

# 8 Elektromotor en dynamo

Elektromagnetisch veld | vwo



## Uitwerkingen basisboek

### 8.1 INTRODUCTIE

- 1 **[W] Experiment:** Magneten, spijkers en kompassen
- 2 **[W] Experiment:** Relais
- 3 **[W] Experiment:** Ferromagneet en antiferromagneet
- 4 **Waar of niet waar?**
  - a Niet waar: Magnetische veldlijnen snijden elkaar nooit.
  - b Waar
  - c Niet waar: Een permanente magneet kan zijn magnetisme heel lang goed vast houden, maar boven een bepaalde materiaalafhankelijke temperatuur verdwijnt het magnetisme.
  - d Niet waar: Wanneer je een magneet doormidden breekt, dan heeft elk stuk weer een noordpool en een zuidpool.
  - e Niet waar: Bij een elektromagneet zorgt een elektrische stroom voor het magnetisme. Als je de stroom uitschakelt is het magnetisme weg.
  - f Waar
  - g Waar
  - h Waar
- 5 De pijlpunten van de kompasnaaldjes wijzen in de richting van de magnetische veldlijnen. Deze veldlijnen lopen van de noordpool van de magneet naar de zuidpool.
- 6
  - a De stukjes ijzer worden door het magnetisch veld van de permanente magneet gemagnetiseerd.
  - b De stukjes ijzer gaan net als de kompasnaaldjes van figuur 5 in het basisboek in de richting van de magnetische veldlijnen van de permanente magneet staan.
  - c Nee, want je kunt niet zien welke kant de veldlijnen op wijzen, dus welke kant een kompasnaaldje op zou wijzen.

### 8.2 MAGNETISCHE VELDEN DOOR ELEKTRISCHE STROOM

- 7 **[W] Experiment:** Magneetveld van een spoel
- 8 **[W] Experiment:** Magneetveld van een draad
- 9 **Waar of niet waar?**
  - a Waar
  - b Niet waar: Het magneetveld van een elektrische stroomdraad loopt in cirkels in een vlak loodrecht op de stroomdraad, zonder begin of einde. Er is dus geen noord- of zuidpool.
  - c Niet waar: Onder Antarctica bevindt zich een magnetische noordpool.
  - d Niet waar: Een kompasnaald is een klein dun permanent magneetje.
  - e Waar
- 10
  - a Omdat er niets beweegt.



- b** Er zijn geen polen bij het magneetveld van een rechte stroomdraad. De veldlijnen zijn gesloten cirkels, zonder begin of einde.

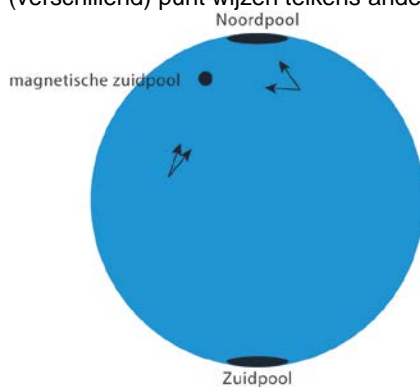
**11** De stroomrichting draait om, dus de vingers moeten de andere kant op wijzen en dan wijst de duim ook de andere kant op en daarmee ook het magneetveld.

**12**

- a** De noordpool van een kompas wijst altijd naar de zuidpool van een magneet, dus ook naar de magnetische zuidpool van de aarde.
- b** Antarctica ligt op de geografische Zuidpool van de aarde. Het kompas wijst naar de geografische Noordpool, waar de magnetische zuidpool van de aarde zit, dus ligt de magnetische noordpool aan de andere kant, onder Antarctica.
- c** Een kompas wijst naar de magnetische zuidpool en ook naar de geografische Noordpool van de aarde. De magnetische zuidpool van de aarde moet dus wel bij de geografische Noordpool liggen.

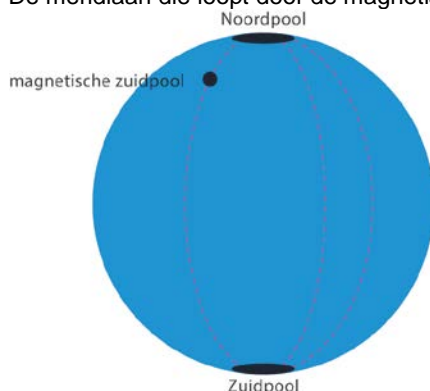
**13**

- a** Je begeeft je over de oppervlakte van de aardbol, waardoor de hoek tussen twee lijnen die beiden naar een (verschillend) punt wijzen telkens anders zal zijn, zie figuur 1.



Figuur 1

- b** De meridiaan die loopt door de magnetische zuidpool is een magnetische veldlijn, zie figuur 2.



Figuur 2

- c** Op de meridiaan die door het magnetische noorden loopt, tussen de Noordpool en de magnetische zuidpool in.

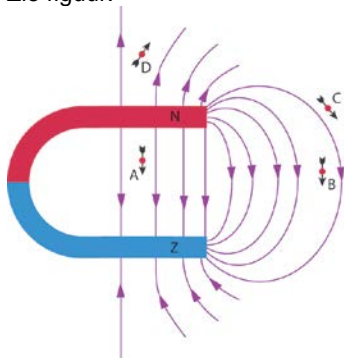
**14**

- a** Als je de rechterhandregel toepast op een stukje stroomdraad in de spoel zie je dat de richting van de magnetische veldlijnen rondom dit stukje draad binnen de spoel overeenkomen met de richting van het magneetveld van de spoel zelf.
- b** Alle magneetvelden van de windingen van de spoel hebben dezelfde richting en deze versterken elkaar tot één groot magneetveld.



15 Veldlijnen snijden elkaar nooit maar dat is in figuur 16 van het basisboek wel zo getekend.

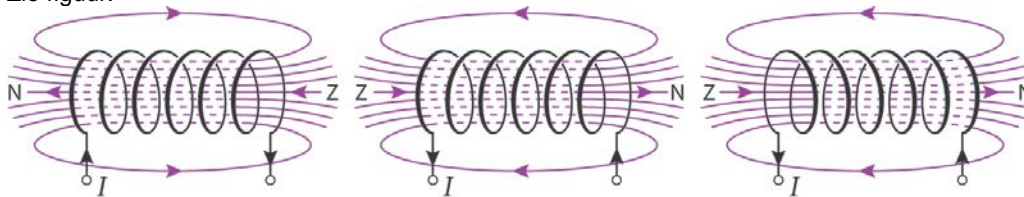
16 Zie figuur.



Figuur 3

17 Eigen antwoord van de leerling

18 Zie figuur.



Figuur 4

19

- a De magnetische gebiedjes in het weekijzer worden gericht en gaan met het magneetveld van de spoel mee wijzen.
- b Als je de vingers met de stroomrichting laat mee wijzen, wijst de duim naar links en dus lopen de veldlijnen in de spoel naar links en buiten de spoel naar rechts. De linkerkant wordt de noordpool en de rechterkant de zuidpool.

20 De duim wijst naar rechts dus moet de stroom aan de voorkant van de spoel naar beneden lopen (dus van rechts naar links door de spoel).

21 De vingers wijzen met de veldlijnen mee en de duim naar beneden dus loopt de stroom van boven naar beneden.

22

- a In een homogeen veld is de magnetische veldsterkte overal gelijk gericht én is de magnetische veldsterkte overal even groot.
- b De magnetische veldlijnen zijn gelijk gericht en de afstand tussen de veldlijnen is overal gelijk.
- c In een homogeen magneetveld is de kracht op de ene pool even groot als de kracht op de andere pool maar tegengesteld gericht. Een magneet wordt dus net zo hard naar de noordpool van het magneetveld getrokken als naar de zuidpool. De netto kracht is dan nul.
- d Het kompasnaaldje wordt gericht volgens de richting van de magneetlijnen in een homogeen veld.

23 [W] Elektrische deurbel

24

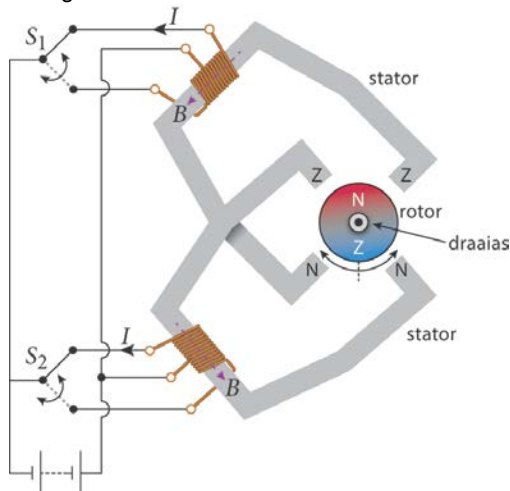
- a De spoel zal het stuk weekijzer nog steeds met dezelfde kracht aantrekken.



