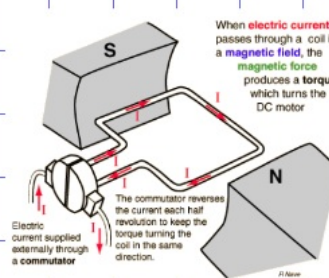
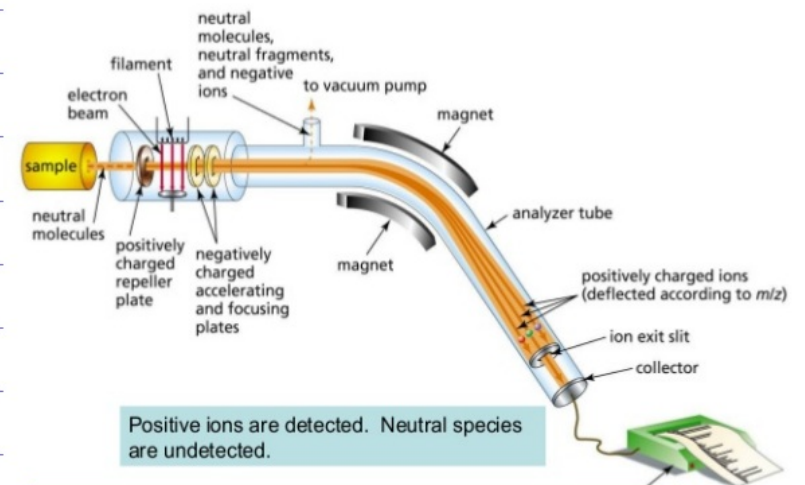


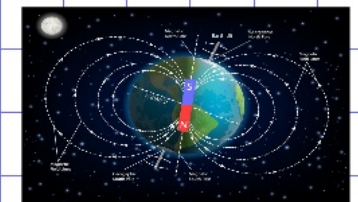
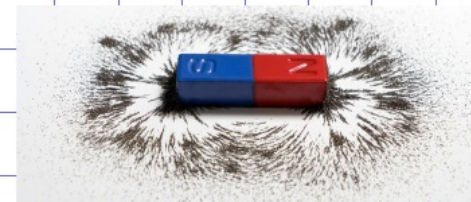
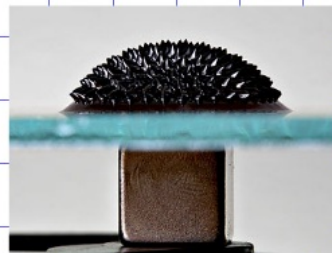
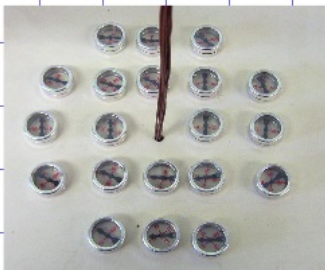
Hoofdstuk 10 Elektromagnetisme



Mass Spectrometer



Jip: modelleerdag 30 november



Leerdoelen voor dit hoofdstuk:

- §10.1 A. Je weet wat wordt bedoeld met de **begrippen** noordpool en zuidpool en met elementaire magneetjes.
B. Je weet hoe je met **lijnen** een **magnetisch veld** kunt weergeven aan welke kenmerken zo'n tekening altijd voldoet.
- §10.2 C. Je met RHR-2 kunt aangeven hoe het **magnetisch veld van een stroomvoerende draad** en van een spoel er uit ziet.
D. Je de **sterkte van het magnetische veld** in een stroomvoerende spoel kunt uitrekenen met magnetische inductie.
- §10.3 E. Je de richting en grootte van de **Lorentzkracht op een stroomvoerende draad** kunt uitrekenen.
F. Je de richting en grootte van de **Lorentzkracht op een bewegend geladen deeltje** kunt uitrekenen.
G. Je kunt uitleggen hoe **luidsprekers en elektromotoren** werken.
- §10.4 H. Je kunt uitleggen hoe een **veranderende magnetische flux** een spanning (en eventueel daardoor stroom) opwekt.
I. Je kunt uitleggen hoe **microfoons en dynamo's** werken.

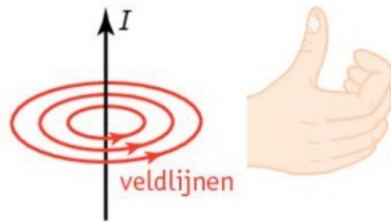
magnetisme
door
elektriciteit!

kracht door
elektriciteit en
magnetisme!

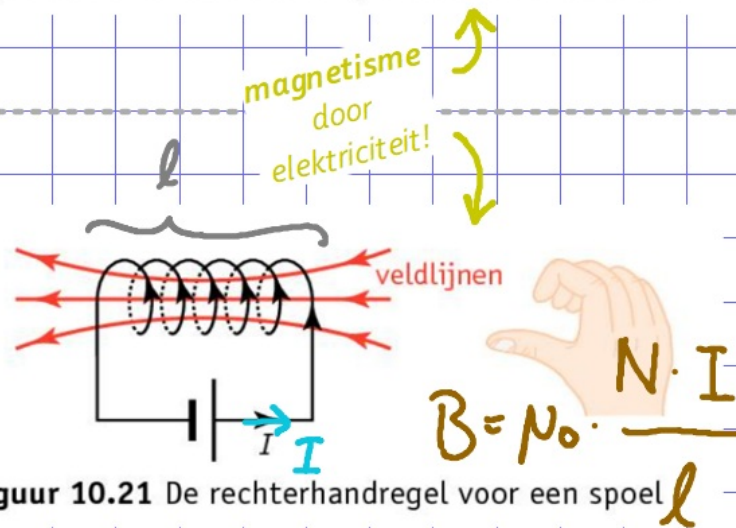
elektriciteit door
magnetisme!

Grootheid	symbool in formule	Eenheid	symbool van de eenheid
magnetische veldsterkte (ook wel "magnetische. inductie")	B	tesla	T
stroomsterkte	I	ampere	A
lengte	L	meter	m
aantal (bijv. wikkelingen in spoel)	N	- geen - (dimensieloos)	m
kracht	F	newton	N
snelheid	v	meter per seconde	m/s
lading	q	coulomb	C
flux (magnetische)	Φ	webber (of tesla * vierkante meter)	T*m ²
tijdsduur	Δt	seconde	s
spanning	U	volt	V
Constanten en stofeigenschappen	magnetische constante, $\mu_0 = 4\pi * 10^{-7}$		

Welke linker/rechterhandregels zijn er?



▲ **Figuur 10.19** De rechterhandregel voor een stroomdraad



▲ **Figuur 10.21** De rechterhandregel voor een spoel

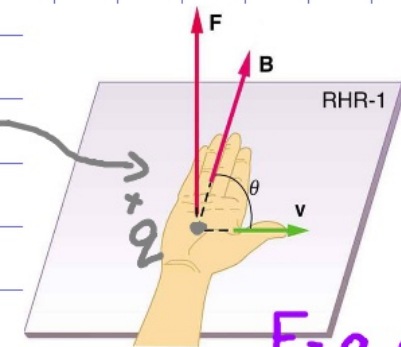
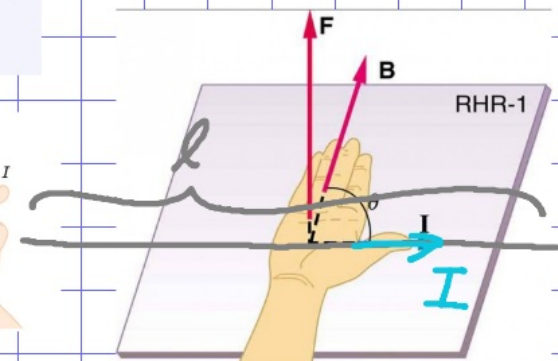
$$F = B \cdot I \cdot l$$

voor een stroomvoerende draad in een magnetisch veld

kracht door elektriciteit en magnetisme!

voor een **bewegend**, positief geladen deeltje in een magnetisch veld

op een negatief geladen deeltje met dezelfde snelheid werkt een even grote kracht maar in de tegenovergestelde richting



$$F = q \cdot v \cdot B$$

Hoofdstuk 10 Elektromagnetisme

- *CONTEXT* -

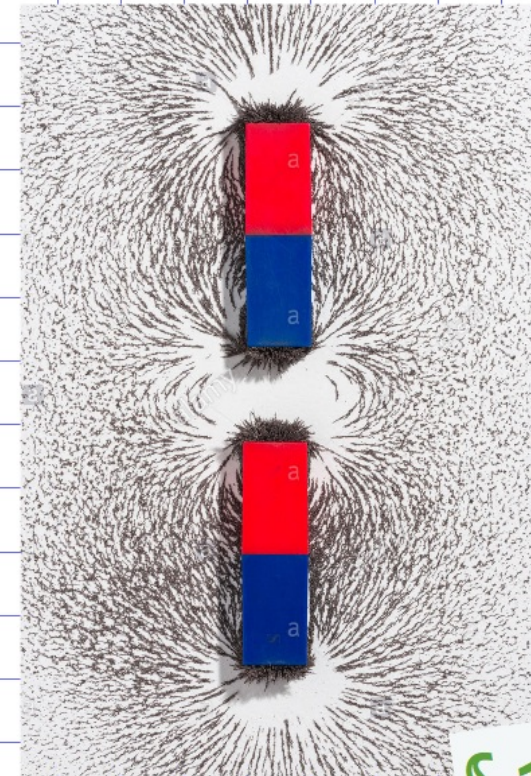
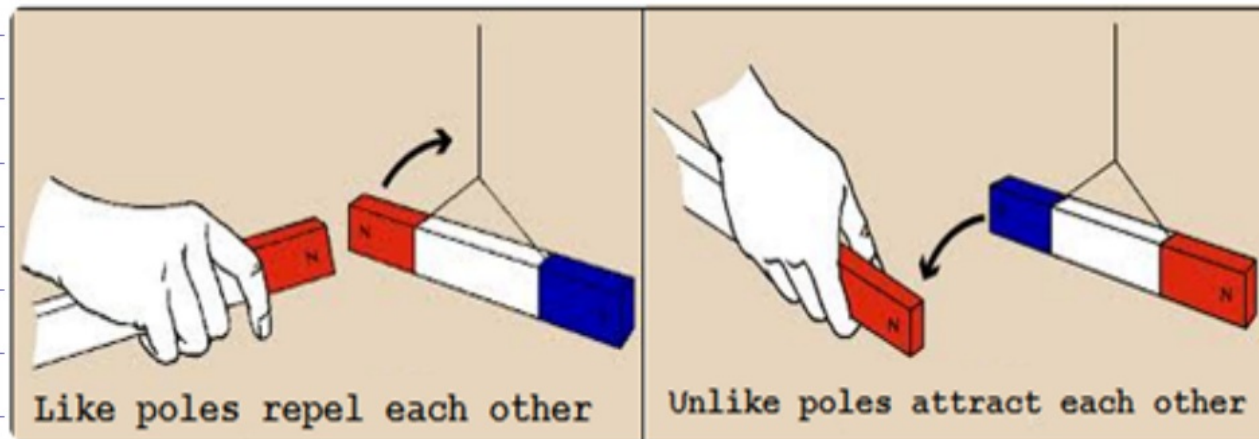
De volgende pagina's geven interessante achtergrondinformatie bij de stof van dit hoofdstuk zoals voorbeelden uit de natuur van de verschijnselen of technische toepassingen van de natuurkundige inzichten bij deze verschijnselen. Zulke achtergrond informatie heet ook wel context. Het is niet noodzakelijk om deze pagina's te bestuderen voor het proefwerk maar het is wel interessante kennis!

"Hoe sterk kunnen permamente magneten zijn?"



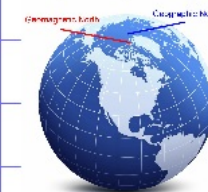
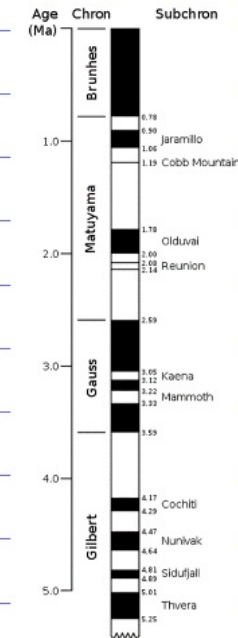
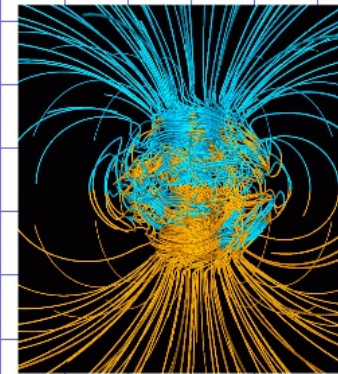
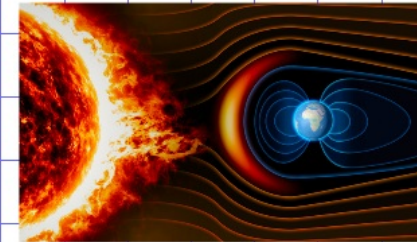
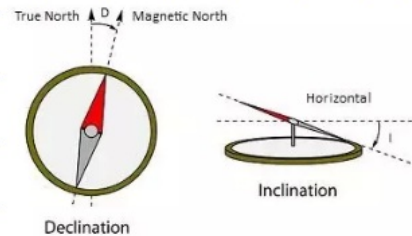
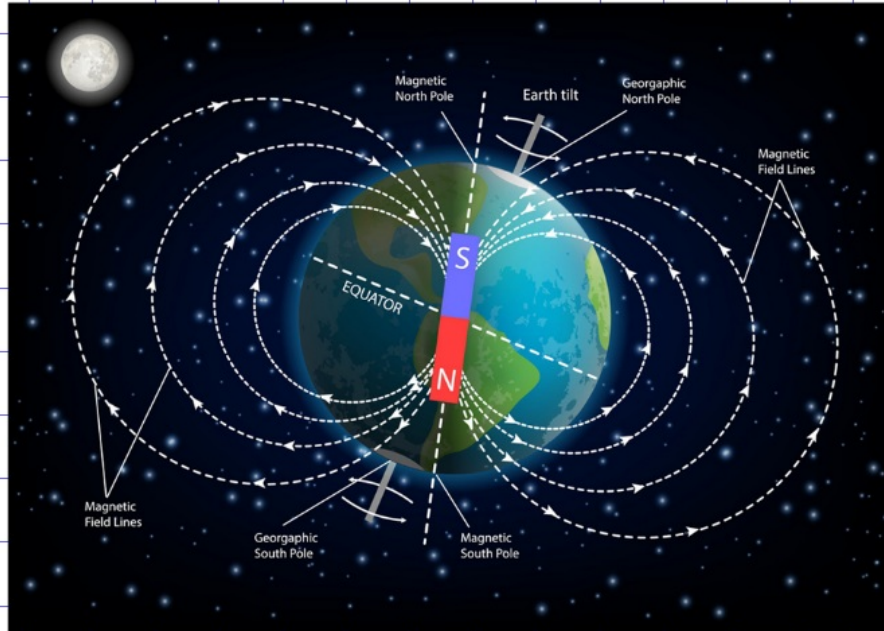
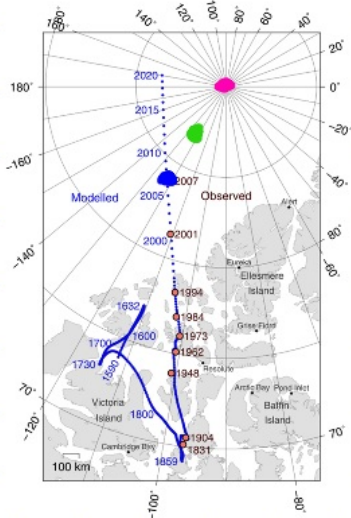
§ 10.1

"Hoe weten magneten dat ze in elkaars buurt zijn?"



§ 10.1

"Hoe weet een kompas waar het noorden is?"



§ 10.1

"Hoe werken elektromagneten?"

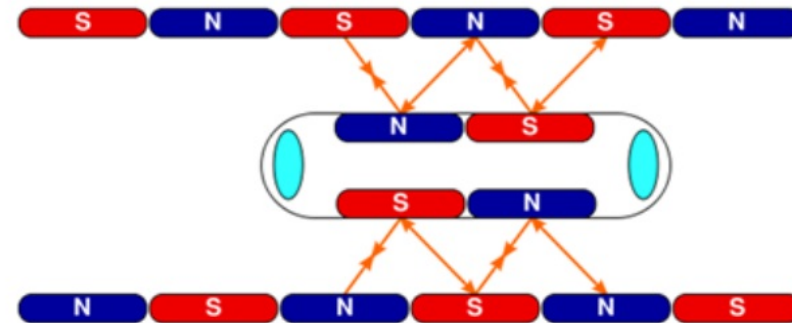


§ 10.2

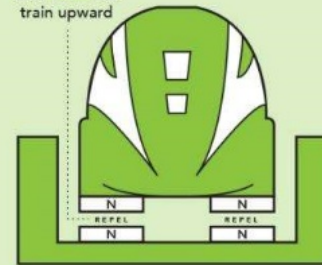
"Hoe werken magneetzweeftreinen?"



§ 10.2

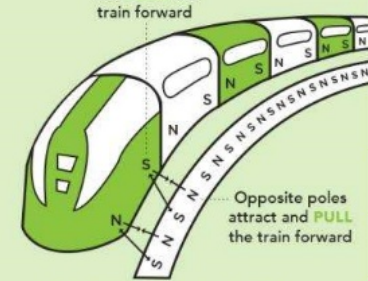


Like poles repel
and **PUSH** the
train upward



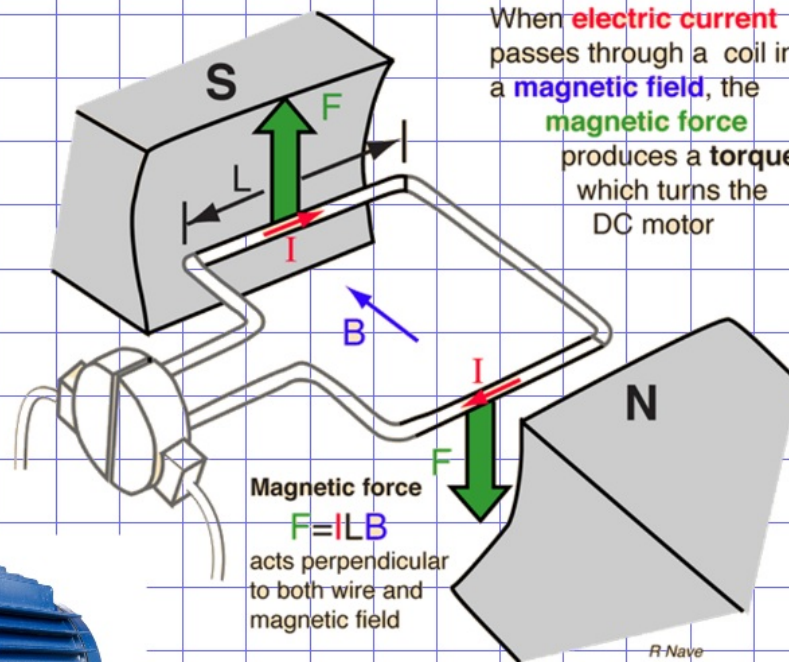
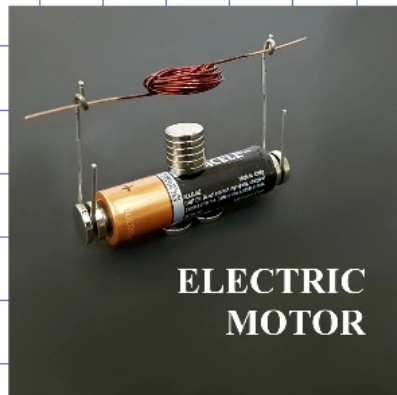
LEVITATION

Like poles repel
and **PUSH** the
train forward



PROPULSION

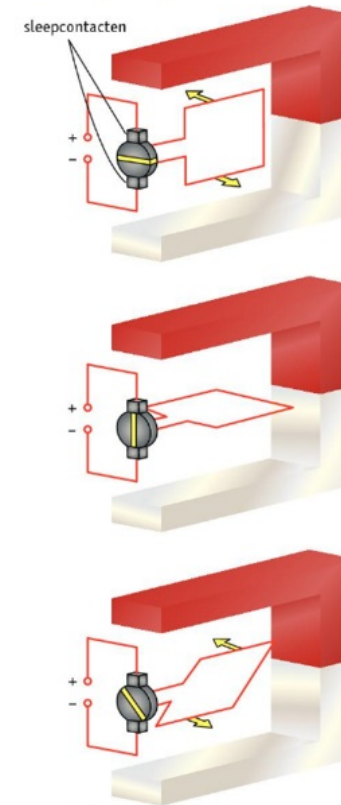
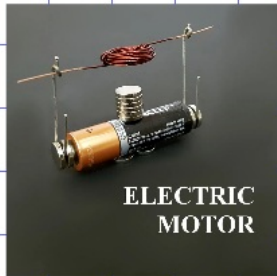
"Hoe werken elektromotoren?"



§ 10.3

"Hoe werken elektromotoren?"

