



Uitwerkingen opgaven leerboek

8.1 INTRODUCTIE

Opgave 1

- a Niet waar: Magnetische veldlijnen snijden elkaar nooit, een kompasnaald wijst altijd maar in één richting.
- 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. Een permanente magneet kan in elk geval nooit sterker worden door hem te verwarmen.
- d Waar
- 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 Niet waar: De noordpool van een kompasnaaldjes wijst overal op de wereld naar het Noorden.

Opgave 2

- a De stukjes ijzer worden door het magnetisch veld van de permanente magneet gemagnetiseerd.
- b Nee, aan de hand van dit veldlijnenpatroon kun je niet concluderen of de bovenkant van de magneet een magnetische noordpool of zuidpool is, want je kunt niet zien welke kant de veldlijnen op wijzen, dus welke kant een kompasnaaldje op zou wijzen.

8.2 MAGNETISCHE VELDEN

Opgave 3

- a Waar
- b Niet waar: De veldlijnen om een elektrische stroomdraad zijn 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 Waar
- e Niet waar: In een stroomvoerende spoel geeft de duim de richting aan van het magnetisch veld en bij een stroomvoerende draad geeft de duim de richting aan van de elektrische stroom.
- f Niet waar: Bij een spoel bepaal je de noordpool met behulp van de rechterhandregel. Laat je gekromde vingers wijzen in de draairichting van de stroom door de windingen, dan geeft je uitgestoken duim de richting van de magnetische veldlijnen binnen de spoel aan. De noordpool is de kant waar de veldlijnen naar buiten komen.

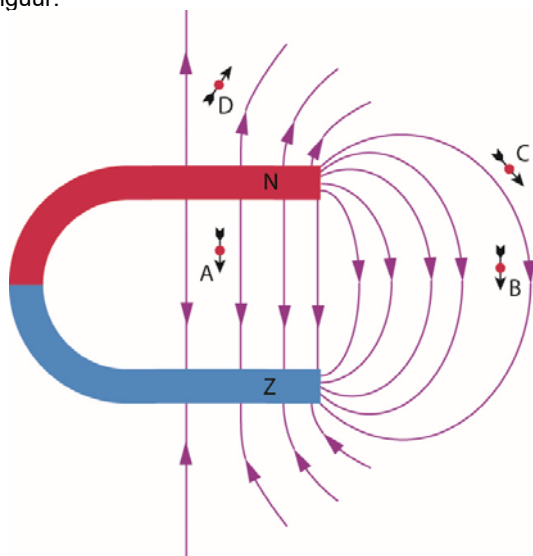
Opgave 4

Veldlijnen snijden elkaar nooit, dus kan het veldlijnenpatroon van figuur 16 nooit juist zijn.



Opgave 5

Zie figuur.



Opgave 6

- Binnen een permanente magneet 'lopen' de veldlijnen van de zuidpool naar de noordpool.
- De magnetische veldlijnen van een rechte stroomdraad zijn gesloten cirkels, zonder begin of einde. Je kunt dus ook niet zeggen dat de veldlijnen van de ene naar de andere pool lopen. (Het magneetveld van een rechte stroomdraad heeft geen polen).

Opgave 7

Als je bij een spoel de stroomrichting omdraait, moeten voor de rechterhandregel de vingers de andere kant op wijzen. Dan wijst de duim ook de andere kant op en daarmee ook het magneetveld, dus draaien alle kompasnaaldjes in figuur 12 om. Als je bij een stroomdraad de stroomrichting omdraait, moet voor de rechterhandregel de duim de andere kant op wijzen. Dan draaien de vingers in de andere richting om de draad heen en dus ook het magneetveld, zodat de kompasnaaldjes in figuur 14 omdraaien.

Opgave 8

- Kompasnaalden wijzen met hun punt ongeveer in de richting van de geografische Noordpool. We weten ook dat de punt van een kompasnaald altijd naar de zuidpool van bijvoorbeeld een permanente magneet wijst, dus bevindt de magnetische zuidpool van de aarde zich in de buurt van de geografische Noordpool.
- De magnetische noordpool van de aarde ligt in de buurt van de geografische Zuidpool van de aarde: onder Antarctica.

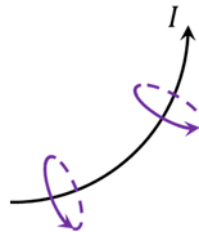


Opgave 9

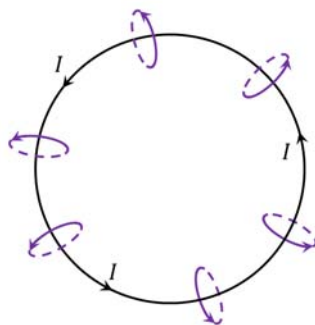
a



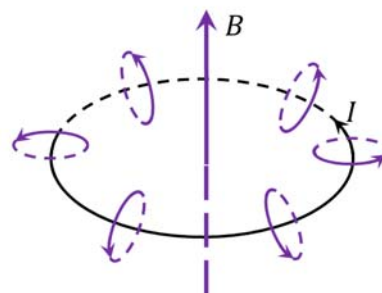
b



c



d

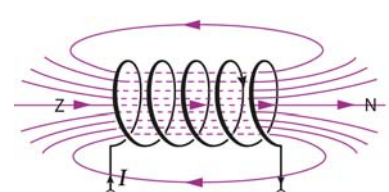
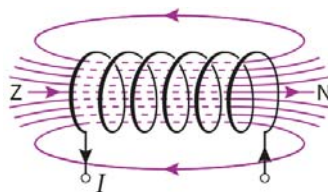
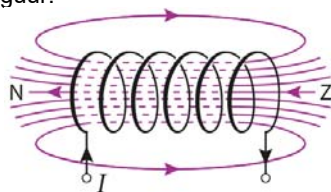


Opgave 10

Eigen antwoord

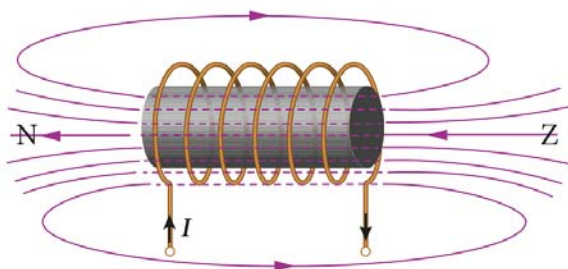
Opgave 11

Zie figuur.



Opgave 12

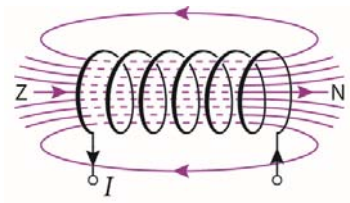
- De magnetische gebiedjes in het weekijzer worden gericht door het magneetveld van de spoel en gaan met dat magneetveld mee wijzen.
- Als je de vingers met de stroomrichting laat mee wijzen, wijst de duim naar links. Dus lopen de veldlijnen in de spoel naar links en buiten de spoel naar rechts. De linkerkant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





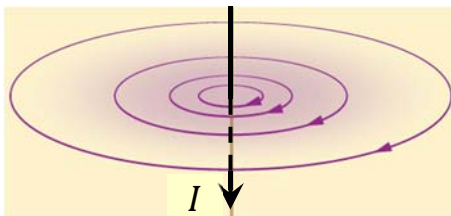
Opgave 13

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). Zie figuur.



Opgave 14

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



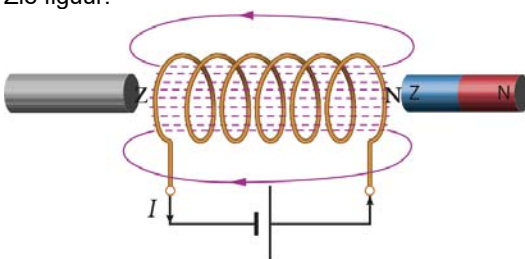
b Het veld is inhomogeen, want de veldlijnen verder van de draad liggen verder uit elkaar. Daar is de magnetische veldsterkte kleiner.

Opgave 15

- a In een homogeen veld is de magnetische veldsterkte overal gelijk gericht én is de magnetische veldsterkte overal even groot.
- b In figuur 26 zijn de magnetische veldlijnen binnen de spoel recht, gelijk gericht en de afstand tussen de veldlijnen is overal gelijk, dus is het veld binnen de spoel homogeen.
- c In een homogeen magnetisch veld is de kracht op de ene pool even groot als de kracht op de andere pool maar tegengesteld gericht. De nettokracht is dan nul.
- d In een homogeen veld wordt het kompasnaaldje gericht (gedraaid) in de richting van de magnetische veldlijnen.

Opgave 16

a Zie figuur.