- b De richting van de kracht van de spoel op de staafmagneet zal omdraaien. De grootte van de kracht blijft wel gelijk.

25

- a Zie figuur 5.



Figuur 5

- b De noordpool van de rotor zit al zo dicht mogelijk bij de 2 zuidpolen van de stators (en de zuidpool van de rotor zit al zo dicht mogelijk bij de 2 noordpolen).
- c Dan draait de richting van het magneetveld in beide spoelen om zodat de noordpolen en zuidpolen van de stators verwisselen. Als de schakelaars precies gelijk worden omgezet verdraait de rotor niet, er is dan een labiel evenwicht. Als de ene schakelaar iets eerder omgezet wordt dan de andere zal de rotor 180° draaien.
- d Eerst S<sub>2</sub> omschakelen, dan S<sub>1</sub>, dan S<sub>2</sub>, dan weer S<sub>1</sub>.
- e Eerst S<sub>1</sub>, omschakelen, dan S<sub>2</sub>, dan S<sub>1</sub>, dan weer S<sub>2</sub>.

26

- a Het aardmagnetisch veld heeft een sterkte van  $4,8 \cdot 10^{-5}$  T, dus het magneetveld van de staafmagneet is  $\frac{20 \cdot 10^{-3}}{4,8 \cdot 10^{-5}} = 4,2 \cdot 10^2$  keer zo groot als dat van de aarde.
- b Een MRI-scanner heeft een veldsterkte van ongeveer 5 T, dus is de veldsterkte van een MRI-scanner  $\frac{5}{20 \cdot 10^{-3}} = 2,5 \cdot 10^2$  keer zo groot als dat van de staafmagneet.
- c Ten eerste moet de magnetische veldsterkte voortdurend veranderd kunnen worden om achtereenvolgende scans (als plakjes) te kunnen maken. Ten tweede moet het veld enorm sterk en ook relatief groot zijn. Dat kan niet met permanente magneten. Bovendien is het magneetveld van een MRI-scanner zo sterk dat metalen voorwerpen met grote kracht naar de MRI-scanner getrokken worden. Dit kan tot gevaarlijke situaties leiden en in zo'n geval is het handig om het magneetveld ook te kunnen 'uitzetten'. Dat kan niet bij een permanente magneet.

27

- a De stroomsterkte is  $\frac{1}{50 \cdot 10^{-3}} = 20$  keer zo groot, dus is de veldsterkte ook 20 keer zo groot:  $20 \times 1,2 \cdot 10^{-4} = 2,4 \cdot 10^{-3}$  T.
- b Het magneetveld van de aarde heeft een sterkte van  $4,8 \cdot 10^{-5}$  T. Dat is  $\frac{1,2 \cdot 10^{-4}}{4,8 \cdot 10^{-5}} = 2,5$  keer zo klein, dus moet de stroomsterkte ook 2,5 keer zo klein zijn:  $\frac{50}{2,5} = 20$  mA.
- c De veldsterkte is  $\frac{1}{1,2 \cdot 10^{-4}} = 8,3 \cdot 10^3$  keer zo groot, dus moet de stroomsterkte ook  $8,3 \cdot 10^3$  keer zo groot zijn:  $8,3 \cdot 10^3 \times 50 \cdot 10^{-3} = 4,2 \cdot 10^2$  A.



28

- a** Als het kompasnaaldje 45 graden draait is de magnetische veldsterkte van het aardmagnetisch veld precies even groot als de magnetische veldsterkte in de stroomspoel. Met behulp van de gemeten stroomsterkte en de gegeven formule kan Jaap de magnetische veldsterkte van de spoel berekenen.
- b** De sterkte van het aardmagnetisch veld is  $4,8 \cdot 10^{-5}$  T. Dit invullen in  $B = \mu_0 \cdot \frac{N \cdot I}{\ell}$  geeft
- $$4,8 \cdot 10^{-5} = 1,26 \cdot 10^{-6} \times \frac{500 \times I}{0,12} \rightarrow I = 9,1 \cdot 10^{-3} \text{ A} = 9,1 \text{ mA.}$$

29 [W] MRI-scan

30

- a** Water bestaat uit  $\text{H}_2\text{O}$ , dus bevat veel waterstofatomen. Botten bevatten veel zouten en eiwitten, dus is de concentratie waterstofatomen in botten lager dan in weefsel, dat veel water bevat.
- b** Het sterke magneetveld richt de kernen van de waterstofatomen, waarbij de kernspin van het waterstofatoom in de richting van het magneetveld wordt gericht (de grondtoestand).
- c** Door een puls radiogolven van precies de juiste golflengte wordt de kernspin van de waterstofatomen tegen de richting van het magneetveld in gericht (de aangeslagen toestand). Na korte tijd klapt de kernspin spontaan weer om naar de grondtoestand, waarbij een foton met dezelfde golflengte als die van de ingezonden puls wordt uitgezonden.

31

- a** De veldsterkte binnen de scanner is niet homogeen waardoor bij een gegeven frequentie van de ingezonden puls alleen kernspins worden aangeslagen in het gebied waar de veldsterkte de juiste waarde heeft.
- b** Doordat de uitgezonden straling telkens wordt gemeten bij een steeds hogere frequentie krijg je een rij achtereenvolgende metingen van de intensiteit van de straling, waarbij elke meting een tijdstap verder is en in een ander laagje van het meetgebied van de scanner.

32

- a** Bij een normale trein wordt bij de voortstuwing gebruik gemaakt van de wrijvingskracht: de wielen zetten zich dankzij de wrijving af op de rails waardoor de trein voortbeweegt. Bij een zweeftrein is dit contact met de rails er niet.
- b** Het kost veel energie en geld (dure helium) om de magneetspoelen te koelen en dat maakt de trein niet rendabel.
- c** Bij een te hoge temperatuur zijn de spoelen niet meer supergeleidend waardoor de stroomsterkte drastisch daalt en dus ook de magneetwerking. De trein zweeft niet meer en zakt op de rails.

33

- a** Het magneetveld is  $\frac{0,5}{0,01} = 50$  keer zo sterk, er zijn dus (bij gelijke stroomsterkte) 50 keer zoveel windingen nodig:  $50 \times 600 = 3,0 \cdot 10^4$  windingen.
- b** Aan de hand van de formule  $P = I^2 \cdot R$  weten we dat als de stroomsterkte 50 keer zo groot is, de warmteontwikkeling  $50^2$  keer zo groot zal zijn. De warmteontwikkeling zal  $50^2 \times 20 = 5,0 \cdot 10^4$  W zijn.
- c** Bij een supergeleidende magneet is de elektrische weerstand  $0 \Omega$  en zal dus de warmteontwikkeling  $0$  W zijn.

34

- a** De magneten zijn enorm groot.
- b** De magneten worden gebruikt om de geladen deeltjes, die versneld zijn in de LHC-versneller, af te buigen en te laten botsen, en om ze te registreren.
- c** Omdat de deeltjes die worden afgebogen een hele kleine massa maar een enorm grote snelheid hebben.



### 8.3 LORENTZKRACHT

35 [W] Experiment: Lorentzkracht

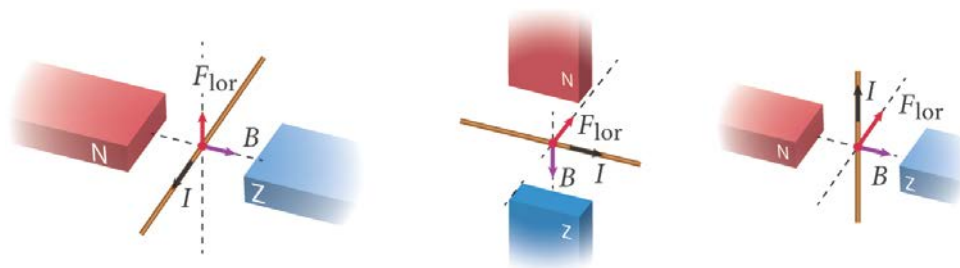
36 [W] Experiment: Luidspreker

37 Waar of niet waar?

- a Niet waar: Een magneet en een stroomdraad oefenen een lorentzkracht op elkaar uit.
- b Waar
- c Niet waar: Op een stroomdraad in een homogeen magnetische veld werkt een lorentzkracht, behalve als de richting van de stroomdraad gelijk of tegengesteld is aan de richting van het magneetveld.
- d Niet waar: Een luidspreker functioneert als er een permanente magneet is in zit, maar kan ook werken met twee elektromagneten.
- e Niet waar: De lorentzkracht is nul als de richting van de stroomsterkte gelijkgericht of tegengesteld is aan de richting van het magneetveld.

