

12 Elektromagnetisme

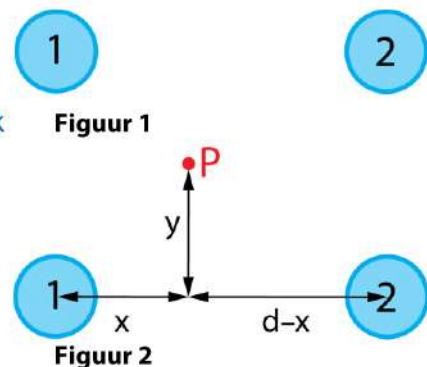
vwo

12.1 Elektrische kracht

- 1**** Twee geladen bollen zijn in elkaars nabijheid. Zie figuur 1. De bollen hebben beide een lading van $-2,0\text{ C}$.

a Schets de elektrische veldlijnen om de bollen. [werkboek](#)

De grootte van de elektrische kracht die twee geladen bollen op elkaar uitoefenen wordt gegeven door de wet van Coulomb. De richting van de elektrische kracht is van het middelpunt van de $+$ lading naar het middelpunt van de $-$ lading.



In het gebied tussen de bollen bevindt zich punt P. Zie figuur 2. Voor P geldt $x = 20\text{ cm}$ en $y = 20\text{ cm}$. De afstand d tussen de bollen is 50 cm . In P bevindt zich een lading q van $+0,1\text{ C}$.

- b** Bereken de elektrische kracht die bol 1 op lading q uitoefent.
c Teken de krachtpijl van deze kracht. Gebruik als krachtschaal $5 \cdot 10^9\text{ N per cm}$. [werkboek](#)
d Bereken de elektrische kracht die bol 2 op lading q uitoefent.
e Teken deze kracht met dezelfde krachtschaal. [werkboek](#)
f Construeer de resulterende kracht op lading q in punt P. [werkboek](#)
g Bepaal de resulterende elektrische kracht op lading q in punt P.

- 2**** De kern van een waterstofatoom bevat één proton. Op een afstand van gemiddeld $5,29 \cdot 10^{-11}\text{ m}$ bevindt zich een elektron.

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

Behalve de elektrische kracht is er ook gravitatiekracht tussen het proton en het elektron.

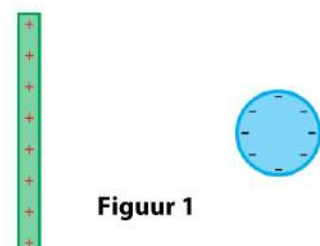
b Bereken de gravitatiekracht waarmee het proton en het elektron elkaar aantrekken.

De kern van een heliumatoom bevat twee protonen op een afstand van $1,0 \cdot 10^{-15}\text{ m}$.

c Bereken de elektrische kracht waarmee de protonen elkaar afstoten.

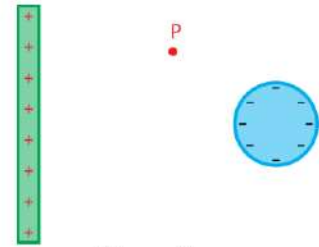
- 3**** Een positief geladen plaat en een negatief geladen bol zijn in elkaars nabijheid. Zie figuur 1.

a Schets de elektrische veldlijnen tussen de plaat en de bol. Geef daarbij ook de richting van het E-veld aan. [werkboek](#)



Tussen de plaat en de bol ligt punt P. Zie figuur 2. In dit punt bevindt zich een kleine positieve proeflading.

- Schets de elektrische veldlijn die van de plaat naar de bol door punt P gaat. [werkboek](#)
- Teken de elektrische krachtpijl op de proeflading in P. Maak de pijl 3,0 cm lang. [werkboek](#)
- Leg uit in welke richting de proeflading gaat bewegen als het wordt losgelaten.



Figuur 2

- 4**** Een metalen voorwerp heeft een positieve lading. Zie figuur 1. Vanwege de vorm is de lading niet gelijkmatig verdeeld over het oppervlak. Waar de kromming het sterkst is bevindt zich de meeste lading.

- Schets de elektrische veldlijnen om dit voorwerp. [werkboek](#)

De elektrische lading bevindt zich op het oppervlak van het voorwerp. Binnenin is geen lading aanwezig.

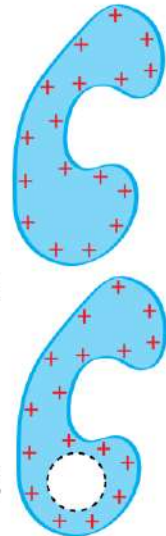
- Leg uit waarom dit voor een metalen voorwerp altijd het geval is.

Figuur 1

Binnen in het voorwerp bevindt zich een holte. De holte is met stippellijnen aangegeven. Zie figuur 2.

- Bereken of zich in de holte lading bevindt.
- Bereken of in de holte een elektrisch veld aanwezig is.

Figuur 2

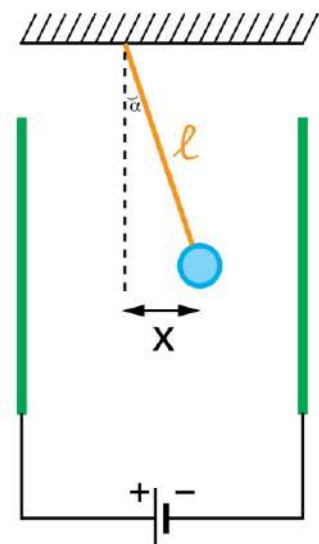


- 5***** Tussen de platen van een condensator hangt een elektrische geladen metalen bal aan een draad. De bal heeft een massa van 5,0 g. De afstand tussen het ophangpunt en het zwaartepunt van de bal is $\ell = 40$ cm. De bal hangt $x = 15$ cm opzij en beweegt niet.

- Teken de krachten die op de bal werken. Kies een handige krachtschaal. [werkboek](#)
- Bereken de spankracht in het draad.
- Bereken de elektrische kracht op de bal.

Het E-veld heeft een sterkte van $1,0 \cdot 10^4 \text{ N C}^{-1}$.

- Bereken de lading van de bal.



- 6***** Op een afstand van 10 cm van een lading is de elektrische veldsterkte 200 N C^{-1} .
- Bereken de grootte van de lading.
 - Hoe groot is de veldsterkte op 20 cm van de lading?
 - Op welke afstand is de veldsterkte $1,0 \text{ N C}^{-1}$?

12.2 Elektrische energie

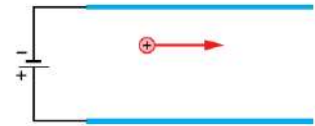
- 1**** Tussen de platen van een condensator bevindt zich een homogeen elektrisch veld met een sterkte van $5,0 \cdot 10^5 \text{ V m}^{-1}$.

a Teken de elektrische veldlijnen met hun richting. [werkboek](#)



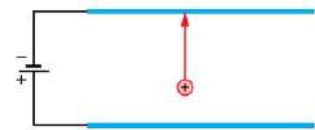
Een deeltje met een lading van $1,0 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ wordt in de condensator horizontaal over een afstand van $2,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ verplaatst, zie figuur 2.

b Bereken de arbeid die de elektrische kracht op het deeltje verricht.



Een deeltje met een lading van $1,0 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ wordt in de condensator verticaal over een afstand van $2,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ verplaatst, zie figuur 3.

c Bereken de arbeid die de elektrische kracht op het deeltje verricht.



- 2**** Tussen de platen van een condensator is een homogeen elektrisch veld met een sterkte van $5,0 \cdot 10^5 \text{ V/m}$. De afstand tussen de platen is $1,0 \text{ mm}$. Een deeltje met een lading van $1,0 \text{ C}$ beweegt van de bovenste plaat (+) naar de onderste plaat (-).

a Bereken de arbeid die de elektrische kracht op het deeltje verricht.

- 3***** Voor sterkte van het elektrische veld in een (vlakke-plaat) condensator geldt:

$$E = \frac{Q}{\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot A} \quad \text{en} \quad E = \frac{U}{d}$$

- E is de elektrische veldsterkte (N C^{-1})
- Q is de elektrische lading op één plaat (C)
- ϵ is een vast getal en ϵ_0 is de permittiviteit van vacuüm (F m^{-1})
- A is de oppervlakte van één plaat (m^2)
- U is de spanning tussen de platen (V)
- d is de afstand tussen de platen (m)

De capaciteit C van een condensator geeft aan hoeveel lading per volt kan worden opgeslagen: $C = \frac{Q}{U}$.

Door gebruik te maken van de formules van de elektrische veldsterkte vind je voor de capaciteit van een (vlakke-plaat) condensator:

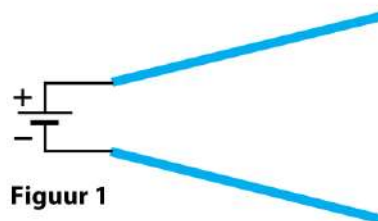
$$C = \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$$

a Toon dit aan.

4*** Een condensator met schuine platen is aangesloten op een spanningsbron. Zie figuur 1.

a Schets de elektrische veldlijnen tussen de platen.

[werkboek](#)



Figuur 1

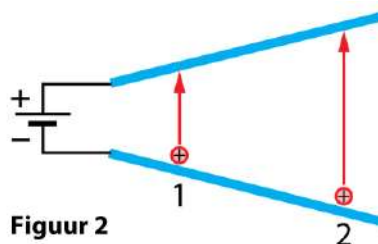
De spanningsbron heeft een spanning van 150 V. Een proeflading van 20 mC wordt van de onderste naar de bovenste plaat gebracht.

b Bereken de elektrische energie die hiervoor nodig is.

Lading 1 legt een kortere weg af dan lading 2. Zie figuur 2.

c Bereken of de benodigde elektrische energie voor beide ladingen hetzelfde is.

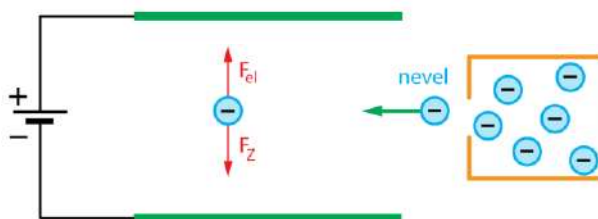
d Leg uit waarom de afstand tussen de platen invloed heeft op de afstand tussen de veldlijnen.



Figuur 2

5*** In 1909 heeft Robert Millikan de lading van een elektron bepaald. Hij deed dit door tussen de platen van een condensator een nevel van oliedruppeltjes te sproeien. De platen zijn 5,0 cm van elkaar verwijderd. Door de wrijving met de sproeispuut krijgen sommige druppeltjes een negatieve lading. Met een microscoop zie je dat de druppeltjes verticaal bewegen.

Bij een bepaalde spanning U tussen de platen gaat een oliedruppeltje zweven. Bij deze spanning is de elektrische kracht F_{el} gelijk aan de zwaartekracht F_z . Zie figuur.



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

Voor het elektrische veld in een condensator geldt: $E = \frac{U}{d}$.

- U is de spanning in volt (V)
- d is de afstand tussen de platen in meter (m)

b Leid deze formule af.

De relatie tussen de lading q en de spanning U voor een zwevend druppeltje is:

$$q = \frac{m \cdot g \cdot d}{U}$$

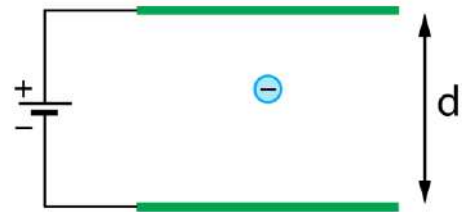
c Leid deze formule af.

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

e Leg uit hoe Millikan te werk moet gaan om nauwkeurig de lading van één elektron te bepalen.

12.3 Deeltjes versnellen

- 1***** Een negatief geladen deeltje met een massa van 5,0 mg en een lading van -30 nC wordt 0,70 cm onder de bovenste condensatorplaat losgelaten. De afstand d tussen de platen is 2,0 cm. Het spanningsverschil tussen de platen is 500 V.

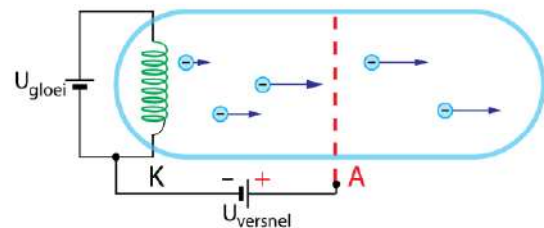


- Bereken de spanning tussen het deeltje en de bovenste plaat.
- Bereken de elektrische energie van het deeltje.

Bij de bovenste plaat aangekomen is de elektrische energie omgezet in kinetische energie.

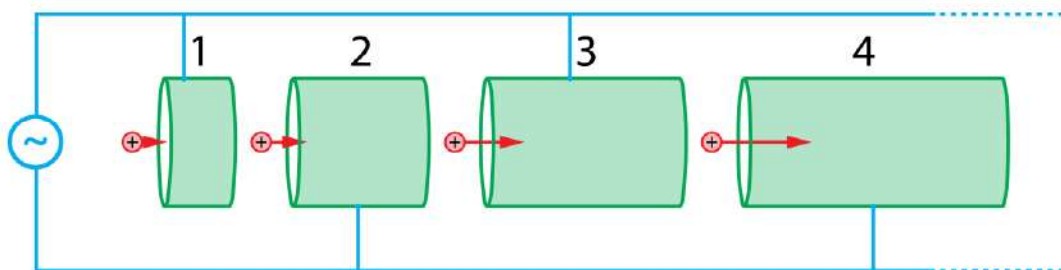
- Bereken de snelheid waarmee het deeltje de bovenste plaat treft.
- Bereken de versnelling van het deeltje.
- Bereken de elektrische kracht op het deeltje.