- b De permanente magneet wordt aangetrokken, want de spoel heeft aan de rechterkant een noordpool en die trekt de zuidpool van de magneet aan.
- c Het stuk weekijzer wordt magnetisch gemaakt door het magneetveld van de spoel. Daardoor ontstaat aan de rechterkant van het weekijzer een noordpool. Het weekijzer wordt dus aangetrokken.
- d Het magneetveld van het stuk weekijzer wordt dan ook omgekeerd. Dan heeft het rechts een zuidpool en de spoel links een noordpool. Het weekijzer wordt dan nog steeds aangetrokken.



Opgave 17

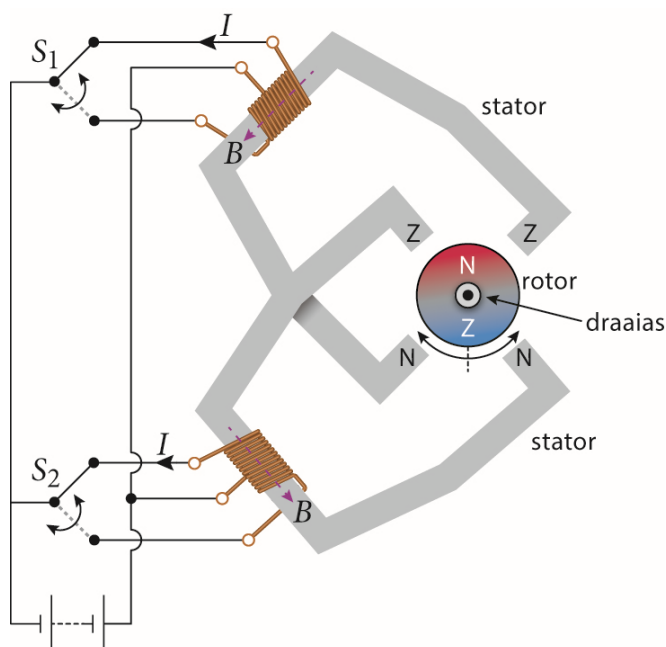
- a Het magneetveld van de staafmagneet is ongeveer $\frac{20 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-5}} = 400 \times$ zo groot als dat van de aarde.
- b De veldsterkte van een MRI-scanner is ongeveer $\frac{5}{20 \cdot 10^{-3}} = 250 \times$ zo groot als dat van de staafmagneet.
- c In een MRI-scanner moet de magnetische veldsterkte voortdurend veranderd kunnen worden om achtereenvolgende scans (als plakjes) te kunnen maken. Tevens moet het veld van een MRI-scanner enorm sterk en ook relatief uitgebreid 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 'uitschakelen'. Dat kan niet bij een permanente magneet.

Opgave 18

- a De stroomsterkte is $\frac{1}{50 \cdot 10^{-3}} = 20 \times$ zo groot, dus is de magnetische veldsterkte ook $20 \times$ zo groot:
 $20 \times 1,2 \cdot 10^{-4} = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ T}.$
- b De veldsterkte van het magneetveld van de aarde is $\frac{1,2 \cdot 10^{-4}}{5 \cdot 10^{-5}} = 2,4 \times$ zo klein, dus moet de stroomsterkte ook $2,4 \times$ zo klein zijn: $\frac{50 \cdot 10^{-3}}{2,4} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ A}.$
- c De veldsterkte van het magnetisch veld van een MRI-scanner is $\frac{5}{1,2 \cdot 10^{-4}} = 4,2 \cdot 10^4 \times$ zo groot als de veldsterkte van de spoel bij 50 mA, dus is er een heel grote stroomsterkte nodig om dit magneetveld met deze spoel te maken (2,1 kA).

Opgave 19

- a Zie figuur.



- b Zie bovenstaande figuur.
- c In de situatie van figuur 29 zit de noordpool van de rotor even ver bij de twee zuidpolen van de stator vandaan (en de zuidpool van de rotor zit even ver bij de twee noordpolen van de stator vandaan). De rotor zal dus niet gaan draaien.
- d Als schakelaar S_1 wordt omgezet, draait de richting van het magneetveld in de bovenste spoel om, zodat de noord- en zuidpool van de bovenste stator wisselen. Er zijn dan links twee zuidpolen en rechts twee noordpolen rondom de rotor en de rotor zal een kwart slag tegen de wijzers van de klok in draaien.



- e Als daarna schakelaar S_2 omgezet wordt, wisselen de noord- en zuidpool van de onderste stator ook. Er zijn dan boven twee noordpolen en onder twee zuidpolen rondom de rotor en de rotor zal nog een kwart slag tegen de wijzers van de klok in draaien.
- f Je kunt de rotor de andere kant op laten draaien door de schakelaars in de andere volgorde om te zetten, dus eerst S_2 omschakelen, dan krijg je links twee noordpolen en rechts twee zuidpolen en draait de rotor een kwart slag met de wijzers van de klok mee. Vervolgens zet je dan S_1 om en draait de rotor nog een kwart slag met de wijzers van de klok mee.

Opgave 20

- a De kompasnaald zal een beetje richting het magneetveld van de spoel draaien. De kompasnaald draait naar links dus het magnetisch veld binnen de spoel wijst ook naar links.
- b Als het kompasnaaldje 45° is gedraaid, is de magnetische veldsterkte binnen de stroomspoel precies even groot als de magnetische veldsterkte van het aardmagnetisch veld.
- c De sterkte van het aardmagnetisch veld is dan: $B = \mu_0 \cdot \frac{N \cdot I}{\ell} = 1,26 \cdot 10^{-6} \times \frac{500 \times 9,3 \cdot 10^{-3}}{0,12} = 5,0 \cdot 10^{-5} \text{ T}$.

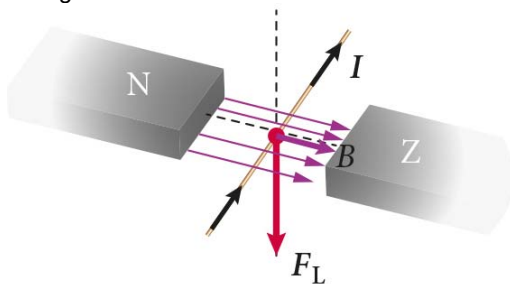
8.3 LORENTZKRACHT

Opgave 21

- a Niet waar: Als je een magneet bij een stroomdraad houdt, werkt er op de stroomdraad een kracht en werkt er op de magneet ook een kracht. De kracht op de magneet is even groot als en tegengesteld gericht aan de kracht op de stroomdraad. Elke kracht is immers altijd een wisselwerking waarvoor de derde wet van Newton geldt.
- b Waar
- c Niet waar: De richting van de lorentzkracht is altijd loodrecht op de richting van de magnetische veldlijnen.
- d Waar
- e Waar
- f Niet waar: In een luidspreker werkt er een kracht op de spoel en een even grote maar tegengesteld gerichte kracht op de permanente magneet (derde wet van Newton).

Opgave 22

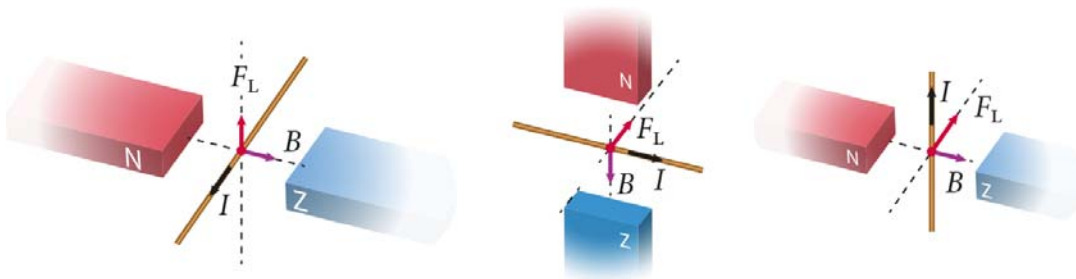
Zie figuur.





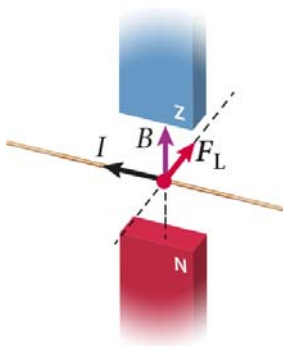
Opgave 23

Zie figuur.