38 Het magneetveld is van links naar rechts, dus aan de linkerkant een noordpool en aan de rechterkant een zuidpool.

39 Zie figuur 6.

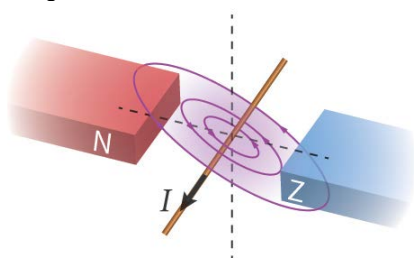


Figuur 6

40 Het magneetveld is omhoog gericht, dus de richting van de stroom is naar links.

41

a Zie figuur 7.

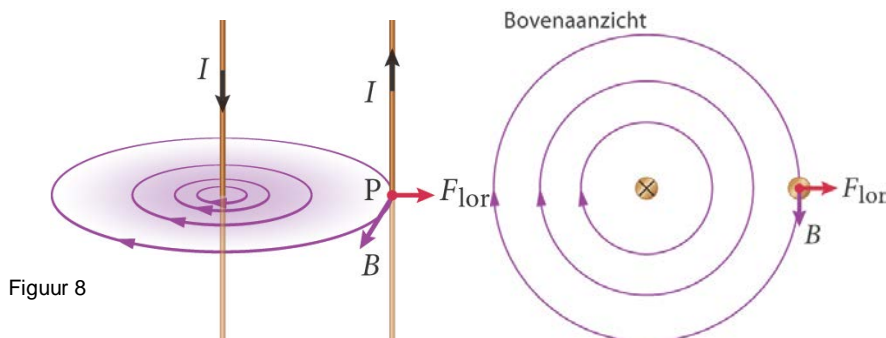


Figuur 7

- b De noordpool ondervindt een kracht omlaag.
- c De zuidpool ondervindt ook een kracht omlaag.
- d De noord- en zuidpool ondervinden allebei een kracht omlaag ten gevolge van het magnetisch veld van de draad, dat betekent dat de reactiekracht op de stroomdraad omhoog is (derde wet van Newton: actie = - reactie).

42

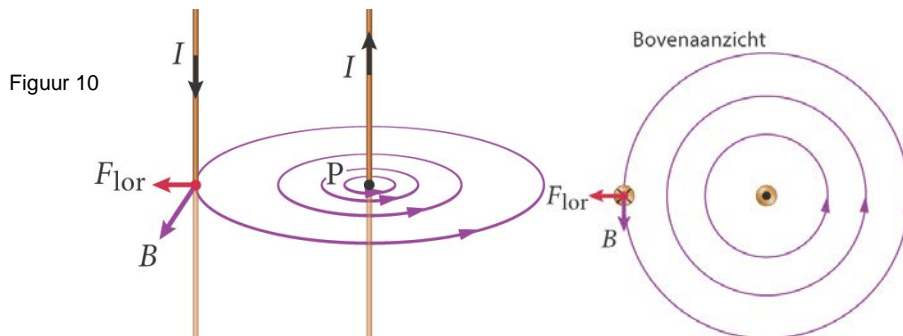
- a Het magnetisch veld van de linker stroomdraad draait in cirkels om de draad, met de klok mee, zie figuur 8 en 9. De raaklijn aan die cirkel in punt P is naar voren gericht, dus is het magnetisch veld van de linker stroomdraad in punt B naar voren gericht.



Figuur 8

Figuur 9

- b** De Lorentzkracht is van de andere draad af gericht, zie figuur 8 en 9.
- c** Op een punt in de linkerdraad is het magneetveld van de rechterdraad ook naar voren gericht, dus is de Lorentzkracht ook hier van de andere draad af gericht, zie figuur 10 en 11.



Figuur 10

Figuur 11

- d** De draden oefenen een afstotende kracht op elkaar uit.
- e** Bij het omkeren van de stroomrichting van één van de draden zullen de draden een aantrekkende kracht op elkaar uitoefenen.

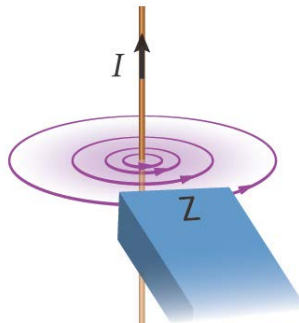
43

- a** De stroom loopt van A naar B door de spoel, het magneetveld van de spoel is naar rechts gericht, dus de rechterkant van de spoel is een noordpool en de linkerkant een zuidpool.
- b** Na het inschakelen van de stroom zal de spoel de magneet afstoten. De spoel zal met de conus iets van de magneet af bewegen en dan in die positie tot stilstand komen.
- c** Zodra de stroomrichting omdraait, wisselen de polen van spoel om en trekken de spoel en de magneet elkaar aan. De spoel beweegt dan naar de magneet toe. Doordat bij een wisselspanning de stroomrichting telkens omwisselt ontstaat er een trilling.
- d** De toonhoogte is te regelen door de frequentie van de wisselspanningsbron te veranderen en de geluidsterkte is te regelen door de spanning (en daarmee de stroomsterkte) te veranderen.



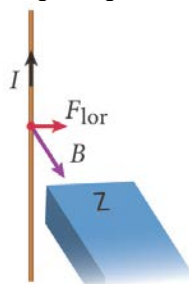
44

a Zie figuur 12.



Figuur 12

- b De magneet gaat zich richten volgens het magneetveld van de draad, dus de zuidpool van de magneet wordt naar links getrokken. De draad oefent een kracht naar links uit op de zuidpool.
- c Omdat de draad een kracht naar links uitoefent op de magneet, oefent de magneet een (reactie-)kracht naar rechts uit op de draad. Dat is ook te zien in figuur 13, hierin is de richting van het magneetveld van de magneet getekend en met de rechterhandregel de lorentzkracht bepaald.



Figuur 13

45 [W] Experiment: Een eenvoudige elektromotor

46 Eigen antwoord van de leerling

47

- a De lengte van de stroomdraad (PQ in figuur 51 basisboek) is niet van invloed want het gaat om het stuk van de draad dat in het magneetveld zit, dus tussen de polen van de magneet in.
- b De lengte  $l$  bepaalt hoe breed de magneet is. Als deze lengte groter is zal de lorentzkracht ook groter zijn.
- c De breedte  $b$  is niet van invloed, het veld tussen de polen is immers homogeen.
- d Een grotere magnetische veldsterkte  $B$  geeft een grotere lorentzkracht (zie formule).
- e Een grotere stroomsterkte  $I$  geeft een grotere lorentzkracht (zie formule).
- f De afstand tussen de stroomdraad en de noordpool is niet van invloed want het veld tussen de polen is homogeen.

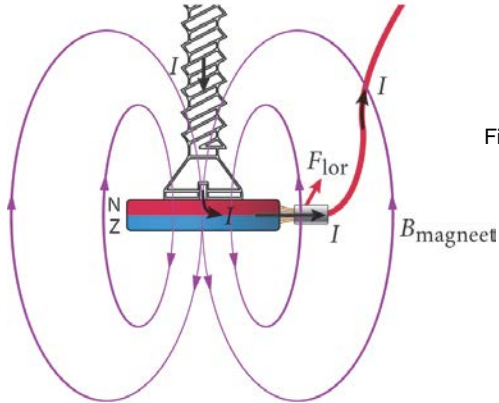
48

- a Het magnetische veld is in de magneet naar boven gericht en bij de draad, waar hij tegen de magneet wordt gehouden, naar beneden.
- b De stroom in de draad loopt vanuit de magneet naar rechts, dus is de lorentzkracht op de stroomdraad waar hij tegen de magneet wordt gehouden naar achter gericht. Deze lorentzkracht is een wisselwerking tussen de stroom in de draad en het magnetisch veld van de ronde magneet, die dus bij het contact met de draad een kracht ondervindt die naar voren is gericht. De magneet gaat door deze reactiekracht, met de klok mee draaien van bovenaf gezien.





- c In het krachtenpaar is de wederhelft van de lorentzkracht van vraag b de lorentzkracht die op de stroom in de magneet werkt door het magneetveld van de stroom in de draad.