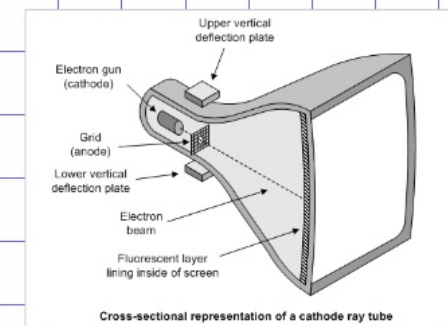
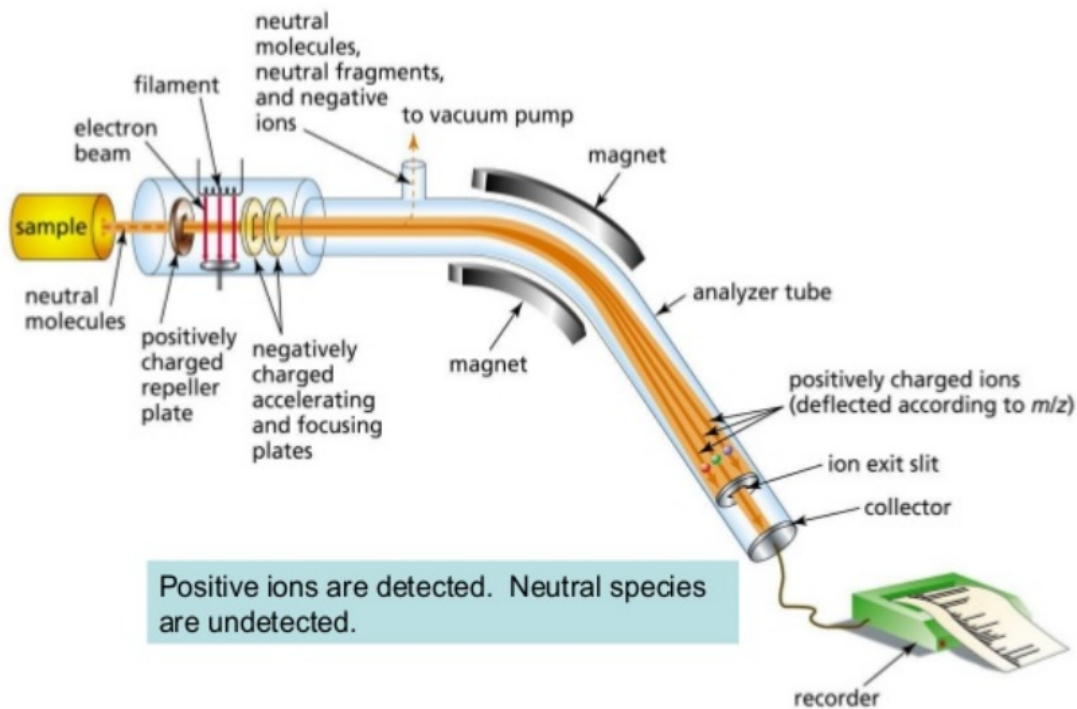
§ 10.3



▲ Figuur 10.43 Principe elektromotor

"Hoe bepaal je de massa van atomen?"

Mass Spectrometer

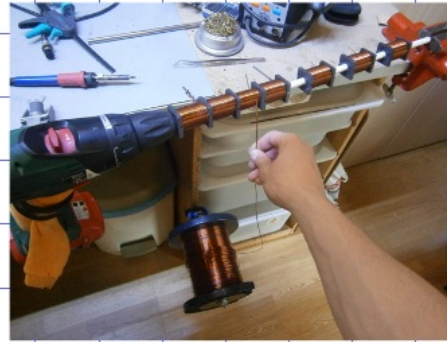
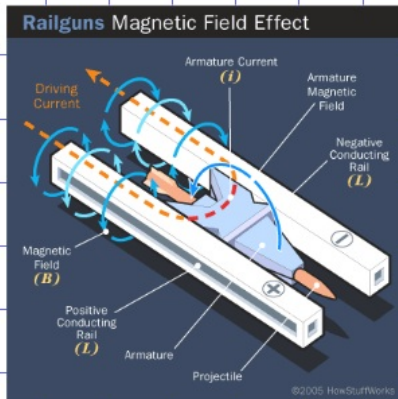


§ 10.3

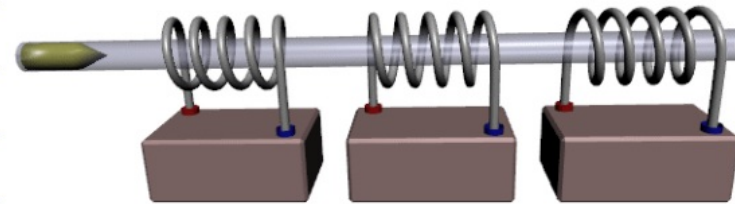
"Hoe werken magnetische kanonnen?"



rail gun

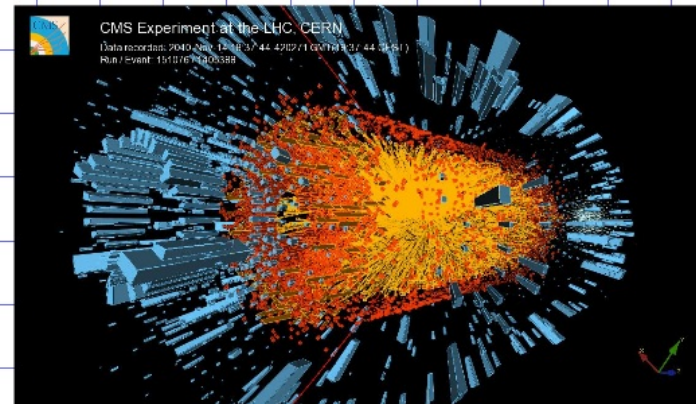
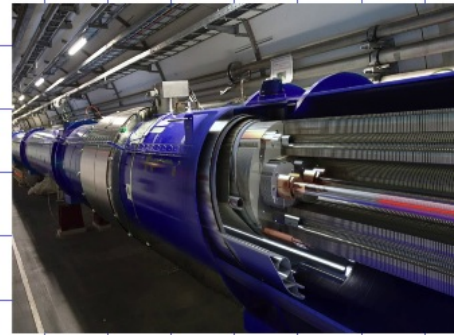
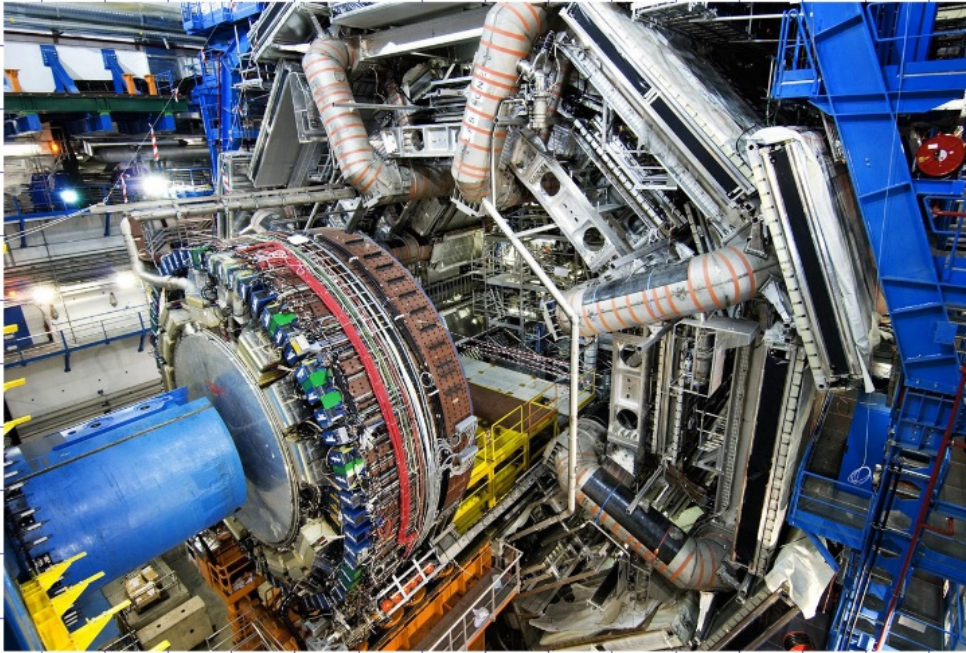


coil gun



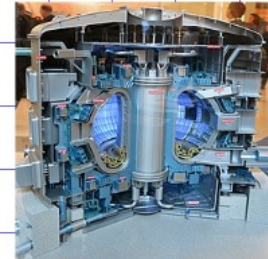
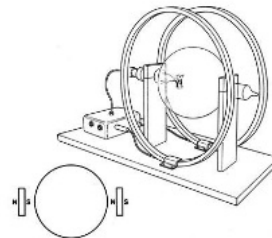
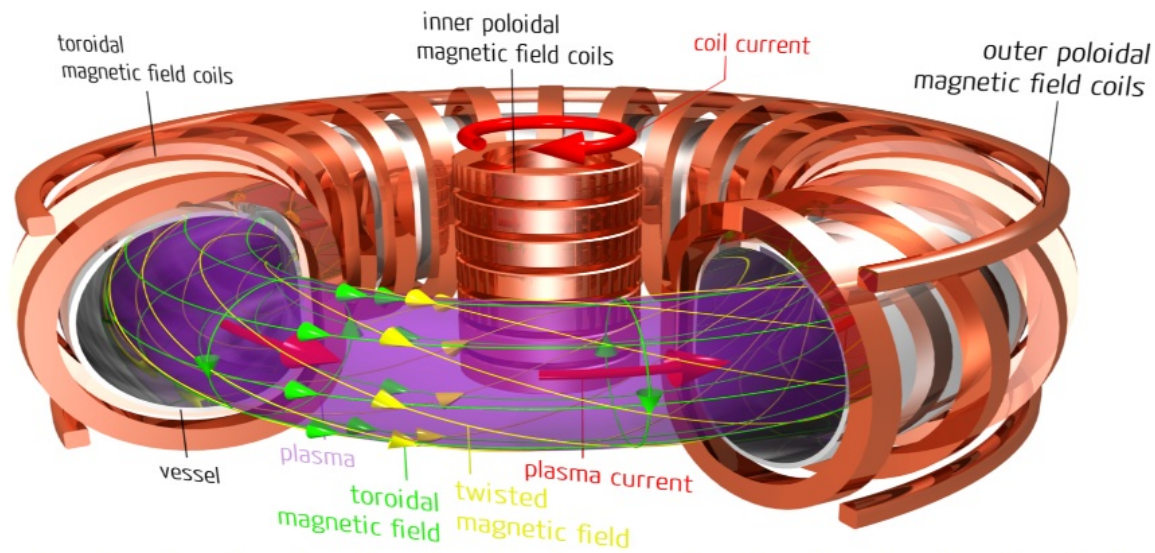
§ 10.3

"Hoe houden magnetische velden deeltjes in hun baan in een versneller?"

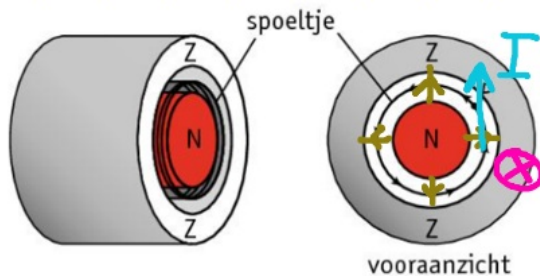
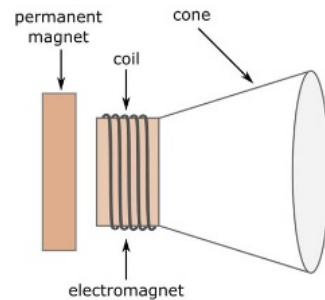


§ 10.3

"Hoe houd je heet plasma van 100 miljoen K vast?"



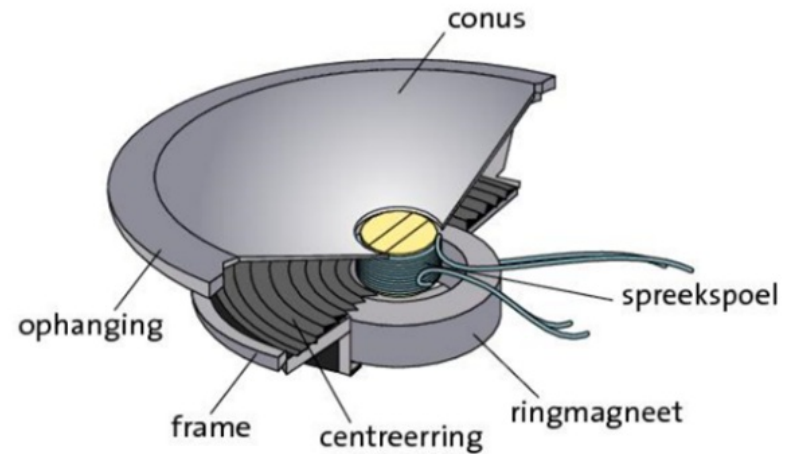
"Hoe werken luidsprekers?"



▲ Figuur 10.41

13 De luidspreker

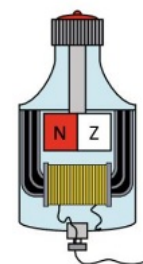
Een luidspreker zet wisselspanning uit een versterker om in geluidstrillingen.



▲ Figuur 10.40

§ 10.3

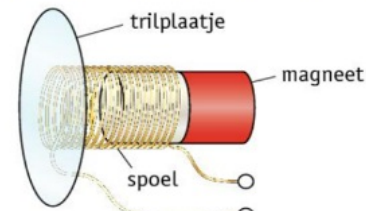
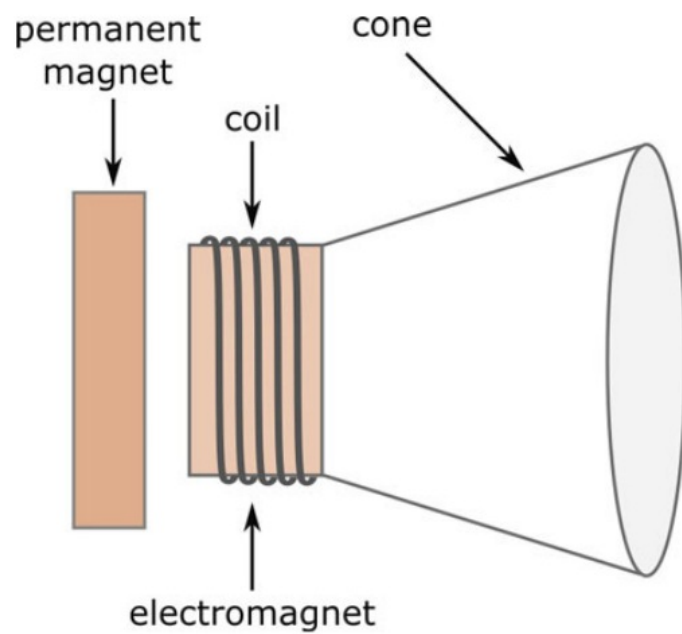
"Hoe wek je spanning en stroom op met dynamo's?"



▲ **Figuur 10.50** Fietsdynamo

§ 10.4

"Hoe werken microfoons?"



▲ **Figuur 10.51** Dynamische microfoon

§ 10.4

"Hoe werkt de Ring van Thomson?"

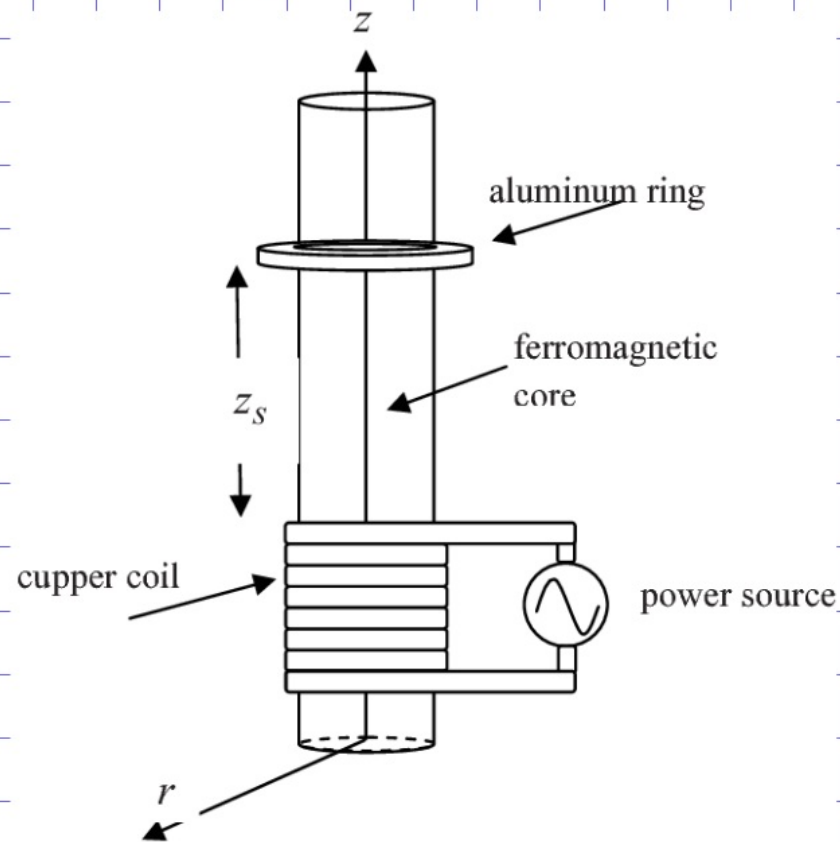
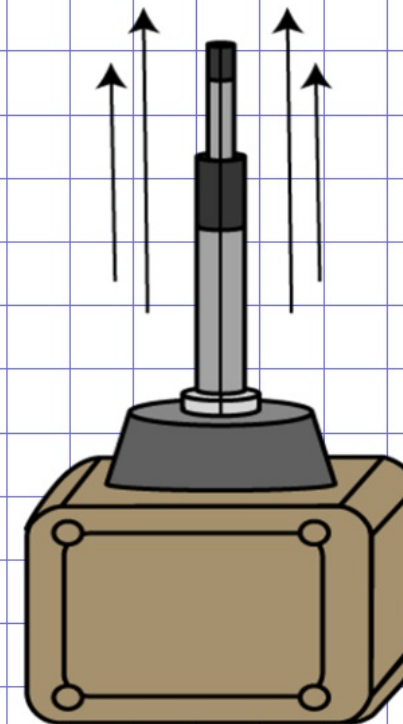


Figure 1 Thomson ring setup



§ 10.4

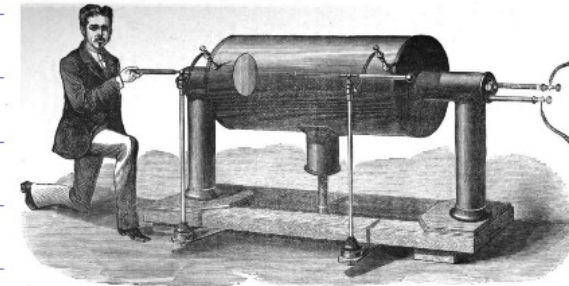
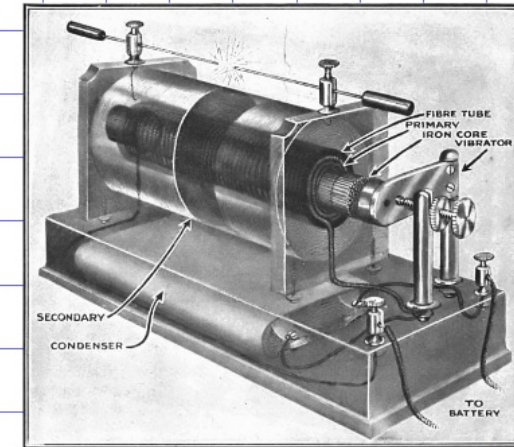
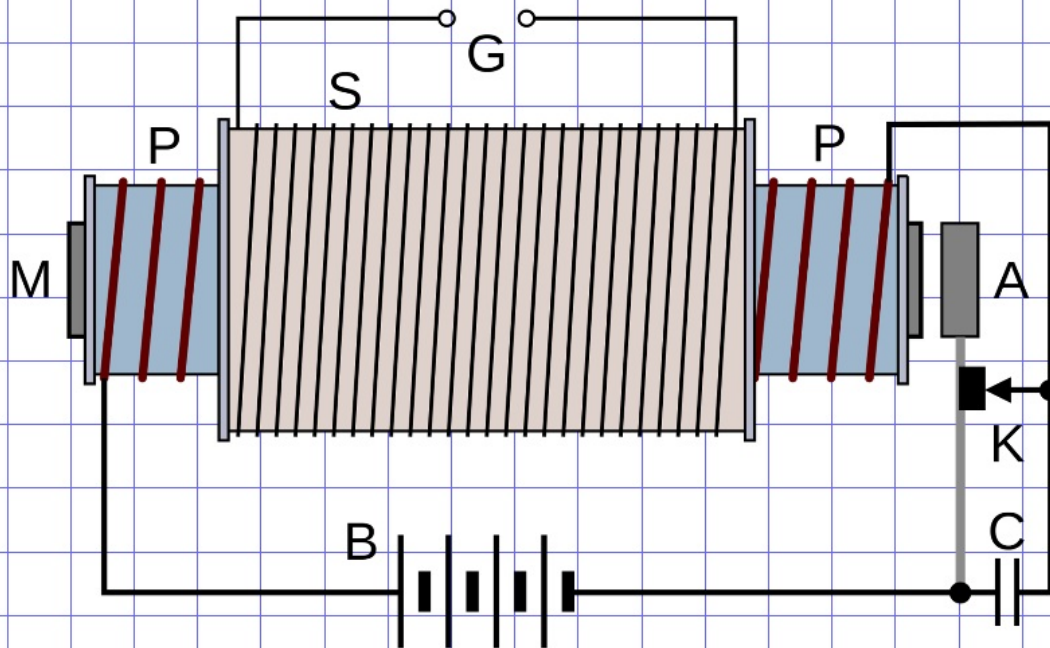


"Hoe werken deze oplaadmatjes?"



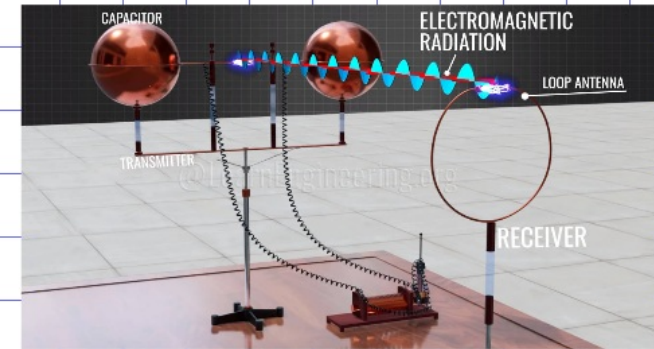
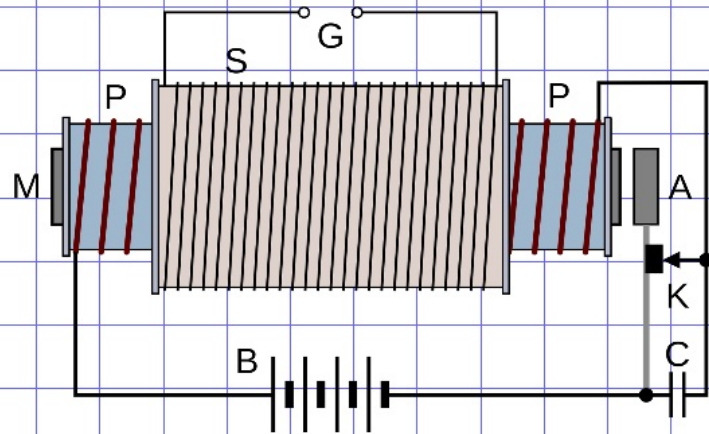
§ 10.4

"Hoe werkt het Ruhmkorff-inductietoestel?"