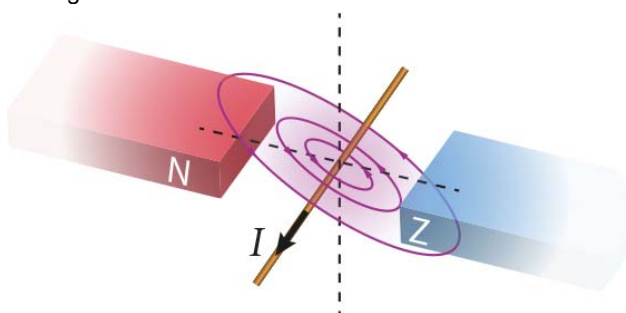
Opgave 24

Zie figuur.



Opgave 25

a Zie figuur.

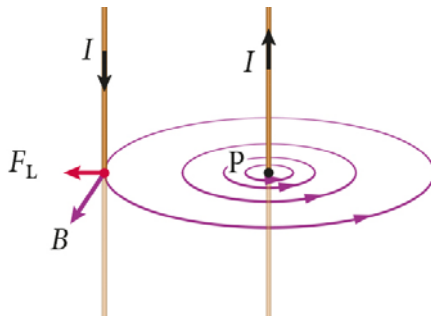


- b De noordpool van de ene magneet en de zuidpool van de andere magneet ondervinden allebei een kracht omlaag ten gevolge van het magneetveld van de draad. (Deze kracht duwt de noord- en zuidpool in de richting van de raaklijn aan de veldlijnen van de draad, waarbij de noordpool met de veldlijnen mee en de zuidpool tegen de veldlijnen in gericht zal worden.)
- c Dat betekent dat de reactiekracht op de stroomdraad omhoog is (derde wet van Newton: actie = - reactie). Je kunt trouwens net zo goed andersom redeneren: de magneten oefenen via hun magneetveld een (lorentz)kracht uit op de stroomdraad (de actiekracht) en de kracht van de stroomdraad op de magneetpolen is de reactiekracht (de andere helft van de wisselwerking).



Opgave 26

a Zie figuur hierna.

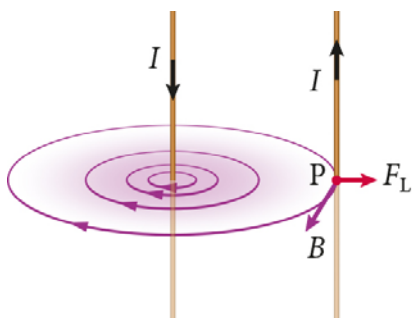


b Zie voorgaande figuur.

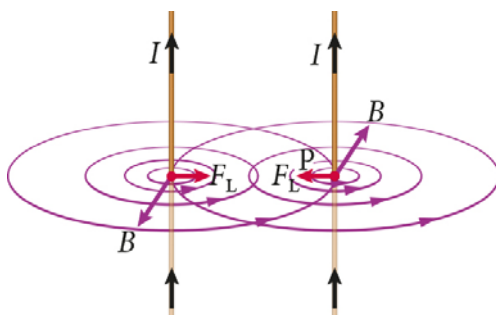
c Het magneetveld van de rechterdraad is ter plekke van de linkerdraad naar voren gericht (papier uit).

d De richting van de lorentzkracht op de linkerdraad is naar links gericht, hij wordt afgestoten door de rechterdraad, zie voorgaande figuur.

e De richting van de lorentzkracht op de rechterdraad is naar rechts gericht. Zie figuur hierna.



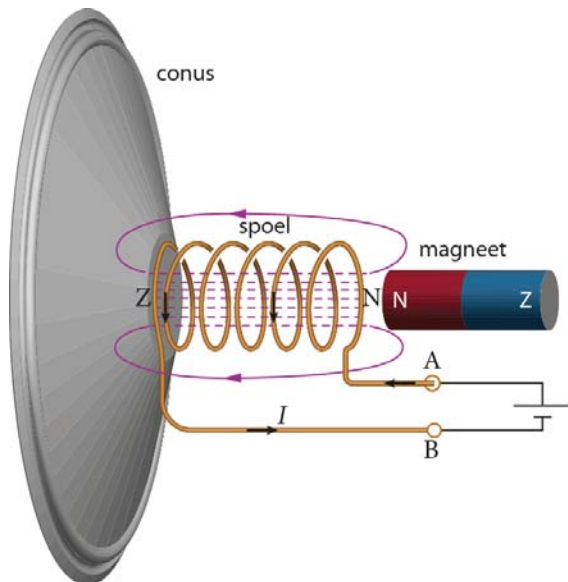
f Als de elektrische stroom in beide draden naar boven loopt, zal de lorentzkracht op de linkerdraad naar rechts gericht zijn, doordat de stroomrichting van de linkerdraad nu andersom is. Het magneetveld van de linkerdraad zal andersom draaien, waardoor de lorentzkracht op de rechterdraad naar links is gericht. Beide draden trekken elkaar dus aan. Zie figuur hierna.





Opgave 27

a Zie figuur hierna.



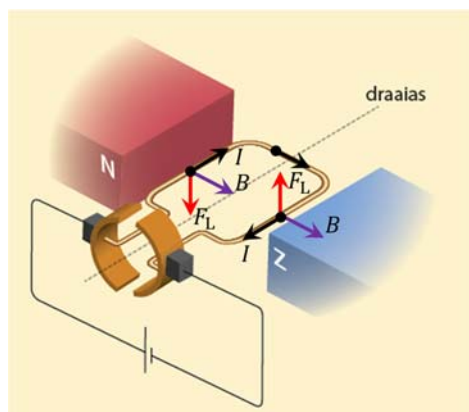
- b Zie voorgaande figuur.
- c Na het inschakelen van de stroom zal de magneet de spoel afstoten. De spoel zal met de conus iets van de magneet af bewegen en dan in die positie tot stilstand komen, doordat de conus ingeveerd is.
- d Zodra de stroomrichting omdraait, wisselen de polen van de spoel om 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.
- e De toonhoogte kun je regelen door de frequentie van de wisselspanningsbron te veranderen en de geluidssterkte kun je regelen door de amplitude van de wisselspanning (en daarmee de amplitude van de stroomsterkte) te veranderen. (De veerconstante en de demping van de conus zijn zodanig dat de eigenfrequentie ervan geen roet in het eten gooit.)

Opgave 28

Eigen antwoord

Opgave 29

a Zie figuur hierna.

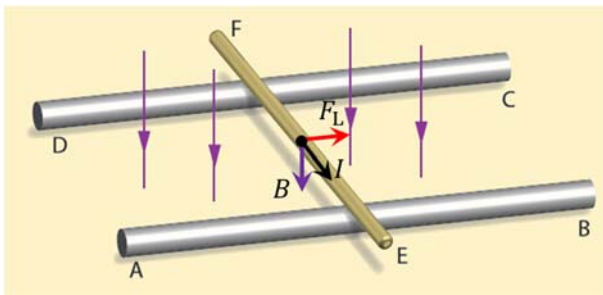




- b Zie voorgaande figuur. De spoel draait linksom (tegen de wijzers van de klok in).
- c Zodra de spoel door de dode stand beweegt, worden de aansluitingen verwisseld met behulp van de sleepcontacten. De koolborstels maken dan contact met de andere gebogen koperen strippen aan de uiteinden van de stroomdraad. Zowel de stroomrichting als de winding zelf zijn nu gedraaid en het plaatje ziet er weer hetzelfde uit als bij vraag a. De richting van de lorentzkracht is niet veranderd.

Opgave 30

- a De staaf beweegt naar rechts, dus is de lorentzkracht naar rechts en de richting van de stroom naar voren. Zie figuur.



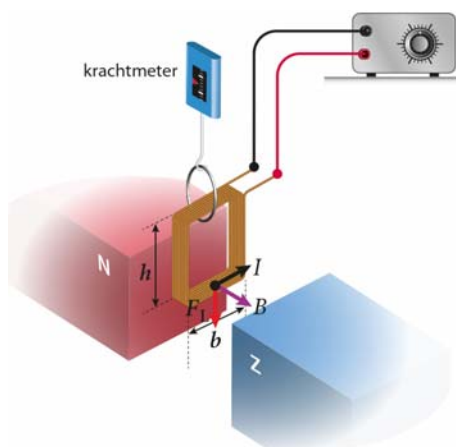
- b $F_L = B_{\perp} \cdot I \cdot \ell$ met $B_{\perp} = 0,92 \text{ T}$, $I = 0,58 \text{ A}$ en $\ell = 0,24 \text{ m} \rightarrow F_L = 0,92 \times 0,58 \times 0,24 = 0,13 \text{ N}$

Opgave 31

- A De lengte van de stroomdraad (PQ in de figuur) 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, is de lorentzkracht ook groter doordat een groter deel van de stroomdraad zich in het magneetveld bevindt.
- C De breedte b is niet van invloed, zolang de magnetische veldsterkte van het homogene veld tussen de polen gelijk blijft.
- D Een grotere magnetische veldsterkte B geeft een grotere lorentzkracht.
- E Een grotere stroomsterkte I geeft een grotere lorentzkracht.
- F De afstand tussen de stroomdraad en de noordpool is niet van invloed, want het veld tussen de polen is homogeen.