Figuur 14

- d Als je de stroomdraad niet tegenhoudt, zwaait deze naar achteren en gaat de magneet en de schroef niet draaien.

49

- a Het magneetveld is naar beneden gericht en de lorentzkracht naar rechts, dus is de richting van de stroom naar voren, naar E toe.  
 b  $F_L = B_{\perp} \cdot I \cdot \ell$  met  $B_{\perp} = 0,92 \text{ T}$ ,  $I = 0,58 \text{ A}$  en  $\ell = 0,24 \text{ m} \rightarrow F_L = 0,92 \times 0,58 \times 0,24 = 0,13 \text{ N}$ .

50

- a Het magneetveld beperkt zich tot de ruimte tussen de twee magneetpolen, dus in de getekende situatie bevindt de bovenzijde van de spoel zich buiten het magneetveld. Er wordt dan ook geen lorentzkracht uitgeoefend op de bovenzijde van de magneet.

- b Oriëntatie:

Als de stroomsterkte nul is, is de lorentzkracht nul en werkt alleen de zwaartekracht op de spoel, de veerkracht is dan gelijk aan de zwaartekracht. Bij het toenemen van de stroomsterkte neemt de lorentzkracht toe en dus ook de veerkracht totdat de bovenkant van de spoel ook een klein eindje in het magneetveld is getrokken. Dan komt er een lorentzkracht bij die omhoog is gericht waardoor de spoel niet meer verder naar beneden wordt getrokken.

Lees eerst de zwaartekracht af uit de grafiek bij 0 A. Gebruik daarna een ander punt van de grafiek om de lorentzkracht te bepalen, bijvoorbeeld bij 0,5 A. Gebruik  $F_L = B \cdot I \cdot \ell$  om de magnetische veldsterkte te berekenen en vergeet daarbij niet dat de spoel uit 200 windingen bestaat (er werken dus eigenlijk 200 lorentzkrachten).

Uitwerking:

$$F_z = 1,0 \text{ N} \text{ en bij } I = 0,50 \text{ A is } F_v = 4,0 \text{ N dus is } F_L = F_v - F_z = 4,0 - 1,0 = 3,0 \text{ N} \rightarrow 3,0 = B \times 0,50 \times 200 \times 0,080 \rightarrow B = 0,38 \text{ T}.$$

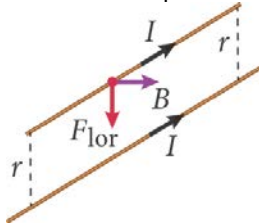
51

- a Op het tekenblad is de diameter van de spoel 2,7 cm. De omtrek is dan  $\pi \cdot d = \pi \times 0,027 = 8,48 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ . De totale lengte van de draad is 40 m, dus dat zijn  $\frac{40}{8,5 \cdot 10^{-2}} = 4,7 \cdot 10^2$  windingen.  
 b In de rechterekening is de lorentzkracht overal het papier in gericht, in de linker is dat naar links.  
 c  $F_L = B \cdot I \cdot \ell = 0,190 \times 0,23 \times 40 = 1,75 \text{ N}$ . Bij evenwicht geldt dat  $F_v = F_L$  en de veerkracht is te berekenen met  $F_v = C \cdot u \rightarrow 1,75 = 1,6 \cdot 10^3 \times u \rightarrow u = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 1,1 \text{ mm}$ .



52

- a  $F_L = B \cdot I \cdot \ell$  geeft dat  $[B] = \frac{[F]}{[I] \cdot [\ell]} = \frac{N}{A \cdot m}$  dus  $1 \text{ T} = 1 \text{ N} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ .
- b De richting van het magneetveld van de onderste stroomdraad is bij de bovenste stroomdraad naar rechts. De lorentzkracht op de bovenste draad is dus naar beneden gericht, zie figuur 15.



Figuur 15

- c  $B = 2,0 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{I}{r} = 2,0 \cdot 10^{-7} \times \frac{8,2}{0,020} = 8,2 \cdot 10^{-5} \text{ T}$ .
- d  $F_L = B \cdot I \cdot \ell = 8,2 \cdot 10^{-5} \times 8,2 \times 0,50 = 3,4 \cdot 10^{-4} \text{ N}$ .

53

- a De richting van de stroom in beide statorspoelen is bij allebei de schakelingen gelijk zodat het magneetveld van deze spoelen gelijk gericht is. De rotorspoel heeft wikkelingen in allerlei hoeken, het sleepcontact zorgt ervoor dat bij gelijkstroom het magneetveld van de rotorspoelen telkens wordt omgedraaid waardoor de motor blijft draaien. Bij gebruik van wisselstroom draait de stroomrichting in alle onderdelen steeds gelijktijdig om. Hierdoor draaien ook de magneetvelden om en als magneetveld én stroomrichting beiden omdraaien verandert de richting van de lorentzkracht hierdoor niet. Beide motoren werken dus ook op wisselstroom.
- b De totale weerstand is bij de parallelschakeling kleiner zodat bij gelijke spanning de stroomsterkte groter zal zijn. Bij een grotere stroomsterkte is het magneetveld van de spoelen sterker. Een sterker magneetveld en een grotere stroomsterkte leveren een grotere lorentzkracht. De parallelschakeling levert dus meer kracht.

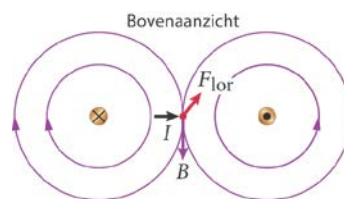
54 [W] Experiment: Magnetohydrodynamische voortstuwing

55

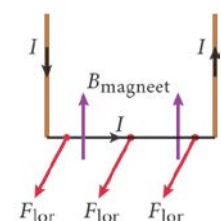
- a De stroom door het water ondervindt een lorentzkracht naar achter. De reactiekracht van het water op de magneet in de boot is even groot en tegengesteld gericht en duwt de boot dus naar voren.
- b De stroom door het water wekt ook een magneetveld op. Dit magneetveld oefent een kracht uit op de magneet in de boot.
- c Ga uit van een voortstuwende kracht van ongeveer  $2 \cdot 10^5 \text{ N}$  en een sterk magneetveld van ongeveer  $0,5 \text{ T}$ . De afstand tussen de elektroden is ongeveer  $1 \text{ m}$ .  
 $F_L = B \cdot I \cdot \ell \rightarrow 2 \cdot 10^5 = 0,5 \times I \times 1 \rightarrow I = 4 \cdot 10^5 \text{ A}$ .

56

- a In de linker stroomdraad loopt de elektrische stroom naar beneden, vervolgens loopt de stroom door het zoute water naar rechts, naar de rechter draad en in de rechterdraad weer omhoog.
- b Het glas staat op de noordpool van de ronde magneet (dit is helaas niet in de vraag vermeld). Het magneetveld van deze ronde magneet is omhoog gericht.
- c De stroomrichting door het water is van links naar rechts, het magneetveld wijst naar boven, dus is de lorentzkracht horizontaal naar voren (naar de batterij gericht), zie figuur 17. Het magneetveld van beide draden geeft een lorentzkracht naar beneden (zie figuur 16) en kan niet de oorzaak zijn van de waargenomen beweging van het water.
- d Kraanwater bevat te weinig geladen deeltjes (ionen) waardoor er geen geleiding door het water is.



Figuur 16



Figuur 17



57

- a Er zal een stroom gaan lopen van A, via de koperen staaf, naar D. Door de stroom die loopt in het stuk van A tot de koperen staaf en van de koperen staaf naar D wordt er een magneetveld opgewekt dat tussen de staven in naar boven gericht is. De combinatie van een naar boven gericht magneetveld en in dat veld een stroom door de koperen staaf naar voren veroorzaakt een lorentzkracht op deze staaf die naar rechts is gericht, dus zal de koperen staaf naar rechts bewegen.
- b Als de stroomrichting omdraait, draait het magneetveld van de beide staven om (wordt nu naar beneden gericht), maar ook de stroomrichting door de koperen staaf draait om. Dat betekent dat de lorentzkracht dezelfde kant op gericht blijft.
- c Het omwisselen van de polen heeft geen effect op de richting van de lorentzkracht, dus je kunt een railgun ook afschieten met wisselstroom.