§ 10.4

"Hoe ontdekte Heinrich Hertz elektromagnetische straling?"



§ 10.4

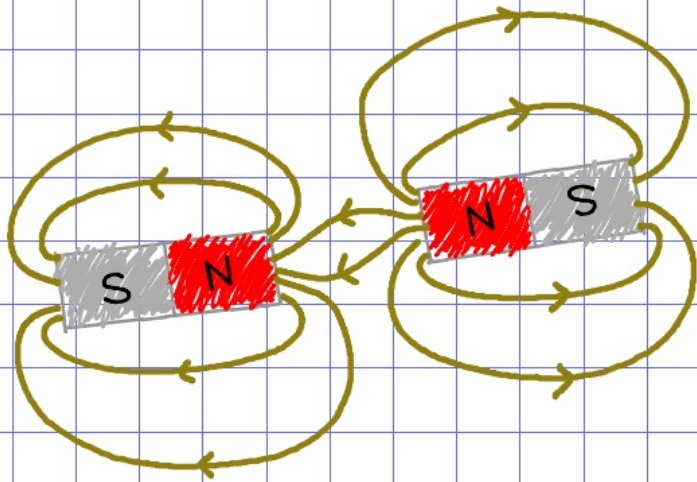
Hoofdstuk 10 Elektromagnetisme

- *BONUSVRAGEN* -

Hier staan de bonusvragen bij dit hoofdstuk. Deze vragen zijn bedoeld om je te laten nadenken over wat je geleerd hebt. Soms moet je kennis reproduceren of een geoefende techniek laten zien. Ook zitten hier inzichtvragen tussen waarvoor je geleerde kennis op een nieuwe en creatieve manier moet toepassen. Deze vragen zijn zeer nuttig om voor een proefwerk nog een keer langs te lopen!

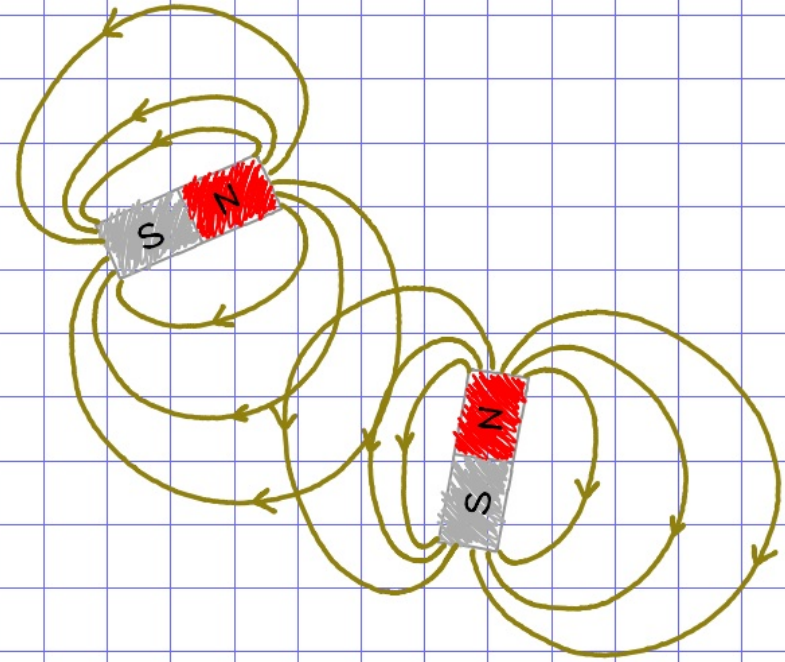
"Welke fouten zitten er in deze magnetische velden?"

- BONUSVRAAG! -



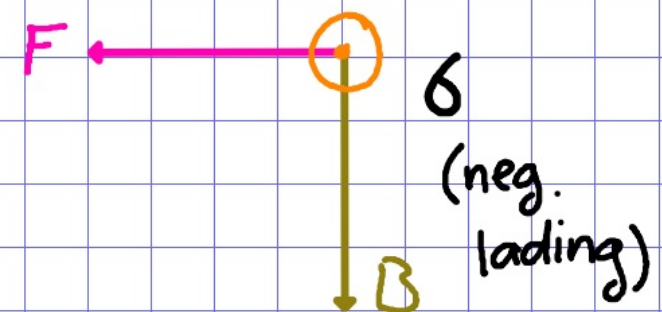
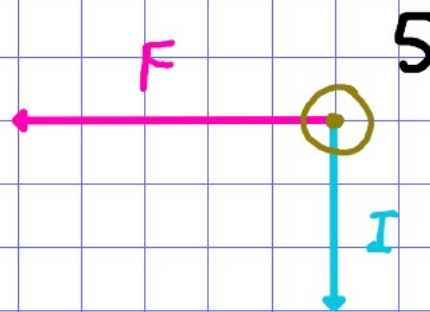
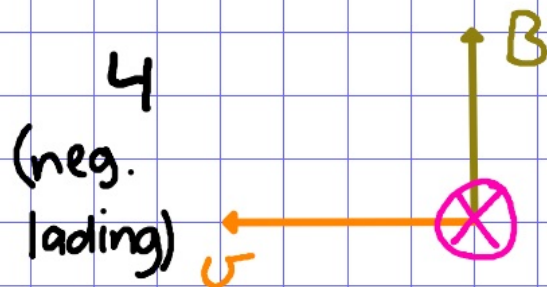
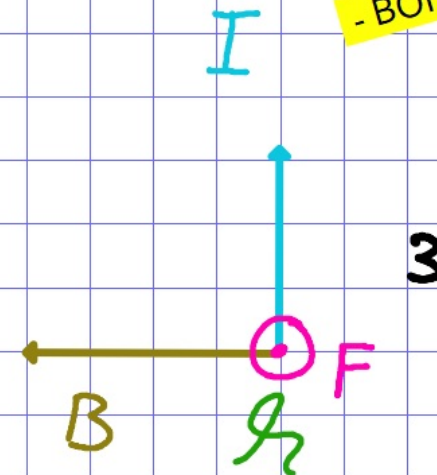
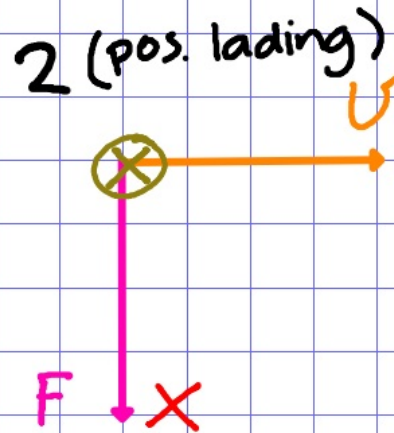
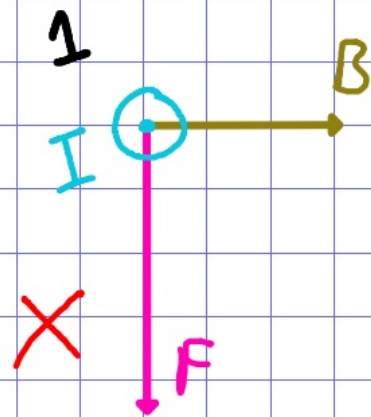
1

2



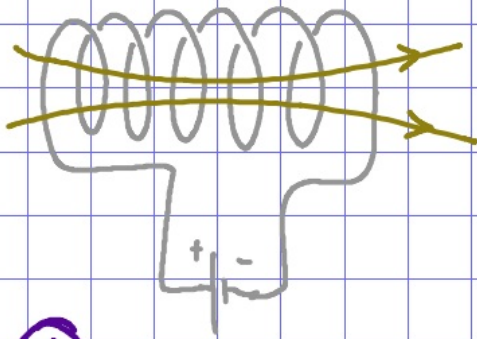
"In welke situaties is de lorentzkracht goed getekend?"

- BONUSVRAAG! -

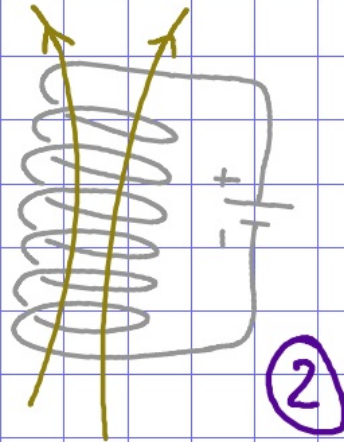


"In welke spoelen is het magnetisch veld goed voorgesteld?"

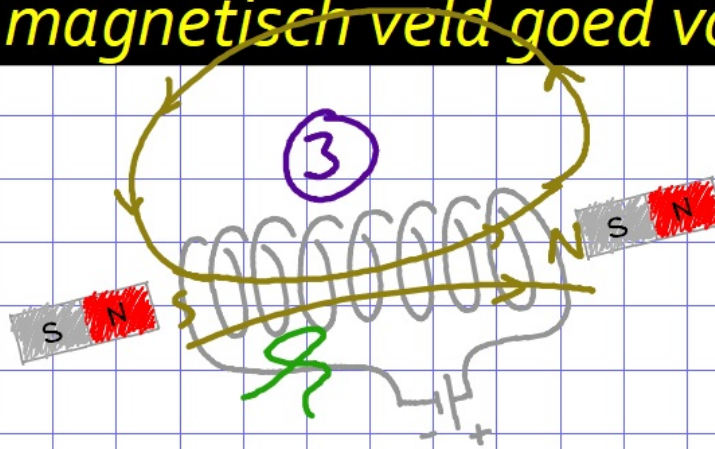
- BONUSVRAAG! -



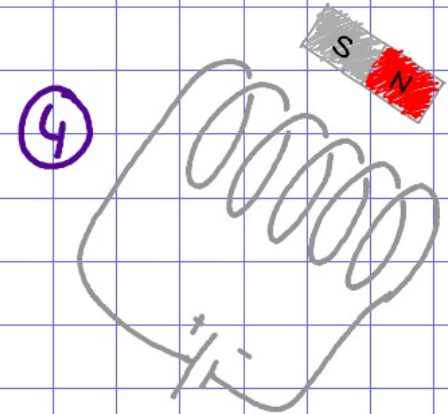
①



②

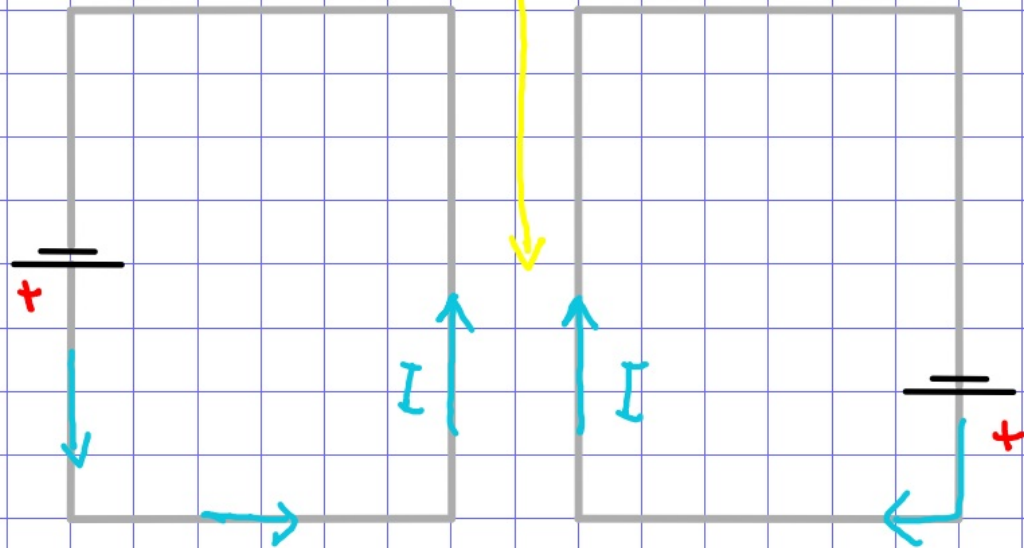


③



④

"Trekken deze stroomvoerende draden elkaar hier aan of stoten ze elkaar af?"



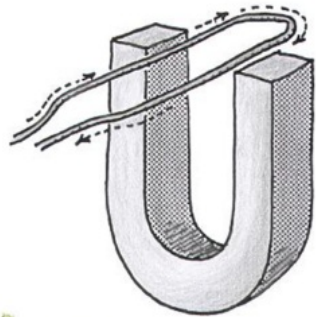
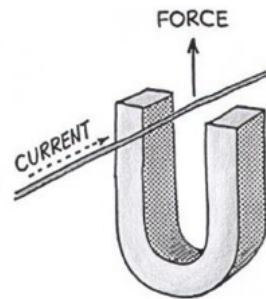
- BONUSVRAAG! -

"Tekst bonusvraag hier."

- BONUSVRAAG! -

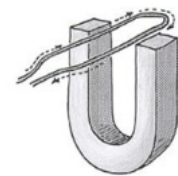
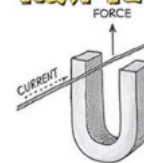
Next-Time Question

When current flows in the wire that is placed in the magnetic field shown, the wire is forced upward. If the wire is made to form a loop as shown below, the loop will tend to



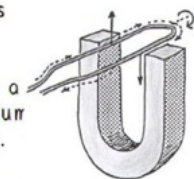
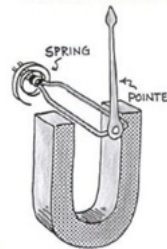
- a) rotate clockwise.
- b) rotate counterclockwise.
- c) remain at rest.

Next-Time Question



Answer: a, rotate clockwise

The left side is forced up while the right side is forced down as shown. If you make the loop rotate against a spring and attach a pointer to it, you have a simple electric meter. At maximum it can only make a half turn.



But if you make the current change direction (alternate) at every half turn, it will rotate continuously as long as the alternating current persists. Then you have a motor.

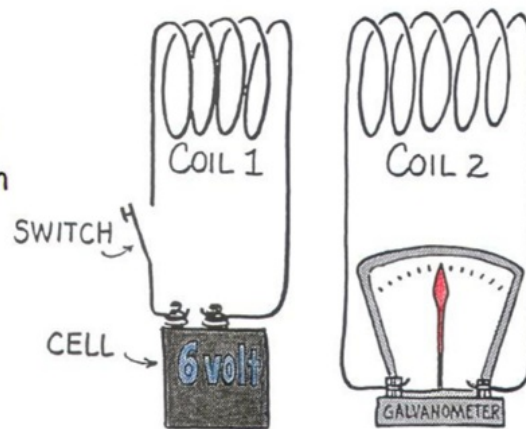
"Tekst bonusvraag hier."

- BONUSVRAAG! -

Next-Time Question

What happens to the readings on the galvanometer when the switch in Circuit 1 is

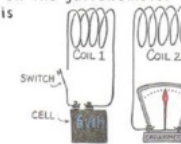
- a) first closed
- b) kept closed
- c) opened again



Next-Time Question

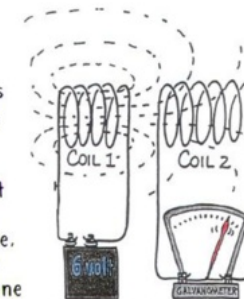
What happens to the reading on the galvanometer when the switch in Circuit 1 is

- a) first closed
- b) kept closed
- c) opened again?



Answer:

When the switch is first closed, a current is established in Coil 1 and creates a magnetic field that extends to Coil 2. This buildup of field in Coil 2 induces current that is registered in the galvanometer. The current is brief, however, because once the field is stabilized and no further change takes place, no current is induced and the galvanometer reads zero current. When the switch is opened in Coil 1, and the magnetic field in the coil and the part that extends to Coil 2 collapses. This change induces a pulse of current in the opposite direction, which is registered on the galvanometer.



Hoofdstuk 10 Elektromagnetisme

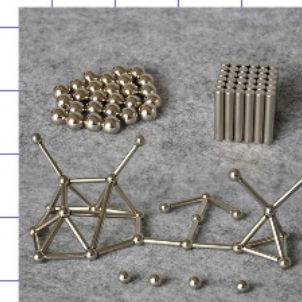
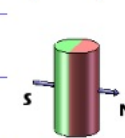
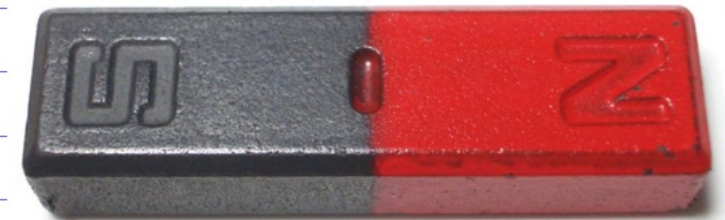
- UITLEG & AANTEKENINGEN -

De volgende dia's zijn de aantekeningen die je in de les overgenomen hebt. Alles wat hier tussen de rode lijnen staat zou ook in je schrift moeten staan. Dit is de essentiële stof voor het proefwerk en deze moet je proberen volledig te begrijpen. Je vindt hier ook de tekst bij de bordoefeningen waarvan je als het goed is alleen de uitwerkingen hebt opgeschreven.

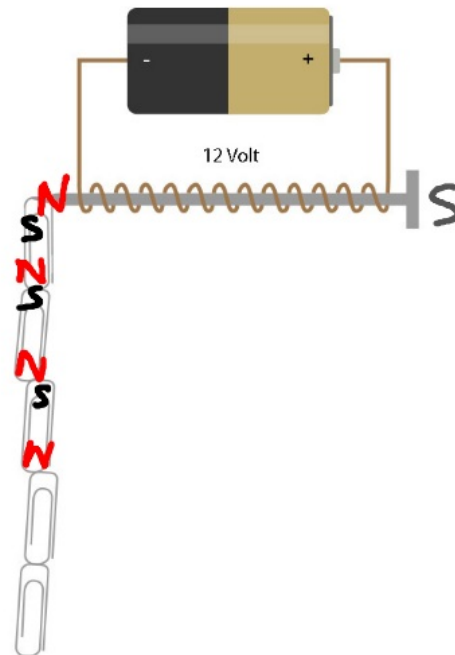
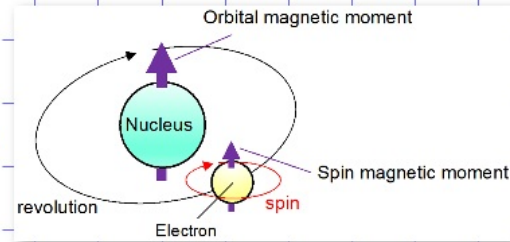
Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.1 Magneetvelden

1. **Permanente magneten** zoals van ijzer of nikkel hebben een **noord-** en een **zuidpool**. Gelijke polen van twee magneten stoten af en ongelijke polen trekken aan. Niet-gemagnetiseerd ijzer wordt door beide polen aangetrokken.



2. De **magnetiseerbaarheid** van stoffen zoals ijzer ontstaat door de atomen vd stof die als kleine magneetjes voor te stellen zijn. Als deze allemaal dezelfde kant op staan ontstaat een grote magneet.

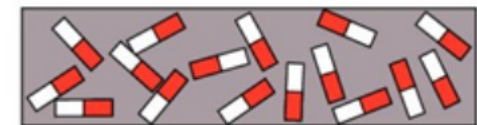


Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.1 Magneetvelden

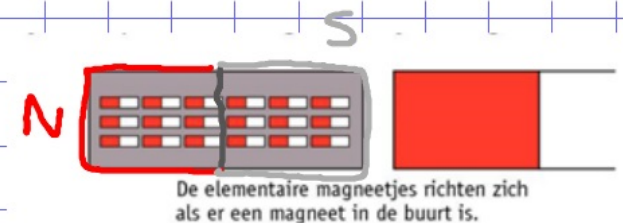


Magneet: de meeste elementaire magneetjes wijzen in dezelfde richting.



Niet-gemagnetiseerd ijzer: de meeste elementaire magneetjes zitten kriskras door elkaar.