- 2***** In een elektronenkanon worden elektronen tot zeer hoge snelheid versneld. De beginsnelheid van de elektronen is verwaarloosbaar klein.



- Bereken de versneltspanning die nodig is om de elektronen een snelheid te geven van 1,0% van de lichtsnelheid.
- Leg uit of de afstand tussen de kathode K en de anode A van invloed is op de eindsnelheid van de elektronen.
- Leg uit of de afstand tussen de kathode K en de anode A van invloed is op de versnelling van de elektronen.

- 3***** Ca^{2+} -ionen worden versneld in een lineaire versneller. Zo'n versneller bestaat uit een aantal cilindervormige metalen buisjes, die zijn aangesloten op een wisselspanning.



De snelheid waarmee de Ca^{2+} -ionen uit de versneller komen hangt samen met de amplitude en frequentie van de wisselspanning. Je wilt deze snelheid verhogen.

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

In de deeltjesversneller is de aangelegde spanning $-5,0$ kV. De versneller bestaat uit 40 stappen. De snelheid waarmee de Ca^{2+} -ionen in buisje 1 komen is verwaarloosbaar klein.

c Bereken de snelheid van de Ca^{2+} -ionen in buisje 2, nadat ze één keer zijn versneld.

We vergelijken de snelheid van de Ca^{2+} -ionen in buisje 2 (één keer versneld) en buisje 3 (twee keer versneld).

d Leg uit of de snelheid van de Ca^{2+} -ionen in buisje 3 meer of minder dan twee keer zo groot is als de snelheid in buisje 2. Bereken daartoe de snelheid van de Ca^{2+} -ionen in buisje 3.

e Bereken de snelheid die de Ca^{2+} -ionen krijgen na 40 keer versneld te zijn.

Bij een volgend experiment worden niet Ca^{2+} ionen maar Ba^{2+} ionen versneld.

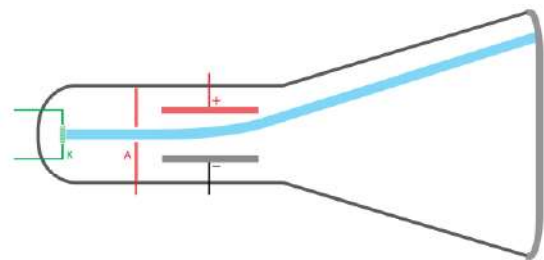
f Leg uit of de kinetische energie van de versnelde Ba^{2+} ionen groter of kleiner is dan die van de versnelde Ca^{2+} ionen.

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

4*** In een beeldbuis doorlopen de elektronen een spanningsverschil van 15 kV tussen de kathode K en de anode A. Zie figuur. De beginsnelheid van de elektronen is verwaarloosbaar.

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

b Bereken de snelheid waarmee de elektronen de anode passeren.



Nadat de elektronen zijn versneld worden ze verticaal afgebogen met een spanning van $2,0$ kV. De snelheid van de elektronen krijgt hierdoor een verticale component.

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

De afstand tussen de afbuigplaten en het scherm is 30 cm.

d Bereken hoever van het midden de elektronenbundel het scherm raakt.

Om de beeldbuis platter maken moeten er een aantal zaken in het ontwerp worden aangepast.

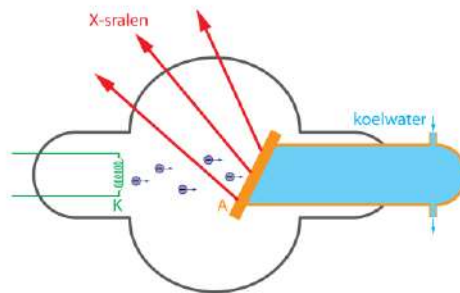
e Leg uit of de snelheid van de elektronen verandert bij een plattere beeldbuis.

f Helpt het om bij een plattere beeldbuis de afbuigspanning te veranderen of maakt het niets uit?

g Helpt het om bij een plattere beeldbuis de versnelspanning te veranderen of maakt het niets uit?

h Helpt het om bij een plattere beeldbuis de lengte van de afbuigplaten te veranderen of maakt het niets uit?

- 5***** In een röntgenbuis worden elektronen versneld met een versnelspanning van 60 kV. De stroomsterkte door de röntgenbuis is 7,5 mA. De beginsnelheid van de elektronen is nul.
- a** Bereken de energie van de versnelde elektronen.
 - b** Bereken de eindsnelheid van de elektronen.
 - c** Bereken hoeveel elektronen per seconde aankomen bij de kathode.



In een röntgenbuis kan je zowel de spanning over de gloeidraad als de spanning tussen de kathode en de anode aanpassen.

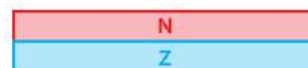
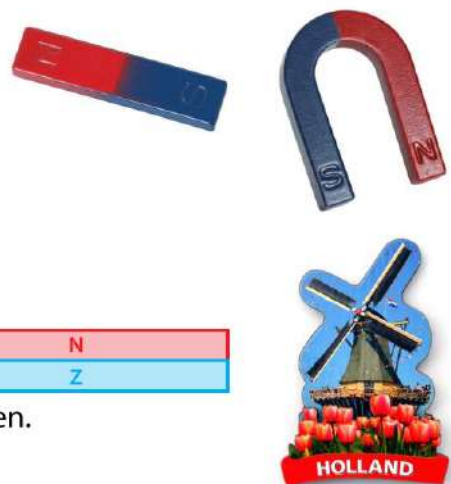
- d** Leg uit of de energie van de versnelde elektronen groter wordt, kleiner wordt of gelijk blijft als de spanning over de gloeidraad toeneemt.

Het vermogen van een röntgenbuis is de hoeveelheid uitgezonden energie, in de vorm van röntgenstraling, per seconde.

- e** Leg uit of het vermogen van een röntgenbuis verandert als de spanning over de gloeidraad toeneemt.
- f** Leg uit of het vermogen van een röntgenbuis verandert als de spanning tussen de kathode en de anode toeneemt.

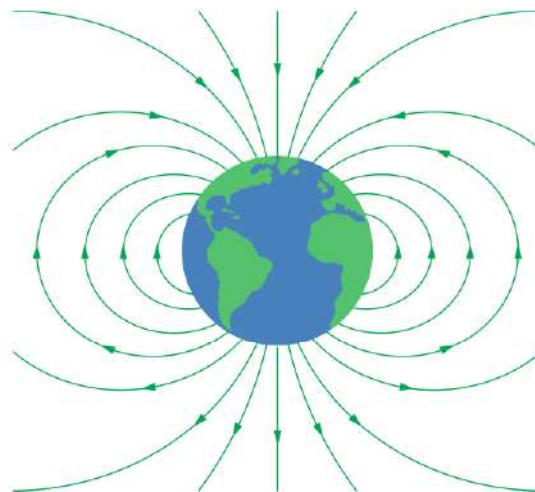
12.4 Het magnetisch veld

- 1****
- Leg uit waarom magnetische veldlijnen elkaar niet snijden.
 - Leg uit waarom magnetische veldlijnen gesloten krommen zijn.
 - Leg uit of je een magneet kunt maken met twee noordpolen en twee zuidpolen.
Zo ja, schets de veldlijnen van zo'n magneet.
 - Leg uit of je een magneet kunt maken met twee noordpolen en één zuidpool.
Zo ja, schets de veldlijnen van zo'n magneet.
- 2****
- Je hebt twee staafjes die er precies hetzelfde uitzien. Eén staafje is een permanente magneet, de ander is niet magnetisch ijzer. Verder heb je geen andere hulpmiddelen ter beschikking.
- Leg uit hoe je kunt aantonen dat het geen twee magneten zijn.
 - Hoe kun je bepalen welke van de twee de magneet is?
- 3****
- Je hebt drie staafjes die er precies hetzelfde uitzien.
- staafjes 1 en 2 trekken elkaar altijd aan
 - staafjes 2 en 3 oefenen geen krachten op elkaar uit
- Welke uitspraken zijn waar:
A staafje 1 en staafje 2 zijn magneten
B staafje 1 of staafje 2 is een magneet
C staafje 3 is geen magneet
D staafje 1 trekt staafje 3 altijd aan
- 4****
- Hiernaast zie je een staafmagneet en een hoefijzermagneet. Je breekt de staafmagneet doormidden.
- Trekken de breukvlakken elkaar altijd aan?
- Je breekt de hoefijzermagneet doormidden.
- Trekken de breukvlakken elkaar altijd aan?
- Hiernaast zie je een platte koelkastmagneet. De bovenkant is de noordpool en de onderkant de zuidpool. Je breekt deze koelkastmagneet doormidden.
- Trekken de breukvlakken elkaar aan?
- Bij een andere koelkastmagneet zit de noordpool aan de linkerkant en de zuidpool aan de rechterkant. Je breekt deze koelkastmagneet doormidden.
- Trekken de breukvlakken elkaar aan?



5** In de figuur zie je het magneetveld van de aarde.

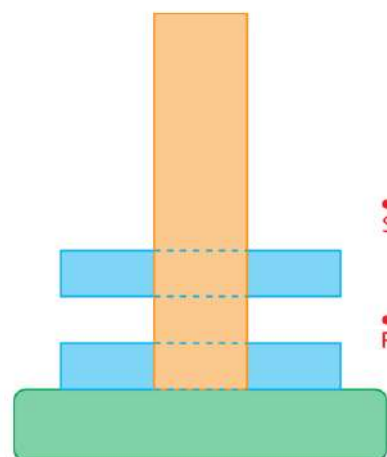
- Leg uit of het magneetveld op aarde overall even sterk is.
- Leg uit waaraan je kunt zien dat de magnetische noordpool zich op de geografische Zuidpool bevindt.
- Leg uit of een kompas op het zuidelijk halfrond naar het noorden wijst of naar het zuiden.
- Leg uit in welke richting een kompas op de evenaar wijst.
- Leg uit in welke richting een kompas op de Zuidpool wijst.



6** Twee identieke ringvormige magneten zijn om een houten stok geplaatst. De bovenste magneet zweeft doordat de noordpolen van de magneten naar elkaar toe zijn gericht. In figuur 1 is een doorsnede van de magneten om de stok getekend. Hierin zijn twee punten R en S aangegeven.

- Teken zowel in R als in S de vector $\vec{B}$ die de richting van het resulterende magneetveld van de twee magneten weergeeft. [werkboek](#)

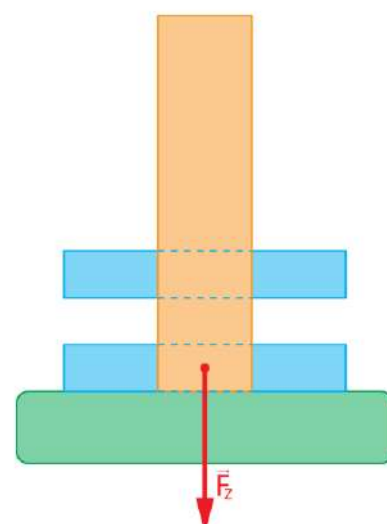
Figuur 1



In een andere figuur 2 is de zwaartekracht die op de onderste magneet werkt, getekend als de vector $\vec{F}_z$. De magneten hebben gelijke massa.

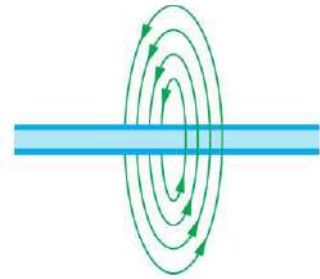
- Teken in figuur 2 alle overige krachten die op de onderste magneet werken in de juiste verhouding tot de getekende vector $\vec{F}_z$. Je hoeft daarbij niet te letten op het aangrijpingspunt van de krachten. [werkboek](#)

Figuur 2

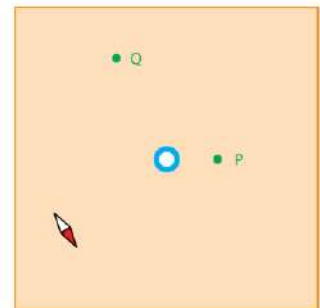


12.5 Elektromagnetisme

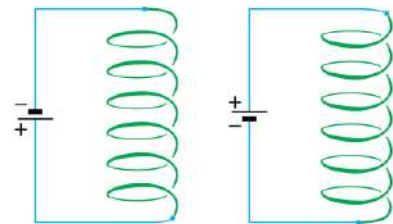
- 1*** In de figuur zie je een stroomdraad (blauw). Door de draad loopt elektrische stroom.
- a** Leg uit in welke richting de elektronen door de draad bewegen.



- 2**** De figuur is een bovenaanzicht van een stroomdraad (blauwe cirkel) door een horizontaal vlak (oranje). Op het vlak bevindt zich een kompasnaald. De noordpool van de kompasnaald is rood.
- a** Teken de magnetische veldlijnen om de draad. [werkboek](#)
- b** Geef de richting van de elektrische stroom door de draad aan met een kruisje of een stip. [werkboek](#)
- c** Geef met een pijltje aan hoe een kompasnaald wordt gericht op de plaatsen P en Q. [werkboek](#)



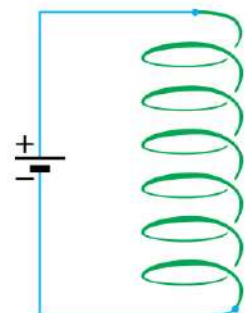
- 3**** Twee spoelen zijn op verschillende manieren gewikkeld.
- a** Bepaal voor beide spoelen waar de magnetische noordpool en zuidpool zich bevinden. [werkboek](#)
- b** Schets voor beide spoelen de magnetische veldlijnen. [werkboek](#)



- 4**** Als alternatief voor de rechterhandregel voor stroomdraad kun je ook de kurkentrekkerregel gebruiken. Zie figuur.
- a** Bedenk het voorschrift voor de kurkentrekkerregel.



