonen wordt steeds groter, dus zullen de protonen er steeds korter over doen om de volgende elektrode te bereiken en moet de spanning steeds sneller omgedraaid worden.

Opgave 74

- a $F_L = F_{mpz} \rightarrow r = \frac{m \cdot v}{B \cdot q} = \frac{9,11 \cdot 10^{-31} \times 2,4 \cdot 10^7}{0,90 \cdot 10^{-4} \times 1,60 \cdot 10^{-19}} = 1,52 \text{ m} \rightarrow d = 2 \cdot r = 2 \times 1,52 = 3,0 \text{ m}$
- b $\Delta E_k = -\Delta E_{el} \rightarrow \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = -q \cdot U \rightarrow U = -\frac{m \cdot v^2}{2 \cdot q} = \frac{9,11 \cdot 10^{-31} \times (2,4 \cdot 10^7)^2}{2 \times 1,60 \cdot 10^{-19}} = 1,6 \cdot 10^3 \text{ V} = 1,6 \text{ kV}$
- c Als de positronen worden versneld tussen buis 1 en 2 (en ook tussen buis 3 en 4 enzovoort), worden tegelijk de elektronen versneld tussen buis 2 en 3 (en tussen buis 4 en 5 enzovoort).

Opgave 75

- a $\Delta E_k = -\Delta E_{el} \rightarrow \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = -q \cdot U_{AK} \rightarrow U_{AK} = -\frac{m \cdot v^2}{2 \cdot q} = -\frac{3,34 \cdot 10^{-27} \times (4,8 \cdot 10^6)^2}{2 \times 1,60 \cdot 10^{-19}} = -2,4 \cdot 10^5 \text{ V}$
(Voor het versnellen van een proton of deutron is een negatieve versnelspanning nodig.)
- b $F_L = F_{mpz} \rightarrow r = \frac{m \cdot v}{B_{\perp} \cdot q} \rightarrow B_{\perp} = \frac{m \cdot v}{r \cdot q} = \frac{3,34 \cdot 10^{-27} \times 4,8 \cdot 10^6}{0,052 \times 1,60 \cdot 10^{-19}} = 1,9 \text{ T}$
- c Op de component van v die loodrecht op B staat werkt de lorentzkracht, deze zorgt voor een cirkelbeweging, terwijl de component van v die evenwijdig aan B staat zorgt voor een translatie, zie figuur. Samen leidt dit tot een spiraalvorm.



-  d Bij P gaat het (positieve) deutron voorlangs omhoog, dus is de richting van de 'stroom' omhoog. In een magneetveld dat naar rechts is gericht, is de lorentzkracht naar achter en dat klopt met de getekende baan. Bij Q gaat het (positieve) deutron voorlangs omlaag, dus is de richting van de 'stroom' omlaag. In een magneetveld dat naar rechts is gericht, zorgt dit voor een lorentzkracht naar voren en dat klopt niet met de getekende baan. Baan P kan dus door het deutron doorlopen worden en baan Q niet, zie figuur.