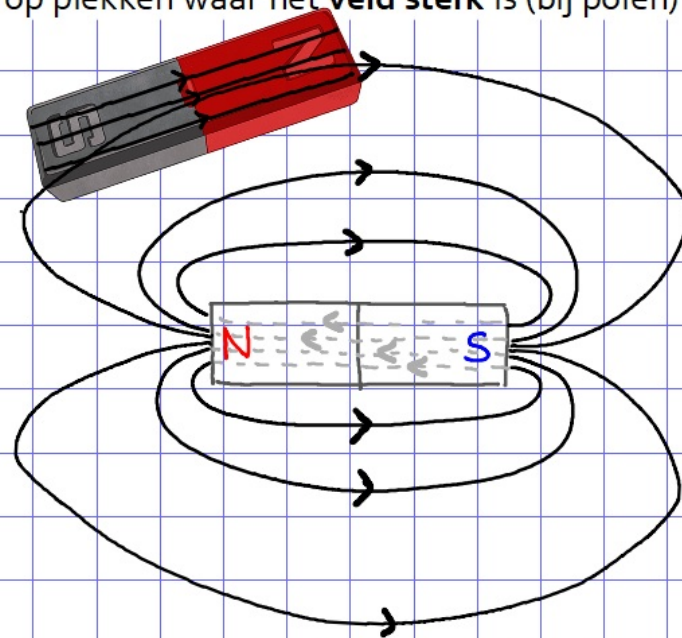
▲ **Figuur 10.8** Elementaire magneetjes



▲ **Figuur 10.10** Magnetische influentie

3. Het gebied waarbinnen een magneet invloed uitoefent op andere magneten heet het **magnetisch veld**. Het veld bestaat uit veldlijnen die:

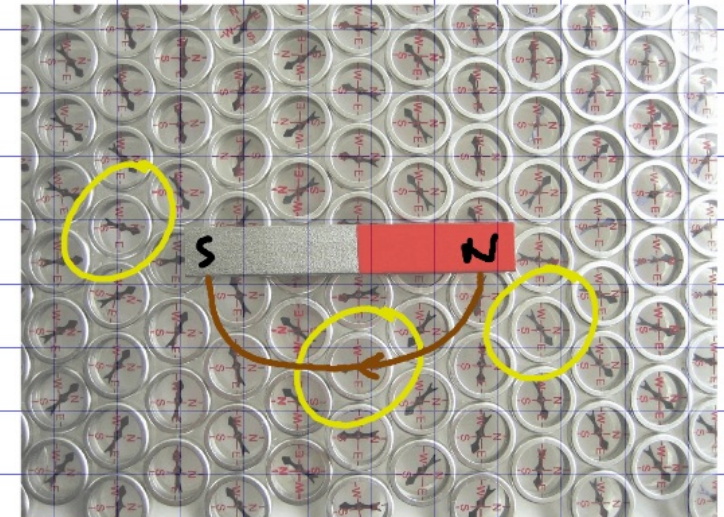
- **buiten** de magneet van de noordpool naar de zuidpool lopen en **binnen** de magneet van de zuidpool naar de noordpool
- dicht bij elkaar lopen op plekken waar het **veld sterk** is (bij polen)
- elkaar **nooit snijden**



- een magneet zal zich proberen te richten zodat het eigen (intern) magnetisch veld **parallel** loopt met het extern magnetisch veld

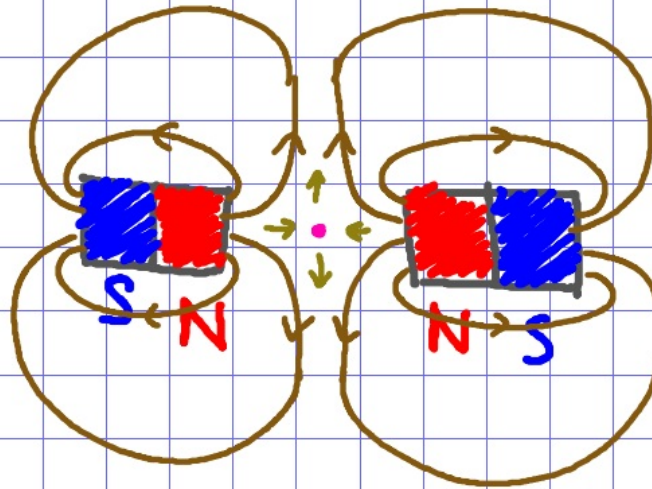
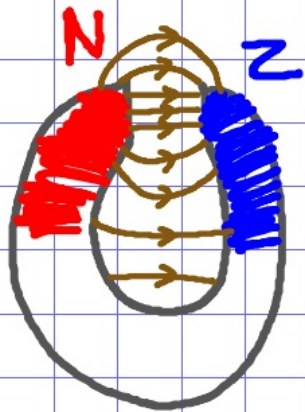
Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.1 Magneetvelden



Denkvraag: De kompasnaaldjes zijn zelf permanente magneten. Zit de noordpool van deze kompasnaaldjes bij de pijl of bij de staart?

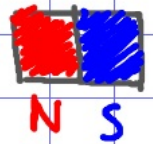
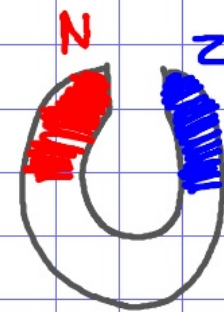
Bordoefening 1a:

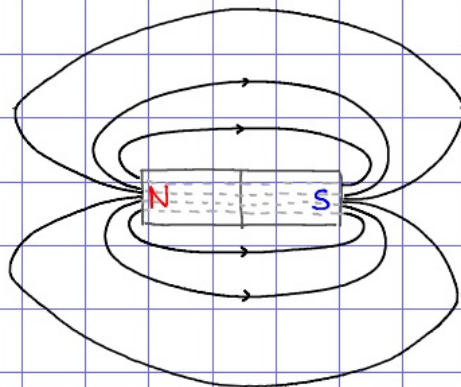
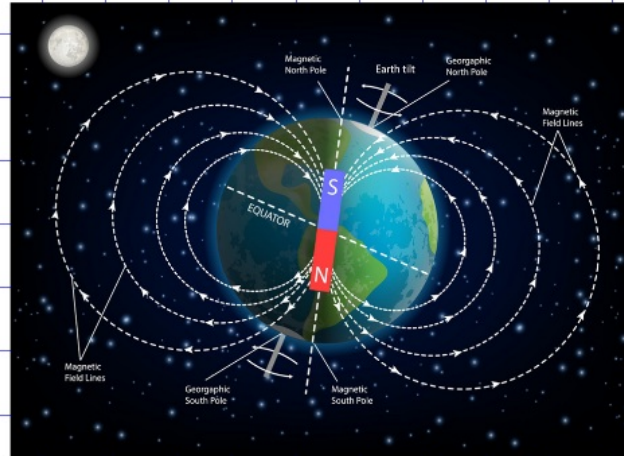
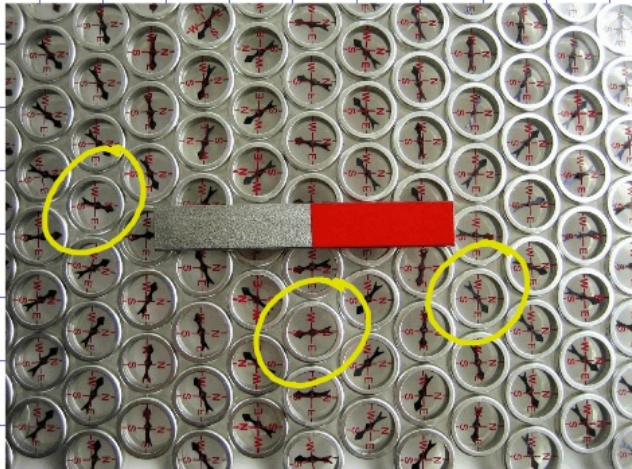


Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.1 Magneetvelden

Bordoefening 1a. Schets de magnetische velden die deze magneten veroorzaken:



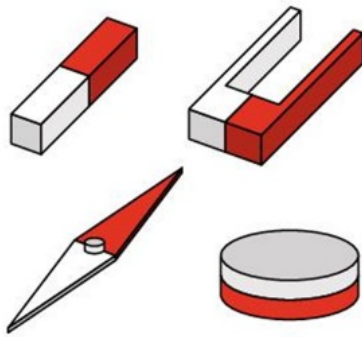


Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

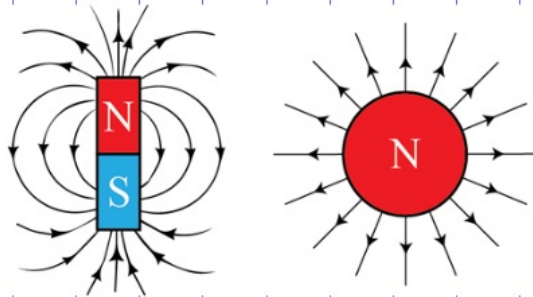
§ 10.1 Magneetvelden

Opdrachten

- 1 Als je de aardbol zou moeten verven in overeenstemming met figuur 10.6, hoe zou die er dan uit komen te zien? Leg uit.
- 2 Je hebt twee staafjes die er precies hetzelfde uitzien. Eén is een magneetje, het andere is van ijzer.
 - a Leg uit hoe je kunt aantonen dat het geen twee magneten zijn.
 - b Hoe bepaal je welke van de twee de magneet is zonder gebruik te maken van andere hulpmiddelen?
- 3 Je hebt drie metalen staafjes 1, 2 en 3. Staafjes 1 en 2 trekken elkaar altijd aan, ongeacht hoe je ze tegen elkaar houdt. Staafjes 2 en 3 oefenen geen kracht op elkaar uit. Welke uitspraak is zeker juist?
 - A 1 en 2 zijn magneten, 3 niet.
 - B 1 en 2 zijn niet allebei magneten.
 - C 2 en 3 zijn geen magneten, 1 wel.
 - D 1 kan 3 niet aantrekken.



▲ **Figuur 10.6** Magneten

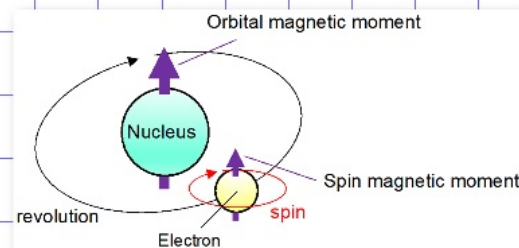


Magneet: de meeste elementaire magneetjes wijzen in dezelfde richting.



Niet-gemagnetiseerd ijzer: de meeste elementaire magneetjes zitten kriskras door elkaar.

▲ **Figuur 10.8** Elementaire magneetjes

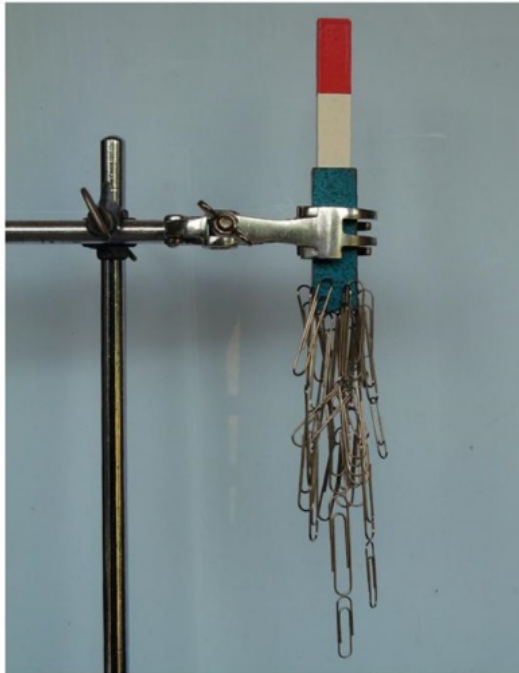


Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

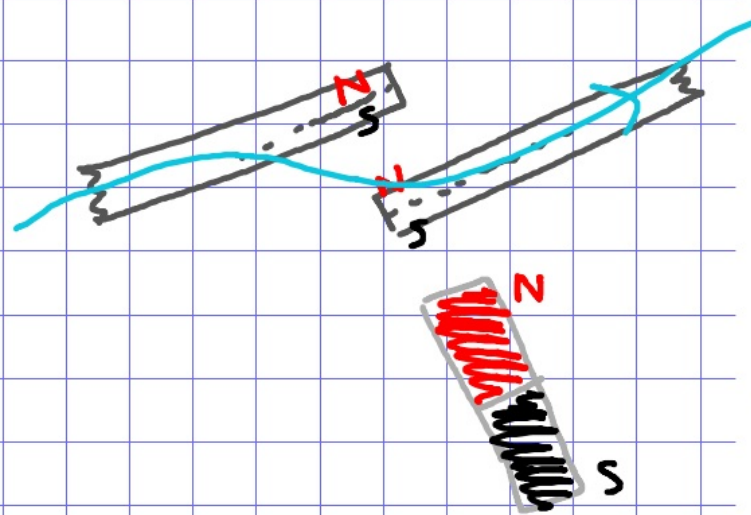
§ 10.1 Magneetvelden

Opdrachten

- 4 De staafmagneet en de schijfmagneet van figuur 10.6 worden doormidden gebroken.
 - a De twee breukvlakken van de staafmagneet trekken elkaar aan.
Maak met een schets duidelijk hoe dat komt.
 - b Geldt dat ook voor de schijfmagneet? Leg ook dat uit met een schets.
- 5 a Is het volgens jou mogelijk om een magneet te maken met twee noordpolen en één zuidpool? Zo nee, waarom niet? Zo ja, teken dan hoe die eruit zou zien en hoe de elementaire magneetjes gericht zijn.
 - b Teken hoe de elementaire magneetjes van de fietsdynamomagneet van figuur 10.7 volgens jou gericht zijn.
- 6 Magneten worden zwakker als ze vallen of ergens hard tegenaan stoten. Bij verhitten verliezen ze heel snel hun kracht. Verklaar dat met het elementaire magneetjesmodel.



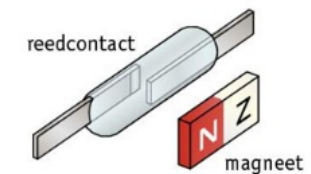
▲ **Figuur 10.9** IJzer wordt magneet.



Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

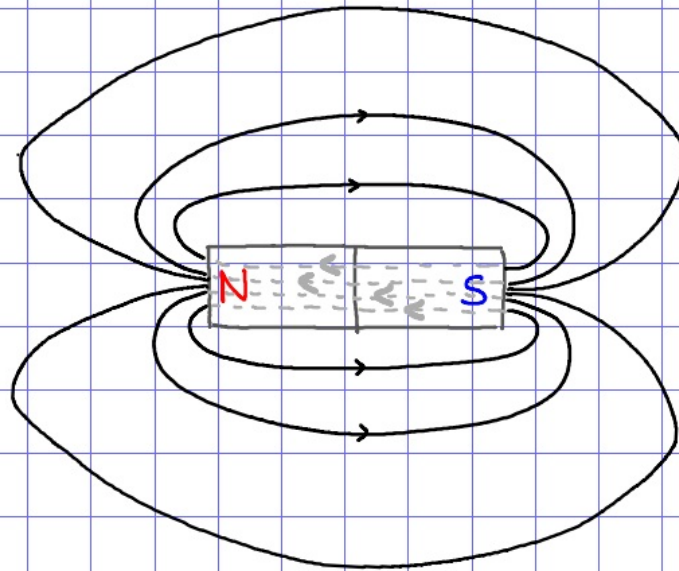
§ 10.1 Magneetvelden

- 7 a Teken de magneet, het stukje ijzer en één paperclip van figuur 10.9 schematisch over. Geef in de tekening alle noord- en zuidpolen aan.
- b Als je bij deze proef de magneet weghaalt, blijven er soms nog enkele paperclips aan het stukje ijzer hangen. Toch is het stukje ijzer niet meer magnetisch. Verklaar hoe dat kan.
- 8 Een fietscomputer telt het aantal omwentelingen van je wiel met behulp van een sensor en een magneetje aan een spaak. In de sensor zit een *reedrelais* of *reedcontact*. Dat is een schakelaar die sluit als er een magneet in de buurt is. Het zijn twee dunne strookjes metaal ('reeds' in het Engels) in een omhulsel. Zie figuur 10.11.



▲ **Figuur 10.11**

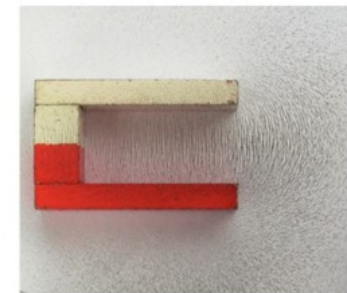
- a Van welk metaal zijn de twee strookjes waarschijnlijk? Waarom?
- b Teken de twee strookjes vergroot en leg daarmee uit waarom de twee strookjes contact maken als er een magneet in de buurt komt.



Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.1 Magneetvelden

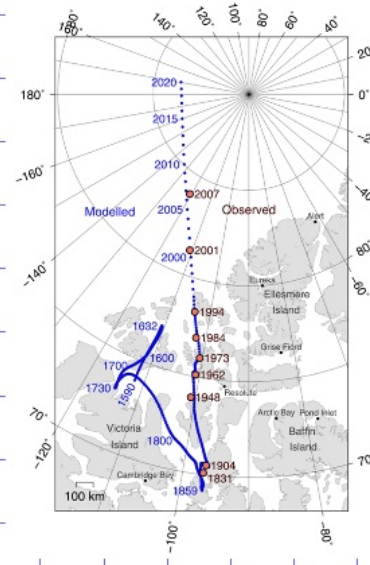
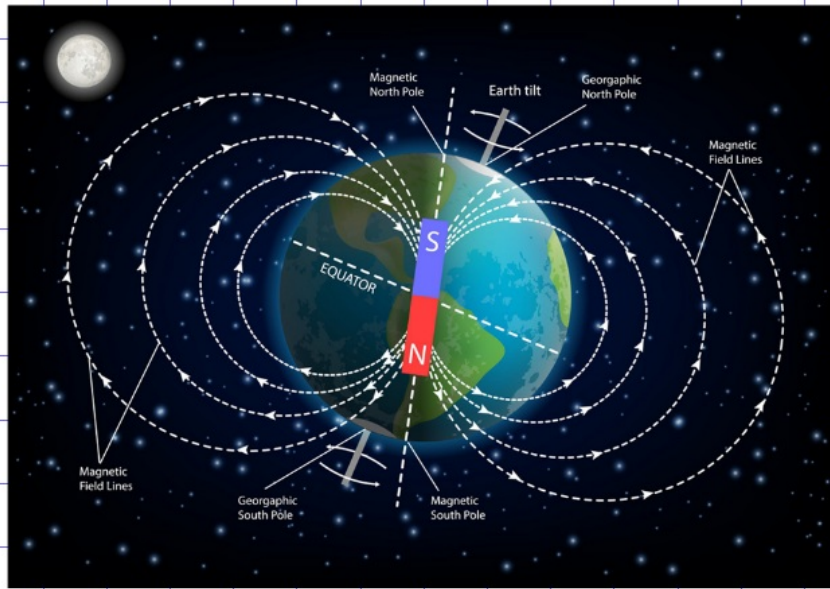
- 9 Je kunt het veldlijnenpatroon van een magneet ook zichtbaar maken door er een (glas)plaat op te leggen en daar ijzervijlsel op te strooien. In figuur 10.13 is dat gedaan met een hoefijzermagneet.



▲ Figuur 10.13

Je ziet dat de ijzerdeeltjes, net als de kompasnaaldjes in figuur 10.12, ketens vormen in de richting van het magneetveld.

- Leg uit hoe het komt dat de ijzerdeeltjes zich aaneenrijgen.
- Tussen de poten van de hoefijzermagneet is het veld homogeen, d.w.z. overal even sterk en gelijk gericht. Hoe kun je dat aan het veldlijnenpatroon zien?



Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

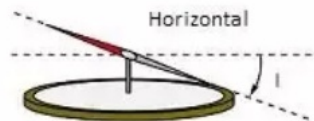
§ 10.1 Magneetvelden

- 10 Leg uit waarom magnetische veldlijnen elkaar nooit kunnen snijden.
- 11 a Teken de aardbol en schets het magnetische veldlijnenpatroon rond de aarde.
 b Als je een kompasnaald zó neerzet dat hij ook in verticale richting kan draaien, dan wijst hij wel naar het noorden, maar schuin naar beneden onder een hoek van ongeveer 67° met de horizon. Verklaar dat aan de hand van de schets bij vraag a.

True North $\uparrow$ D $\uparrow$ Magnetic North



Declination



Inclination

4 Wandelende polen

De magnetische zuidpool van de aarde valt niet precies samen met de geografische noordpool, maar 'wandelt' over het aardoppervlak. Daardoor wijst een kompas niet precies naar de geografische noordpool. Het magneteveld van de aarde verandert voortdurend en de magnetische pool wandelt, na een eeuwenlange grillige beweging, de laatste decennia steeds sneller naar het noorden. Dat is te zien in figuur 10.15, een uitvergroting van een deel van figuur 10.14.



▲ Figuur 10.14

De snelheid waarmee dat gebeurt is opgelopen van enkele kilometers per jaar in de 19e eeuw tot meer dan 50 km/jaar in de 21e eeuw. Als het zo doorgaat ligt de pool over enkele tientallen jaren in Siberië. Sommige wetenschappers trekken daaruit de conclusie dat er een omkering van het aardmagneteveld op komst is. Dat is 780 000 jaar geleden voor het laatst gebeurd. Vreemd genoeg blijft de zuidpool ongeveer op zijn plaats.



▲ Figuur 10.15

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

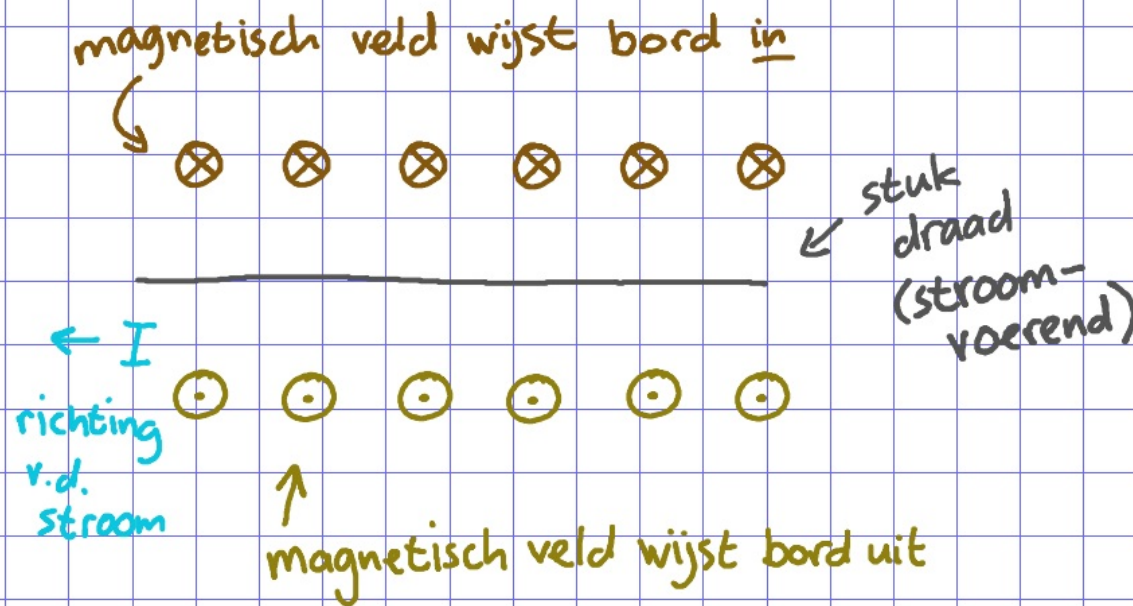
§ 10.1 Magneetvelden

- 12 Als je een kompas naast de bovenkant van een ijzeren verwarmingsradiator houdt, is de kans groot dat de noordpool van het kompasnaaldje naar de radiator wijst. Aan de onderkant van de radiator zie je dan dat de noordpool juist van de radiator af wijst.
- a Verklaar dit verschijnsel met behulp van een schets.
Tip: teken ook een veldlijn van het aardmagneteveld.
- b Hoe verloopt dit experiment in Nieuw-Zeeland?
- 13 Lees bron 4. De afwijking van het kompas ten opzicht van het echte noorden heet de declinatie. In Amsterdam is de declinatie ongeveer 4° .
- a Als je in Amsterdam met een kompas het noorden zoekt, ligt het noorden dan 4° ten oosten of 4° ten westen van de richting die de kompasnaald aanwijst?
- b Is de declinatie in Amsterdam de laatste honderd jaar groter of kleiner geworden?
- c Meridianen zijn lijnen die lopen van noordpool naar zuidpool. In figuur 10.15 zie je meridianen van 0° tot 180° .
Op welke meridiaan was de declinatie 0° in 2007?
- 14 Op welke plaats op aarde is de declinatie 180° ? Zie bron 4.
- A Op de evenaar.
B Tussen de geografische noordpool en demagnetische zuidpool.
C Op het zuidelijk halfrond.
D Nergens.