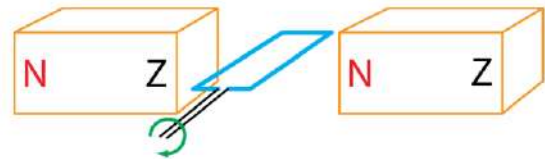
- 5***** Een spoel met een lengte van 2,0 cm is aangesloten op een spanningsbron. Zie figuur. $U = 24 \text{ V}$ en $R_{\text{spoel}} = 6,0 \Omega$
- a** Bepaal waar de magnetische noordpool en zuidpool zich bevinden.
- b** Schets de magnetische veldlijnen in én om de spoel. [werkboek](#)
- c** Bereken de magnetische inductie in de spoel.
- d** Noem drie mogelijkheden om de magnetische inductie in de spoel te vergroten.



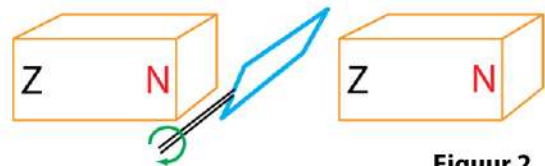
12.6 Lorentzkracht

1** Een draadraam bevindt zich in een homogeen magneetveld. Vanuit deze stand gaat het draadraam rechtersom draaien.

- Teken in figuur 1 alle lorentzkrachten op het draadraam. [werkboek](#)
- Bepaal in figuur 1 in welke richting de stroom door het draadraam gaat. [werkboek](#)
- Teken in figuur 2 alle lorentzkrachten op het draadraam. [werkboek](#)
- Bepaal in figuur 2 in welke richting de stroom door het draadraam gaat. [werkboek](#)



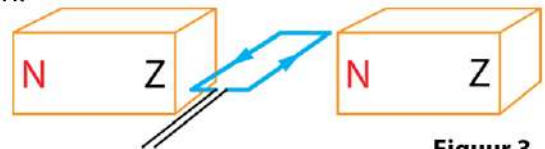
Figuur 1



Figuur 2

In figuur 3 is de richting van de stroom aangegeven.

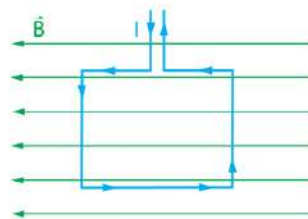
- Teken in figuur 3 alle lorentzkrachten op het draadraam. [werkboek](#)
- Leg uit of het draadraam in figuur 3 gaat draaien. [werkboek](#)



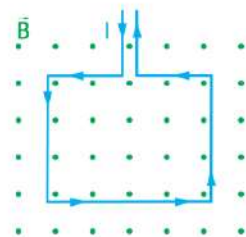
Figuur 3

2*** Een draadraam bevindt zich in een homogeen magneetveld.

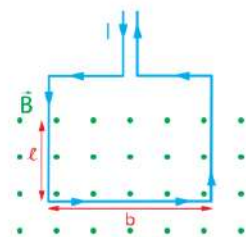
- Teken in figuur 1 alle lorentzkrachten op het draadraam. [werkboek](#)
- Leg uit of het draadraam in figuur 1 gaat bewegen.
- Teken in figuur 2 alle lorentzkrachten op het draadraam. [werkboek](#)
- Leg uit of het draadraam in figuur 2 gaat bewegen.
- Teken in figuur 3 alle lorentzkrachten op het draadraam. [werkboek](#)
- Leg uit of het draadraam in figuur 3 gaat bewegen.



Figuur 1



Figuur 2



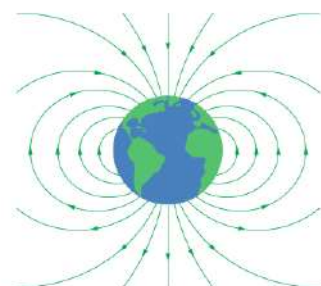
Figuur 3

$$\ell = 20 \text{ cm} \mid b = 35 \text{ cm} \mid B = 0,10 \text{ T}$$

- Bereken de stroomsterkte als de resulterende lorentzkracht op het draadraam 50 mN is.

3*** Door het aardmagneetveld wordt op een hoogspanningkabel een lorentzkracht uitgeoefend. Een kabel loopt van noord naar zuid in Nederland en transporteert een stroom van 150 A.

Zoals in figuur 1 is te zien "vallen" de magnetische veldlijnen vanuit het zuiden op Nederland. Deze magnetische veldlijnen hebben een component evenwijdig aan het aardoppervlak én een component loodrecht op het aardoppervlak.



Figuur 1

- a** Ga na of de horizontale component van het aardmagneetveld een lorentzkracht op de kabel veroorzaakt.

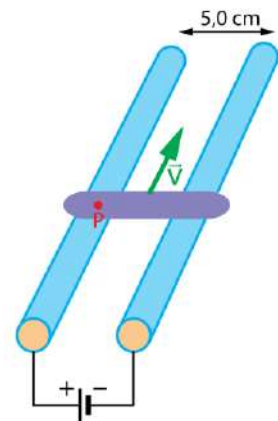
De verticale component van het aardmagneetveld is in Nederland $4,3 \cdot 10^{-5}$ T.

- b** Bereken de lorentzkracht die deze component veroorzaakt op een kabel van 200 m.
c Bepaal de richting van deze lorentzkracht.

In Argentinië loopt ook een hoogspanningskabel van noord naar zuid.

- d** Ga na of de lorentzkracht in Argentinië dezelfde richting heeft als in Nederland.

- 4***** De lorentzkracht kan gebruikt worden om een projectiel weg te schieten. Hierbij wordt het metalen projectiel geplaatst op een rails, waarover het vrij kan bewegen. Het geheel bevindt zich in een sterk magneetveld. Zie figuur. Het metalen projectiel maakt tijdens de lancering steeds contact met de rails. De snelheidsvector geeft aan in welke richting het projectiel wordt weggeschoten.



Gedurende 0,50 ms loopt er een stroom van $2,0 \cdot 10^6$ A. Deze stroom zorgt voor een kracht van $1,5 \cdot 10^5$ N op het projectiel van 75 g.

- a** Teken in punt P de richting van de lorentzkracht. [werkboek](#)
b Teken in punt P de richtingen van de stroom. [werkboek](#)
c Teken in punt P de richting van het magneetveld. [werkboek](#)
d Bereken de grootte van de magnetische inductie.
e Bereken de snelheid die het projectiel krijgt. Verwaarloos de weerstandskrachten.

Geladen deeltje in een magnetisch veld

- 5**** Een deeltje met een lading van 15 mC beweegt met een snelheid van $1,0 \cdot 10^5$ m/s tussen de polen van een elektromagneet. De magnetische inductie is 0,35 T. De hoek tussen $\vec{v}$ en $\vec{B}$ is 90° , zie figuur.

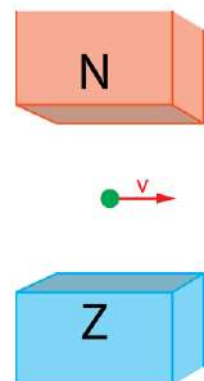
- a** Bereken de lorentzkracht op het deeltje.

Een ander deeltje met dezelfde lading ondervindt een lorentzkracht van 200 N. Ook voor dit deeltje is de hoek tussen $\vec{v}$ en $\vec{B}$ 90° , zie figuur.

- b** Bereken de snelheid van dit deeltje.

Weer een ander deeltje met dezelfde lading en een snelheid van $1,0 \cdot 10^5$ m/s ondervindt een lorentzkracht van 200 N.

- c** Bereken de hoek tussen $\vec{v}$ en $\vec{B}$ van dit deeltje. Gebruik $F_L = B \cdot q \cdot v \cdot \sin \alpha$.



- 6***** Een proton komt met snelheid v in een homogeen magneetveld. Zie figuur.

- a** Teken de lorentzkracht op het moment dat het proton in het magneetveld komt. [werkboek](#)



Even later is het proton in punt P.

b Schets de baan van het proton. [werkboek](#)

c Teken de snelheidsvector van het proton in punt P. [werkboek](#)

d Teken de lorentzkracht op het proton in punt P. [werkboek](#)

e Leg uit of de snelheid van het proton in punt P kleiner, groter of even groot is als bij binnenkomst in het magneetveld.

f Leg uit of de lorentzkracht op het proton in punt P kleiner, groter of even groot is als bij binnenkomst in het magneetveld.

7*** Een geladen deeltje waarvan de snelheid $\vec{v}$ loodrecht staat op het magnetische veld $\vec{B}$ voert een cirkelbeweging uit met straal r . Er geldt:

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

a Toon dit aan.

Een He^{2+} kern komt met een snelheid van 1,0% van de lichtsnelheid in een homogeen magneetveld. De cirkelbaan die de He^{2+} kern beschrijft heeft een diameter van 50 cm.

b Bereken de magnetische inductie.

8*** Elektronen komen met een snelheid van 10% van de lichtsnelheid in een homogeen magneetveld met een sterkte van 1,0 mT. De elektronen gaan in een cirkelbaan bewegen.

a Bereken de straal van de cirkelbaan.

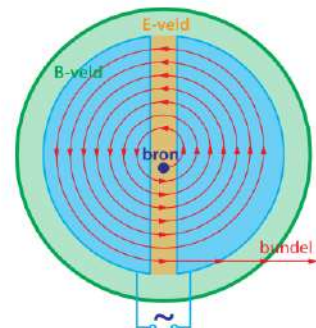


Positronen zijn het antideeltje van elektronen, ze hebben dezelfde massa maar een tegengestelde lading (vandaar de naam). Bij een bepaald experiment komen zowel elektronen als positronen vrij. De bundel vrijgekomen deeltjes wordt in een magneetveld gebracht.

b Schets in de figuur de banen die de positronen en de elektronen doorlopen. [werkboek](#)

Elektrische en magnetische velden gecombineerd

9*** Een cyclotron bestaat uit D-vormige holle trommels (blauw) aangesloten op een wisselspanningsbron, zodat tussen de trommels een wisselend E-veld ontstaat (oranje). Zie figuur. In het midden zit een bron waaruit geladen deeltjes vrijkomen. Het geheel bevindt zich in een magneetveld (groen). Binnen in een trommel is geen E-veld en doorlopen de deeltjes een cirkelbaan met constante snelheid. Tussen de trommels is een E-veld dat de deeltjes versnelt en een B-veld dat de deeltjes afbuigt. Omdat de deeltjes een steeds grotere snelheid krijgen wordt de straal van de cirkelbaan steeds groter.



Het B-veld in de figuur gaat het papier in (aan te geven met kruisjes).

a Bepaal of de deeltjes positief of negatief geladen zijn.

Voor de omlooptijd van een deeltje geldt:

$$T = \frac{2\pi \cdot m}{B \cdot q}$$

- T is de omlooptijd (s)
- m is de massa van een deeltje (kg)
- B is de sterkte van het magneetveld (T)
- q is de lading van het deeltje (C)

b Toon dit aan.

In een cyclotron met een B-veld sterkte van 1,5 T worden protonen versneld.

c Bereken de omlooptijd van de protonen.

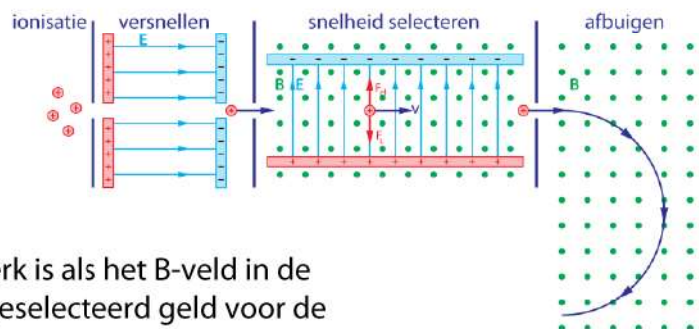
De protonen krijgen een energie van 5,0 MeV.

d Bereken de diameter van de cirkelbaan vlak voordat de protonen de cyclotron verlaten.

10*** Met een massaspectrometer kun je de massa van een deeltje bepalen. Het deeltje wordt eerst geïoniseerd, waarbij het een positieve lading krijgt. Daarna wordt het deeltje in een E-veld versneld. Vervolgens gaan ze door een snelheidselector, waarin zowel een E-veld als een B-veld aanwezig zijn zodat $F_{el} = F_L$. Tenslotte komen ze in een afbuiggebied met alleen een B-veld, waar ze een cirkelbaan krijgen. Zie figuur.

In het deel met een E-veld en een B-veld bewegen de deeltjes in een rechte lijn met snelheid $v = \frac{E}{B}$.

a Toon dit aan.



Als het B-veld bij het afbuigen even sterk is als het B-veld in de het gebied waarin de snelheid wordt geselecteerd geldt voor de straal van de cirkelbaan

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

b Toon dit aan.

Lithium heeft twee stabiele isotopen: Li-6 en Li-7. Een Li-6 kern heeft 3 protonen en 3 neutronen en een Li-7 kern heeft 3 protonen en 4 neutronen. Met een massaspectrometer kun je deze isotopen van elkaar scheiden en kun je de massa bepalen. Om het system eenvoudig te houden leggen we een spanning aan van 200 V om de ionen te versnellen en ook voor het E-veld in de snelheidselector.

c Bereken de snelheid die Li-6 ionen krijgen als ze worden versneld met 200 V.