Opgave 32

- a Zie figuur.





- b Het magneetveld beperkt zich tot de ruimte tussen de twee magneetpolen. In de getekende situatie bevindt de bovenzijde van de spoel zich buiten het magneetveld. Er werkt dan geen lorentzkracht op de bovenzijde van de spoel.
- c Volgens de formule $F_L = B_{\perp} \cdot I \cdot \ell$ is de lorentzkracht evenredig met de stroomsterkte. Dat betekent dat de helling van de grafiek gelijk is aan $(B_{\perp} \cdot \ell)$ waarbij ℓ de totale lengte is van de stroomdraad onderaan de spoel. Omdat de spoel uit 200 windingen bestaat geldt: $\ell = 200 \cdot b = 200 \times 0,080 = 16 \text{ m}$.

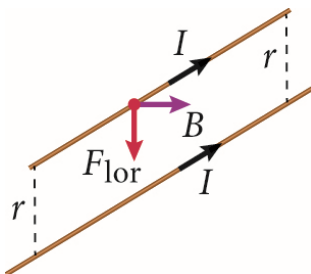
De helling is gelijk aan $\frac{4,0-1,0}{0,50} = 6,0$ dus $B_{\perp} = \frac{6,0}{\ell} = \frac{6,0}{16} = 0,38 \text{ T}$.

Opgave 33

- a De totale lengte van de draad is 40 m en er zijn 470 windingen, dus de lengte van één winding is $\frac{40}{470} = 0,085 \text{ m}$. De windingen zijn cirkelvormig en de omtrek van een cirkel is te berekenen met $\pi \cdot d$. Dus is de diameter van de spoel: $d = \frac{0,085}{\pi} = 0,027 \text{ m} = 2,7 \text{ cm}$.
- b In de rechtertekening is de lorentzkracht overal het papier in gericht, in de linkertekening 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 $F_V = C \cdot u \rightarrow u = \frac{F_V}{C} = \frac{1,75}{1,6 \cdot 10^3} = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 1,1 \text{ mm}$.

Opgave 34

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



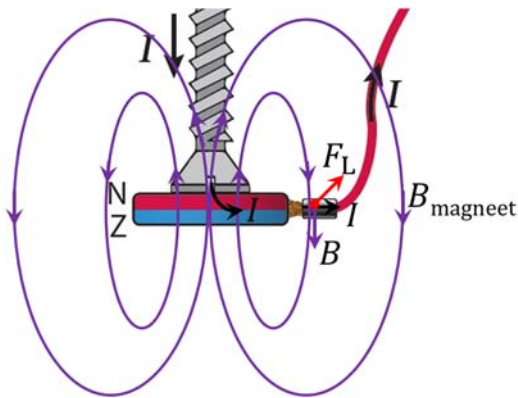
Op soortelijke wijze is het magneetveld van de bovenste draad ter plaatse van de onderste draad naar links gericht, wat betekent dat de lorentzkracht van de bovenste draad op de onderste draad naar boven is gericht. De twee evenwijdige stroomdraden met gelijke stroomrichting trekken elkaar dus aan. Zie ook opgave 26f.

- 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 $F_L = B \cdot I \cdot \ell = 8,2 \cdot 10^{-5} \times 8,2 \times 0,50 = 3,4 \cdot 10^{-4} \text{ N}$



Opgave 35

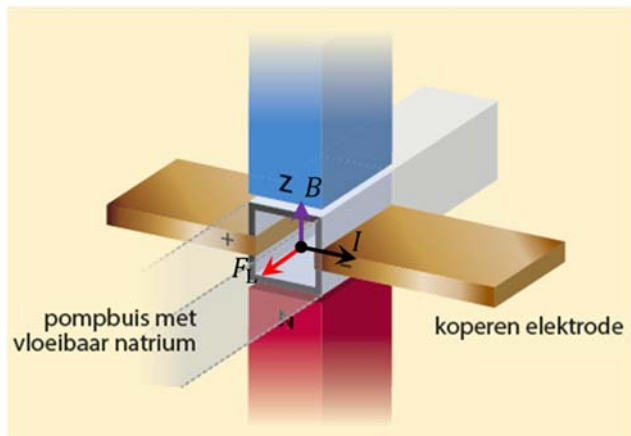
- a De magnetische veldlijnen van de magneet zijn rechts naast de magneet, waar de draad tegen de magneet wordt gehouden, naar beneden gericht. Zie figuur (de magneetlijnen lopen in het vlak van de tekening).



- b De stroom door het snoer bij de aansluiting ondervindt een lorentzkracht van het magneetveld van de ronde magneet. De reactiekracht daarvan is de kracht van de stroomdraad op de magneet. Als je het snoer met de hand tegenhoudt, gaat de 'motor' daardoor draaien.
- c Waar de stroom uit de magneet in het snoer stroomt, is de stroom naar rechts gericht en de magnetische veldsterkte naar beneden. De lorentzkracht op het snoer is daar dus naar achteren gericht. En de reactiekracht daarvan is dat het snoer de magneet naar voren duwt. Tenminste als je het snoer tegenhoudt, zodat het niet naar achteren zwaait.

Opgave 36

- a De stroomrichting is naar rechtsvoor en de richting van het magneetveld naar boven. Zie figuur.



- b De richting van de lorentzkracht is naar linksvoor, zie figuur. Dus stroomt het natrium van rechtsachter naar linksvoor.
- c $F_L = B \cdot I \cdot \ell = 0,78 \times 90 \times 22 \cdot 10^{-3} = 1,5 \text{ N}$



8.4 ELEKTROMAGNETISCHE INDUCTIE

Opgave 37

- a Waar als je tenminste de magneet ongeveer langs de as van de ring ernaartoe brengt.
- b Niet waar: Als je een magneet ongeveer langs de as van de ring weg beweegt, ontstaat er ook een inductiespanning in de ring.
- c Niet waar: Een dynamo werkt als de spoel en de magneet ten opzichte van elkaar draaien.
- d Waar
- e Waar
- f Niet waar: Over een spoel die ronddraait in een magneetveld ontstaat een inductiespanning doordat de flux door de spoel voortdurend verandert.

Opgave 38

- a De trillingen van de lucht laten het trilplaatje met de spoel heen en weer bewegen. Hierdoor beweegt de spoel dichter naar de magneet toe of verder van de magneet af. De magnetische flux in de spoel verandert daardoor en er ontstaat een inductiespanning in de spoel.
- b Als de frequentie van de trilling groter is, is de frequentie van de wisselende inductiespanning ook groter. En de amplitude van de inductiespanning is dan groter, doordat de fluxverandering sneller gaat (zie tweede deel van de paragraaf).

Opgave 39

- a Als je de magneet niet beweegt, verandert de magnetische flux door de spoel niet en is er geen inductiespanning.
- b Als je de magneet heen en weer beweegt, neemt de magnetische flux door de spoel afwisselend toe en af. Dit zorgt voor een afwisselende positieve en negatieve inductiespanning, een wisselspanning dus.
- c Als je de magneet sneller heen en weer beweegt, is de frequentie van de wisselende inductiespanning groter en ook de amplitude van de inductiespanning. Het lampje zal dus sneller aan en uit gaan en feller gaan branden.

Opgave 40

- A Als de schakelaar open is, is er geen magneetveld in en om de elektromagneet, dus ook geen flux door de rechterspoel en dus geen inductiespanning over die spoel.
- B Als de schakelaar wordt gesloten, is er een toenemend magneetveld in en om de elektromagneet en daardoor ook in de spoel. De spoel ligt in het verlengde van de elektromagneet en omvat dus magnetische flux die toeneemt als de schakelaar gesloten wordt. Dus ontstaat er een inductiespanning over de spoel.
- C Als de schakelaar al een tijdje gesloten is, veranderen het magneetveld in en om de elektromagneet en in de spoel niet, dus er is geen fluxverandering en daardoor geen inductiespanning over de spoel.
- D Als de schakelaar wordt geopend, is er een plotseling afnemend magneetveld van de elektromagneet waardoor de flux in de spoel plotseling afneemt. Er ontstaat daardoor even een grote inductiespanning over de spoel.