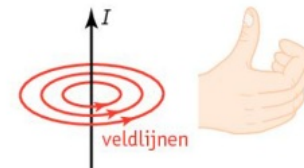
§ 10.2 Elektromagneten

magnetisme
door
elektriciteit!

5. Een **stroom door een draad** veroorzaakt een magnetisch veld zoals aangegeven door de **rechterhandregel-met-gekromde-vingers**.



Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

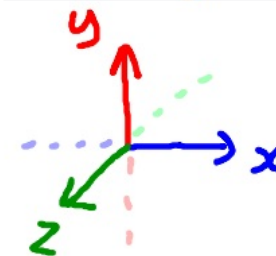


▲ **Figuur 10.19** De rechterhandregel voor een stroomdraad

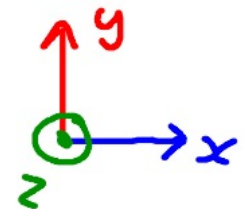


▲ **Figuur 10.18** Veldlijnen rond een stroomdraad

voorstelling van vectoren in 3 dimensies

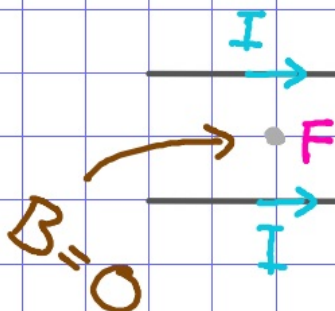
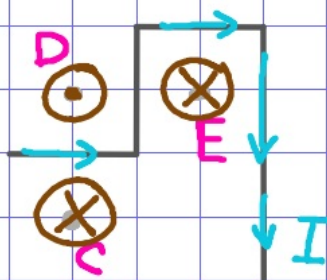
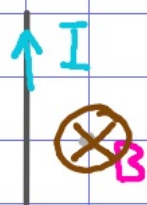
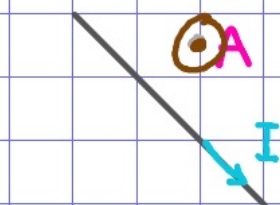


perspectiefnotatie



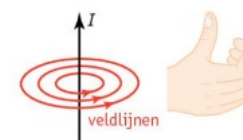
pijlpunt/staart-notatie

Bord oefening 2:



Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

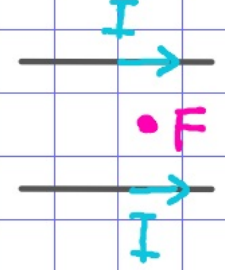
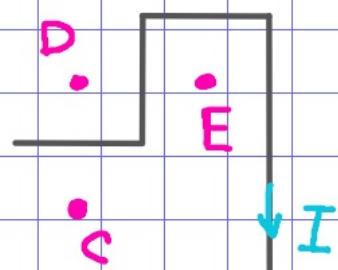
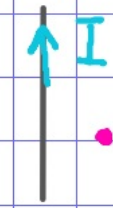
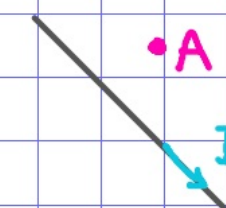
§ 10.2 Elektromagneten



▲ Figuur 10.19 De rechterhandregel voor een stroomdraad

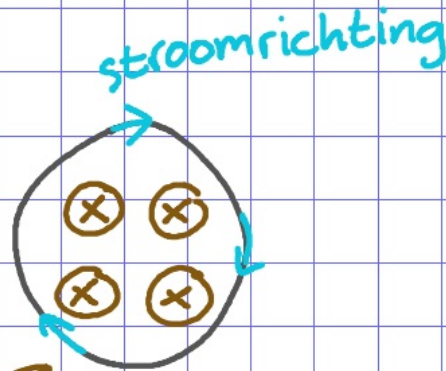
magnetisme
door
elektriciteit!

Bord oefening 2: Bepaal op de onderstaande plaatsen A t/m F) in welke richting het magnetisch veld wijst. Noteer in je schrift in pijl/staart-notatie.



5 (vervolg). Als de stroomvoerende draad tot een **spoel** gewikkeld is ontstaat een magnetisch veld in de spoel dat **homogeen** is: dit veld is overal binnenin de spoel *even groot* (1), wijst overal in *dezelfde richting* (2) en de *veldlijnen lopen parallel* (3). Je vindt de richting van het veld met de **rechterhandregel-met-gekromde-vingers**.

achteraanzicht
v.d. spoel uit
figuur 10.21:



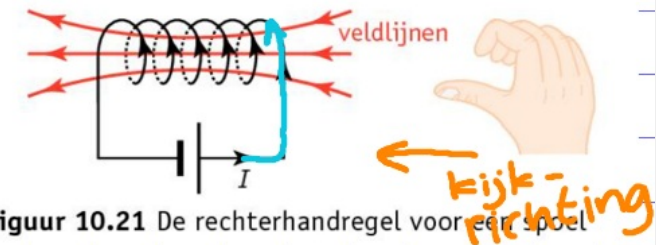
magnetisch veld
wijst bord in

Denkvraag: Wijzen deze veldlijnen naar rechts of naar links?

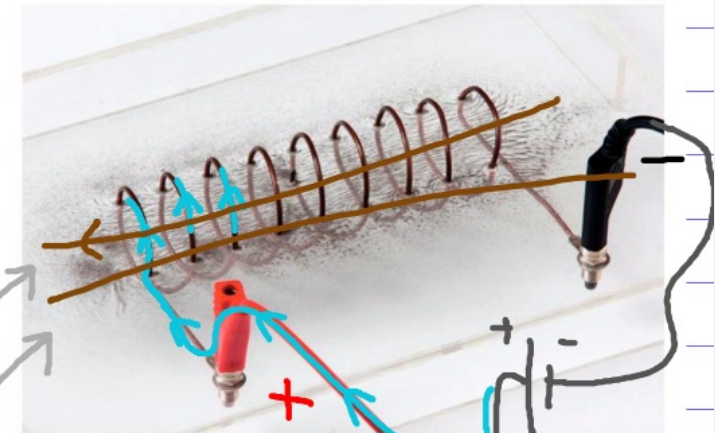
Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.2 Elektromagneten

magnetisme
door
elektriciteit!

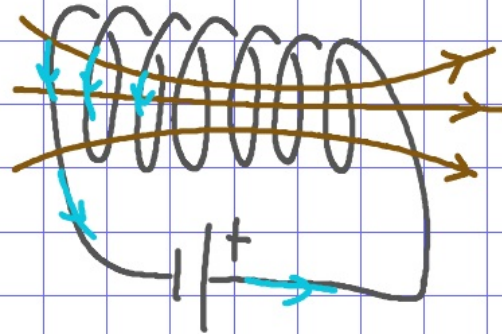
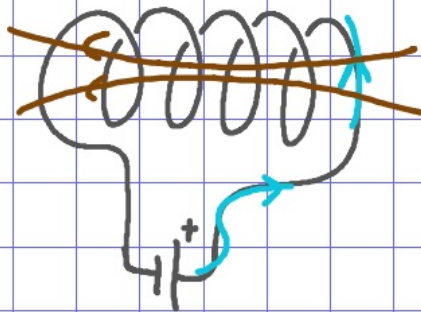


▲ **Figuur 10.21** De rechterhandregel voor een spoel



▲ **Figuur 10.20** Magnetisch veld van een spoel

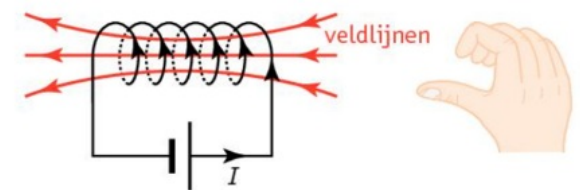
Bordoeffening 3:



Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

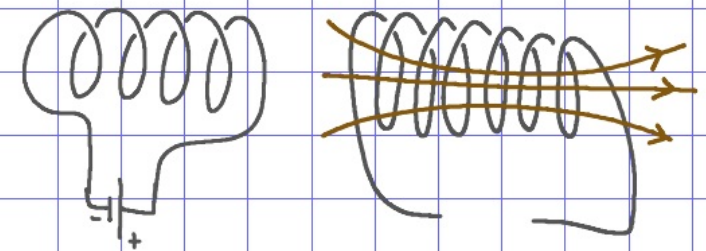
§ 10.2 Elektromagneten

magnetisme
door
elektriciteit!



▲ **Figuur 10.21** De rechterhandregel voor een spoel

Bordoeffening 3: Bepaal voor onderstaande spoelen hoe het magneetveld loopt of hoe de batterij geschakeld zit.



6. De sterkte van het magneteveld dat door een spoel opgewekt wordt heet de **magnetische inductie**. Voor een lange spoel zonder kern kun je deze uitrekenen:

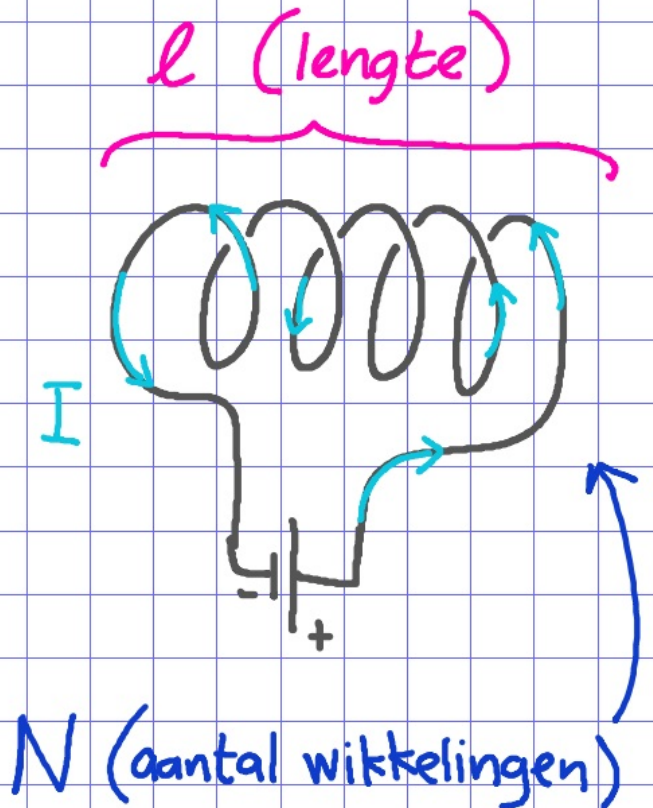
$$B = \frac{N}{l} \cdot I \cdot \mu_0$$

aantal wikkelingen $\rightarrow N$
 magnetische inductie (af: "veldsterkte")
 eenheid: tesla (T)
 lengte (m) $\rightarrow l$
 stroomsterkte (A) $\rightarrow I$
 magnetische constante:
 $4\pi \cdot 10^{-7}$
 $\left(\frac{T \cdot m}{A} \right)$ $\rightarrow \mu_0$

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.2 Elektromagneten

magnetisme
door
elektriciteit!

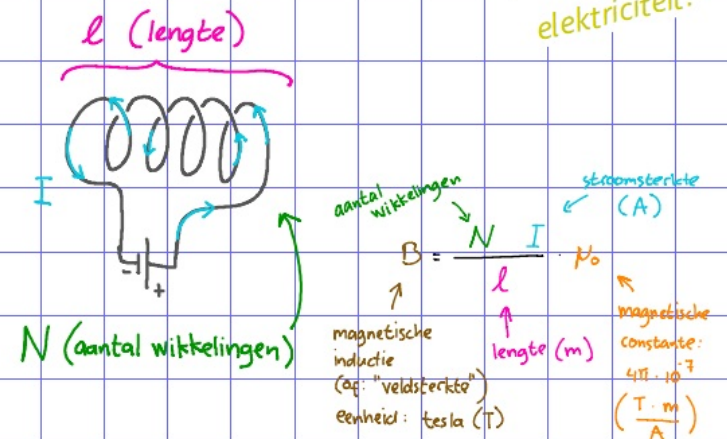


Bordoeefening 4:

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.2 Elektromagneten

magnetisme
door
elektriciteit!

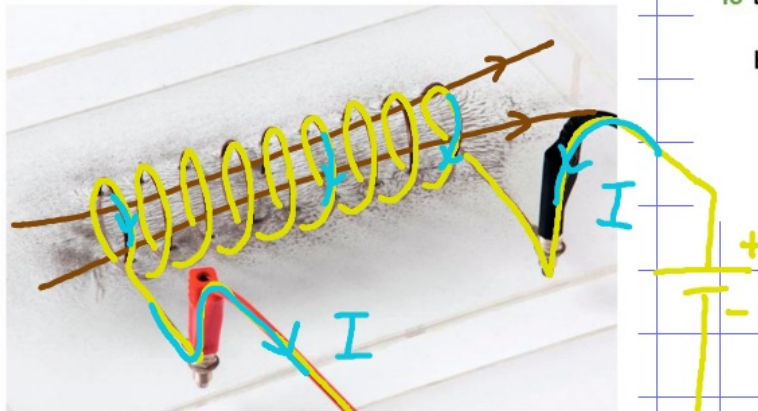


Bordoeefening 4: Bereken de magnetische inductie van de spoel met 1200 wikkelingen, een lengte van 6,0 cm en een stroomsterkte van 0,80 A.

15



▲ **Figuur 10.20** Magneetveld van een spoel



▲ **Figuur 10.20** Magneetveld van een spoel

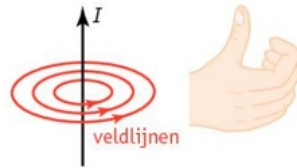
Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.2 Elektromagneten

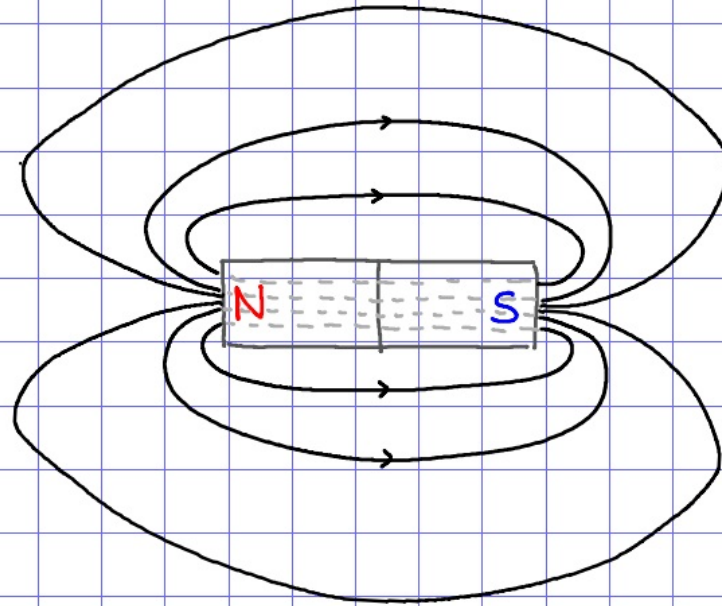
Opdrachten

- 15 a In figuur 10.20 lopen de veldlijnen in de spoel van links naar rechts.
Leg uit aan welke kant van de spoel de noordpool zit.
- b Welke van de aansluitsnoeren is met de pluspool verbonden, de rode of de zwarte? Geef uitleg.
- 16 a Leg uit dat een stroomdraad wel een magneetveld heeft, maar geen polen.
- b Elk ijzer- of nikkelatoom is een klein magneetje. Dat wordt veroorzaakt door de elektronen in het atoom. Leg uit hoe een elektron in een atoom voor een magneetveld zou kunnen zorgen.

16



▲ **Figuur 10.19** De rechterhandregel voor een stroomdraad

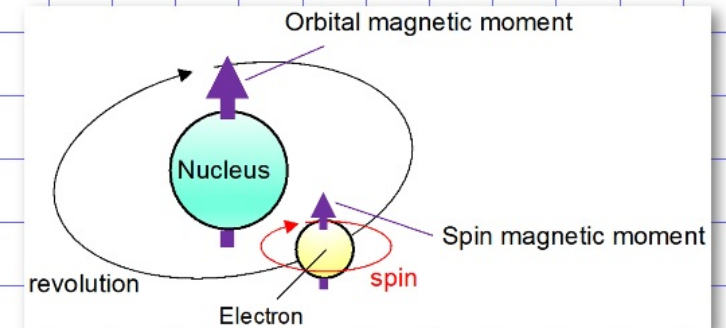


Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.2 Elektromagneten

Opdrachten

- 15 a** In figuur 10.20 lopen de veldlijnen in de spoel van links naar rechts.
Leg uit aan welke kant van de spoel de noordpool zit.
- b** Welke van de aansluitsnoeren is met de pluspool verbonden, de rode of de zwarte? Geef uitleg.
- 16 a** Leg uit dat een stroomdraad wel een magneetveld heeft, maar geen polen.
- b** Elk ijzer- of nikkelatoom is een klein magneetje. Dat wordt veroorzaakt door de elektronen in het atoom. Leg uit hoe een elektron in een atoom voor een magneetveld zou kunnen zorgen.

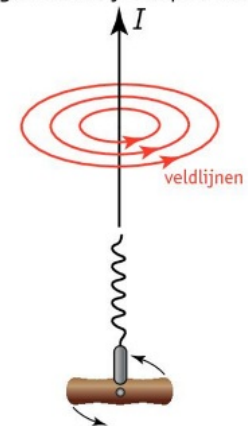




Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

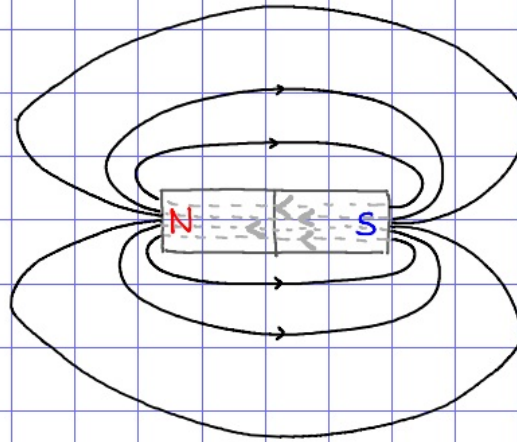
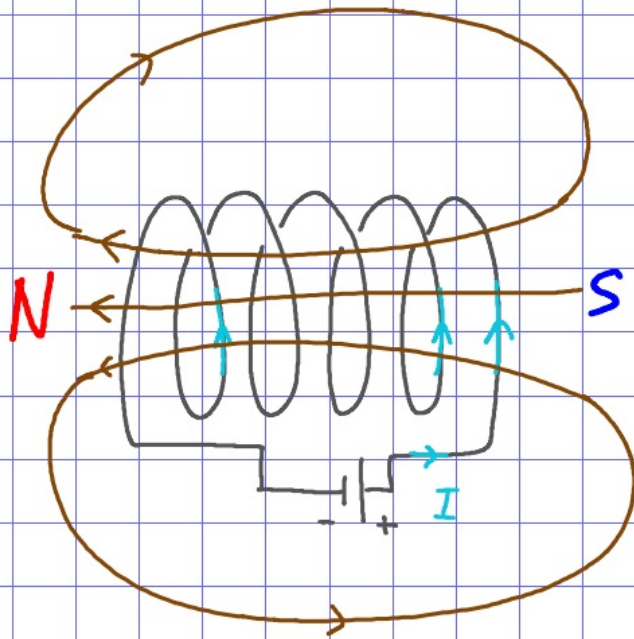
§ 10.2 Elektromagneten

- 17 Naast de rechterhandregel wordt ook vaak de 'kurkentrekkerregel' gebruikt voor het bepalen van de richting van het magneetveld bij een spoel of stroomdraad.



▲ Figuur 10.22

- Als je in figuur 10.22 de kurkentrekker (in een kurk) zou draaien in de aangegeven richting, gaat hij dan omhoog of omlaag?
- Waar komt die richting mee overeen? Bekijk zo nodig figuur 10.19.
- Verandert het antwoord op de vragen a en b als je de kurkentrekker boven de spoel houdt in plaats van eronder?
- Leg nu uit hoe je in figuur 10.21 de richting van het magneetveld in de spoel kunt bepalen met een kurkentrekker in plaats van met je rechterhand.

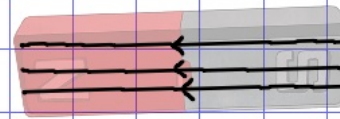


Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.2 Elektromagneten

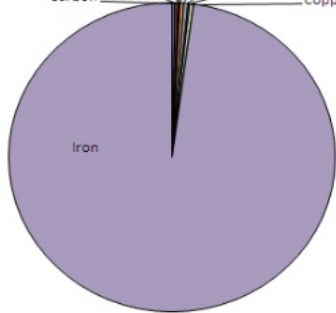
18 Voor het magneetveld van spoelen bestaat ook de 'klokregel': als je tegen het uiteinde van de spoel aankijkt kan de stroom 'met de klok mee' draaien of er tegenin. Daaruit kun je afleiden of je tegen de noord- of de zuidpool aankijkt. Leg met een schetsje uit welke pool je ziet als de stroom 'met de klok mee' draait.

- 19** Welke van de volgende uitspraken is juist?
- A Een kompas wijst altijd naar de zuidpool van een staafmagneet.
 - B Een kompas wijst altijd naar de zuidpool van een stroomspoel.
 - C Een kompas wijst altijd de richting van het magneetveld aan.