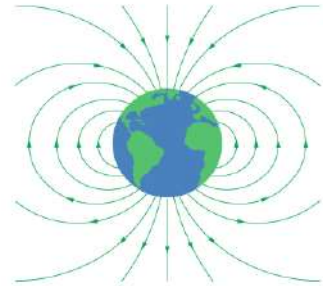
Het B-veld in de snelheidselector en in het gebied waar ze een cirkelbaan krijgen is 0,050 T.

d Bereken de afstand tussen de + en – platen in de snelheidselector.

e Bereken de straal van de cirkelbaan van Li-6 ionen.

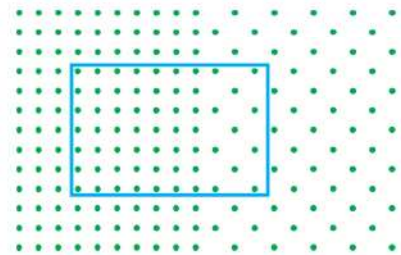
12.7 Inductiespanning

- 1***** In Nederland komt het magnetisch veld vanaf het zuiden schuin naar beneden. Zie figuur. De magnetische veldvector $\vec{B}$ kunnen we splitsen in een horizontale component B_x evenwijdig aan het aardoppervlak, en een verticale component B_y loodrecht op het aardoppervlak. $B_x = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ T}$ en $B_y = 4,3 \cdot 10^{-5} \text{ T}$.



- a** Teken de magnetische veldvector $\vec{B}$ en geef de horizontale en de verticale componenten van $\vec{B}$ aan.
Gebruik als krachtschaal $1 \text{ cm} \leftrightarrow 0,5 \cdot 10^{-5} \text{ T}$. [werkboek](#)
- b** Bereken de hoek ten opzichte van de normaal waaronder het aardmagnetisch veld in Nederland komt. De normaal staat loodrecht op het aardoppervlak.
- c** Bereken de maximale flux van het aardmagnetisch veld door een vel papier met A4 formaat ($210 \times 297 \text{ mm}$).
- d** Bereken de flux van het aardmagnetisch veld door een vel papier met A4 formaat als het vel plat op tafel ligt.
- e** 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.

- 2**** Een draadraam van $2,0 \text{ cm}$ breed en $3,0 \text{ cm}$ lang bevindt zich in een magneetveld. Aan de linkerkant is de magnetische inductie $0,60 \text{ T}$ en aan de rechterkant $0,30 \text{ T}$. Het draadraam zit voor $2/3$ in het B-veld links en voor $1/3$ in het B-veld rechts.

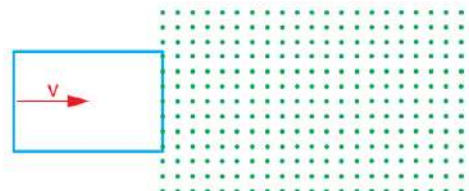


- a** Leg uit waaruit blijkt dat het magnetisch veld niet homogeen is.
- b** Bereken de flux door het draadraam.

Het draadraam wordt $1,0 \text{ cm}$ naar rechts verschoven.

- c** Bereken opnieuw de flux door het draadraam.

- 3***** Een draadraam van 12 cm bij 18 cm beweegt met een constante snelheid van $0,10 \text{ m/s}$ door een homogeen magneetveld met een sterkte van $0,50 \text{ T}$. In de figuur is de situatie op schaal weergegeven. Op $t = 0$ komt de voorkant van het draadraam in het B-veld.



- a** Bereken het tijdstip waarop de achterkant van het draadraam in het veld komt.
- b** Bereken de fluxverandering $\Delta\Phi$ gedurende dit tijdsinterval.
- c** Bepaal wanneer de voorkant van het draadraam het veld verlaat. [werkboek](#)
- d** Bepaal wanneer de achterkant van het draadraam het veld verlaat.
- e** Teken het (flux, tijd)-diagram van de beweging van het draadraam door het magneetveld. [werkboek](#)

De inductiewet van Faraday

- 4**** Een spoel is aangesloten op een voltmeter. Vlak voor de spoel bevindt zich een staafmagneet. Een aantal magnetische veldlijnen gaan door de spoel.
- a** Leg uit waarom er in de spoel geen inductiespanning wordt opgewekt.
 - b** Leg uit wat je moet doen om ervoor te zorgen dat er in de spoel wel inductiespanning wordt opgewekt.

Stel dat er inductiespanning wordt opgewekt in de spoel.

- c** Leg uit waarom er in de spoel een zeer kleine inductiestroom wordt opgewekt.
- d** Leg uit wat je moet doen om ervoor te zorgen dat er in de spoel een grotere inductiestroom wordt opgewekt.

- 5**** Een spoel is aangesloten op een stroommeter. Vlak voor de spoel bevindt zich een staafmagneet die naar de spoel toe beweegt.
- a** Leg uit waarom er in de spoel inductiespanning wordt opgewekt.
 - b** Leg uit welke factoren van belang zijn bij de grootte van de inductiestroom.

- 6***** Een spoel met 16 windingen is gemaakt van 3,20 m koperdraad. De spoel is aangesloten op een stroommeter en bevindt zich in een homogeen B-veld.
- a** Leg uit wat je moet doen om een inductiestroom in de spoel op te wekken.
 - b** Leg uit welke factoren van belang zijn bij de grootte van de inductiestroom.

Jan denkt dat als je met hetzelfde stuk koperdraad twee keer zoveel windingen maakt de inductiestroom ook twee keer zo groot wordt.

- c** Leg uit welke denkfout Jan hierbij maakt.
- d** Beredeneer hoe de inductiestroom verandert als er 32 windingen in het koperdraad zijn in plaats van 16 en verder alles hetzelfde blijft.

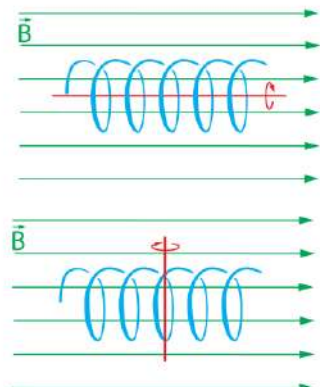
- 7***** Een spoel is aangesloten op een stroommeter en bevindt zich in een homogeen B-veld. In experiment 1 wordt de spoel uit het magneetveld getrokken.
- a** Schets het verloop van de inductiespanning in de tijd.

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

- b** Schets het verloop van de inductiespanning in de tijd.

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

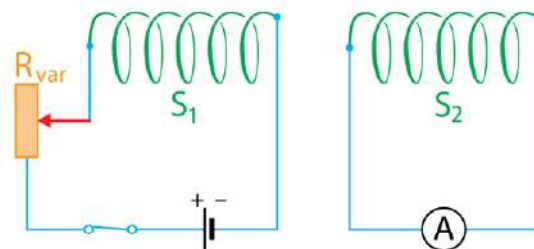
- c** Schets het verloop van de inductiespanning in de tijd.



- 8***** Twee spoelen S_1 en S_2 staan vlak bij elkaar. Zie figuur. Spoel 1 is via een variabele weerstand R_{var} en een schakelaar aangesloten op een spanningsbron. Spoel 2 is aangesloten op een stroommeter.

De weerstand neemt toe als het contactpunt (rode pijl) naar boven wordt geschoven.

- a** Geef de richting aan van het magneetveld in spoel 1. [werkboek](#)



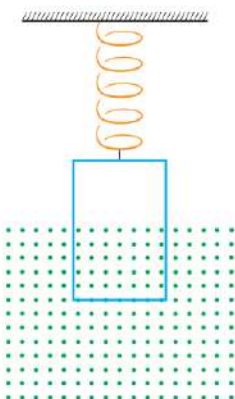
De B-veldlijnen opgewekt in spoel 1 komen ook in spoel 2.

- b** Geef de richting aan van het magneetveld in spoel 2. [werkboek](#)
c Leg uit of er stroom door de stroommeter loopt.

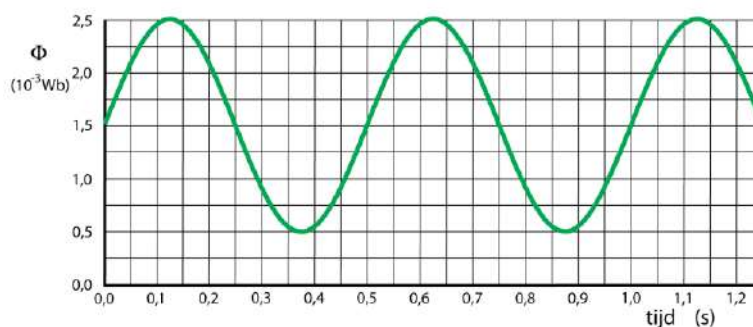
De situatie van figuur 1 wordt aangepast. Tijdens de aanpassing geeft de stroommeter een waarde aan. De stroom kan toenemen, afnemen of van teken omkeren.

- d** Leg uit wat de stroommeter aangeeft als de weerstand van de variabele weerstand kleiner wordt gemaakt.
e Leg uit wat de stroommeter aangeeft als in S_1 een weekijzeren kern wordt geplaatst.
f Leg uit wat de stroommeter aangeeft als de afstand tussen S_1 en S_2 toeneemt.
g Leg uit wat de stroommeter aangeeft als de schakelaar wordt geopend.

- 9***** Een draadraam is opgehangen aan een veer en hangt voor de helft in een magneetveld. Zie figuur 1. Het draadraam is 10 cm x 15 cm groot. De magnetische inductie is 0,20 T. Het draadraam wordt naar beneden getrokken en daarna losgelaten zodat het een trilling gaat uitvoeren. Zie figuur 2.



Figuur 1



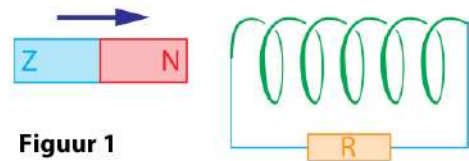
Figuur 2

- a** Bereken de magnetische flux door het draadraam voordat het de trilling uitvoert.
b Leg uit of de trilling harmonisch is.
c Bepaal de amplitude van de trilling.
d Bepaal de frequentie van de trilling.
e Bepaal over welke afstand het draadraam naar beneden is getrokken.
f Leg uit op welke tijdstippen de inductiespanning nul volt is.
g Bepaal de maximale grootte van de inductiespanning.

12.8 Richting van de inductiestroom

1** Een staafmagneet beweegt naar een spoel die is aangesloten op een weerstand R. Zie figuur 1.

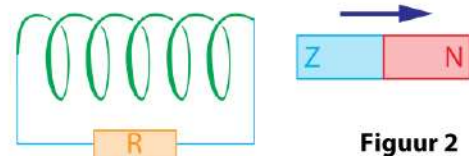
a Geef de richting van de inductiestroom door de weerstand aan. [werkboek](#)



Figuur 1

Een staafmagneet beweegt weg van een spoel die is aangesloten op een weerstand R. Zie figuur 2.

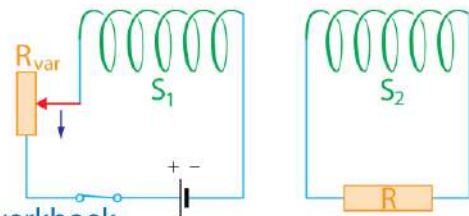
b Geef de richting van de inductiestroom door de weerstand aan. [werkboek](#)



Figuur 2

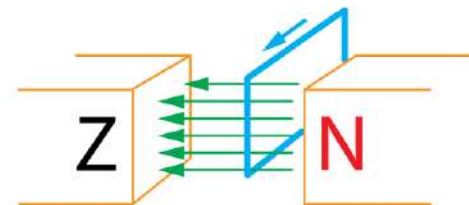
2** Een schuifcontact (blauwe pijl) van een variabele weerstand R_{var} is opgenomen in de stroomkring van spoel 1 (S_1) en beweegt naar beneden. Zie figuur. In de stroomkring met spoel 2 (S_2) is een weerstand R opgenomen.

a Geef de richting van de inductiestroom door R aan. [werkboek](#)



3** Een draadraam wordt in een magnetisch veld geschoven. Zie figuur 1.

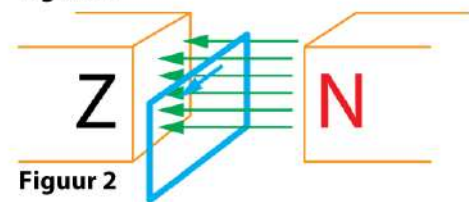
a Geef de richting van de inductiestroom door het draadraam aan. [werkboek](#)



Figuur 1

Een draadraam wordt uit een magnetisch veld getrokken. Zie figuur 2.

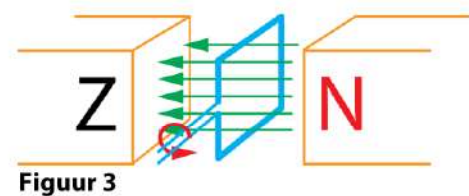
b Geef de richting van de inductiestroom door het draadraam aan. [werkboek](#)



Figuur 2

Een open draadraam draait in een homogeen magnetisch veld. Zie figuur 3.

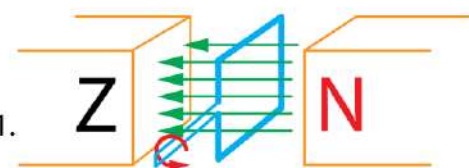
c Gaat er op dit moment een inductiestroom door het draadraam? Zo ja, in welke richting gaat deze stroom?



Figuur 3

4*** Een draadraam draait tussen de polen van een hoefmagneet. Aan de voorkant is het draadraam gesloten, zodat er een stroomkring ontstaat. Zie figuur 1.

a Geef de richting aan van de inductiestroom die in deze stand door het draadraam gaat. [werkboek](#)



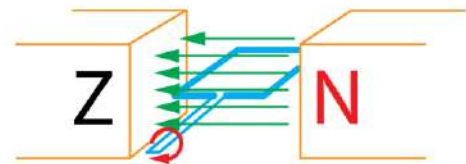
Figuur 1

In figuur 2 is het draadraam een kwartslag gedraaid ten opzichte van figuur 1.