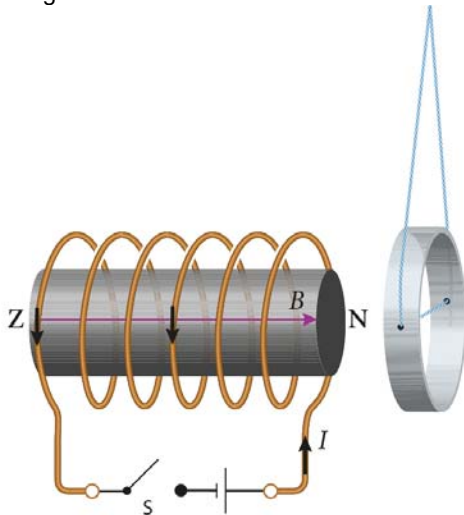
Opgave 41

- a Het magneetveld van de elektromagneet verandert niet, dus is er geen fluxverandering door de spoel en zal er geen inductiespanning over de rechterspoel ontstaan.
- 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, en is dus een wisselspanning.

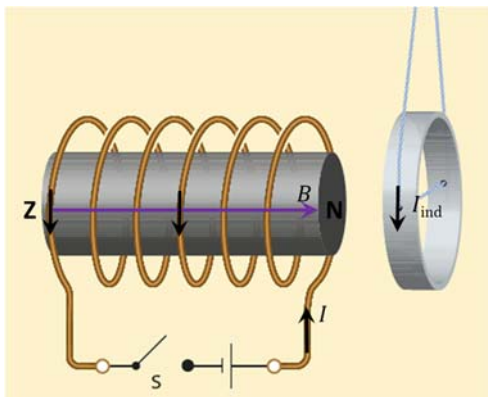


Opgave 42

- a Bij het sluiten van de schakelaar ontstaat er een toenemende flux door de ring. Die toenemende flux door de ring zorgt voor een inductiespanning in de ring, waardoor er een inductiestroom in de gesloten ring gaat lopen. Die inductiestroom heeft een magneetveld dat tegengesteld gericht is aan het magneetveld van de spoel, waardoor de spoel en de ring elkaar kort zullen afstoten. Als de schakelaar eenmaal is gesloten, zal de flux niet meer veranderen en zakt de ring terug.
- b Zie figuur hierna.



- c Bij het sluiten van S ontstaat aan de linkerkant van de ring even een noordpool, waardoor de spoel en de magneet elkaar afstoten.
- d Zie figuur hierna.

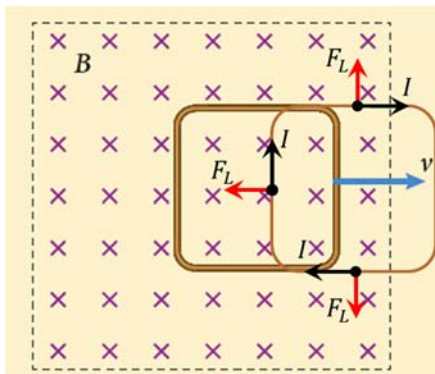


- e Als de schakelaar weer wordt geopend, neemt het magneetveld in de spoel af en dus ook de flux door de ring. De afnemende flux door de ring zorgt voor een gelijkgericht magneetveld in de ring door de inductiestroom, waardoor de spoel en de ring elkaar zullen aantrekken. De ring beweegt even naar de spoel toe.



Opgave 43

- a Het hele draadraam bevindt zich in het homogene magneetveld, dus de flux door het draadraam verandert niet en er loopt geen inductiestroom.
- b Zodra de rechterzijde buiten het magneetveld komt, zal de flux door het draadraam afnemen. Dit veroorzaakt een inductiespanning over het draadraam en daardoor een inductiestroom door het draadraam.
- c Zie figuur. Op de rechterzijde van het draadraam werkt geen lorentzkracht want dit deel bevindt zich niet meer in het magneetveld.



Opgave 44

- a De magnetische flux door de spoel neemt afwisselend toe en af. Er ontstaat dus door inductie een wisselspanning.
- b De stroomkring is niet gesloten, dus kan er geen inductiestroom gaan lopen (er ontstaat wel een inductiespanning).

Opgave 45

- a Deze uitspraak hoort bij een elektromotor en een luidspreker, deze zetten elektrische energie om in bewegingsenergie.
- b Deze uitspraak hoort bij een dynamo en een microfoon, deze zetten bewegingsenergie om in elektrische energie.

Opgave 46

Eigen antwoord

Opgave 47

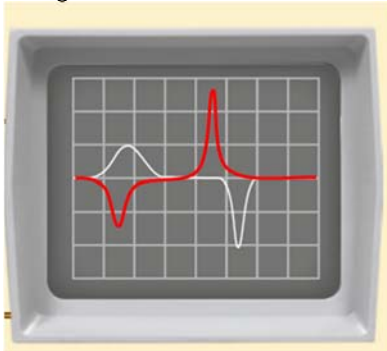
- a De magnetische flux binnen een spoel hangt af van de magnetische veldsterkte, van de oppervlakte van de doorsnede van de spoel en van de hoek tussen de richting van de magnetische veldlijnen en de normaal (de lijn loodrecht op het oppervlak).
- b Je kunt de magnetische flux berekenen met $\phi = B_{\perp} \cdot A$.
- 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. De inductiespanning is evenredig met de verandering van de magnetische flux per seconde en van het aantal windingen van de spoel.

Opgave 48

- a De eerste puls ontstaat als de magneet de spoel nadert en binnengaat, waardoor de flux door de spoel toeneemt. De tweede puls ontstaat als de magneet uit de spoel valt, waardoor de flux door de spoel afneemt.
- b De tweede puls is hoger dan de eerste puls, doordat de snelheid van de vallende magneet groter is als de hij uit de spoel valt. Hierdoor verandert de flux per seconde sneller: $\frac{d\phi}{dt}$ is groter dus U_{ind} is groter.
- c De tweede puls is smaller dan de eerste puls, doordat de snelheid groter is als de magneet uit de spoel valt. De magneet valt dan dus in kortere tijd over dezelfde afstand en dit geeft een smallere puls.



- d Bij het naderen van de magneet is er een fluxtoename door de spoel, bij het verwijderen juist een fluxafname. Hierdoor wisselt $\frac{d\phi}{dt}$ van teken en is de richting van de inductiestroom tegengesteld, als de magneet zich van de spoel verwijderd.
- e Zie figuur.



Opgave 49

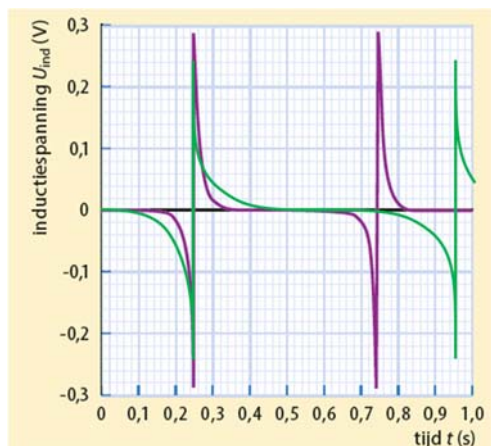
- a $\frac{d\phi}{dt} = \frac{8,0 \cdot 10^{-2}}{4,0} = 0,020 \text{ Wb/s}$
- b De helling tussen $t = 4,0 \text{ s}$ en $t = 6,0 \text{ s}$ is $\frac{d\phi}{dt} = \frac{-8,0 \cdot 10^{-2}}{2,0} = -0,040 \text{ Wb/s}$. De fluxverandering is $2 \times$ zo groot en negatief, dus is de inductiespanning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

Opgave 50

- a Tussen $t = 2,0 \text{ s}$ en $t = 4,0 \text{ s}$ is er sprake van een inductiespanning, want dan verandert de flux.
- b Nee, op tijdstip $t = 3,0 \text{ s}$ verandert de inductiestroom niet van richting, want de flux daalt constant tussen $t = 2,0 \text{ s}$ en $t = 4,0 \text{ s}$, dus blijft de afgeleide van de flux constant.
- c Het aantal windingen wordt $1,5 \times$ zo klein, dus ook de inductiespanning wordt $1,5 \times$ zo klein.
De stroomsterkte wordt dan ook $1,5 \times$ zo klein: $I = \frac{0,25}{1,5} = 0,17 \text{ A}$ (bij een gelijke weerstand van de spoel).

Opgave 51

- a Bij het naderen van de magneet neemt de flux in de spoel toe, en bij het verwijderen van de magneet neemt de flux af. De inductiespanning is dan net andersom.
- b De pieken zijn breder doordat de magneet langzamer langs de spoel komt, en lager doordat de fluxverandering per seconde dan kleiner is. De pieken zitten verder uit elkaar doordat het wiel langzamer ronddraait. Zie figuur.