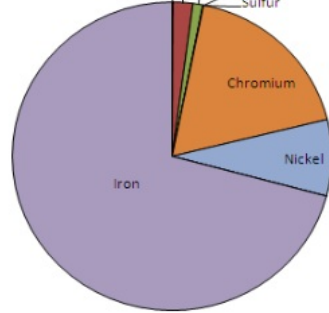
Carbon Steel

Phosphorus
Silicon
Sulfur
Chromium
Nickel
Molybdenum
Carbon
Manganese
Copper



304 Stainless

Manganese
Carbon
Silicon
Phosphorus
Sulfur
Chromium
Nickel

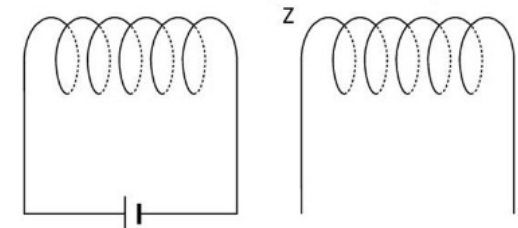


Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.2 Elektromagneten

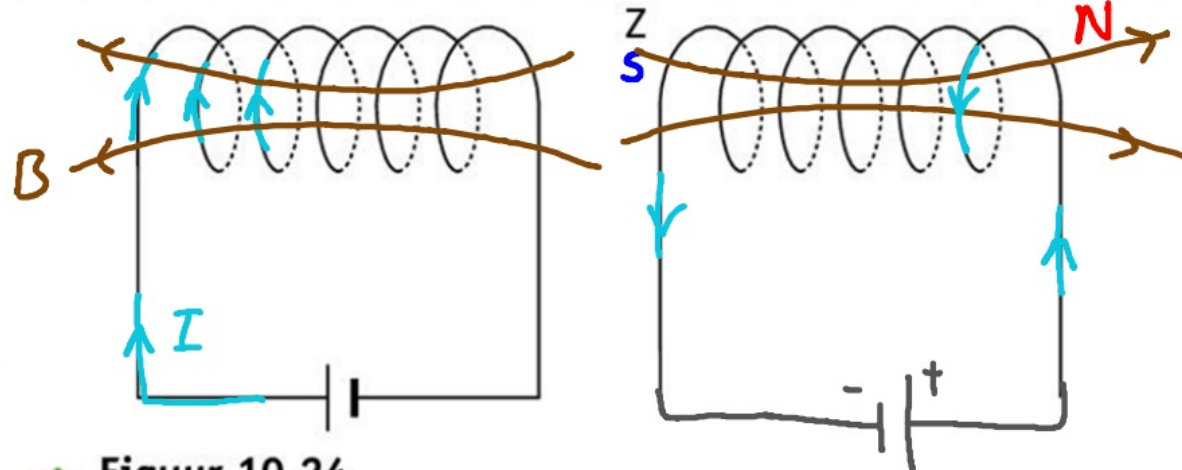
20 Waarom is de kern van een elektromagneet nooit van staal?

21 In figuur 10.24 zie je twee spoelen die allebei op een batterij zijn aangesloten. Bij de rechterspoel is de batterij niet getekend. De linkerkant van de rechterspoel is een zuidpool.



▲ Figuur 10.24

- Leg uit hoe de magnetische veldlijnen in de linkerspoel lopen: van links naar rechts of andersom.
- Teken de batterij van de rechterspoel op de juiste manier erbij. Leg uit.
- Beredeneer of de spoelen elkaar afstoten of aantrekken.
- Hoe kun je de kracht tussen de twee spoelen vergroten zonder het aantal windingen of de stroomsterkte te veranderen?



▲ Figuur 10.24

22

a. $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m} = 1,25664 \cdot 10^{-6} \text{ H/m}$

b. $B = \mu_0 \cdot \frac{N \cdot I}{\ell} = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{50 \cdot 0,30}{0,060} = 3,1 \cdot 10^{-4} \text{ T}$

c. $B = \mu_0 \cdot I \cdot \frac{N}{\ell}$ ← "wikkelingen per meter"

$$3,1 \cdot 10^{-4} = 1,25664 \cdot 10^{-6} \cdot I \cdot 1200$$

↪ $I = 0,21 \text{ A}$

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.2 Elektromagneten

22 Voor de magnetische inductie in een lange spoel zonder kern geldt:

$$B = \mu_0 \frac{N \cdot I}{\ell}$$

Hierin is N het aantal windingen van de spoel, I de stroomsterkte in de spoel, ℓ de lengte van de spoel en μ_0 een constante. μ_0 is in *Binas* te vinden onder de naam 'magnetische permeabiliteit van vacuüm' en uit te spreken als: mu-nul.

'Lang' betekent dat de lengte van de spoel veel groter is dan de diameter.

a Zoek in *Binas* de waarde van μ_0 op.

b Door een spoel gaat een stroom van 0,30 A. De spoel is 6,0 cm lang en heeft 50 windingen. Bereken de magnetische inductie in deze spoel.

c Een andere spoel heeft 12 windingen per cm. Beredeneer hoe groot de stroomsterkte door deze spoel moet zijn om dezelfde magnetische inductie op te wekken als in de spoel van vraag b.

23 a Lees bron 7. Waarom is gebruik van een relais handig bij het omzetten van spoorwegwissels?

b Thuis branden de lampen op 230 volt, in de auto op maar 12 volt. Toch schakel je de lampen in de auto aan met behulp van een relais, maar in huis niet. Leg dat uit.

10.2 Elektromagneten

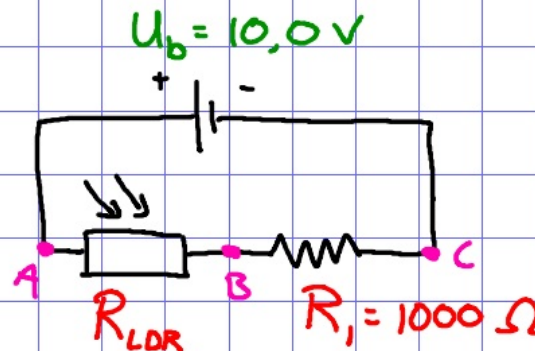
🌀 Een balletje zweeft binnen een kastje. Bovenop het balletje zit een magneetje. In het kastje is een magneetveld waardoor het balletje op zijn plaats blijft.

Dat magneetveld:

- A wordt in- en uitgeschakeld afhankelijk van de positie van het balletje.
- B is overal in het kastje even sterk.
- C neemt van onder naar boven in sterkte toe.
- D neemt van onder naar boven in sterkte af.



▲ Figuur 10.16

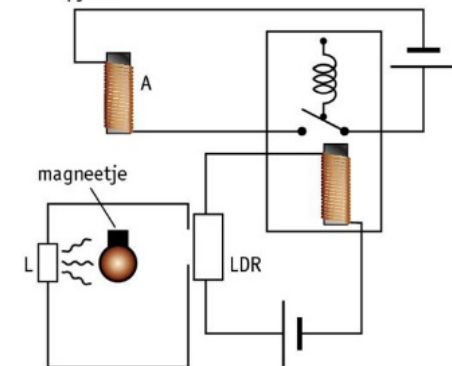


Light Dependent Resistor (LDR):
Als er veel licht op valt is R_{LDR} klein.

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.2 Elektromagneten

24 In figuur 10.25 is het geheim van figuur 10.16 te zien. Bovenin het kastje zit een elektromagneet (A). Deze wordt geactiveerd door een relais. Het relais wordt aangestuurd met een LDR en een spanningsbron. Het balletje zweeft tussen de LDR en een lampje L.



▲ Figuur 10.25

- a Bereken of de elektromagneet A het balletje aantrekt als het balletje precies voor de LDR zweeft.
- b Leg uit waardoor het balletje blijft zweven.
- c Blijft het balletje ook zweven als je de magneet op het balletje omkeert? Leg uit.
- d Zou het balletje in principe kunnen zweven als je het magneetje vervangt door een stukje ijzer?

- 25 In bron 8 lees je hoe informatie wordt opgeslagen op de harde schijf van een computer. Bij de volgende opdrachten moet je waarschijnlijk nog meer informatie over de werking van de harddisk opzoeken. De afstand tussen de elektromagneet in de schrijfkop en de schijf moet zo klein mogelijk zijn: hoe kleiner die afstand, hoe meer informatie er op de schijf kan.
- a Leg dat uit. Aanwijzing: schets de magnetische veldlijnen van de elektromagneet.

- b De kop mag de snel draaiende schijf niet raken, maar de afstand is ongeveer $0,00001$ mm. Hoe wordt ervoor gezorgd dat de kop de schijf niet kan raken?
- c In de arm van de schrijfkop zit ook een elektromagneet, links in figuur 10.28 onder het metalen plaatje. Waarvoor dient deze elektromagneet?
- d Waarom kun je een sterke magneet beter uit de buurt van een harddisk houden?

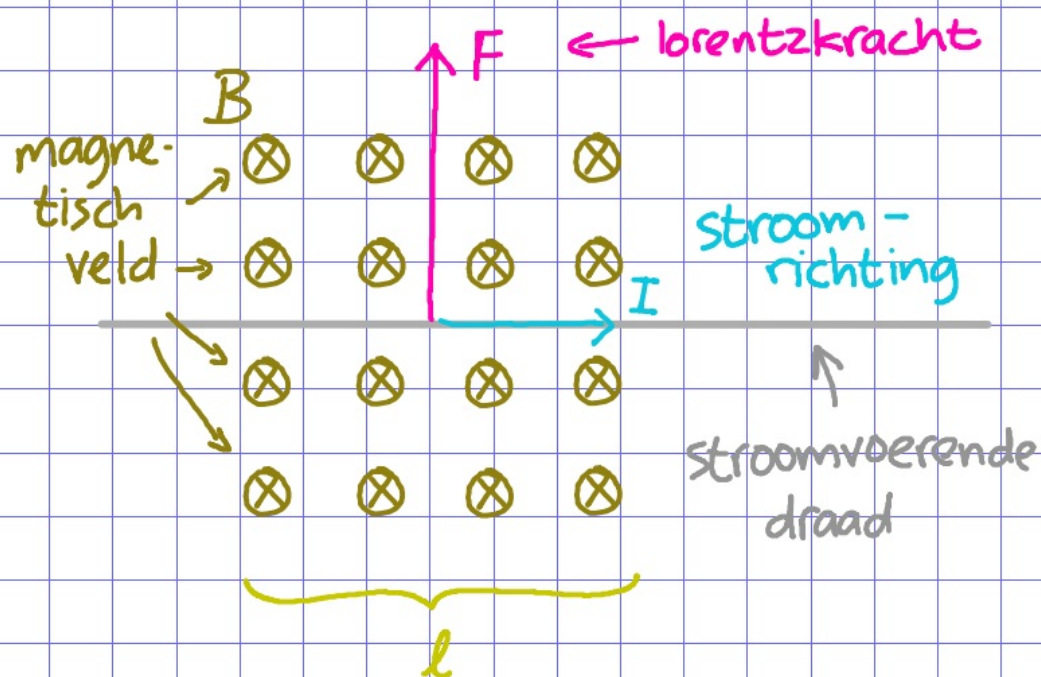
Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.2 Elektromagneten

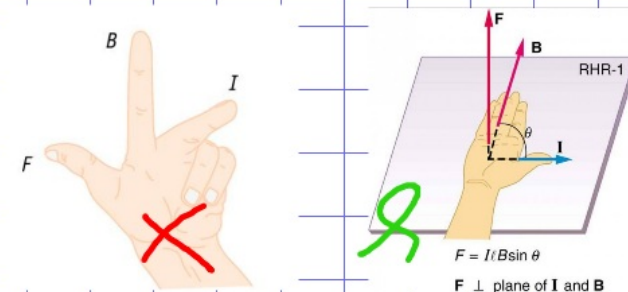
§ 10.3 De Lorentzkracht

*kracht door
elektriciteit en
magnetisme!*

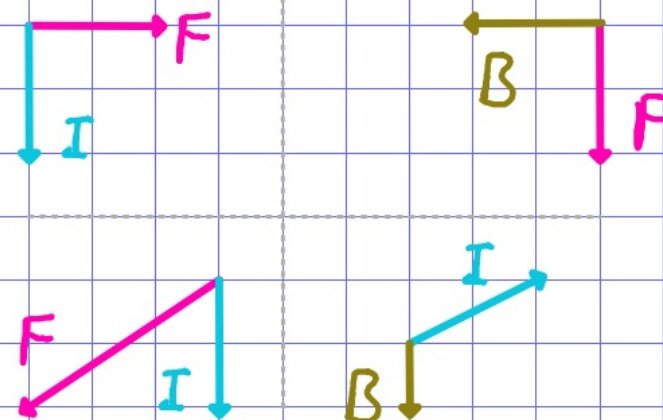
9. Een magnetisch veld oefent een **kracht** uit op een stroomvoerende draad. Deze **lorentzkracht** vind je met **rechterhandregel-met-de-vlakke-hand**:



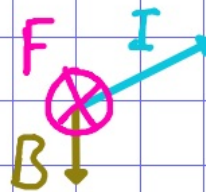
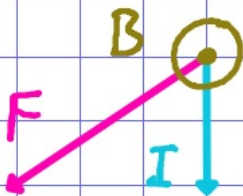
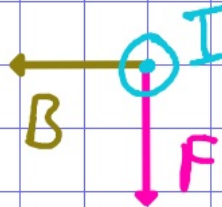
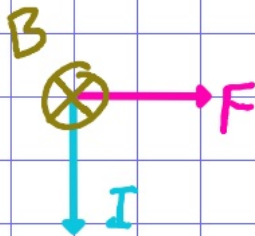
Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme



Bord oefening 5: Bepaal in onderstaande situaties de onbekende richting (kracht, magneetveld of stroomrichting)

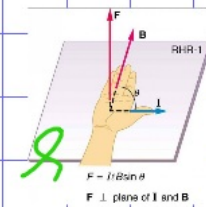
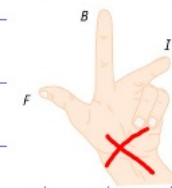


Bordoeefening 5:



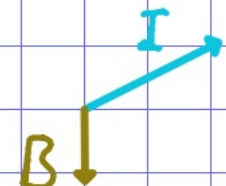
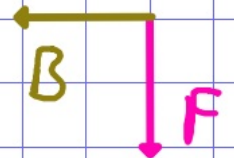
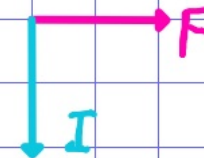
Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.3 De Lorentzkracht



*kracht door
elektriciteit en
magnetisme!*

Bordoeefening 5: Bepaal in onderstaande situaties de onbekende richting (kracht, magneetveld of stroomrichting)



10. De **grootte** van de lorentzkracht kun je uitrekenen:

$$F = B \cdot l \cdot I$$

Bordoeffening 6:

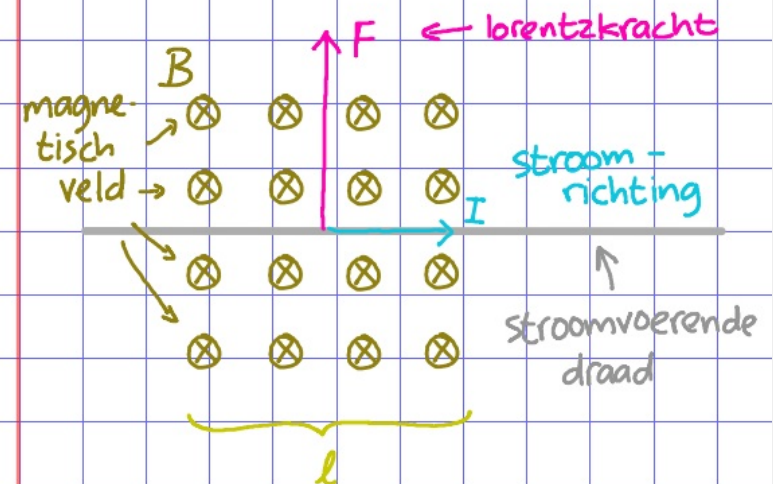
$$F = B \cdot I \cdot l = 0,20 \text{ T} \cdot 0,120 \text{ A} \cdot 0,0500 \text{ m}$$

$$F = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.3 De Lorentzkracht

*kracht door
elektriciteit en
magnetisme!*



Bordoeffening 6: Reken de kracht uit op een stuk draad van 5,00 cm dat zich in een magneetveld van 0,20 T bevindt en waar een stroomsterkte van 120 mA doorheen loopt.

10.3 De lorentzkracht

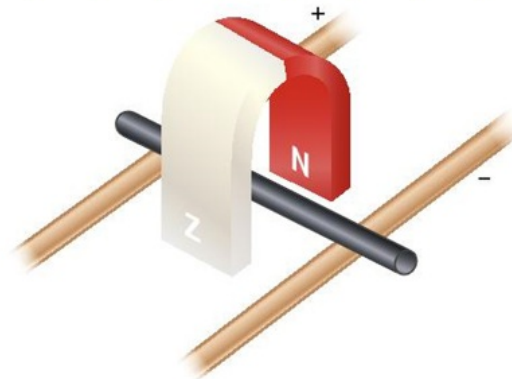
🕒 Een gloeilamp is aangesloten op de netspanning. Houd je een magneet in de buurt, dan begint de gloeidraad plotseling heftig te trillen.

De gloeidraad van de lamp gaat trillen doordat:

- A de gloeidraad van ijzer is.
- B er wisselstroom door de gloeidraad gaat.
- C de gloeidraad een spoel is.
- D de elektronen in de gloeidraad worden aange-trokken en afgestoten.



▲ Figuur 10.30



▲ Figuur 10.34

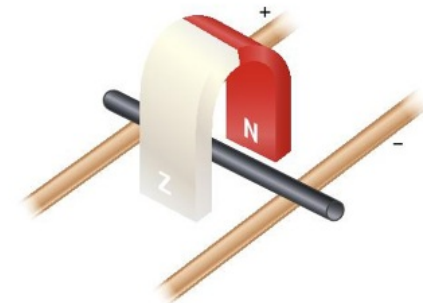
Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.3 De Lorentzkracht

Opdrachten

26 Leg uit waarom de gloeidraad in figuur 10.30 trilt.

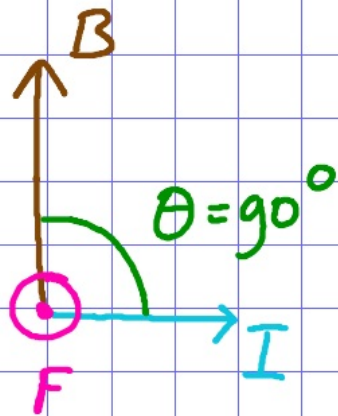
- 27 a Lukt het experiment in bron 9 ook als je het koperen staafje vervangt door een aluminiumstaafje? Leg uit.
b En als je een ijzeren staafje neemt? Leg ook dat uit.
c Als je in figuur 10.31 zowel de stroomrichting als het magneetveld omdraait, rolt het staafje dezelfde kant op. Laat dat zien met een schetsje zoals in figuur 10.32.
d De magneet in figuur 10.31 wordt een kwartslag gedraaid zoals in figuur 10.34 getekend:



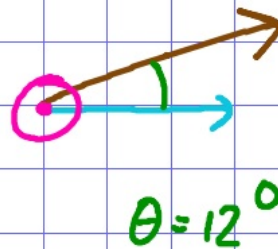
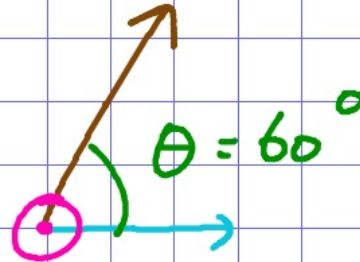
▲ Figuur 10.34

Waarom rolt het staafje dan niet weg als je er stroom doorheen stuurt?

29



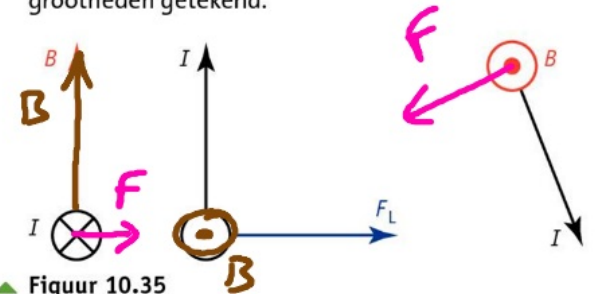
$$F = B \cdot l \cdot I \cdot \cos \theta$$



Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.3 De Lorentzkracht

28 In figuur 10.35 zie je drie tekeningen met telkens twee grootheden getekend.



▲ Figuur 10.35

Neem de tekeningen over en bepaal de richting van de derde grootheid.

Teken deze in met een pijl of met de symbolen $\otimes$ en $\odot$.

- 29 a Welk probleem krijg je met de FBI-regel als de stroom dezelfde richting heeft als het magneetveld?
b Hoe heeft moeder natuur dat probleem opgelost?