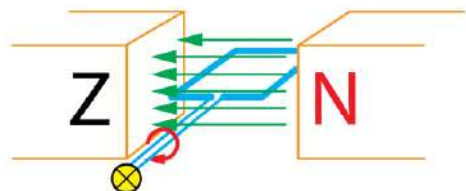
- b** Geef de richting aan van de inductiestroom die in deze stand door het draadraam gaat.
werkboek

In figuur 3 is er een lampje aangesloten op het draadraam, zodat er een stroomkring ontstaat. Zie figuur 3.

- c** Geef de richting aan van de inductiestroom die in deze stand door het draadraam gaat.
werkboek



Figuur 2



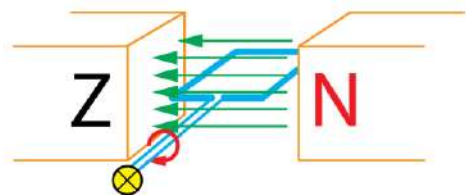
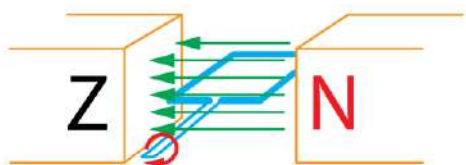
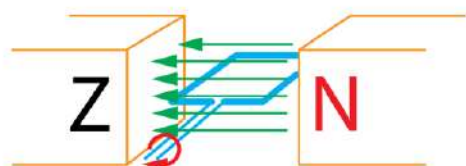
Figuur 3

- 5***** Een draadraam draait tussen de polen van een hoefmagneet. De kracht die nodig is om het draadraam in beweging te houden gaan we vergelijken in de situaties A (boven), B (midden) en C (onder). Zie figuur. In A is het draadraam open, in B is het draadraam gesloten en in C is er een lampje aangesloten op het draadraam.

- a** Leg uit in welke situatie de meeste kracht nodig is om het draadraam in beweging te houden.

Pepijn beweert dat je bij een hogere draadsnelheid minder kracht nodig hebt om het draadraam in beweging te houden. Suzanne beweert het tegenovergestelde, volgens haar heb je bij een hogere draadsnelheid meer kracht nodig.

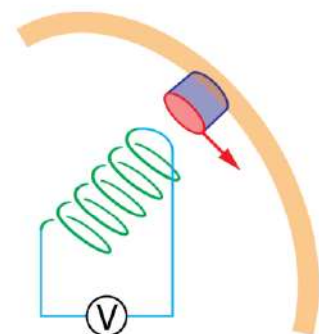
- b** Leg uit wie er gelijk heeft, Pepijn of Suzanne of geen van beiden.



- 6***** Bij een snelheidsmeter van een fiets is een magneetje aan een spaak bevestigd. Als het wiel ronddraait passeert het magneetje een spoel die aan de voorvork is bevestigd. De rode kant van de magneet is de noordpool. In figuur 1 zijn het magneetje en de spoel schematisch weergegeven.

Op het moment dat het magneetje de spoel passeert wordt er een inductiespanning opgewekt.

- a** Leg uit in welke richting de stroom door de spoel loopt als het magneetje de spoel nadert.



Figuur 1

Bij een fiets met constante snelheid wordt U_{ind} als functie van de tijd gemeten. In figuur 2 is U_{ind} gegeven als functie van de tijd. Als het magneetje de spoel passeert worden kort na elkaar twee tegengestelde pieken opgewekt.

- b** Leg uit waarom elke puls twee tegengestelde pieken oplevert.

De diameter van het fietswiel is 28 inch.

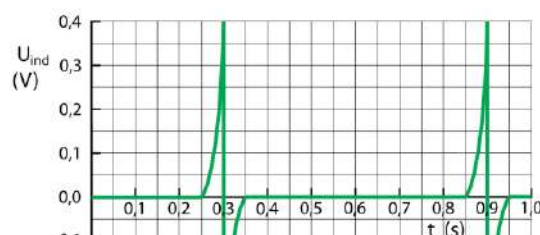
- c** Bepaal de snelheid van de fiets.

De snelheid van de fiets halveert. Opnieuw wordt een (U_{ind}, t) -diagram gemaakt. Het nieuwe diagram wijkt in een aantal opzichten af van het diagram in figuur 2. Opnieuw komt de eerste puls op $t = 0,3$ s.

- d** Bereken wanneer de 2^e puls komt.

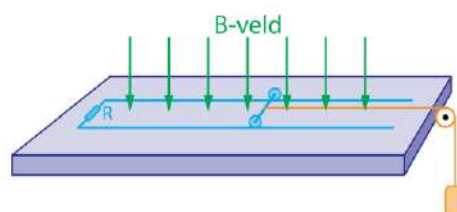
- e** Leg uit of de hoogte van de pulsen nu groter of kleiner is dan in figuur 2.

- f** Leg uit of de breedte van de pulsen nu groter of kleiner is dan in figuur 2.



Figuur 2

- 7***** Een karretje met een massa van 50,0 g staat op horizontale rails. De afstand tussen de rails is 12,0 cm. Tussen de rails is een weerstand R van 150 m Ω aangebracht. Eén as van het karretje vormt samen met de metalen wielen een geleidende verbinding tussen de rails. De weerstand van de rails, de wielen en de as zijn te verwaarlozen. Zie figuur die vergroot is in het [werkboek](#).



Het geheel bevindt zich in een homogeen magnetisch veld met $B = 800$ mT. Zodra het karretje wordt losgelaten wordt het via een koord door een gewichtje voortgetrokken. Wrijving is hierbij te verwaarlozen. De massa van het gewichtje is 10,0 g.

- a** Bereken de versnelling van het karretje vlak nadat het is losgelaten.
b Leg uit dat er door de rails een inductiestroom gaat lopen.
c Beredeneer in welke richting de stroom door weerstand R loopt.

Na enige tijd gaat het karretje met een constante snelheid rijden.

- d** Leg uit waarom de snelheid constant wordt.
e Bereken de lorentzkracht op het karretje als het met een constante snelheid rijdt.
f Bereken de inductiestroom als het karretje met een constante snelheid rijdt.
g Bereken de inductiespanning als het karretje met een constante snelheid rijdt.

Er geldt: $U_{\text{ind}} = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt}$ met $N = 1 \rightarrow U_{\text{ind}}$ is de fluxtoename per seconde

- h** Geef de relatie tussen de fluxtoename en de constante snelheid van het karretje.
i Bereken de constante snelheid van het karretje.

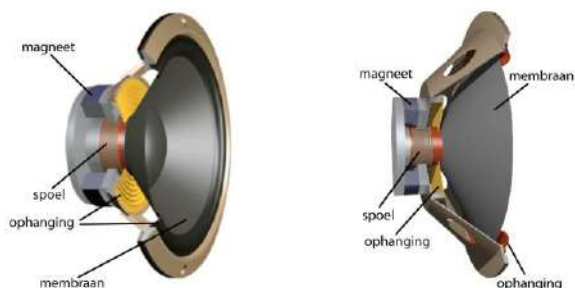
De constante snelheid die het karretje krijgt kan ook worden berekend met de wet van behoud van energie.

- + **j** Bereken uit U_{ind} en I_{ind} het opgewekte elektrische vermogen.
 + **k** Geef een uitdrukking voor het vermogen van de zwaartekracht op het blokje.
 + **l** Stel deze vermogens aan elkaar gelijk en bereken de snelheid van het blokje. Wrijvingskracht wordt verwaarloosd.
 + **m** Bereken de constante snelheid die het karretje krijgt.

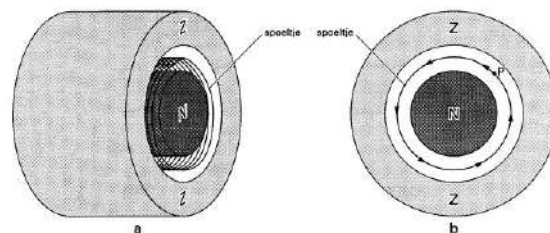
Examenvragen havo

Luidspreker (aangepast)

In een luidspreker bevindt zich een spoel in het veld van een ringmagneet. Zie figuur 1. De ringmagneet met spoel is vergroot in figuur 2. Figuur 2b is een vooraanzicht van dit deel van de luidspreker. Het spoeltje beweegt heen en weer als er wisselstroom doorheen loopt.



Figuur 1



Figuur 2

Op een zeker moment loopt de stroom door de spoel zoals in figuur 1b met pijltjes is aangegeven. Hierdoor ondervindt de spoel een kracht. De spoel zit vast aan het membraan. Je kunt ook de magneet aan het membraan bevestigen, maar dat werkt minder goed.

2p **1** Leg uit waarom een luidspreker waarbij de magneet aan het membraan is bevestigd minder goed werkt.

2p **2** Bepaal de richting van de kracht die in punt P van figuur 2b werkt.

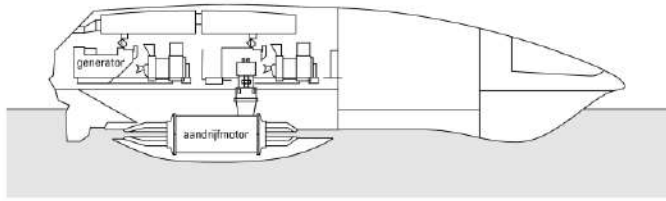
De spoel heeft 65 windingen. De diameter van het spoeltje is 2,6 cm. Op de plaats van de spoel heeft het magneetveld een kracht van 1,24 T. Op een zeker moment ondervindt het spoeltje een kracht van $7,8 \cdot 10^{-2}$ N.

3p **3** Bereken de sterkte van de stroom die dan door het spoeltje loopt.

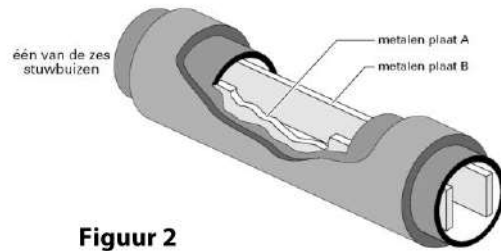
3p **4** Leg uit of onderstaande veranderingen de luidspreker beter geschikt maken om hoge tonen te produceren: (i) sterkere magneet, (ii) een spoel met meer windingen, (iii) spoel en membraan lichter maken

Scheepsaandrijving zonder schroef

De Yamato is een zeeschip zonder schroef. Het schip wordt voortgestuwd door de lorentz-kracht. In figuur 1 is een doorsnede van het schip afgebeeld.



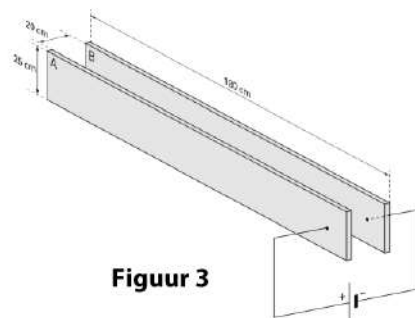
Figuur 1



Figuur 2

De aandrijfmotor van het schip bevat zes stuwbuizen. Figuur 2 is een opengewerkte tekening van zo'n stuwbuis. De stuwbuizen zijn aan de voor- en achterkant open. Het zeewater kan vrij in en uit de stuwbuis stromen. In elke buis zitten twee identieke metalen platen A en B. Er bevindt zich dus zeewater tussen de platen in de buis.

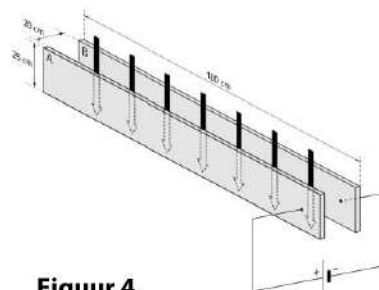
Op de platen A en B is een spanningsbron aangesloten die een constante spanning levert. Zie figuur 3. In deze figuur zijn tevens enige afmetingen aangegeven. Omdat zeewater een (matige) geleider is, gaat er een stroom lopen tussen plaat A en plaat B. De soortelijke weerstand van zeewater is $0,23 \Omega \text{ m}$. Van plaat A naar plaat B gaat een stroom lopen van $4,0 \text{ kA}$.



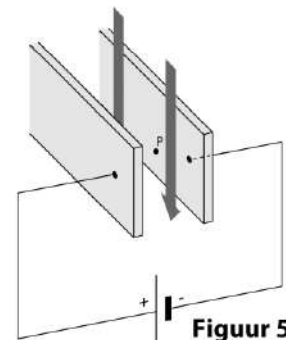
Figuur 3

- 4p **1** Bereken de spanning tussen de platen A en B.

In de hele ruimte tussen de platen wordt een homogeen magnetisch veld aangelegd. Het veld is van boven naar beneden gericht. Dit is in figuur 4 met grote pijlen aangegeven.



Figuur 4



Figuur 5

Een deel van figuur 4 is vergroot in figuur 5 weergegeven. In figuur 5 is tussen de platen een punt P getekend.

- 3p **2** Teken in punt P in figuur 5 de vectoren die de richting aangeven van het magnetisch veld, van de elektrische stroom en van de lorentzkracht op het zeewater. [werkboek](#)
- 2p **3** Leg uit of de boot in de richting van de lorentzkracht gaat bewegen of juist de andere kant op.

De grootte van de magnetische inductie is $3,9 \text{ T}$.

- 3p **4** Bereken de grootte van de lorentzkracht die opgewekt wordt in één buis.

Een nadeel van deze boot is dat dit type aandrijfmotor slecht werkt wanneer de boot op een rivier vaart.