Opgave 52

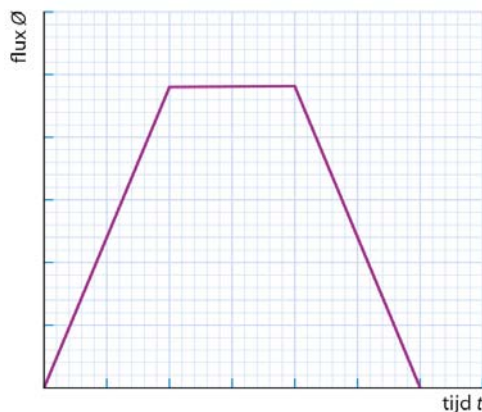
- a Het aantal windingen in spoel A is gelijk aan het aantal windingen in spoel B en in normale omstandigheden is de stroomsterkte ook gelijk. Dus is dan de magnetische veldsterkte in het weekijzer door de stroom door spoel A even groot als die door spoel B. Doordat spoel B net andersom is gewikkeld dan spoel A, is de richting van het magneetveld in het weekijzer precies andersom. De netto magnetische flux door spoel C is dan nul.
- b Bij een lekstroom zal de stroomsterkte door spoel B kleiner zijn, waardoor de magnetische veldsterkte van spoel B kleiner is. Bij spoel A verandert er niets, dus ontstaat er een (wisselende) fluxverandering in spoel C en daardoor een wisselinductiestroom die het relais activeert waardoor de schakeling verbroken wordt.
- c Ja, deze aardlekschakelaar kan ook werken bij gelijkspanning, 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.

Opgave 53

- a Als de schakelaar wordt geopend, loopt er plotseling geen stroom meer door de eerste spoel. Hierdoor neemt de magnetische veldsterkte in de ijzeren kern plotseling af naar nul. Door die plotselinge fluxverandering ontstaat een heel hoge inductiespanning over de tweede spoel, de dunne secundaire spoel.
- b De afname van het magneetveld gaat heel snel, dus is de fluxverandering per seconde door de secundaire spoel heel groot. De secundaire spoel heeft veel meer windingen dan de primaire spoel, zodat de fluxverandering voor een heel hoge inductiespanning zorgt.

Opgave 54

- a Zie figuur.



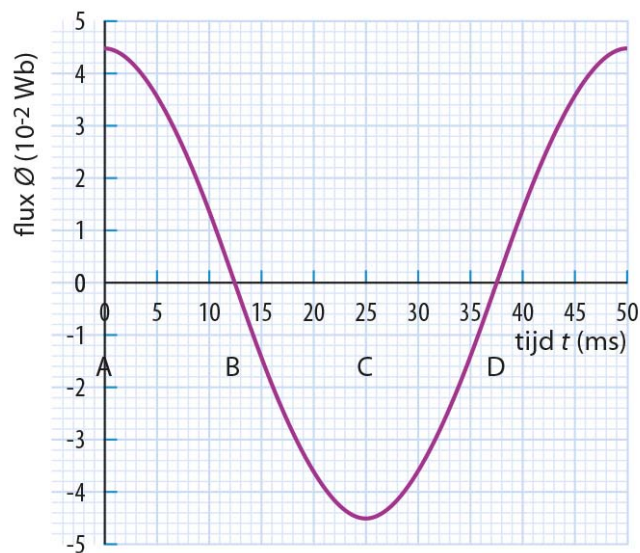
- b Als de winding niet geheel in het magneetveld zit, vindt er een fluxverandering plaats in de spoel en ontstaat er een inductiespanning over het deel van het draadraam dat zich al (of nog) wel in het magnetisch veld bevindt. Er loopt daardoor een inductiestroom als het draadraam het magneetveld in beweegt en als het draadraam het magneetveld weer uit beweegt.
- c Nee, de richting van de inductiestroom is niet steeds gelijk. Als het draadraam het magneetveld in beweegt neemt de flux toe en is er een inductiestroom in het draadraam. Als het draadraam het magneetveld weer uit beweegt neemt de flux af en is de richting van de inductiestroom precies de andere kant op. Bevindt het draadraam zich geheel in het magneetveld en beweegt het naar rechts, dan loopt er geen inductiestroom omdat er dan geen fluxverandering in het draadraam is.



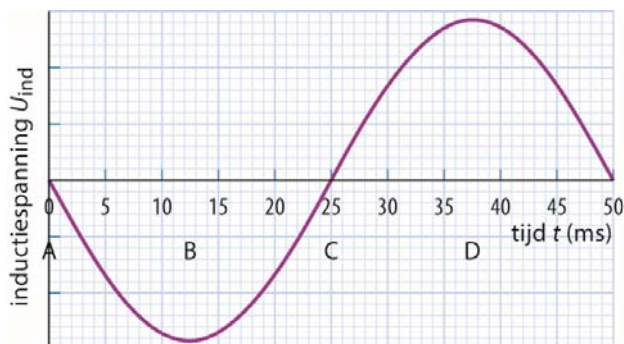
Opgave 55

- a De flux verandert volgens een cosinus.

De maximale flux is $\phi = B \cdot A \cdot N = 0,50 \times 6,0 \cdot 10^{-4} \times 150 = 4,5 \cdot 10^{-2} \text{ Wb}$ en de periode is $T = \frac{1}{20} = 0,050 \text{ s} = 50 \text{ ms}$. Zie verder de figuur hierna.



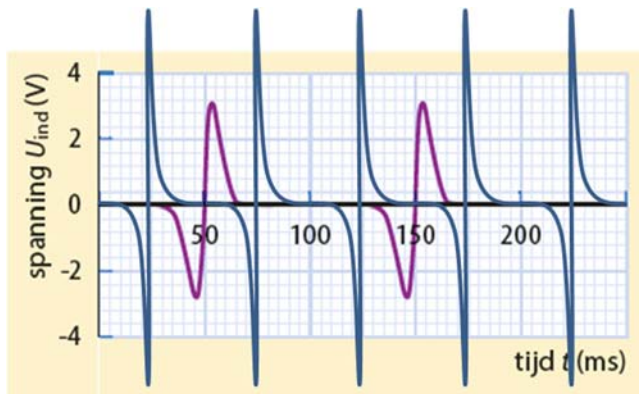
- b $\frac{d\phi}{dt}$ is maximaal in stand B en D, dan is de inductiespanning dus het grootst.
- c $\frac{d\phi}{dt}$ is nul in stand A en C, dan is de inductiespanning dus ook nul.
- d De afgeleide van de cosinusfunctie is een negatieve sinusfunctie. Zie figuur hierna.



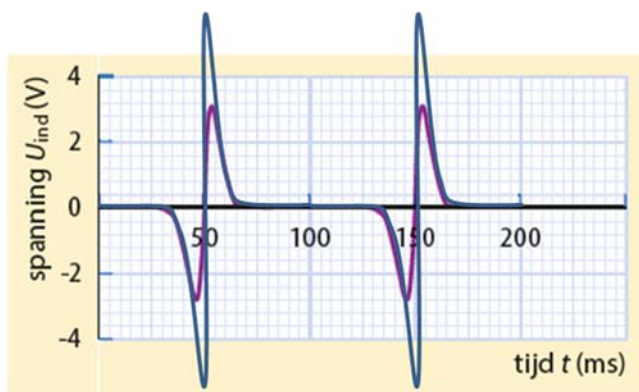


Opgave 56

- a Als de schijf 2 × zo snel draait staan de pieken staan 2 × zo dicht bij elkaar, zijn ze 2 × zo smal en 2 × zo hoog. Zie figuur hierna.



- 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. Die fluxverandering blijft gelijk als de draaisnelheid verandert. De pieken worden dus zowel hoger als smaller.
- c De pieken worden 2 × zo hoog (want U_{ind} is evenredig met het aantal windingen), maar blijven even breed en onderling even ver uit elkaar. Zie figuur hierna.



- d Nee, want U_{ind} is evenredig met het aantal windingen, maar de fluxverandering per seconde blijft even groot, dus de oppervlakte onder een inductiespanningspuls is groter.

8.5 VERDIEPING

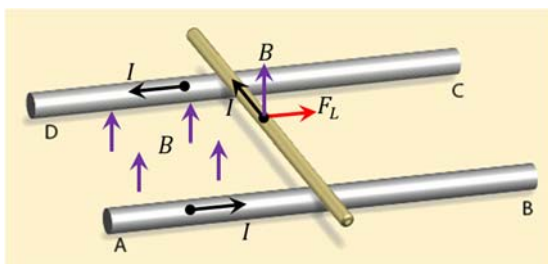
Opgave 57

- a De elektrische stroom door het water ondervindt in het magnetisch veld van de magneet in de boot een Lorentzkracht naar achteren. De reactiekracht van (de elektrische stroom door) het water op de magneet in de boot is even groot en tegengesteld gericht en duwt de boot dus naar voren (derde wet van Newton).
- b Ga uit van een voortstuwende kracht van ongeveer 10^5 N en een sterk magnetisch veld van ongeveer 0,5 T. De afstand tussen de elektroden zal ongeveer 1 m zijn. Dan geldt: $F_L = B \cdot I \cdot \ell \rightarrow I = \frac{F_L}{B \cdot \ell} = \frac{10^5}{0,5 \times 1} = 2 \cdot 10^5$ A en dat is een zeer grote stroomsterkte.