58

- a De elektrische stroom gaat van linksachter naar rechtsvoor door het natrium. Samen met het magneetveld ontstaat zo een lorentzkracht op het natrium.
- b De stroomrichting is naar rechtsvoor en de richting van het magneetveld naar boven, dus is de richting van de lorentzkracht naar linksvoor.
- c  $F_L = B \cdot I \cdot \ell = 0,78 \times 90 \times 2,2 \cdot 10^{-3} = 1,5 \text{ N}$ .

## 8.4 ELEKTROMAGNETISCHE INDUCTIE

59 [W] Experiment: Spoel en magneet

60 [W] Experiment: Draad en magneet

61 Waar of niet waar?

- a Niet waar: Een dynamo werkt als de spoel en de magneet ten opzichte van elkaar draaien.
- b Waar
- c Niet waar. Alleen als de magneet naar de draad toegaat of er vanaf beweegt is er inductie. Niet als de magneet evenwijdig aan de draad beweegt.
- d Waar
- e Waar

62

- a De luchtrilling laat het trilplaatje met de spoel heen en weer bewegen. Hierdoor beweegt de spoel dichterbij de magneet toe of verder van de magneet af. De magnetische flux in de spoel verandert en er ontstaat een inductiespanning in de spoel.
- b Aan de rechterkant van de kortgesloten spoel ontstaat een noordpool, want de flux naar links door de spoel neemt toe en dat veroorzaakt een tegenflux naar rechts door de inductiestroom. De magneet wordt dus afgestoten.
- c Als de spoel naar de magneet toe beweegt zal de opgewekte inductiestroom de beweging tegenwerken door aan de rechterkant een noordpool te vormen, deze twee noordpolen stoten elkaar af.

63

- a De magnetische flux door de spoel verandert niet.
- b Als de elektronen van links naar rechts bewegen loopt de stroom van rechts naar links en komt de stroom aan de linkerkant uit de spoel. Daar is dan de pluspool. (In de opgave moet de magneet omgedraaid worden, dus de zuidpool aan de rechter kant)



- c** De stroom loopt rond in de kring, dus als de stroom door het lampje van plus naar min loopt, zal de stroom in de spoel van min naar plus moeten lopen.
- d** Het magneetveld van de magneet is naar links gericht en het magneetveld van de inductiestroom in de spoel naar rechts. De permanente magneet en de spoel stoten elkaar af.
- e** Bij beweging van de magneet van de spoel af neemt de magnetische flux door de spoel af en zal er ook een inductiestroom ontstaan die zodanig is dat het opgewekte magneetveld van de spoel naar links wijst. Daarvoor moet de stroom door de spoel van links naar rechts lopen, dus wordt de rechterkant een pluspool en de linkerkant een minpool.

**64** Door het naar links bewegen van de magneet is het alsof de elektronen in de draad naar rechts bewegen. De richting van de stroom is dan naar links, het magneetveld is naar achteren gericht, dus zal de lorentzkracht op de elektronen naar beneden gericht zijn. De onderkant wordt negatief.

**65**

- a** Er is geen magneetveld in de elektromagneet, dus er is geen inductiespanning over de spoel.
- b** Er is een toenemend magneetveld in de elektromagneet en daardoor ook in de spoel, dus er ontstaat een inductiespanning over de spoel.
- c** Het magneetveld in de elektromagneet en in de spoel verandert niet, dus er is geen inductiespanning in de spoel.
- d** Er is een plotseling afnemend magneetveld in de elektromagneet en dus in de spoel, dus er ontstaat eventjes een grote inductiespanning over de spoel.

**66**

- a** Het magneetveld van de elektromagneet verandert niet, dus is er geen fluxverandering door de spoel.
- b** Door de wisselstroom ontstaat er een wisselend magneetveld in de elektromagneet en in de spoel, dit veroorzaakt een wisselende inductiespanning over de spoel.
- c** Doordat het magneetveld van de elektromagneet continu van grootte verandert en van richting wisselt, verandert de inductiespanning in de spoel ook steeds van grootte en richting.

**67**

- a** Bij het sluiten van de schakelaar ontstaat er een toenemende flux door de spoel. Volgens de wet van Lenz zorgt de toenemende flux door de ring voor een inductiestroom in de ring met een tegengesteld magneetveld, waardoor de spoel en de ring elkaar zullen afstoten.
- b** Als de schakelaar weer wordt geopend neemt het magneetveld in de spoel af en dus ook de flux. De afnemende flux door de ring zorgt voor een gelijkgericht magneetveld in de ring door de inductiestroom, waardoor de spoel en de ring elkaar zullen aantrekken. De ring beweegt naar de spoel toe.
- c** Ja, er ontstaat bij het sluiten van de schakelaar altijd een tegengestelde magnetische flux door de ring.

**68**

- a** De elektronen bewegen naar rechts, dus is de richting van de stroom naar links. In combinatie met een naar achteren gericht magneetveld levert dat op alle elektronen een lorentzkracht naar beneden op.
- b** Zowel aan de linkerkant van het draadraam als aan de rechterkant is de lorentzkracht op de elektronen naar beneden gericht. De twee inductiespanningen zijn even groot, maar werken elkaar tegen, zodat er geen stroom loopt.
- c** Zodra de rechterzijkant buiten het magneetveld komt is er geen lorentzkracht meer op de elektronen in de rechterkant van de draad. Op de elektronen in de linkerkant van de draad is er wel een lorentzkracht naar beneden. De elektronen bewegen nu daar naar beneden, zodat ze aan de rechterkant omhoog zullen gaan. De elektronen bewegen dan tegen de klok in door het draadroom, dus de richting van de inductiestroom is met de klok mee.



- d** Als het draadraam naar achteren beweegt zijn de magnetische veldlijnen evenwijdig aan de bewegingsrichting van de draad. Er zal dan geen inductiespanning en dus ook geen inductiestroom ontstaan.

69

- a** De magnetische flux door de spoel neemt afwisselend toe en af. Er ontstaat dus een wisselspanning.  
**b** De stroomkring is niet gesloten (er ontstaat wel een inductiespanning).

70

- a** Bij een elektromotor en een luidspreker, deze zetten elektriciteit om in beweging.  
**b** Bij een dynamo (en een microfoon), deze zetten beweging om in elektriciteit.

71 Je hebt een veranderend magneetveld nodig om de (inductie-)stroom op te wekken, maar zolang er geen stroom is kun je geen magneetveld opwekken met een spoel.

72 **[W] Experiment:** Vallende magneet

73 Eigen antwoord van de leerling

74

- a** Om de stroomkring in stand te houden moet de ronddraaiende spoel constant contact houden met de stroomdraden die naar de lamp gaan. Als dit in plaats van een glijcontact een vast contact zou zijn, dan zouden de draden in elkaar vastdraaien.  
**b** De koolborstels slijten snel, je kunt beter de permanente magneet laten ronddraaien, dan heb je geen glijcontact nodig. En vroeger kon men nog geen sterke kleine magneten maken en nu wel.

75

- a** De magnetische flux hangt af van de grootte van de magnetische veldsterkte, de grootte van de oppervlakte en van de hoek tussen de richting van de magnetische veldlijnen en de normaal (de lijn loodrecht op het oppervlak).  
**b**  $\phi = B_{\perp} \cdot A$ .  
**c**  $[\phi] = \text{Wb}$ ,  $[B_{\perp}] = \text{T}$  en  $[A] = \text{m}^2$ .  
**d** Er is alleen een inductiespanning als de magnetische flux door de spoel verandert. De inductiespanning is dus niet afhankelijk van de magnetische flux zelf, maar van de verandering van de magnetische flux in de tijd.

76

- a** 1. De 2<sup>e</sup> puls is smaller dan de 1<sup>e</sup> puls.  
 2. De 2<sup>e</sup> puls is hoger dan de 1<sup>e</sup> puls.  
 3. De 2<sup>e</sup> puls is positief, de 1<sup>e</sup> puls is negatief.  
**b** 1. De snelheid is groter bij de 2<sup>e</sup> puls, de magneet komt dus in kortere tijd voorbij.  
 2. De snelheid is groter bij de 2<sup>e</sup> puls, dus de flux verandert sneller:  $\frac{d\phi}{dt}$  is groter.  
 3. Bij het naderen van de magneet is er een fluxtoename door de spoel, bij het verwijderen juist een fluxafname,  $\frac{d\phi}{dt}$  wisselt dan van teken.

77

- a** Bij het naderen van de magneet wordt in de spoel een tegengesteld magneetveld opgewekt, bij het verwijderen van de magneet juist een gelijkgericht magneetveld. De stroomrichting is dan net andersom en de inductiespanning anders van teken.  
**b** De pieken zijn smaller omdat de magneet in kortere tijd langs de spoel komt, de pieken zijn hoger omdat de flux sneller verandert, en de pieken zitten dichter op elkaar omdat het wiel in kortere tijd ronddraait.