- 2p **5** Geef daarvoor een verklaring.

Magneettrein

In Lathen in Duitsland bevindt zich de testbaan van de zo genoemde Transrapid. Dat is een magneettrein die zich over een speciale baan voortbeweegt. Zie figuur 1.



Figuur 1

Onder tegen de baan bevinden zich stukken weekijzer. In het deel van de trein dat zich onder de baan bevindt, zorgen elektromagneten ervoor dat de trein gaat zweven. Zie figuur 2.

De Transrapid heeft inclusief passagiers een massa van $1,8 \cdot 10^5$ kg. In het onderstel van de trein bevinden zich 46 elektromagneten.

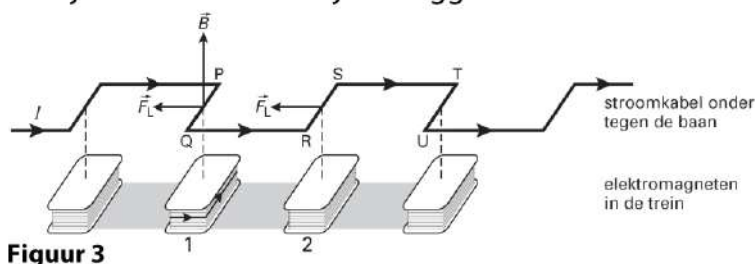


Figuur 2

- 3p **1** Bereken de grootte van de kracht van één elektromagneet op het weekijzer, als de trein zweeft.

Het magnetisch veld van de elektromagneten zorgt tevens voor de voortstuwing van de trein. Daarvoor is onder tegen de baan een kabel aangebracht die zich tussen de stukken weekijzer door slingert. In figuur 3 is zo'n stuk kabel en een aantal elektromagneten schematisch weergegeven. In deze figuur zijn de stukken weekijzer weggelaten.

In de situatie die door figuur 3 wordt weergegeven, bevindt elektromagneet 1 zich recht onder het stuk kabel tussen de punten P en Q.



Figuur 3

Het stuk PQ heeft een lengte van 0,26 m en bevindt zich geheel in het magnetische veld van de elektromagneet eronder. De magnetische inductie B ter hoogte van PQ bedraagt gemiddeld 7,3 T. Door de kabel loopt een stroom van $1,2 \cdot 10^3$ A.

- 2p **2** Bereken de grootte van de lorentzkracht op dit stuk kabel.

In figuur 3 is ook te zien dat elektromagneet 2 zich recht onder het stuk kabel tussen de punten R en S bevindt. Zoals is aangegeven, heeft de lorentzkracht op stuk RS dezelfde richting als de lorentzkracht op stuk PQ. In figuur 3 is de richting van de stroom in elektromagneet 1 aangegeven.

- 3p **3** Leg uit of de stroom in elektromagneet 2 in dezelfde richting loopt als in elektromagneet 1 of in tegengestelde richting.

De elektromagneten in de trein veroorzaken een lorentzkracht op de kabel in de baan. In figuur 2 is met $\vec{F}_L$ de richting van de lorentzkracht aangegeven.

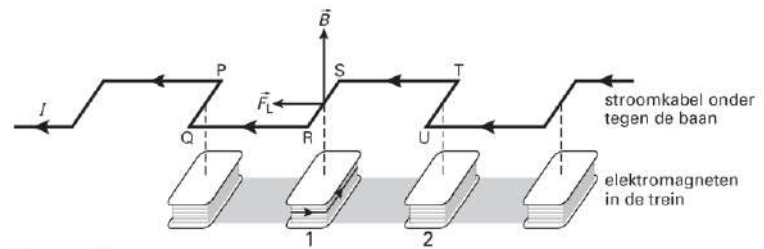
- 2p **4** Leg uit waarom de trein naar rechts beweegt. Gebruik bij je uitleg een natuurkundige wet.

Als de trein beweegt, moet de stroom door de kabel in de baan steeds op het goede moment van richting worden veranderd. Vergelijk de figuren 3 en 4. De stroom in de kabel verandert van richting als een elektromagneet een afstand gelijk aan QR heeft afgelegd.

De afstand QR is 0,26 m. Op een bepaald moment heeft de trein een snelheid van 400 km/h.

4p

- 5** Bereken de frequentie van de wisselstroom in de kabel in deze situatie.



Figuur 4

Examenvragen vwo

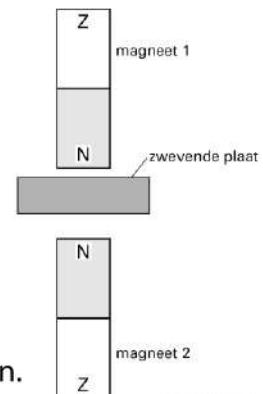
Magnetisch zweven

Om voorwerpen met zo weinig mogelijk wrijving te laten bewegen, worden meestal rol- of kogellagers gebruikt. Bij zeer nauwkeurig onderzoek is het van belang dat de te onderzoeken voorwerpen trillingsvrij kunnen worden bewogen. Men maakt bij zo'n nauwkeurig onderzoek geen gebruik meer van lagers, maar van magneten. Tussen twee magneten zweeft een ijzeren plaat waarop het te onderzoeken voorwerp geplaatst kan worden.

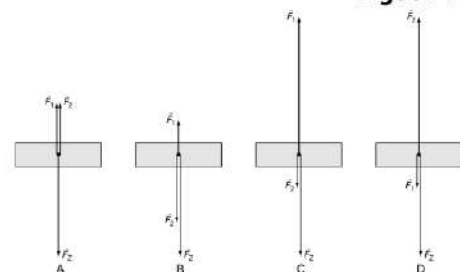
In figuur 1 is dit schematisch weergegeven. Er werken drie krachten op de zwevende plaat: de zwaartekracht en twee magnetische krachten.

In figuur 2 zijn vier situaties geschetst met daarin deze drie krachten. Slechts in één van de situaties zijn de krachten juist weergegeven.

$\vec{F}_Z$ is de zwaartekracht, $\vec{F}_1$ is de magnetische kracht ten gevolge van magneet 1 en $\vec{F}_2$ die ten gevolge van magneet 2.



Figuur 1



Figuur 2

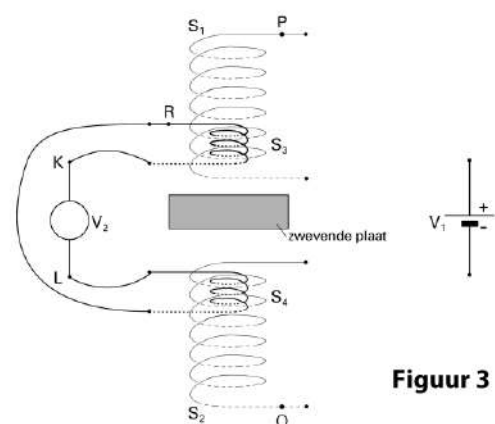
- 4p **1** In welke situatie zijn de krachten juist weergegeven? Leg van ieder van de drie andere situaties uit waarom de krachten daarin niet juist zijn weergegeven.

In de praktijk is het onmogelijk een ijzeren plaat zwevend te houden met behulp van permanente magneten, zoals weergegeven in figuur 1. Al door een klein stootje zou het evenwicht van krachten blijvend worden verstoord.

In werkelijkheid zijn de magneten daarom vervangen door twee elektromagneten, zodat de sterkte van de magnetische velden met behulp van de stroom door de spoelen geregeld kan worden. De verticale positie van de plaat wordt voortdurend nauwkeurig gemeten. Wanneer de plaat daalt, wordt er automatisch door de bovenste spoel meer stroom gestuurd, zodat de plaat omhooggetrokken wordt. Als de plaat stijgt, gebeurt het omgekeerde.

De variaties in de sterkte van de magnetische velden tijdens het zwevend houden van de ijzeren plaat blijken klein te zijn ten opzichte van de sterkte die de magnetische velden gemiddeld hebben. Daarom is gekozen voor een systeem met vier spoelen. Zie figuur 3.

De grote spoelen S_1 en S_2 zorgen voor het hoofdveld. De kleinere spoelen S_3 en S_4 zorgen voor de variaties op dit hoofdveld.



Figuur 3

In figuur 3 zijn wel de aansluitingen van de spoelen S_3 en S_4 (op spanningsbron V_2) getekend, maar nog niet de aansluitingen van S_1 en S_2 . De spoelen S_1 en S_2 zijn parallel aangesloten op een gelijkspannings-bron V_1 . De oriëntatie van de polen van de elektro-magneten komt overeen met die van de permanente magneten in figuur 1.

- 3p **2** 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. [werkboek](#)

Spanningsbron V_2 wordt aangestuurd door het automatische systeem. De spanning V_{KL} tussen de aansluitpunten K en L van bron V_2 kan zowel positief als negatief gemaakt worden, afhankelijk van de positie van de ijzeren plaat.

Op een bepaald moment bevindt de ijzeren plaat zich door een verstoring te hoog.

- 4p **3** 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.

De spoelen S_1 en S_2 zijn identiek. Beide zijn 3,0 cm lang en bestaan uit 480 windingen van koperdraad met een doorsnede van $0,024 \text{ mm}^2$. Elke winding heeft een omtrek van 6,4 cm. De lengte van de verbindingsdraden wordt verwaarloosd. De spanning van bron V_1 is 24 V. Met behulp van deze gegevens kan de magnetische inductie B in zo'n spoel worden berekend.

- 5p **4** 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.

Deep Space

Lees het artikel.

Ionenmotor werkt nu prima

Ruimteonderzoek – De problemen met de ionenmotor van Deep Space zijn voorbij. De motor kan de baan van deze Amerikaanse ruimtesonde nu zodanig gaan veranderen dat hij in juli langs de planetoïde 1992 KD scheert.

PASADENA – Deep Space is de eerste van een serie ruimtesondes waarmee Nasa nieuwe technologieën wil testen. Bij Deep Space is de belangrijkste vernieuwing een ionenmotor die werkt op het edelgas xenon. De xenon-atomen worden vanuit een kathode bestookt met elektronen, waardoor zij een elektron kwijtraken en positief geladen worden. Deze positieve ionen worden versneld in een elektrisch veld door een spanning van 1,28 kV. De versnelde ionen worden uitgestoten en zorgen zo voor de stuwkracht.

De 490 kg zware Deep Space werd op 24 oktober in een baan om de zon gebracht. De ionenmotor heeft nu een aantal keren gewerkt. Hij verbruikt maximaal 2400 watt aan elektrisch vermogen (van de zonnepanelen) en levert dan een stuwkracht van 90 millinewton (het gewicht van twee A4-tjes). Deep Space heeft 60 kg xenongas aan boord, waarop zijn ionenmotor veertien maanden lang zou kunnen werken. De snelheid zou hierdoor 6,9 km per seconde groter kunnen worden. Met een zelfde hoeveelheid chemische stuwstof zou een snelheidstoename van slechts 0,4 km/s kunnen worden bereikt.

naar: een artikel van George Beekman in het Technisch Weekblad van 13 - 1 - 1999

Een xenon-ion wordt (ten opzichte van de ruimtesonde) vanuit rust versneld.

- 3p **1** Bereken hoeveel de kinetische energie van het xenon-ion in het elektrische veld maximaal verandert.

De elektroden waartussen het homogene veld heerst, staan op een bepaalde afstand van elkaar. Stel dat ze tweemaal zo dicht bij elkaar gebracht zouden worden zonder de spanning te veranderen.

- 3p **2** Toon aan dat de kracht die de ionen in het elektrische veld ondervinden dan tweemaal zo groot zou zijn.

- 3p **3** Leg uit welke gevolgen dit zou hebben voor de snelheidstoename van Deep Space.

In het artikel wordt een totale snelheidstoename van Deep Space genoemd van $6,9 \text{ km s}^{-1}$. Neem aan dat de massa van Deep Space gelijkmatig afneemt.

- 4p **4** 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.

Ralph en Norton

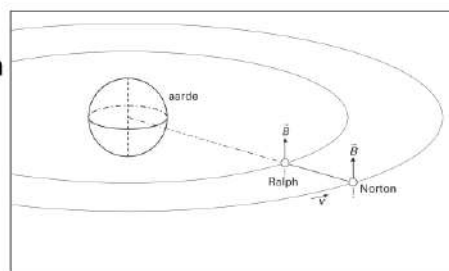
Lees het artikel.

Met een onbemande raket werden eind juni twee satellieten, Ralph en Norton, op 1000 kilometer hoogte in een baan om de aarde gebracht. Ze zijn door een 4,0 kilometer lange draad geleidend met elkaar verbonden. In de toekomst hoopt men elektriciteit op te wekken door de grote snelheid van zo'n lange, geleidende draad in het magnetische veld van de aarde.

De positie van beide satellieten wordt vanaf de aarde voortdurend gemeten. In de periode dat het duo werd bekeken, bevonden Norton, Ralph en het middelpunt van de aarde zich steeds op één lijn.

naar: NRC Handelsblad, juli 1996

De banen van Ralph en Norton liggen in het vlak van de evenaar. In figuur 1 is de afstand tussen de satellieten overdreven groot weergegeven. De baansnelheid van Ralph is $7,4 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}$.



Figuur 1

- 4p **1** Toon aan dat de baansnelheid van Norton binnen de hier gegeven nauwkeurigheid gelijk is aan die van Ralph.

De draad tussen de twee satellieten bestaat uit sterk kunststof met een dunne koperdraad als kern. In de koperdraad bevinden zich in totaal $1,1 \cdot 10^{23}$ vrije elektronen. De magnetische inductie $\vec{B}$ van het magnetische veld van de aarde staat loodrecht op het vlak van de evenaar. Zie figuur 1. De grootte van B is gelijk aan $3,0 \cdot 10^{-5} \text{ T}$.