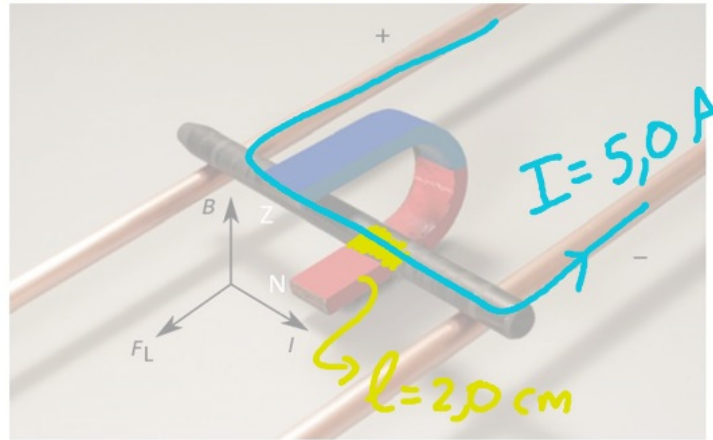
31) $B = ?$

a. $l = 2,0 \text{ cm}$
 $I = 5,0 \text{ A}$
 $F = 0,040 \text{ N}$
 $F = B \cdot l \cdot I$

$$B = \frac{F}{l \cdot I} = \frac{0,040 \text{ N}}{0,020 \text{ m} \cdot 5,0 \text{ A}} = 0,40 \text{ T}$$

b. $F = B \cdot l \cdot I = 0,40 \text{ T} \cdot 0,020 \text{ m} \cdot 8,0 \text{ A} = 0,064 \text{ N}$

c. Nieuwe F_L : $F = m \cdot a = 0,020 \text{ kg} \cdot 3,0 \text{ m/s}^2 = 0,06 \text{ N}$



Figuur 10.31 Kracht op een stroomdraad

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.3 De Lorentzkracht

Opdrachten

30 Bereken de onbekende grootte:

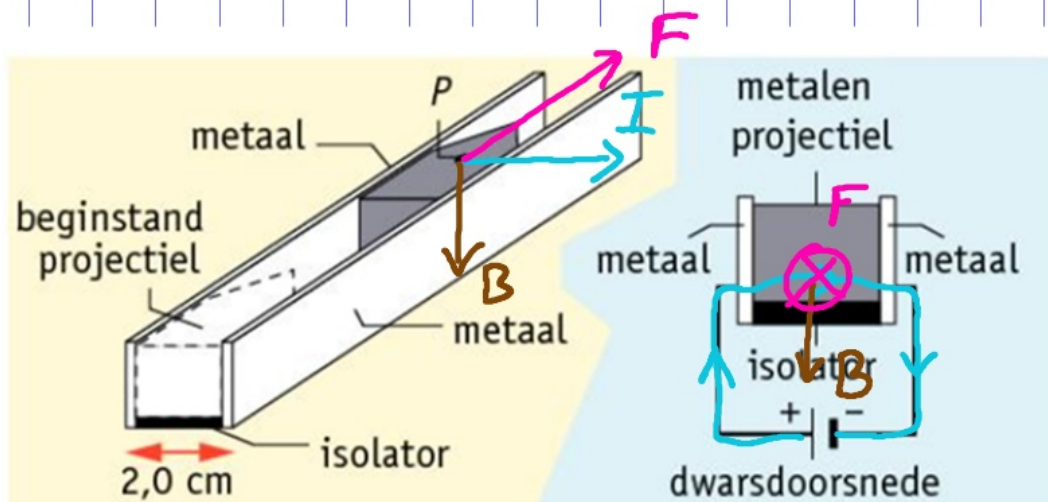
- a $F_L = 0,0058 \text{ N}$; $I = 2,5 \text{ A}$ en $l = 4,0 \text{ cm}$
 b $F_L = 0,80 \text{ N}$; $l = 125 \text{ m}$ en $B = 0,0048 \text{ T}$

31 De magneet in figuur 10.31 is 2,0 cm breed. Er is alleen een magneetveld tussen de polen. De stroomsterkte door het staafje is 5,0 A en de lorentzkracht is 0,040 N. De koperen staven liggen 10 cm van elkaar.

- a Bereken de magnetische inductie tussen de polen van de hoefijzermagneet.
 b Bereken de lorentzkracht op het staafje als de stroomsterkte wordt verhoogd naar 8,0 A.

- c Je verandert opnieuw de stroomsterkte en meet de versnelling die het staafje in het begin krijgt. Je meet een versnelling van $3,0 \text{ m/s}^2$. De massa van het staafje is 20 gram. Bereken de stroomsterkte die je hebt ingesteld. Verwaarloos de weerstandskracht.
 d Bedenk drie manieren waarop je de grootte van de lorentzkracht kunt veranderen.

32



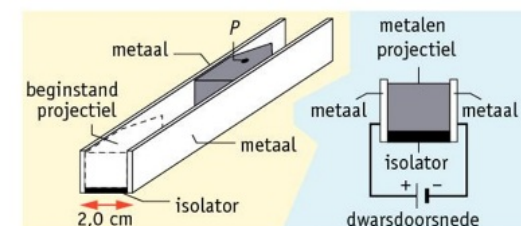
▲ Figuur 10.36

$$c. \quad B = \frac{F}{l \cdot I} = \frac{85 \cdot 10^3 \text{ N}}{0,020 \text{ m} \cdot 1,5 \cdot 10^6 \text{ A}} = 2,8 \text{ T}$$

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.3 De Lorentzkracht

32 In figuur 10.36 zie je een zogenaamde 'Single pulse rail accelerator'. Daarin wordt de Lorentzkracht gebruikt om een projectiel weg te schieten.

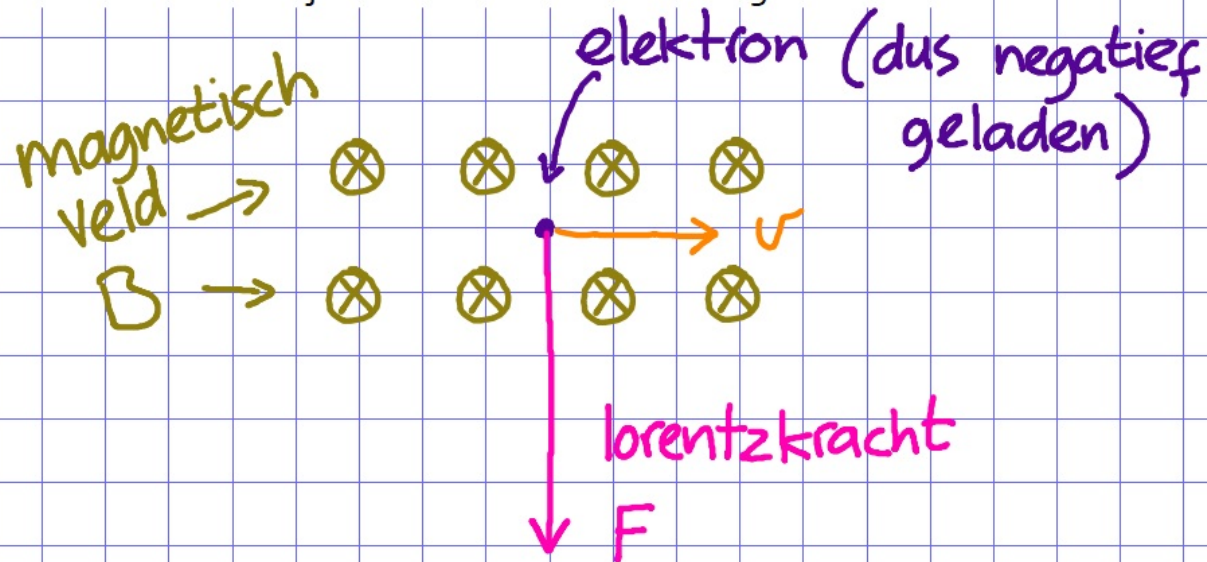


▲ Figuur 10.36

Het metalen projectiel maakt tijdens de lancering steeds contact met de zijwanden van de goot. De goot bevindt zich in het geheel in een sterk magneetveld. Gedurende 2,0 ms loopt er een stroom van 1,5 MA. Deze stroom zorgt voor een kracht van 85 kN op het projectiel, dat 80 g zwaar is.

- Waarom zijn de zijwanden van de goot van metaal en de bodem niet?
- Teken de richtingen van de Lorentzkracht, de stroom en het magneetveld in punt P.
- Bereken de grootte van de magnetische inductie.
- Bereken de snelheid die het projectiel krijgt als je de weerstandskrachten verwaarloost.

11. Een geladen deeltje dat door een magnetisch veld beweegt ondervindt ook lorentzkracht (net als een draad). Deze lorentzkracht vind je ook met de rechterhandregel.

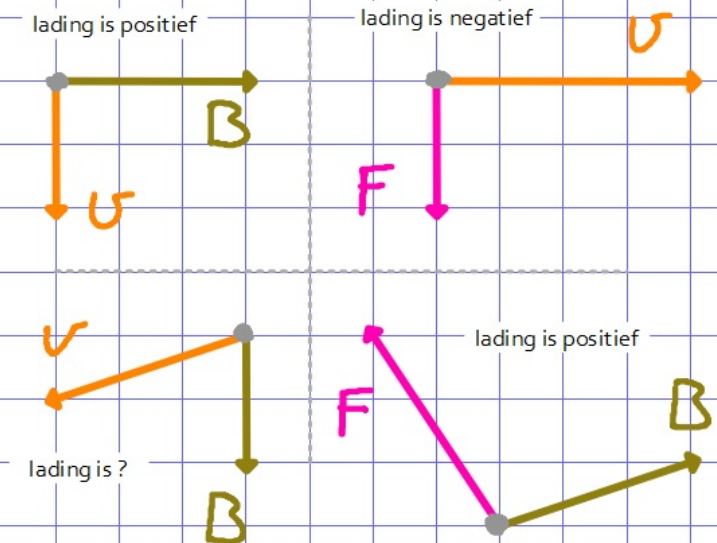


Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

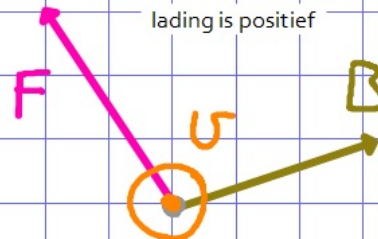
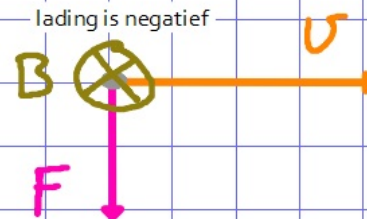
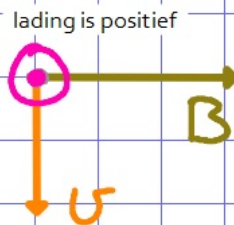
§ 10.3 De Lorentzkracht

kracht door elektriciteit en magnetisme!

Bordtoefening 7: Bepaal in onderstaande situaties de richting of het teken van de onbekende grootte (snelheid, magneetveld, lorentzkracht of lading[+/-]).



Bordoeffening 7:

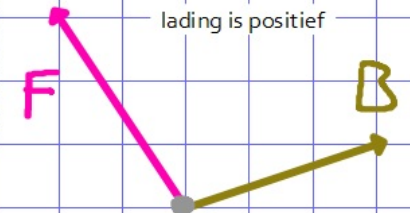
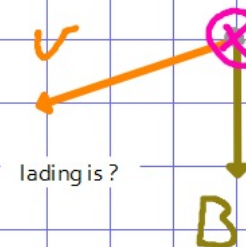
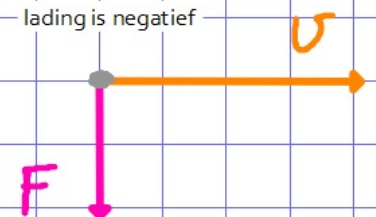
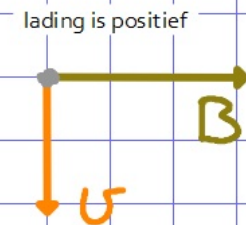


Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.3 De Lorentzkracht

*kracht door
elektriciteit en
magnetisme!*

Bordoeffening 7: Bepaal in onderstaande situaties de richting of het teken van de onbekende grootte (snelheid, magneetveld, lorentzkracht of lading[+/-]).



11(vervolg). De grootte van de lorentzkracht op een geladen deeltje bereken je met:

$$F = B \cdot v \cdot q$$

Bord oefening 8

$$a) F = B \cdot v \cdot q =$$

$$F = 0,030 \text{ T} \cdot 1,58 \cdot 10^6 \text{ m/s} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

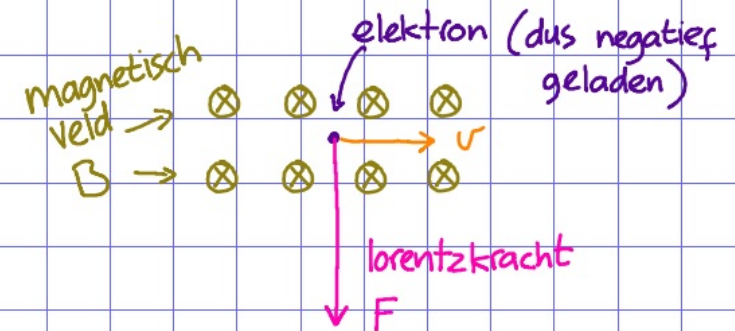
$$F = 7,6 \cdot 10^{-15} \text{ N}$$

$$b) a = \frac{F}{m} = \frac{7,58 \cdot 10^{-15} \text{ N}}{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}} = 8,3 \cdot 10^{15} \text{ m/s}^2$$

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.3 De Lorentzkracht

*kracht door
elektriciteit en
magnetisme!*



Bord oefening 8: Een elektron in een magneetveld van 0,030 T heeft een snelheid van $1,58 \times 10^6 \text{ m/s}$. Reken uit:

- a. de lorentzkracht op het elektron
- b. de versnelling die het elektron door deze lorentzkracht doormaakt

BINAS: lading en massa van elektron

Bordoeffening 8:

a.

$$\begin{aligned} F &= B \cdot v \cdot q \\ &= 0,030 \text{ T} \cdot 1,58 \cdot 10^6 \text{ m/s} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \\ &= 7,6 \cdot 10^{-15} \text{ N} \end{aligned}$$

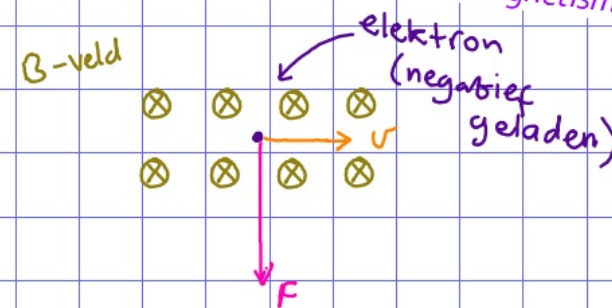
b

$$a = \frac{F}{m} = \frac{7,6 \cdot 10^{-15} \text{ N}}{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}} = 8,3 \cdot 10^{15} \text{ m/s}^2$$

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.3 De Lorentzkracht

*kracht door
elektriciteit en
magnetisme!*



Bordoeffening 8: Een elektron in een magneetveld van 0,030 T heeft een snelheid van $1,58 \times 10^6 \text{ m/s}$. Reken uit:

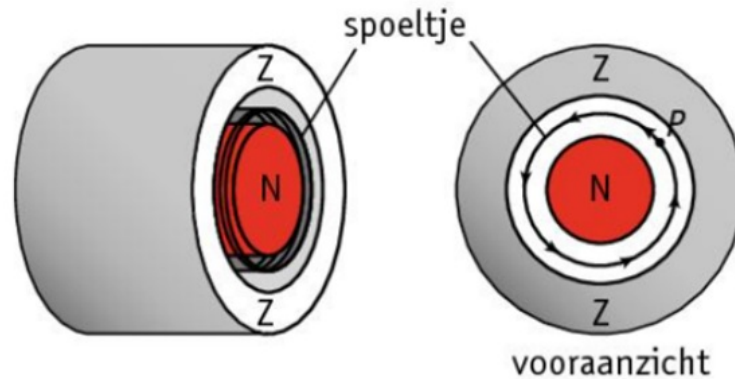
- de lorentzkracht op het elektron
- de versnelling die het elektron door deze lorentzkracht doormaakt

BINAS: lading en massa van elektron

13. De werking van **luidsprekers** is gebaseerd op lorentzkracht:

Opdracht

35 In figuur 10.41 zie je het inwendige van een luidspreker.



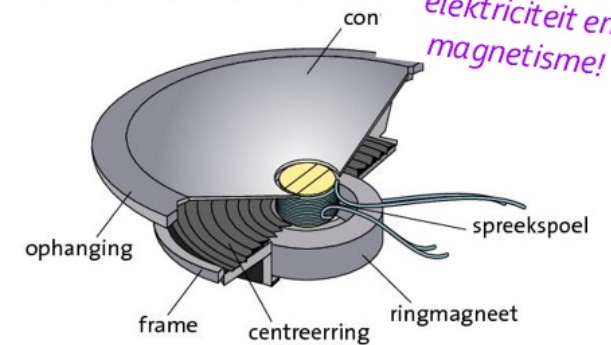
▲ **Figuur 10.41**

Het bestaat uit een magneet, een ijzeren ring en een spoeltje. Het spoeltje bevindt zich tussen de magneet en de ring.

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

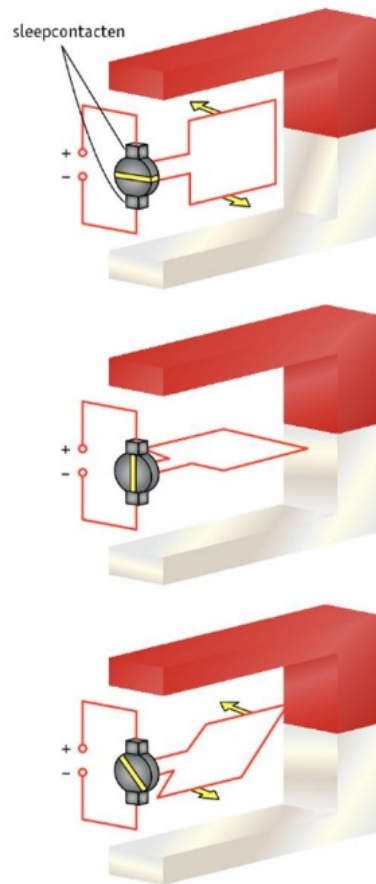
§ 10.3 De Lorentzkracht

*kracht door
elektriciteit en
magnetisme!*



▲ **Figuur 10.40**

14. De werking van **elektromotoren** is ook gebaseerd op lorentzkracht:



▲ **Figuur 10.43** Principe elektromotor

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.3 De Lorentzkracht

*kracht door
elektriciteit en
magnetisme!*

Practicum 8



Elektronen in de bocht

Bekijk de capriolen van elektronen in verschillende magneetvelden.

Opdrachten



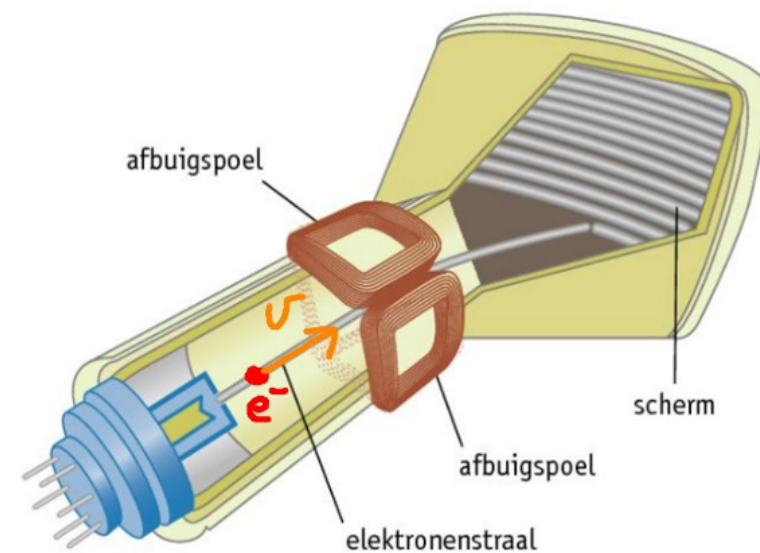
33 Een elektronenstraal wordt afgebogen in een beeldbuis zoals in figuur 10.37 te zien is. De straal wordt op dat moment alleen verticaal (naar beneden) afgebogen.

- a Gaat er op dat moment stroom door de spoelen boven en onder de buis, of door de twee spoelen links en rechts? Geef uitleg.

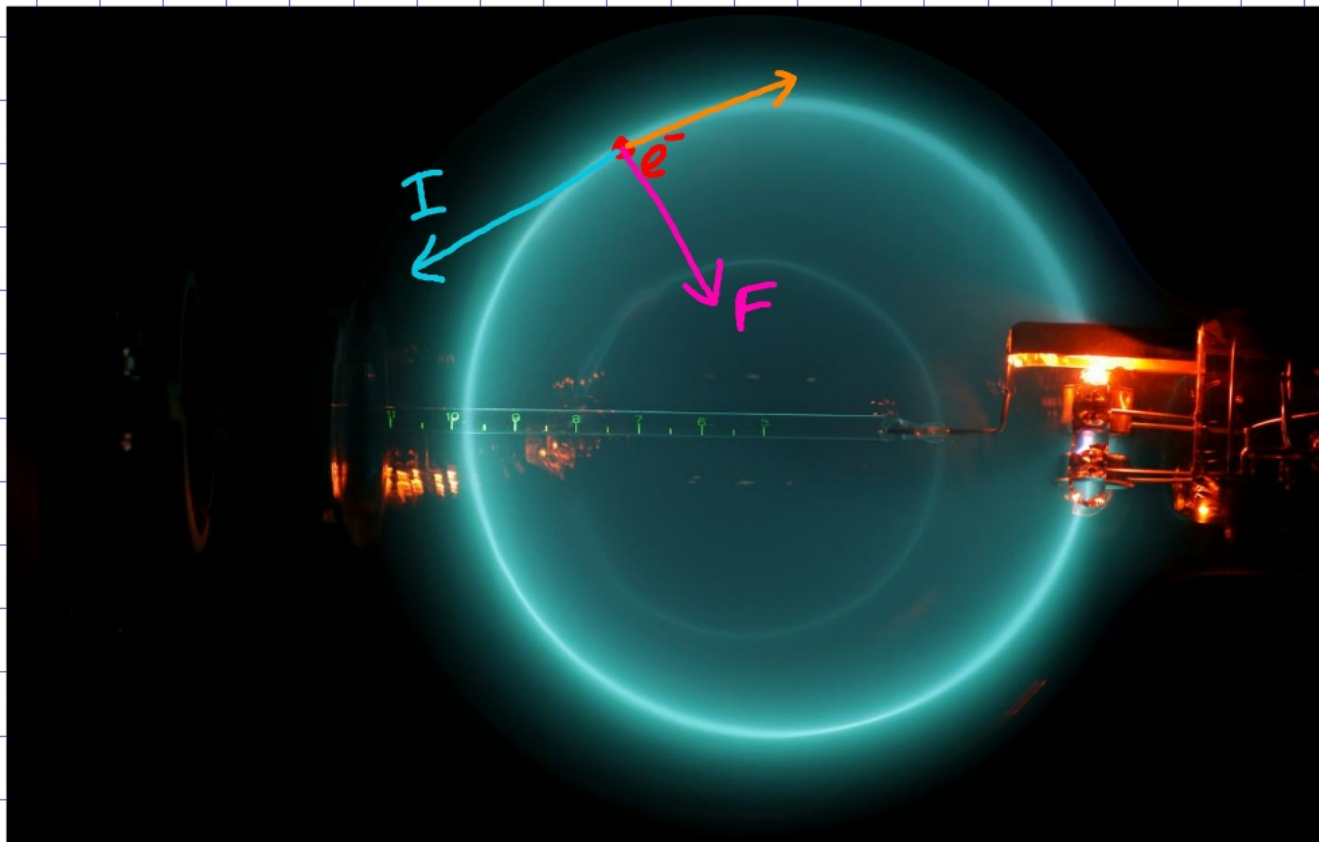
- b Teken de twee spoelen waar stroom doorheen gaat en geef in je tekening de richting van het magneetveld aan. Maak duidelijk hoe je eraan komt.
- c Teken nu ook de stroomrichting in de twee spoelen.
- d Op het werkblad is in een grafiek getekend hoe de stroom door de horizontale afbuigspoelen moet verlopen. Verklaar het verloop van die grafiek.
- e Teken in het diagram daaronder hoe volgens jou de stroom door de verticale afbuigspoelen moet verlopen. Het beginpunt (P) is aangegeven.