78

- a In figuur 95 van het basisboek is in de onderste helft van de 8-vormige spoel een noordpool getekend, deze is opgewekt door de noordpool van de magneet op de trein. Dat betekent dat de trein en de onderste helft van de 8-vormige spoel elkaar afstoten. Dit gebeurt als gevolg van de wet van Lenz op het moment dat de noordpool de spoel nadert. De noordpool van de trein beweegt dus naar de 8-vormige spoel toe.
- b De afstotende kracht van de onderste magneet en de aantrekkende kracht van de bovenste magneet leveren samen een nettokracht die omhoog is gericht.
- c Als de trein stil staat is er geen verandering van de flux in de 8-vormige spoelen en dus wordt er dan geen magneetveld opgewekt door deze spoelen.
- d Voor een inductiespanning is geen spanningsbron nodig.
- e De inductiestromen die opgewekt worden in de 8-vormige spoelen worden door het systeem gedetecteerd. Zo kan het systeem bepalen waar de trein is en de voortstuwingsmagneten in de baan zodanig van stroom voorzien dat deze de trein telkens voortduwen.

79

- a Het aantal windingen in spoel A is gelijk aan het aantal windingen in spoel B en in normale omstandigheden is de stroomsterkte ook gelijk, dus is het magneetveld van spoel A even groot als het magneetveld van spoel B. Door dat spoel B net andersom is gewikkeld dan spoel A is de richting van het magneetveld precies andersom. De netto magnetische flux door spoel C is dan nul.
- b Bij een lekstroom zal de stroomsterkte door spoel B kleiner worden en wordt het magneetveld van spoel B kleiner. Bij spoel A verandert er niets dus ontstaat er een wisselende fluxverandering in spoel C en dus ook een wisselinductiestroom zodat het relais de schakeling verbreekt.
- c Ja, tenminste als de lekstroom plotseling optreedt en het relais ook schakelt bij een heel kortdurend inductiestroompje. Bij gelijkspanning zal een plotselinge lekstroom ervoor zorgen dat de stroomsterkte door spoel B snel kleiner wordt zodat er een fluxverandering in spoel C optreedt.

80

- a Als de schakelaar wordt geopend, neemt de sterkte van het magneetveld in de ijzeren kern af naar nul.
- b De afname van het magneetveld gaat heel snel, dus is de fluxverandering door de secundaire spoel heel groot. De secundaire spoel heeft heel veel windingen.

81

- a  $\frac{d\phi}{dt} = \frac{8,0 \cdot 10^{-2}}{4,0} = 0,020 \text{ Wb/s.}$
- b De helling tussen  $t = 4,0 \text{ s}$  en  $t = 6,0 \text{ s}$  is  $\frac{d\phi}{dt} = \frac{-8,0 \cdot 10^{-2}}{2,0} = -0,040 \text{ Wb/s.}$  De fluxverandering is 2 keer zo groot en negatief, dus is de inductiespanning ook 2 keer zo groot:  $U_{\text{ind}} = -2 \times 6,0 = -12 \text{ V.}$
- c Het aantal windingen wordt gehalveerd, dus is wordt de inductiespanning in beide periodes ook gehalveerd: 3,0 V tussen  $t = 0 \text{ s}$  en  $t = 4,0 \text{ s}$  en 6,0 V tussen  $t = 4,0 \text{ s}$  en  $t = 6,0 \text{ s.}$

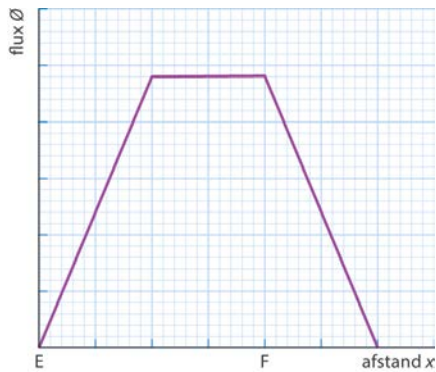
82

- a Tussen  $t = 2,0 \text{ s}$  en  $t = 4,0 \text{ s.}$
- b Nee, want de flux daalt constant tussen  $t = 2,0 \text{ s}$  en  $t = 4,0 \text{ s}$  dus blijft de afgeleide constant.
- c Kijk naar figuur 87 van het boek: als de magneet van situatie B naar C draait, daalt de flux zoals in de grafiek is aangegeven. Als de magneet vervolgens vanuit situatie C nog verder zou draaien, dan zou in de verticale stand de flux nul zijn en daarna toenemend negatief worden. Zodra de noordpool helemaal links zit zal de richting van de inductiestroom omkeren.
- d Het aantal windingen wordt 1,5 keer zo klein, dus ook de inductiespanning wordt 1,5 keer zo klein. De stroomsterkte wordt dan ook 1,5 keer zo klein:  $I = \frac{0,25}{1,5} = 0,17 \text{ A.}$



83

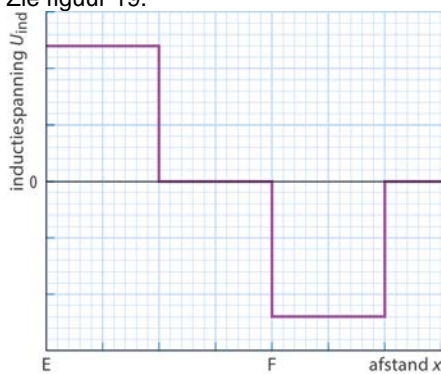
a Zie figuur 18.



Figuur 18

b Als de winding niet geheel in het magneetveld zit, vindt er een fluxverandering plaats in de spoel en ontstaat er een inductiespanning over de spoel. Er is dus een inductiespanning als de winding het magneetveld in beweegt en als de winding het magneetveld weer uit beweegt.

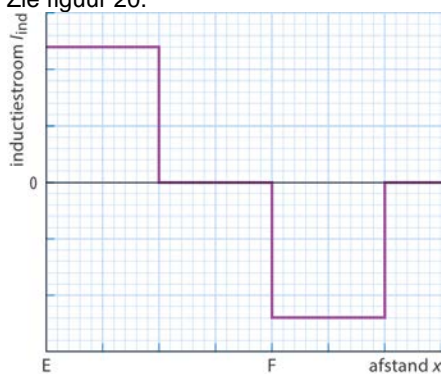
c Zie figuur 19.



Figuur 19

d Als er een inductiespanning over de spoel aanwezig is en de spoel bevindt zich gedeeltelijk in het magnetisch veld, loopt er ook een inductiestroom in de spoel. Als de winding het magneetveld in gaat ontstaat in de winding een tegengesteld gerichte magnetische flux en is de richting van de inductiestroom rechtsom. Als de winding het magneetveld uit gaat ontstaat in de winding een gelijk gerichte magnetische flux en is de richting van de inductiestroom linksom.

e Zie figuur 20.

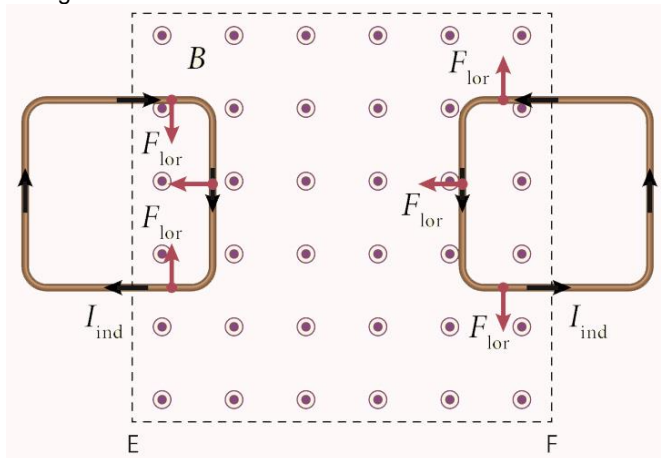


Figuur 20





f Zie figuur 21.

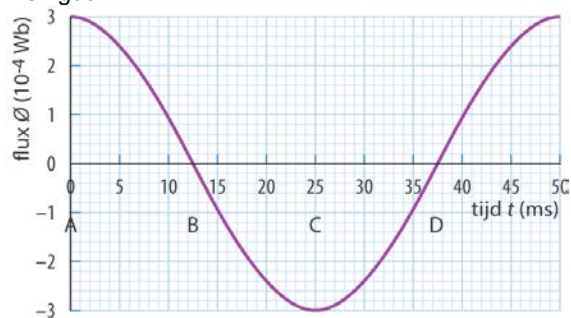


Figuur 21

g De spoel beweegt naar rechts dus de lorentzkracht werkt de beweging van de spoel tegen.