- 3p **2** Bereken de totale lorentzkracht op alle vrije elektronen samen.

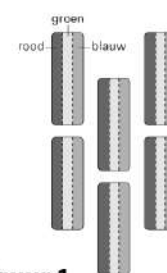
- 3p **3** Beredeneer welke richting de lorentzkracht heeft op de vrije elektronen in de koperdraad.

Ten gevolge van de lorentzkracht verschuiven de vrije elektronen in de draad ten opzichte van het metaalrooster. Hierdoor ontstaat een elektrisch veld. Door dit elektrische veld ondervinden de elektronen behalve de lorentzkracht ook een elektrische kracht. Deze twee krachten zijn met elkaar in evenwicht.

- 4p **4** Bereken de elektrische spanning over de draad. Bereken daartoe eerst de elektrische veldsterkte in de draad.

Beeldscherm

Wanneer je met een loep een televisiescherm van dichtbij bekijkt, zie je een patroon van lichtgevende vlakjes. Deze vlakjes noemen we pixels. In figuur 1 zijn er zes getekend. Elk pixel kan drie kleuren licht uitzenden: rood, groen en blauw. De kleuren worden veroorzaakt door luminiforen. Dit zijn stoffen die een eigen, karakteristieke kleur licht uitzenden als ze getroffen worden door elektronen.

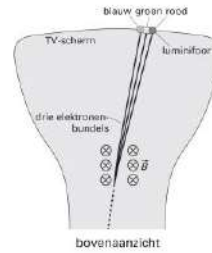


Figuur 1

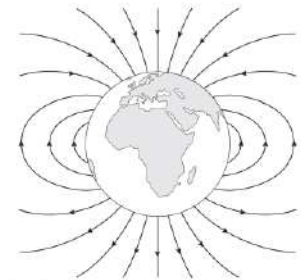
Horizontale en verticale elektrische velden zorgen ervoor dat een elektronenbundel in de richting van een bepaald pixel wordt gestuurd. Het TV-beeld wordt zo pixel voor pixel opgebouwd en 50 of 100 keer per seconde vernieuwd. Deze elektronenbundel bestaat in feite uit drie bundels, die elk van een apart elektronenkanon afkomstig zijn, maar die toch langs dezelfde lijn de elektrische afbuig-velden verlaten: zie de gestippelde lijn in figuur 2. Elk kanon geeft de elektronen een andere snelheid. Een magneetveld $\vec{B}$ zorgt er vervolgens voor dat de drie bundels van elkaar gescheiden worden en zo ieder een ander luminifoor van het pixel raken.

- 4p **1** Beredeneer of de elektronen afkomstig van het 'rode' of van het 'blauwe' elektronenkanon 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.

De sterkte van het magneetveld $\vec{B}$ in een televisietoestel verschilt slechts weinig van de sterkte van het aardmagneetveld. Een gevolg daarvan is dat $\vec{B}$ op het noordelijk halfrond anders moet worden afgesteld dan op het zuidelijk halfrond. In figuur 3 is het aardmagneetveld getekend.



Figuur 2



Figuur 3 aardmagneetveld

3p

- 2 Leg uit of B op het zuidelijk halfrond sterker of juist minder sterk moet zijn dan op het noordelijk halfrond.

Fietskar duwt fiets

Lees het artikel

Het is de omgekeerde wereld: normaal trekt een fietser zijn bagagekarretje voort, maar de fietskar die hiernaast te zien is, duwt de fiets. Deze is namelijk voorzien van een accu met twee elektromotoren en kan 220 liter bagage bergen. De maximale snelheid zonder te trappen bedraagt 40 km h^{-1} . Als de fietser niet trapt, bedraagt de actieradius 50 km bij een constante snelheid van 20 km h^{-1} . Een benzinemotor zou hier 10 centiliter benzine voor nodig gehad hebben. Uiteraard bepaalt de fietser de snelheid. In de handremmen van de fiets zijn twee microschemelaars ingebouwd, die een signaal afgeven aan de elektromagnetische remmen in de fietskar. De fabrikant overweegt om de fietskar op zonne-energie te laten rijden door middel van zonnecellen op het deksel.

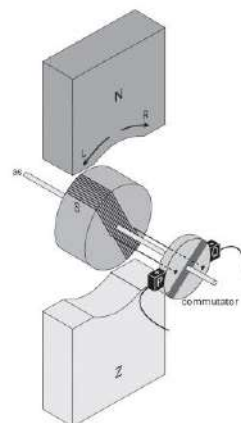


naar: Technisch Weekblad, 9 mei 2001

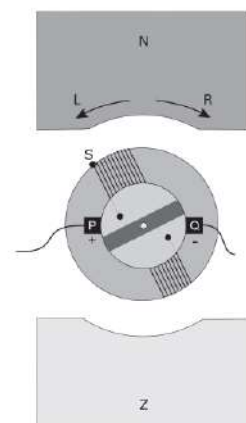
De elektromotoren in de fietskar bevatten elk een cilindervormige kern met daaromheen een spoel in een uitwendig magneetveld. Zie figuur 1. De commutator van de elektromotor draait tussen de contactpunten P en Q. P is aangesloten op de positieve pool van de accu, Q op de negatieve pool. Figuur 2 is het vooraanzicht van figuur 1.

3p

- 1 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.



Figuur 1



Figuur 2

Bij het inknijpen van de handremmen wordt de stroom naar de elektromotoren onderbroken. Omdat de wielen van de fietskar nog draaien, gaat de elektromotor werken als een dynamo, die de opgewekte energie weer teruglevert aan de accu's. De inductiestroom, die in de spoel ontstaat, ondervindt vanwege het uitwendige magneetveld een lorentzkracht tegen de draairichting van de cilindervormige kern in. De zo opgewekte lorentzkracht is daarmee de kracht die de fietskar afremt.

3p **2** Leg uit dat de remkracht groter is naarmate de fietssnelheid groter is.

Nieuw element

Lees het artikel.

Kernfysici zien nieuw element

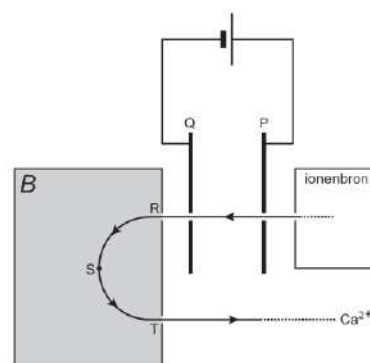
Russische onderzoekers hebben vermoedelijk het element met atoomnummer 114 geproduceerd. Al tientallen jaren proberen natuurkundigen met deeltjesversnellers kunstmatig zware kernen te maken. Zij schieten lichte kernen met hoge snelheid op zware kernen af in de hoop samensmelting tot stand te brengen.

Bij het Russische onderzoek werden calcium-48-ionen geschoten op plutonium-244. Uit het radioactief verval van de gevormde atoomkern konden de onderzoekers afleiden dat bij deze botsing de isotoop met 175 neutronen van element 114 gevormd was. Het gevormde element zou een levensduur hebben van 30 seconde, buitengewoon lang voor zo'n zware atoomkern.

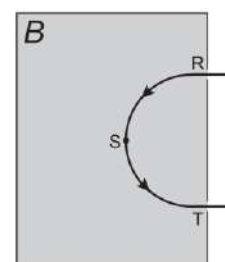
naar: NRC Handelsblad, 30-01-1999

In een ionenbron worden verschillende calciumionen geproduceerd. Deze ionen worden gescheiden door ze eerst in een elektrisch veld te versnellen en daarna in een magnetisch veld af te buigen. In figuur 1 is schematisch de opstelling getekend met daarin de baan die een Ca^{2+} -ion doorloopt.

Binnen de linker rechthoek heerst een homogeen magnetisch veld B dat loodrecht op het vlak van tekening staat. Een deel van figuur 1 is vergroot in figuur 2.



Figuur 1



Figuur 2

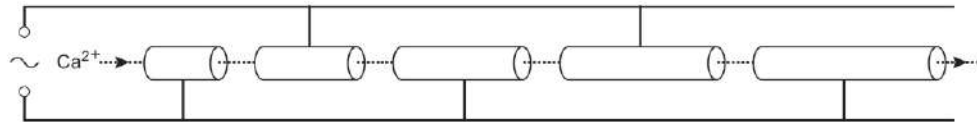
- 3p **1** Bepaal de richting van de magnetische inductie B .
Teken daartoe eerst in figuur 2 in het punt S:
- de richting van de stroom I of snelheid v ;
 - de richting van de lorentzkracht F_L op de ionen.
- [werkboek](#)

Het Ca^{2+} -ion verlaat de ionenbron met een verwaarloosbare snelheid. De spanning tussen de platen P en Q is 2,40 kV. De afstand RT bedraagt 52,6 cm.

- 5p **2** Bereken de grootte van de magnetische inductie B .

Omdat het Ca^{2+} -ion een zeer grote snelheid moet krijgen, wordt het vervolgens door een lineaire versneller geleid. Zo'n versneller bestaat uit een aantal cilindervormige metalen buisjes, die zijn aangesloten op een wisselspanning. Zie figuur 3.

Figuur 3



De snelheid waarmee het Ca^{2+} -ion uit de versneller komt, hangt samen met de amplitude en frequentie van de wisselspanning. Men wil deze snelheid verhogen.

- 4p **3** Beredeneer voor elk van de genoemde grootheden of de ingestelde waarde daartoe moet worden vergroot of verkleind.

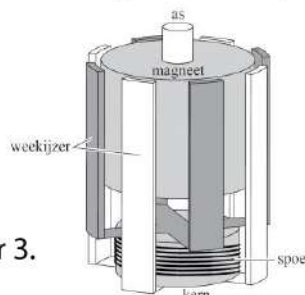
Fietsdynamo

Met een fietsdynamo kunnen we de lampjes van een fiets laten branden.

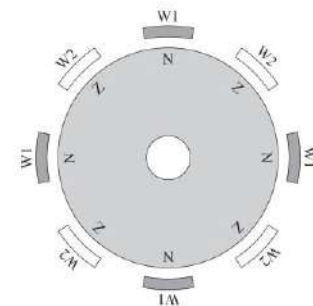
- 2p **1** Leg uit hoe met een dynamo spanning wordt opgewekt. Gebruik daarbij in ieder geval het woord flux.

Berend onderzoekt de spanning van een bepaald type fietsdynamo. Bij dit type draait de magneet rond tussen repen weekijzer die de uiteinden van de weekijzeren kern van de spoel vormen. Zie figuur 1. De magneet blijkt aan de buitenkant acht polen te hebben: om en om een noorden een zuidpool. De tekening van figuur 2 toont een bovenaanzicht van de magneet en de repen weekijzer. De grijs gekleurde repen W1 vormen dus samen het ene uiteinde van de weekijzeren kern en de wit gekleurde repen W2 samen het andere uiteinde.

Op deze dynamo sluit hij een lampje aan. Vervolgens brengt hij het wielotje van de dynamo aan het draaien. Hij maakt een diagram van de spanning over het lampje tegen de tijd. Zie figuur 3.

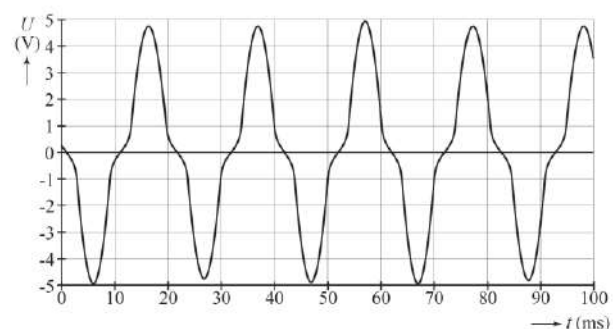


Figuur 1



Figuur 2

- 3p **2** Bepaal de frequentie waarmee het wielotje ronddraait.

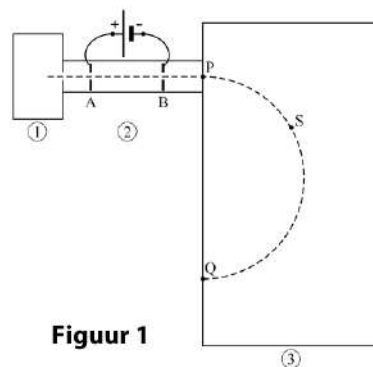


Figuur 3

Massaspectrometer

Lood in ertsen uit mijnen bestaat voornamelijk uit de isotopen lood-206, lood-207 en lood-208. De herkomst van lood in loden voorwerpen is daarom vaak te bepalen uit de verhouding waarin deze isotopen voorkomen.

Om na te gaan of een bepaalde isotoop in een stofmengsel aanwezig is, kan een massaspectrometer gebruikt worden. In figuur 1 wordt een massaspectrometer schematisch weergegeven.



Figuur 1

Het stofmengsel wordt eerst gasvormig gemaakt en daarna onder lage druk in de ionisatiekamer (1) gebracht. De geïoniseerde moleculen of atomen komen vervolgens in een vacuümruiimte (2). Hierin worden ze door een elektrisch veld versneld. In ruimte (3) worden ze door een magnetisch veld afgebogen en ten slotte in punt Q gedetecteerd.

Een mengsel met éénwaardige positieve ionen van lood-206, lood-207 en lood-208 komt met een te verwaarlozen beginsnelheid in ruimte (2). De ionen worden in het elektrische veld tussen de platen A en B versneld. Tussen B en P veranderen de snelheden niet meer.

- 2p **1** Beredeneer welke van de drie isotopen in P de grootste snelheid heeft.

Vervolgens worden de deeltjes afgebogen door het magnetisch veld. De ionen doorlopen een halve cirkelbaan.