Opgave 58

- 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 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 achteren veroorzaakt een lorentzkracht op deze staaf die naar rechts is gericht, dus zal de koperen staaf naar rechts bewegen. Zie figuur.



- b Als de stroomrichting omdraait, draait het magneetveld van 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.

Opgave 59

- a Tijdens het opladen loopt er een wisselstroom door de spoel in de voet, want alleen een wisselstroom geeft een wisselend magnetisch veld en daardoor een wisselende magnetische flux door de spoel in de tandenborstel. Dat is nodig om een inductiestroom in de spoel in de tandenborstel op te wekken.
- b In de spoel die in de tandenborstel zit, wordt de inductiestroom opgewekt, dus daar moet ook een spoel zitten.
- c Door de spoel in de tandenborstel loopt een wisselstroom, doordat er een wisselstroom door de oplader loopt die de flux in de tandenborstel voortdurend laat toenemen en afnemen. De opgewekte wisselstroom in de tandenborstel wordt daarna nog gelijkgericht om de batterij op te laden.

Opgave 60

- a Er is een veranderende magnetische flux nodig om de inductiestroom in de pan op te wekken dus werkt inductiekoken alleen als er een wisselstroom gebruikt wordt.
- b Als er gelijkstroom gebruikt wordt in de spoel onder de plaat is deze spoel een elektromagneet die de ijzeren pan magnetiseert, waardoor de pan aangetrokken wordt en aan de kookplaat vastplakt maar niet warm wordt.
- c In het keramische oppervlak kan geen inductiestroom lopen doordat keramiek een elektrische isolator is. Dus wordt het keramische oppervlak alleen warm van de warme pan die erop staat (geleidingswarmte).
- d Als de weerstand $2 \times$ zo groot is en de spanning gelijk blijft, volgt uit $U = I \cdot R$ dat de stroomsterkte (op elk moment) $2 \times$ zo klein is. Voor de warmteontwikkeling in de bodem geldt $P = U \cdot I$ (waarbij U gelijk blijft). Dus zal de warmteontwikkeling per seconde in de bodem ook $2 \times$ zo klein zijn als de stroomsterkte $2 \times$ zo klein is.

Opgave 61

- a Aluminium is niet magnetiseerbaar (alleen ijzer, nikkel en kobalt zijn dat) dus kun je aluminium niet met een (elektro)magneet uit de afvalstroom scheiden.
- b Door de snel roterende magneten in de koprol krijg je een snel wisselend magneetveld en daardoor een voortdurend veranderende magnetische flux door de aluminium onderdelen. Daarin ontstaat zo een inductiewisselstroom die door de lorentzkracht voor afstoting zorgt (vergelijkbaar met 'inductie zonder bewegende magneet' op blz 72).



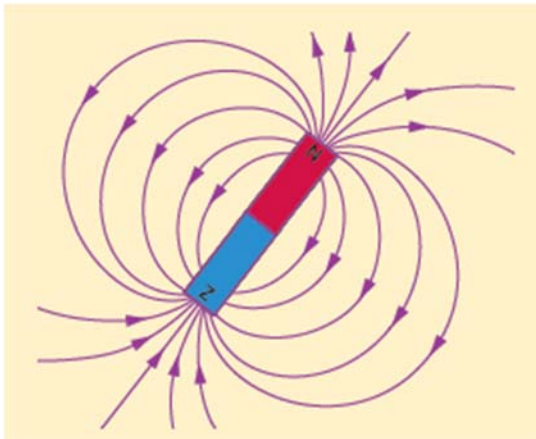
8.6 AFSLUITING

Opgave 62

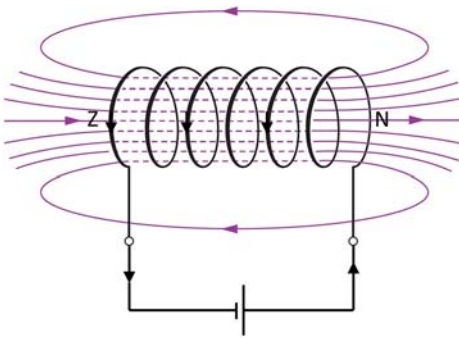
Eigen antwoord

Opgave 63

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

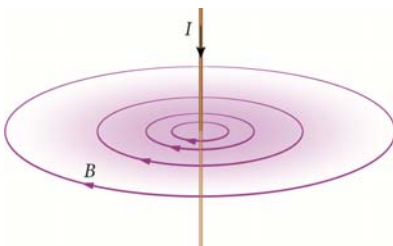


- b De magnetische veldlijnen lopen binnen een spoel van zuidpool naar noordpool en buiten de spoel van noordpool naar zuidpool, zie figuur hierna.



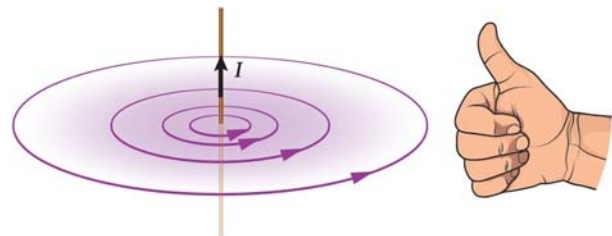
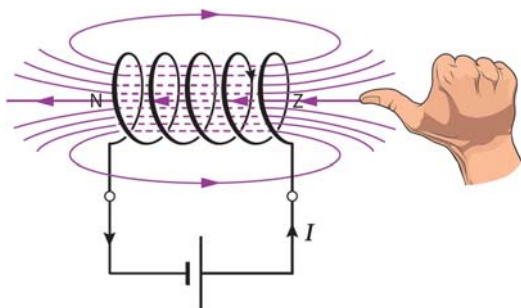
- c In een homogeen magnetisch veld zijn de magnetische veldlijnen overal evenwijdig én is de magnetische veldsterkte overal gelijk. Het magneetveld binnen een spoel is homogeen.

- d Zie figuur hierna.

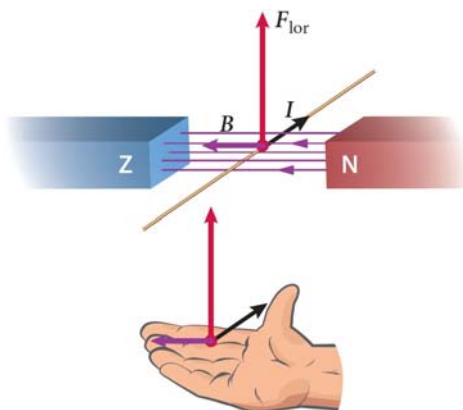




- e Als er een stroom door een stroomdraad loopt en deze stroomdraad bevindt zich in een homogeen magnetisch veld, dan ondervindt deze stroomdraad een lorentzkracht, tenzij de richting van de draad overeenkomt met de richting van het magneetveld. De richting van deze lorentzkracht is te vinden met de rechterhandregel.
- f 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 magnetische veldsterkte loodrecht op de stroomrichting (in T), I de stroomsterkte (in A) en ℓ de lengte van de draad in het magneetveld (in m).
- g
 - 1 Rechterhandregel bij de richting van het magnetisch veld en de richting van de elektrische stroom bij een spoel: de stroom gaat rond als de gebogen vingers van de rechterhand en de duim geeft dan de richting van het magnetisch veld aan. Zie linkerfiguur hierna.
 - 2 Rechterhandregel bij de richting van het magnetisch veld bij een stroomdraad: de stroom is in de richting van de duim van de rechterhand en de gebogen vingers geven de richting van de magnetische veldlijnen aan. Zie rechterfiguur hierna.



- 3 Rechterhandregel bij de richting van de lorentzkracht bij een stroomdraad die zich in een magnetisch veld bevindt: de duim van de rechterhand geeft de richting van de elektrische stroom aan en de gestrekte vingers de richting van de magnetische veldlijnen, de lorentzkracht komt loodrecht uit de handpalm van de hand. Zie figuur hierna.