84

a Zie figuur 22.

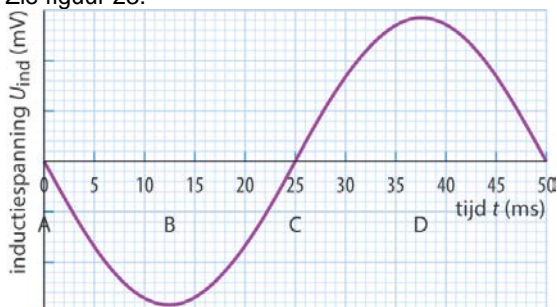


Figuur 22

b  $\frac{d\phi}{dt}$  is maximaal rond stand B en D, dan is de inductiespanning dus het grootst.

c  $\frac{d\phi}{dt}$  is nul rond stand A en C, dan is de inductiespanning dus ook nul.

d Zie figuur 23.



Figuur 23

85

a De pieken staan twee keer zo dicht bij elkaar, zijn 2 keer zo smal en 2 keer zo hoog.

b De oppervlakte onder de grafiek geeft de fluxverandering per seconde keer de tijd weer, dat is dus de totale fluxverandering bij het voorbijkomen van de magneet en die fluxverandering blijft gelijk als de draaisnelheid verandert. De pieken worden dus zowel hoger als smaller.

c De pieken worden twee keer zo hoog, maar blijven even breed en onderling even ver uit elkaar.

86 [W] Experiment: Wervelstroom





87

- a Een wisselstroom want alleen een wisselstroom geeft een wisselend magnetisch veld en dat is nodig om een inductiestroom in de tandenborstel op te wekken.
- b In de spoel die in de tandenborstel zit wordt de inductiestroom opgewekt.
- c Door de spoel in de tandenborstel loopt een wisselstroom, omdat er ook een wisselstroom door de oplader loopt.

88

- a Een spoel.
- b Stilstaande permanente magneten geven geen wisselend magnetisch veld en dat is nodig om een inductiestroom op te wekken.
- c De invloed van het magneetveld gaat niet zo ver (of je hebt hele sterke stromen nodig voor een sterk magneetveld).

89

- a Er is een wisselend magnetische flux nodig om de inductiestroom in de pan op te wekken.
- b De spoel onder de plaat is dan een elektromagneet die de ijzeren pan magnetiseert, waardoor de pan aangetrokken wordt door de elektromagneet en aan de kookplaat vastplakt maar niet warm wordt.
- c In het keramische oppervlak loopt geen inductiestroom dus wordt het alleen warm van de warme pan die erop staat (geleidingswarmte).
- d Bij een dunnere bodem is de weerstand groter en dus de stroomsterkte kleiner. Bij een kleinere stroomsterkte is er minder warmteontwikkeling in de bodem (omdat  $P = U \cdot I$  en  $U$  blijft gelijk).

90

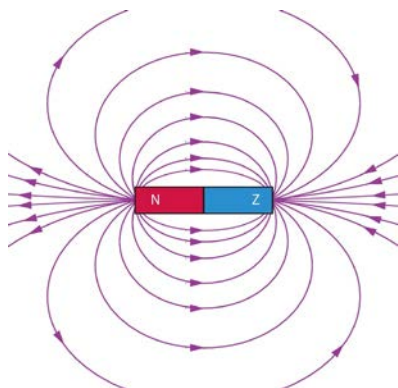
- a Aluminium is niet magnetiseerbaar (alleen ijzer, nikkel en kobalt zijn dat).
- b Door de snel roterende magneten krijg je een snel wisselend magneetveld. In de aluminium onderdelen ontstaat zo een inductiestroom die door de Lorentzkracht voor afstoting zorgt.

## 8.5 AFSLUITING

91 Eigen antwoord van de leerling

92

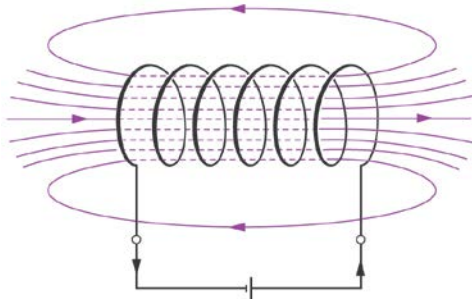
- a De magnetische veldlijnen om een staafmagneet lopen van de noordpool naar de zuidpool, zie figuur 24.



Figuur 24

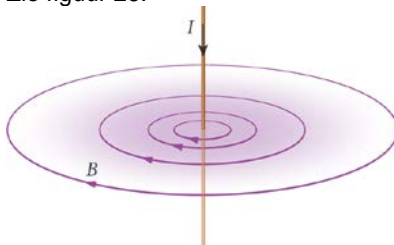


b Zie figuur 25.



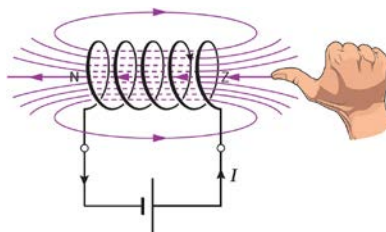
Figuur 25

- c In een homogeen magnetische veld zijn de magnetische veldlijnen overal evenwijdig én is de magnetische veldsterkte overal gelijk. Het magneetveld binnen een spoel is homogeen.
- d De magnetische veldsterkte binnen een stroomspoel hangt af van de stroomsterkte en het aantal windingen per meter lengte van de spoel.
- e Zie figuur 26.

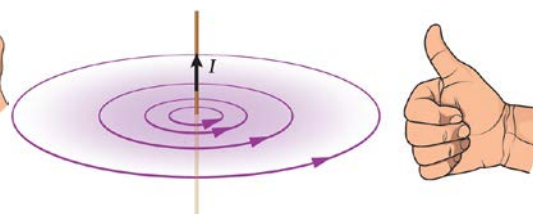


Figuur 26

- f Als er een stroom door een stroomdraad loopt en deze stroomdraad bevindt zich in een homogeen magnetisch veld, dan ondervindt deze stroomdraad een lorentzkracht, tenzij de richting van de draad overeenkomt met de richting van het magneetveld. De richting van deze lorentzkracht is te vinden met de rechterhandregel.
- g De grootte van de lorentzkracht op een stroomdraad in een magnetisch veld is te berekenen met de formule:  $F_L = B_{\perp} \cdot I \cdot \ell$ . Hierin is  $F_L$  de lorentzkracht (in N),  $B_{\perp}$  de sterkte van het magneetveld loodrecht op de stroomrichting (in T) en  $\ell$  de lengte van de draad in het magneetveld (in m).
- h De richting van het magnetisch veld en de richting van de elektrische stroom bij een spoel: de stroom gaat rond als de vingers en de duim geeft de richting van het magnetisch veld aan.



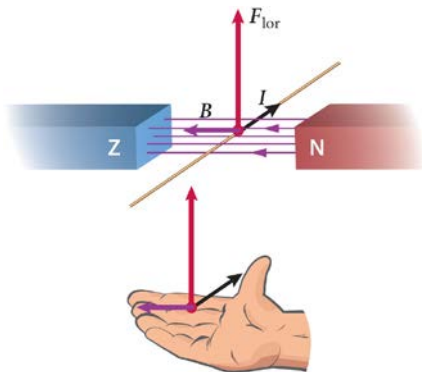
Figuur 27



Figuur 28

De richting van het magnetisch veld bij een stroomdraad: de stroom is in de richting van de duim en de vingers geven richting van de magnetische veldlijnen aan.

De richting van de lorentzkracht bij een stroomdraad die zich in een magnetisch veld bevindt: de duim geeft de richting van de elektrische stroom aan en de vingers de richting van de magnetische veldlijnen, de lorentzkracht komt loodrecht uit de handpalm van de hand.