- 3p **2** 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. [werkboek](#)

In punt Q worden de ionen gedetecteerd. Uit de sterkte van het magnetisch veld B en de versnelspanning U_{AB} kan worden afgeleid om welke isotoop het gaat.

De massa van een isotoop kan worden berekend met de volgende formule:

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

Hierin is:

- B de sterkte van het magnetisch veld;
- q de lading van het ion;
- r de straal van de cirkelbaan;
- U_{AB} de versnelspanning.

- 4p **3** Leid deze formule af uit formules die in Binas staan.

De sterkte van het magnetisch veld wordt ingesteld op 0,182 T. De afstand PQ bedraagt 56,0 cm.

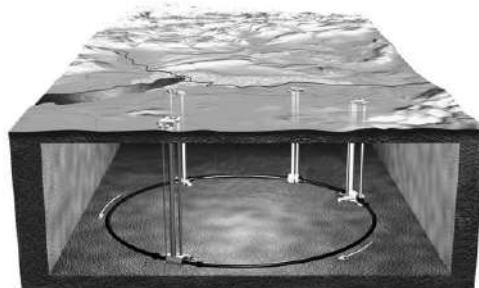
- 3p **4** Bereken de versnelspanning waarbij lood-207-ionen in de detector in punt Q terechtkomen.

Large Hadron Collider

Lees onderstaand artikel

Large Hadron Collider (LHC) geopend

Wetenschappers zijn al jaren op zoek naar het zogenaamde Higgs-deeltje. Om dit te vinden, is in de buurt van Genève in het voorjaar van 2010 de Large Hadron Collider (LHC) in gebruik genomen. Deze ondergrondse deeltjesversneller is met een diameter van maar liefst 8,4858 km de grootste ter wereld.



In de LHC worden protonen versneld tot bijna de lichtsnelheid. De LHC bestaat uit een ondergrondse ring met daarin twee dicht naast elkaar gelegen cirkelvormige buizen. In de twee buizen gaan twee bundels protonen rond in tegengestelde richting. Als ze door het versnellen een energie van 7,0 TeV (tera-elektronvolt) hebben gekregen, laten de wetenschappers de protonen in een detector tegen elkaar botsen. Tijdens de botsing ontstaan allerlei elementaire deeltjes. Hierbij hopen de wetenschappers het Higgs-deeltje te vinden.

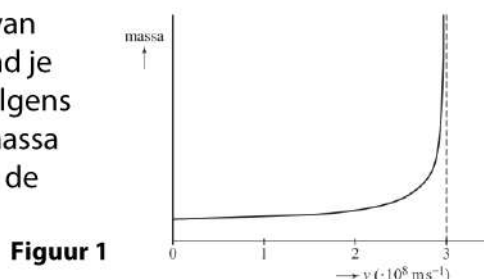
Voordat de protonen in de ring van de LHC binnenkomen, worden ze eerst in een lineaire versneller versneld. (Deze versneller is niet te zien in de figuur in het artikel.) Daarbij doorlopen de protonen een groot aantal malen een elektrische spanning van 5,0 kV.

- 3p **1** Bereken hoe vaak de protonen deze spanning moeten doorlopen om een snelheid van $1,2 \cdot 10^7$ m/s te krijgen als ze vanuit stilstand versneld worden.

Voordat de protonen in de grote ring komen, worden ze in twee bundels gesplitst. Daarna worden de protonen versneld totdat ze 11245 maal per seconde de ring doorlopen.

- 3p **2** Bereken hoeveel procent de snelheid van de protonen dan verschilt van de lichtsnelheid.

Als je met de klassieke theorie de kinetische energie van 7,0 TeV omrekent naar de snelheid van het proton vind je een waarde die veel groter is dan de lichtsnelheid. Volgens de relativiteitstheorie is dit niet mogelijk, omdat de massa van een deeltje tot oneindig toeneemt als het deeltje de lichtsnelheid bereikt. Dit is weergegeven in figuur 1.



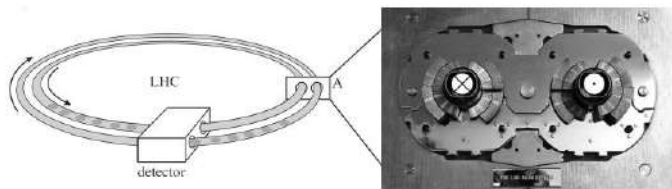
Figuur 1

Bij elke omwenteling neemt de kinetische energie van een proton toe.

- 2p **3** Leg uit aan de hand van figuur 1 dat een proton nooit de lichtsnelheid bereikt, hoe groot de kinetische energie ook is.

In de ring bevinden zich twee buizen waarin de protonen in tegengestelde richting bewegen. Dit is schematisch weergegeven in figuur 2. Rechts in figuur 2 zie je een foto van de dwarsdoorsnede bij punt A.

De protonen worden in de buizen in een cirkelbaan gehouden door sterke elektromagneten om de buizen. In figuur 2 zie je de twee buizen waarin de protonen in tegengestelde richting bewegen.



Figuur 2

In figuur 2 is aangegeven dat de protonen in de rechterbuis naar je toe bewegen ($\odot$) en in de linker buis van je af ($\otimes$).

- 2p **4** Teken in het rechterdeel van figuur 2 de richtingen van de magneetvelden in elke buis afzonderlijk. [werkboek](#)

Voor een proton met een energie van 7,0 TeV dat rondgaat in een buis geldt voor de middelpuntzoekende kracht:

$$F_{\text{mpz}} = \frac{E}{r}$$

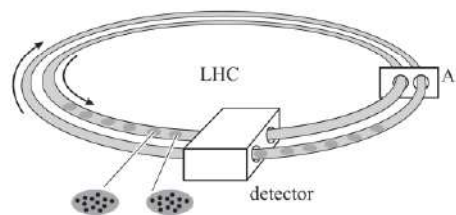
Hierin is:

- E de energie van het proton,
- r de straal van de baan.

- 4p **5** Bereken de sterkte van het magneetveld.

De protonen gaan in groepjes door de buizen. Dit is schematisch weergegeven in figuur 3.

In één buis bewegen 2808 groepjes protonen. Hierdoor is in die buis de stroomsterkte gelijk aan 0,582 A.



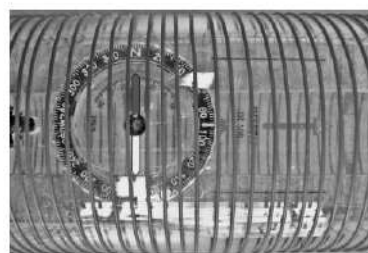
Figuur 3

- 4p **6** Bereken hoeveel protonen er in één groepje zitten.

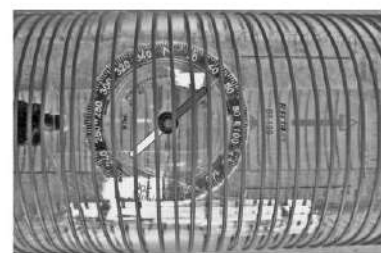
Magneetveld van de aarde (aangepast)

Jeroen en Baukje voeren een onderzoek uit dat als doel heeft de sterkte van het magneetveld van de aarde te bepalen. Ze maken hiervoor een opstelling met een serieschakeling van een regelbare voeding, een stroommeter en een spoel. Als Jeroen en Baukje beginnen, loopt in de spoel geen stroom. Ze leggen een kompas in de spoel en leggen de spoel zo neer dat de kompasnaald loodrecht op de spoel staat. De spoel ligt dan in oost-west-richting.

Figuur 1 is een bovenaanzicht van deze situatie. Daarna wordt de voeding ingeschakeld. De kompasnaald draait dan. Zie figuur 2.

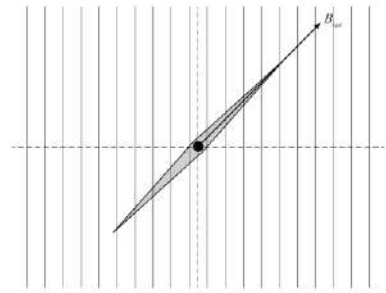


Figuur 1



Figuur 2

De situatie van figuur 2 is hiernaast schematisch en vanuit een bovenaanzicht weergegeven. Hierbij zijn de grootte en richting van het totale magnetveld $\vec{B}_{\text{tot}}$ getekend. Met lijnen zijn de stroomdraden aangegeven die boven over het kompas lopen.



Figuur 3

3p **1** Voer de volgende opdrachten uit:

- Teken de richting van het gemeten aardmagnetveld. [werkboek](#)
- Teken de richting van het magnetveld van de spoel. [werkboek](#)
- Teken de richting van de stroom in de getekende stroomdraden. [werkboek](#)

Als de spanning zo wordt ingesteld, dat de kompasnaald draait over een hoek van 45° , is de gemeten waarde van het aardmagnetveld gelijk aan de waarde van het magnetveld in de spoel.

3p **2** Leg dit uit.

De spoel heeft 60 mindingen, een diameter van 7,2 cm en een lengte van 24 cm. Bij een stroomsterkte van 0,070 A is de kompasnaald over een hoek van 45° gedraaid.

3p **3** Bepaal de gemeten waarde van het aardmagnetveld.

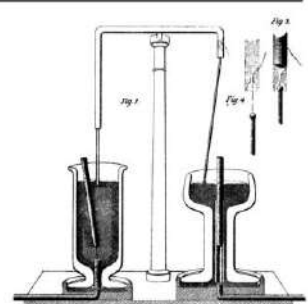
In de literatuur vinden Jeroen en Baukje een grotere waarde voor het aardmagnetveld.

2p **4** Beantwoord de volgende vragen:

- Wat is de reden van het verschil?
- Wat moet er nog meer bepaald worden om de literatuurwaarde voor het aardmagnetveld te krijgen?

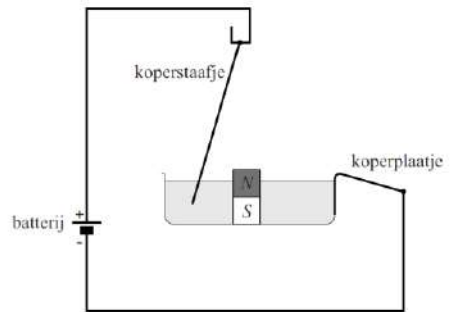
Faradaymotor

Een van de eerste elektromotoren ooit werd ontwikkeld door Michael Faraday. In 1821 publiceerde hij zijn idee. In deze publicatie stond nevenstaande figuur. De opstelling bestaat uit twee bekertjes gevuld met kwik. In de rechter beker bevindt zich in het midden een magneet. In het kwik hangt een koperen staaf. Door een elektrische stroom te laten lopen door de opstelling (koperen staaf en kwik) beweegt de koperen staaf rondom de magneet. (In het linker gedeelte beweegt de magneet om de koperen staaf.)



Sanne wil met eenvoudige hulpmiddelen zelf een Faradaymotor maken als in het rechter gedeelte in de afbeelding hierboven. In figuur 1 is schematisch de opstelling weergegeven die Sanne maakt. Midden in een glazen bakje legt ze een magneet. In het bakje giet ze water. Verder verbindt ze een 9,0 V-batterij via twee koperdraden met een koperstaafje en een koperplaatje.

De koperdraden hebben elk een diameter van 0,20 mm en een lengte van 30 cm. Het koperstaafje heeft een diameter van 1,0 mm en een lengte van 10 cm. Sanne berekent dat de weerstand van het koperstaafje $2,2 \text{ m}\Omega$ is en beredeneert dat de weerstand van één koperdraad een factor 75 groter is dan de weerstand van het koperstaafje.



Figuur 1

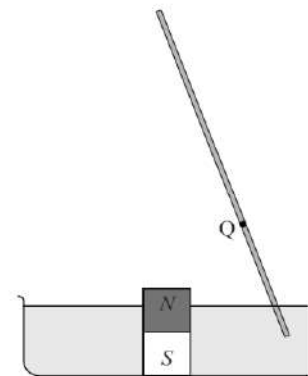
- 4p **1** Voer de berekening uit en geef de redenering van Sanne om te laten zien dat deze waarden juist zijn.

Sanne voegt een hoeveelheid zout toe aan het water. Het zoute water tussen het koperplaatje en het koperstaafje heeft een weerstand van $4,5 \Omega$. Het koperplaatje in de opstelling heeft een verwaarloosbaar kleine weerstand. Ook worden eventuele contactweerstand verwaarloosd.

- 3p **2** Bereken de stroomsterkte die nu door haar opstelling loopt.

Als de stroom loopt, begint het koperstaafje figuur 2 om de magneet heen te draaien. Er werkt dus een kracht op het staafje. In figuur 2 is de situatie schematisch getekend. In punt Q staat het magneetveld loodrecht op het staafje.

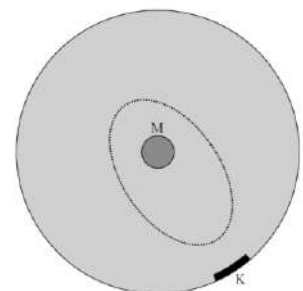
- 4p **3** Voer de volgende opdrachten uit:
- Teken in figuur 2 de richting van het magneetveld en van de kracht in punt Q. [werkboek](#)
 - Geef daarmee aan of het staafje, van bovenaf gezien, een draaibeweging maakt met de wijzers van de klok mee of tegen de wijzers van de klok in. [werkboek](#)



Figuur 2

Als Sanne van bovenaf naar het draaiende staafje kijkt, valt het haar op dat de baan ellipsvormig is en niet cirkelvormig. In figuur 3 is dit schematisch weergegeven. In deze figuur is ook de positie van de magneet M en het koperplaatje K aangegeven.

- 3p **4** Leg uit waarom de baan niet cirkelvormig is.



Figuur 3