- h Een elektromotor bestaat uit één of meer rotorspoelen die kunnen draaien om een as in een magneetveld. Het magneetveld wordt opgewekt door één of meer permanente magneten, of door (stator)spoelen. Bij een gelijkstroommotor zorgt het sleepcontact voor het verwisselen van de aansluitingen van de rotorspoelen, zodat de motor blijft draaien.
- i Een luidspreker bestaat uit een conus met een spoel daaraan vast 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 naar binnen en naar buiten bewegen. De heen-en-weer bewegende conus brengt de lucht in trilling.
- j Een microfoon bestaat uit een trilplaatje met daaraan een spoel, die beweegt in het magnetisch veld van een permanente magneet. De trillingen van de lucht brengen het plaatje in beweging en dit veroorzaakt een wisselende inductiespanning in de spoel. Op deze manier wordt het geluidssignaal omgezet in een elektrisch signaal.



- k** De magnetische flux binnen een spoel is het aantal magnetische veldlijnen dat door de spoel heen gaat.
- l** De magnetische flux door een oppervlak is te berekenen met de formule: $\phi = B_{\perp} \cdot A$. Hierin is ϕ 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 m²).
- m** Als de magnetische flux door een spoel verandert, ontstaat er een inductiespanning over de spoel.
- n** Inductiespanning is evenredig met de fluxverandering per seconde ($\frac{d\phi}{dt}$) en met het aantal windingen N van de spoel.
- o** 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.

Opgave 64

De omtrek van de cirkelbaan is: $2\pi \cdot r = 2\pi \times 0,045 = 0,28$ m.

Lees eerst de omlooptijd van de magneet af uit figuur 92: 9,8 hokjes komen overeen met 5 periodes, dus is de omlooptijd $T = \frac{9,8 \times 50}{5} = 98$ ms.

De snelheid waarmee de magneet naar de spoel toe en van de spoel af beweegt is ongeveer gelijk aan de omwentelingssnelheid van de magneet: $v_m = \frac{s}{t} = \frac{\text{omtrek}}{T} = \frac{0,28}{0,098} = 2,89$ m/s.

Met behulp van figuur 91 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 1,852 te vermenigvuldigen:

$$v_s = 6,5 \text{ knopen} = 6,5 \times 1,852 = 12 \text{ km/h.}$$

Opgave 65

- a** De (B, I) -grafiek zal een rechte lijn door de oorsprong zijn want de magnetische veldsterkte binnen een spoel is evenredig met de stroomsterkte.
- b** $[B] = [\mu_0] \cdot \frac{[N] \cdot [I]}{[\ell]} \rightarrow T = T \cdot m \cdot A^{-1} \cdot \frac{[N] \cdot A}{m} \rightarrow T = T \cdot [N] \rightarrow [N] = -$, 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: $\mu_0 \cdot \frac{N}{\ell} = 5,81 \cdot 10^{-3} \rightarrow N = \frac{5,81 \cdot 10^{-3} \cdot \ell}{\mu_0} = \frac{5,81 \cdot 10^{-3} \times 0,20}{1,26 \cdot 10^{-6}} = 922$.
Dan is de lengte van de draad: $N \cdot \pi \cdot d = 922 \times \pi \times 0,080 = 2,3 \cdot 10^2$ m.

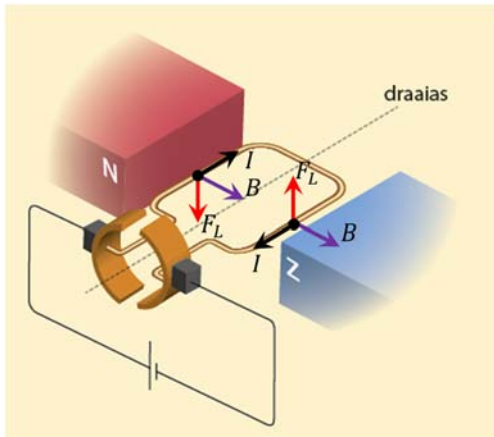
Opgave 66

- a** Het projectiel moet contact maken met de zijwanden om te zorgen dat er een stroom loopt tijdens het afschieten, dus zal er wrijving optreden.
De zwaartekracht op de kogel is $F_z = m \cdot g = 0,080 \times 9,81 = 0,78$ N. De wrijvingskracht is in de orde grootte van de zwaartekracht, dit is te verwaarlozen ten opzichte van de nettokracht van 85 kN, zodat de nettokracht vrijwel gelijk zal zijn aan de lorentzkracht.
- b** $F_{\text{res}} = F_L$ geeft $85 \cdot 10^3 = B \cdot I \cdot \ell \rightarrow \ell = \frac{85 \cdot 10^3}{B \cdot I} = \frac{85 \cdot 10^3}{2,5 \times 1,7 \cdot 10^6} = 0,020$ m = 20 mm
- c** $F_{\text{res}} = m \cdot a$ geeft $a = \frac{F_{\text{res}}}{m} = \frac{85 \cdot 10^3}{0,080} = 1,06 \cdot 10^6$ m/s²,
 $v_{\text{eind}} = a \cdot t = 1,06 \cdot 10^6 \times 2,0 \cdot 10^{-3} = 2,1 \cdot 10^3$ m/s. Dat is ruim 2 km/s!

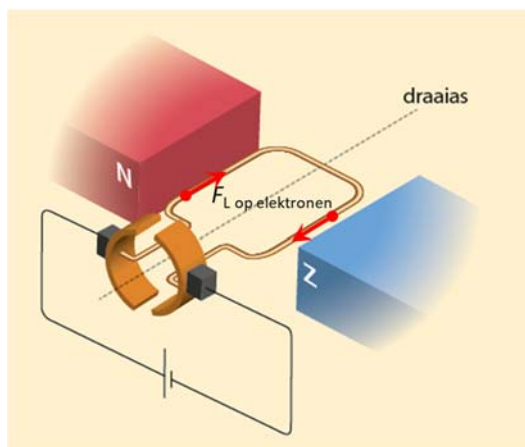


Opgave 67

- a De stroom loopt 'met de wijzers van de klok mee' door de rotorspoel en het magnetisch veld van de vaste magneetpolen is van links naar rechts, dus zal de spoel linksom gaan draaien, zie figuur hierna.



- b Als de rotorspoel vanuit de getekende stand gaat draaien, komt de winding steeds meer loodrecht op het magnetisch veld van de vaste magneetpolen te staan. Hierdoor neemt de magnetische flux van de vaste magneetpolen door de rotorspoel toe en dit veroorzaakt een inductiespanning over de rotorspoel.
- c De opgewekte inductiespanning is maximaal in de getekende horizontale stand, doordat de fluxverandering per seconde dan het grootst is. De inductiespanning is even nul als de rotorspoel verticaal staat, doordat de fluxverandering dan even nul is. De inductiespanning fluctueert dus van maximaal naar nul en weer naar maximaal, want als de rotorspoel verticaal staat wordt de aansluiting verwisseld.
- d De opgewekte inductiespanning werkt de spanning van de spanningsbron tegen. Dat kun je als volgt beredeneren: de stroomdraad bij de noordpool van de magneet beweegt naar beneden in het magnetisch veld, de elektronen in dat draadstuk bewegen mee naar beneden. De richting van 'de stroom' is dan naar boven en de Lorentzkracht op de elektronen is naar rechts, zie figuur hierna. Die Lorentzkracht werkt de stroom door de rotorspoel tegen, en daardoor ook de beweging van de spoel (want een stroom van de spanningsbron 'met de klok mee' betekent dat de elektronen 'tegen de klok in' bewegen).



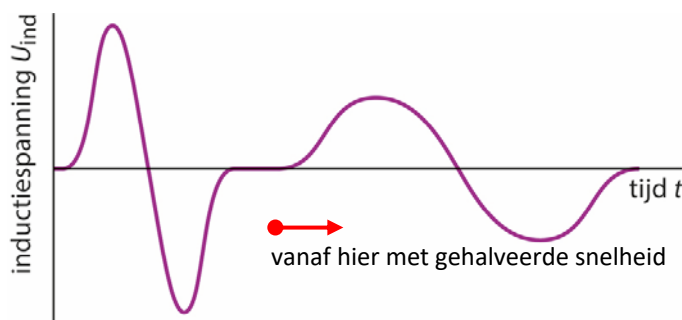


Opgave 68

- 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 96 is af te lezen dat het 81,5 ms duurt om vier pieken (met dalen) voorbij te laten komen. De magneet heeft vier 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 en dieper worden.

Opgave 69

- 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 Als de snelheid gehalveerd wordt zijn de pieken lager, breder en liggen verder uit elkaar, zie tweede deel van de figuur.



- c Als een even lange spoel met meer windingen wordt gebruikt en er wordt op dezelfde manier 'geschud' met de lamp, blijft de tijd waarin de fluxverandering optreedt gelijk, maar de inductiespanning wordt groter. Dus horizontaal verandert er niets maar verticaal zijn de pieken en dalen hoger en dieper.