Figuur 29

- i Een elektromotor bestaat uit één of meerdere rotorspoelen die kunnen draaien om een as in een magneetveld. Het magneetveld wordt opgewekt door één of meerdere permanente magneten, of door statorspoelen. Bij een gelijkstroommotor zorgt het sleepcontact voor het verwisselen van de aansluitingen van de rotorspoelen zodat de motor blijft draaien.
- j Een luidspreker bestaat uit een spoel waaraan een conus zit bevestigd en een magneet. Op de stroomdraden van de spoel werkt de lorentzkracht. Doordat de stroomsterkte en stroomrichting door de spoel continu wisselt, wisselt de grootte en de richting van de lorentzkracht ook steeds zodat de magneet en de conus heen en weer bewegen. De heen en weer bewegende conus brengt de lucht in trilling.
- k De magnetische flux is het aantal magnetische veldlijnen dat door een oppervlak gaat.
- l De magnetische flux is te berekenen met de formule:  $\phi = B_{\perp} \cdot A$ . Hierin is  $\phi$  de magnetische flux (in Wb) door het oppervlak,  $B_{\perp}$  de component van de magnetische veldsterkte loodrecht op het oppervlak (in T) en  $A$  de grootte van het oppervlak (in  $m^2$ ).
- m Als de magnetische flux door een spoel verandert, ontstaat er een inductiespanning in de spoel.
- n Volgens de wet van Lenz moet bij een gesloten stroomkring de inductiestroom tegen de oorzaak in werken. Dus als de flux door een spoel toeneemt is de inductiestroom zodanig dat deze een tegengesteld magneetveld vormt aan de veroorzaker van de fluxtoename. Als de flux door een spoel afneemt zorgt de inductiestroom juist voor een gelijkgericht magneetveld.
- o Als een metaaldraad beweegt in de buurt van een magneetveld, bewegen de elektronen in de draad. De met de draad meebewegende elektronen zijn op te vatten als een elektrische stroom in tegengestelde richting. Op deze elektrische stroom in het magneetveld werkt een lorentzkracht, waarvan de richting met de rechterhandregel te bepalen is.
- p Als de lorentzkracht zou meewerken zou de spoel of ring versnellen en meer bewegingsenergie krijgen, zonder dat er van buitenaf energie wordt toegevoerd en dat is in strijd met de wet van behoud van energie.
- q De inductiespanning is evenredig met de fluxverandering per seconde  $\left(\frac{d\phi}{dt}\right)$  en met het aantal windingen  $N$  van de spoel.
- r Een dynamo bestaat uit een ronddraaiende spoel tussen magneten of uit een draaiende magneet tussen twee spoelen. Door het draaien van de magneet of de spoel neemt de magnetische flux in de spoel afwisselend toe en af. Deze veranderende flux zorgt voor een inductiespanning die continu wisselt van grootte en teken.

**93 Oriëntatie:**

De omlooptijd van de magneet is af te lezen uit figuur 107 van het basisboek. De snelheid waarmee de magneet naar de spoel toe en van de spoel af beweegt is ongeveer gelijk aan de omwentelingsnelheid van de magneet en die is te berekenen met  $v = \frac{s}{t} = \frac{2\pi \cdot r}{T}$ .

Met behulp van figuur 106 is deze snelheid om te zetten in de vaarsnelheid van het schip in knopen en dit kan weer omgerekend worden naar een snelheid in km/h door dit getal met 1,8519 te vermenigvuldigen.

Uitwerking:

9,8 hokje in figuur 107 komen overeen met 5 periodes, dus is de omlooptijd



$$T = (9,8 \times 50)/5 = 98 \text{ ms} \rightarrow v_m = (2\pi \times 0,045)/0,095 = 2,9 \text{ m/s} \rightarrow$$

$$v_s = 6,7 \text{ knopen} = 6,7 \times 1,8519 = 12 \text{ km/h.}$$

94

- a Dit zal een rechte lijn door de oorsprong zijn want de magnetische veldsterkte van een spoel is recht evenredig met de stroomsterkte.
- b  $[B] = [\mu_0] \cdot \frac{[N] \cdot [I]}{[\ell]} \rightarrow T = T \cdot \text{m} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \frac{[N] \cdot \text{A}}{\text{m}} \rightarrow [N] = -$ , dat klopt want het aantal windingen heeft geen eenheid.
- c  $B = \mu_0 \cdot \frac{N \cdot I}{\ell}$  en  $B = 5,81 \cdot 10^{-3} \cdot I$  geeft:  $\mu_0 \cdot \frac{N}{\ell} = 5,81 \cdot 10^{-3} \rightarrow$   
 $1,26 \cdot 10^{-6} \times \frac{N}{0,20} = 5,81 \cdot 10^{-3} \rightarrow N = 922.$   
 Dan is de lengte van de draad:  $\pi \cdot d \cdot N = \pi \times 0,080 \times 922 = 2,3 \cdot 10^2 \text{ m.}$

95

- a Oriëntatie:  
 Het projectiel moet contact maken met de zijwanden om te zorgen dat er een stroom loopt tijdens het afschieten, dus zal er wrijving optreden. Of deze wrijving te verwaarlozen is kun je met de gegevens uitrekenen door de gegeven nettokracht te vergelijken met de te berekenen lorentzkracht:  $F_L = B \cdot I \cdot \ell.$   
Uitwerking:  
 $F_L = 2,5 \times 1,7 \cdot 10^6 \times 0,020 = 85 \text{ kN.}$  Dit is gelijk aan de nettokracht, dus de wrijvingskrachten zijn te verwaarlozen ten opzichte van de lorentzkracht.
- b Oriëntatie:  
 Met behulp van de nettokracht en de massa is met  $F_{\text{res}} = m \cdot a$  de versnelling van het projectiel te berekenen. Aan de hand van de versnelling en de tijd die het afschieten duurt is vervolgens de eindsnelheid te berekenen met  $v_{\text{eind}} = a \cdot t.$   
Uitwerking:  
 $a = \frac{F}{m} = \frac{85 \cdot 10^3}{0,080} = 1,06 \cdot 10^6 \text{ m/s}^2 \rightarrow$   
 $v_{\text{eind}} = 1,06 \cdot 10^6 \times 2,0 \cdot 10^{-3} = 2,1 \cdot 10^3 \text{ m/s.}$

96

- a De stroom loopt met de klok mee door de rotorspoel, dus is de richting van het magneetveld naar beneden. Het magneetveld van de vaste magneetpolen is van links naar rechts, dus zal de spoel linksom gaan draaien.
- b De magnetische flux van de vaste magneetpolen door de spoel wordt groter als de spoel vanuit de getekende stand gaat draaien.
- c Deze inductiestroom moet volgens de wet van Lenz een magneetveld opwekken dat tegengesteld is aan het magneetveld van de vaste magneetpolen, dus van rechts naar links. Bedenk dat de rotorspoel al iets linksom is gedraaid en bepaal dan de richting van de inductiestroom: deze is dan 'tegen de klok in'.
- d De inductiespanning is tegengesteld aan de spanning van de spanningsbron. De totale spanning wordt daardoor kleiner en de stroomsterkte wordt dan ook kleiner.
- e  $U_{\text{tot}} = U_{\text{bron}} - U_{\text{ind}}$ . En  $U_{\text{ind}}$  is evenredig met de frequentie. De stroomsterkte  $I$  neemt dan ook lineair af met de frequentie.

97

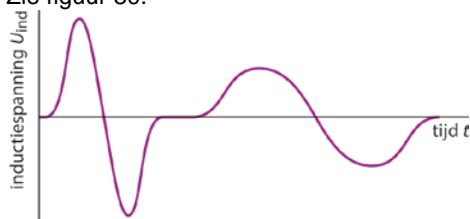
- a Een dynamo bestaat uit een ronddraaiende spoel tussen magneten of uit een draaiende magneet tussen twee spoelen. Door het draaien van de magneet of de spoel neemt de magnetische flux in de spoel afwisselend toe en af. Deze veranderende flux zorgt voor een inductiespanning die continu wisselt van grootte en teken.



- b Uit figuur 112 is af te lezen dat het 81,5 ms duurt om 4 pieken voorbij te laten komen. De magneet heeft ook 4 noordpolen, dus is de omlooptijd  $T$  ook 81,5 ms. De frequentie is dus  $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,0815} = 12 \text{ Hz}$ .
- c Als Berend de dynamo sneller laat ronddraaien zullen de pieken en dalen dichter op elkaar komen te zitten, smaller worden en ook hoger worden.

98

- a Als de magneet de spoel nadert neemt de magnetische flux in de spoel toe, maar als de magneet de spoel verlaat neemt de magnetische flux in de spoel juist weer af. Een afwisselend toenemende en afnemende flux zorgt voor een afwisselend positieve en negatieve inductiespanning in de spoel.
- b Zie figuur 30.



Figuur 30

- c De tijd waarin de fluxverandering optreedt blijft gelijk, maar de inductiespanning wordt groter, dus horizontaal verandert er niets en verticaal zijn de pieken en dalen groter.