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.3 De Lorentzkracht



▲ Figuur 10.37 Beeldbuis



Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.3 De Lorentzkracht

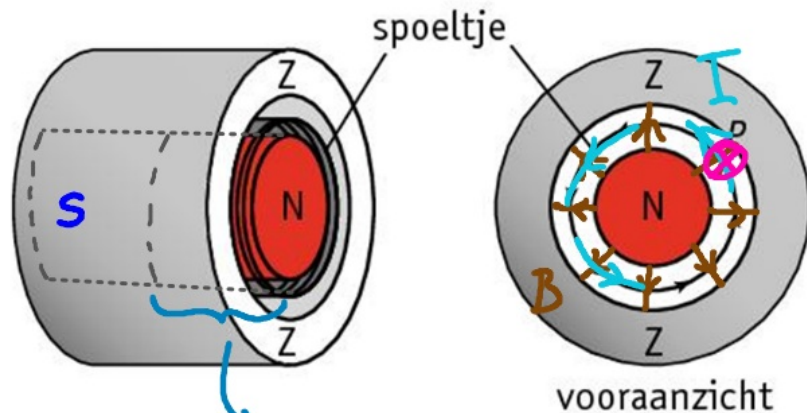
- 34 Lees bron 12. In figuur 10.38 zie je elektronen in een cirkelbaan draaien. Het magneteveld waarin ze dat doen staat loodrecht op de cirkelbaan. Bepaal de richting van dat magneteveld als gegeven is dat de elektronen rechtsom ('met de klok mee') draaien. Gebruik de FBI-regel.



▲ Figuur 10.38 Elektronen in een cirkelbaan

Opdracht

35 In figuur 10.41 zie je het inwendige van een luidspreker.



▲ Figuur 10.41

spoeltje is
maar zo lang

Het bestaat uit een magneet, een ijzeren ring en een spoeltje. Het spoeltje bevindt zich tussen de magneet en de ring.

$$l = 80 \times \pi \cdot 2,4 \text{ cm}$$

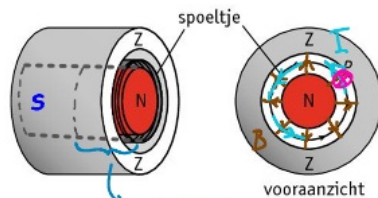
Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.3 De Lorentzkracht

- De ring is geen magneet; toch is daar een zuidpool getekend. Leg uit waardoor de ijzeren ring magnetisch wordt.
- Neem de rechtekening van figuur 10.41 over en schets hoe de magnetische veldlijnen lopen tussen de magneet en de ring.
- Door het spoeltje loopt stroom in de aangegeven richting. Daardoor werkt op het spoeltje een lorentzkracht. Bepaal de richting van die kracht in punt P en teken deze in je tekening bij vraag b.
- Het spoeltje heeft 80 windingen. De diameter is 2,4 cm. Op een bepaald moment is de kracht op het spoeltje 0,88 N. Het magneetveld heeft een sterkte van 0,45 T. Bereken de stroomsterkte die dan door het spoeltje loopt.
- Bij hoge tonen trilt de conus onvoldoende mee. De ontwerpster wil daarom het ontwerp van deze luidspreker aanpassen. Wat is de beste verandering die zij kan aanbrengen in haar ontwerp?
A Een sterkere magneet nemen.
B Een spoel met meer windingen gebruiken.
C Spoel en conus lichter maken.
Geef een toelichting bij je keuze.

Opdracht

35 In figuur 10.41 zie je het inwendige van een luidspreker.



▲ Figuur 10.41

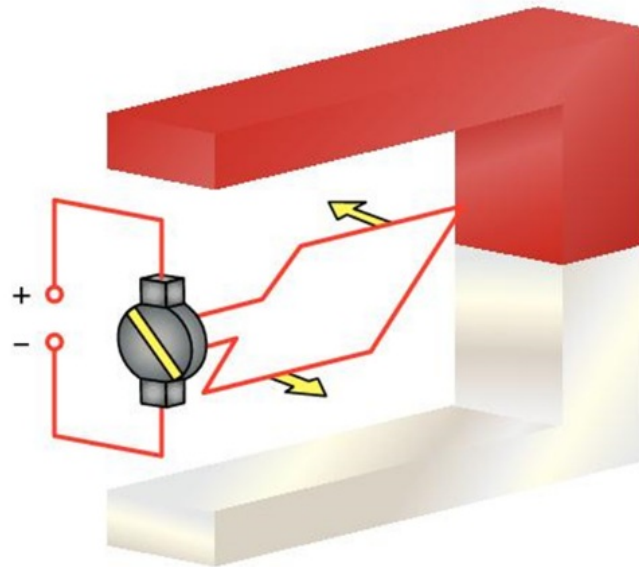
Het bestaat uit een magneet, een ijzeren ring en een spoeltje. Het spoeltje bevindt zich tussen de magneet en de ring.

$$\begin{aligned} F &= B \cdot I \cdot l \\ 0,88 \text{ N} &= 0,45 \text{ T} \cdot I \cdot 6,03 \text{ m} \\ I &= 0,32 \text{ A} \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} l &= N \cdot \text{omtrek} \\ &= 80 \cdot 0,075 \\ &= 6,03 \text{ m} \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} \text{omtrek} &= \pi \cdot d \\ &= 0,024 \cdot \pi \\ &= 0,0754 \text{ m} \end{aligned}$$

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.3 De Lorentzkracht

- De ring is geen magneet; toch is daar een zuidpool getekend. Leg uit waardoor de ijzeren ring magnetisch wordt.
- Neem de rechtekening van figuur 10.41 over en schets hoe de magnetische veldlijnen lopen tussen de magneet en de ring.
- Door het spoeltje loopt stroom in de aangegeven richting. Daardoor werkt op het spoeltje een Lorentzkracht. Bepaal de richting van die kracht in punt P en teken deze in je tekening bij vraag b.
- Het spoeltje heeft 80 windingen. De diameter is 2,4 cm. Op een bepaald moment is de kracht op het spoeltje 0,88 N. Het magneetveld heeft een sterkte van 0,45 T. Bereken de stroomsterkte die dan door het spoeltje loopt.
- Bij hoge tonen trilt de conus onvoldoende mee. De ontwerpster wil daarom het ontwerp van deze luidspreker aanpassen. Wat is de beste verandering die zij kan aanbrengen in haar ontwerp?
 - Een sterkere magneet nemen.
 - Een spoel met meer windingen gebruiken.
 - Spoel en conus lichter maken.Geef een toelichting bij je keuze.



▲ **Figuur 10.43** Principe elektromotor

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.3 De Lorentzkracht

Opdrachten

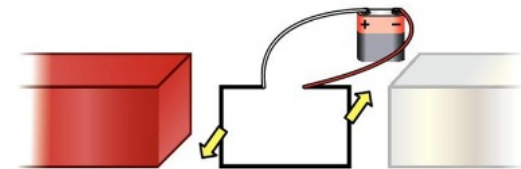
36 Ga voor één van de lorentzkrachten in figuur 10.43 met de FBI-regel na dat de richting klopt. Maak daarbij een duidelijke tekening.

37 In figuur 10.45 zie je een winding die is aangesloten op een batterij.

De winding bevindt zich in het magneetveld van twee magneten.

De lorentzkrachten op de zijkanten zijn ingetekend.

a Werkt er ook een lorentzkracht op de onderkant van de winding? Zo ja, in welke richting? Zo nee, waarom niet?



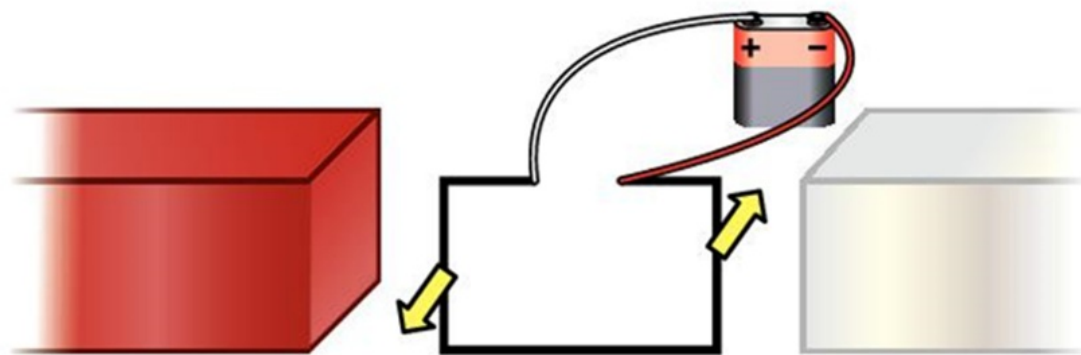
▲ **Figuur 10.45**

b Leg uit waarom de winding na een kwartslag stopt.

c Werkt er een lorentzkracht op de onderkant van de winding als hij na een kwartslag tot stilstand is gekomen? Zo ja, bepaal de richting.

d Gaat de winding ook draaien als je een van de twee magneten omdraait? Leg uit.

e Wat moet je doen om de winding door te laten draaien na een kwartslag?



▲ **Figuur 10.45**

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

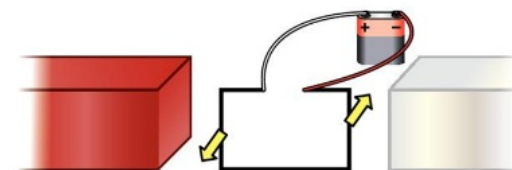
§ 10.3 De Lorentzkracht

Opdrachten

36 Ga voor één van de lorentzkrachten in figuur 10.43 met de FBI-regel na dat de richting klopt. Maak daarbij een duidelijke tekening.

37 In figuur 10.45 zie je een winding die is aangesloten op een batterij. De winding bevindt zich in het magneetveld van twee magneten. De lorentzkrachten op de zijkanten zijn ingetekend.

a Werkt er ook een lorentzkracht op de onderkant van de winding? Zo ja, in welke richting? Zo nee, waarom niet?



▲ **Figuur 10.45**

b Leg uit waarom de winding na een kwartslag stopt.

c Werkt er een lorentzkracht op de onderkant van de winding als hij na een kwartslag tot stilstand is gekomen? Zo ja, bepaal de richting.

d Gaat de winding ook draaien als je een van de twee magneten omdraait? Leg uit.

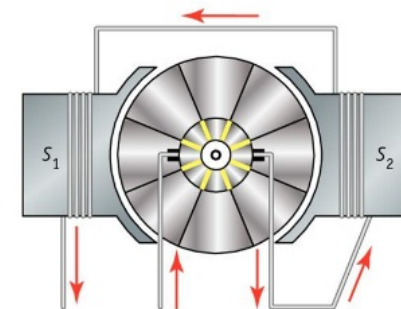
e Wat moet je doen om de winding door te laten draaien na een kwartslag?

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

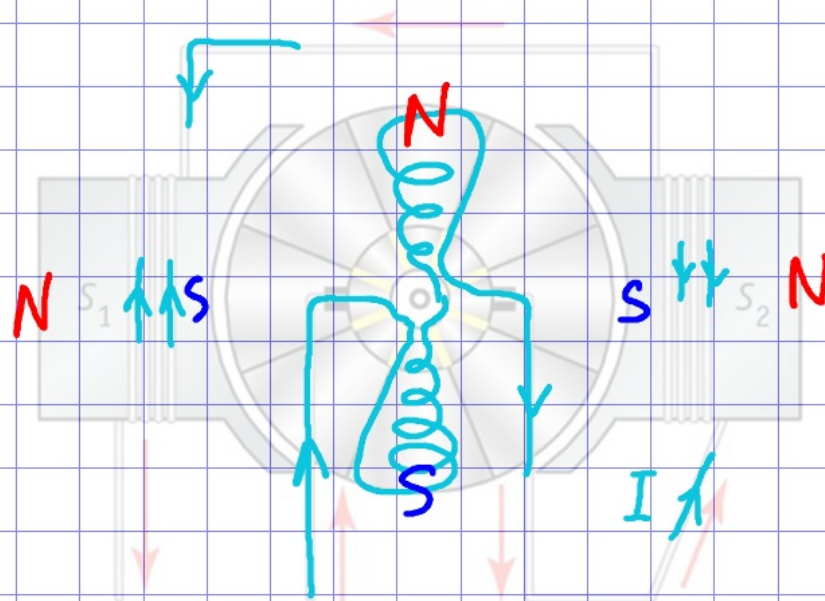
§ 10.3 De Lorentzkracht

38 Je kunt de permanente magneten bij een motor vervangen door elektromagneten. Dan krijg je een motor zoals in figuur 10.46 te zien is. Deze motor heeft twee vaste spoelen, maar het draaiende deel (de rotor) heeft ook meer dan één spoel. Dat is schematisch getekend in figuur 10.46.

- Geef een voordeel van het gebruik van meerdere spoelen in de rotor.
- Hoeveel spoelen heeft de rotor van deze motor? Leg uit hoe je dat ziet.
- In de getekende stand krijgt één spoel in de rotor stroom via de sleepcontacten. Staat die spoel in de tekening horizontaal of verticaal? Leg uit.
- Verandert de draairichting van deze motor als je de stroomrichting omkeert? Leg uit.
- Welk voordeel heeft deze motor t.o.v. een motor met permanente magneten?



▲ Figuur 10.46



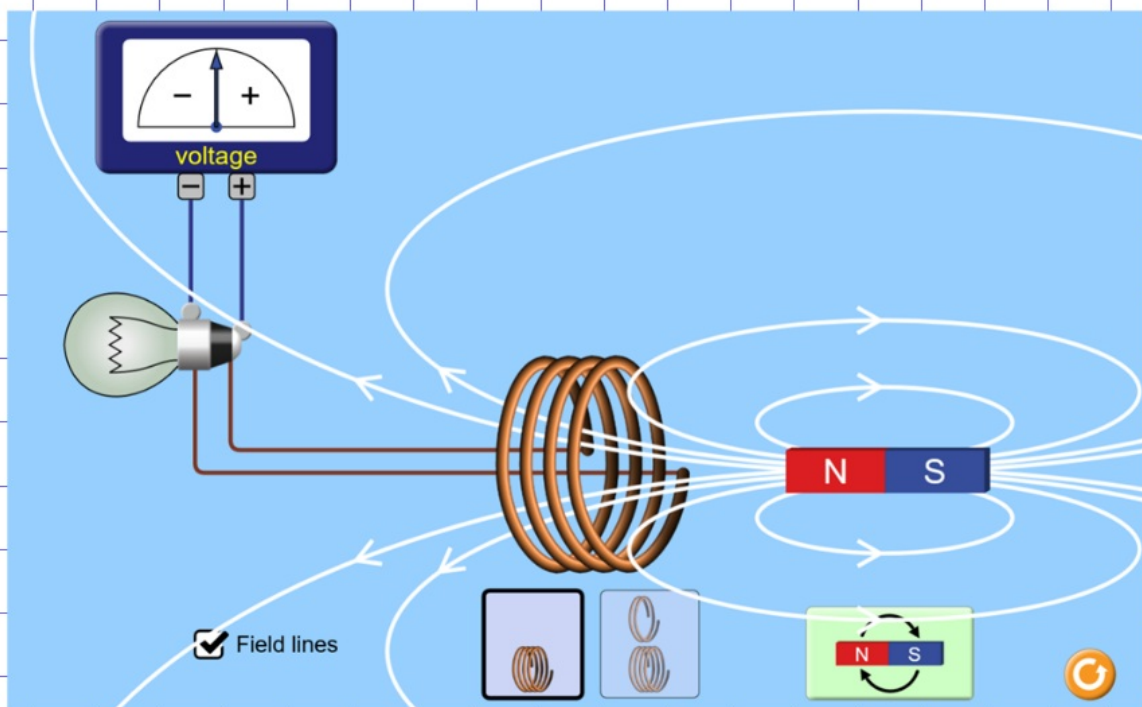
▲ Figuur 10.46

! Klopt niet

§ 10.4 Elektromagnetische inductie

elektriciteit door
magnetisme!

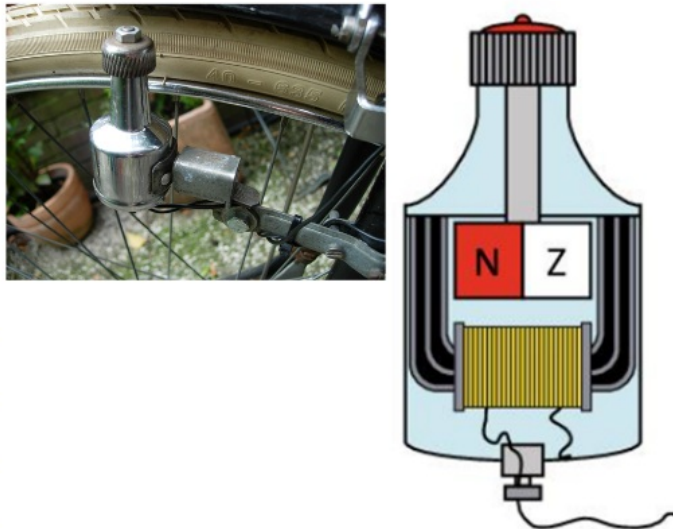
15. Als de "hoeveelheid" magnetisch veld door een spoel **verandert** ontstaat een **inductiespanning** over de uiteinden van de spoel:



Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme



16. De werking van sommige **microfoons** en van **dynamos/generatoren** is op deze elektrische inductie gebaseerd.

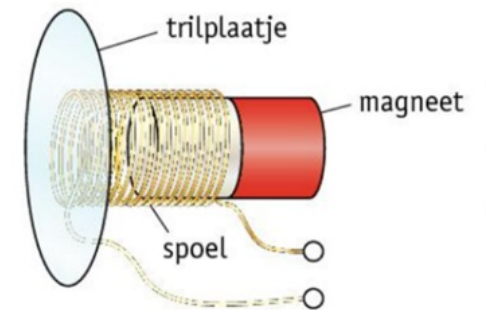


▲ **Figuur 10.50** Fietsdynamo

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.4 Elektromagnetische inductie

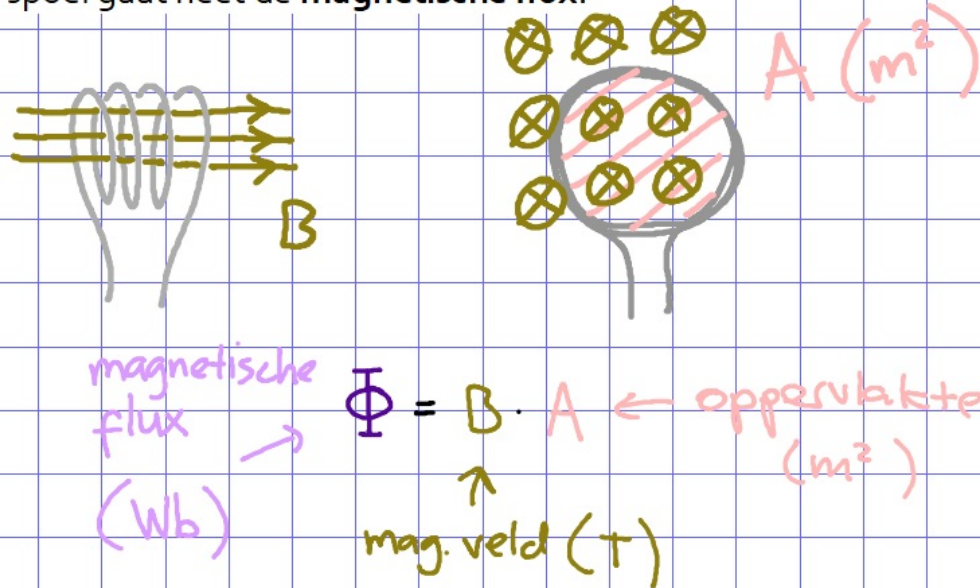
elektriciteit door magnetisme!



▲ **Figuur 10.51** Dynamische microfoon



17. De "hoeveelheid magneetveld" die door een spoel gaat heet de **magnetische flux**:

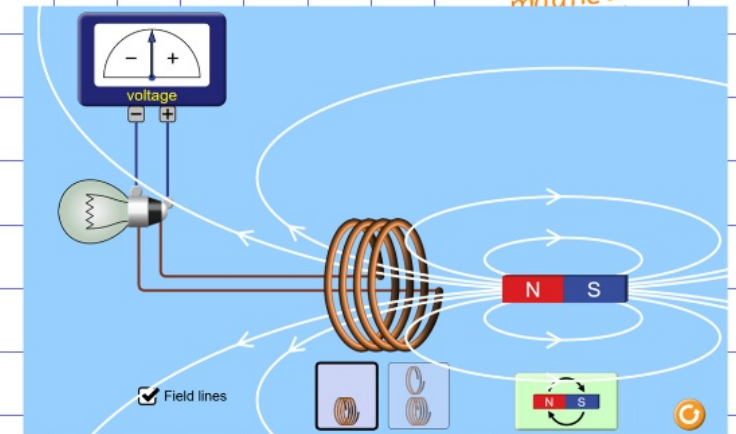


Voorbeeld:

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

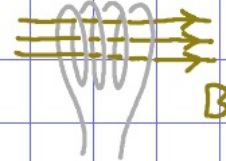
§ 10.4 Elektromagnetische inductie

elektriciteit door
magnetisme!



Voorbeeld: Bereken de (maximale) magnetische flux van het aardmagnetisch veld door een enkele wikkeling van een spoel met een oppervlakte van de doorsnede van $20,0 \text{ cm}^2$.

17. De "hoeveelheid magneetveld" die door een spoel gaat heet de **magnetische flux**:



magnetische flux (Wb) → $\Phi = B \cdot A \leftarrow \text{oppervlakte (m}^2\text{)}$
 $\uparrow$
 mag. veld (T)

Echter, alleen de **component** van het magneetveld die **loodrecht staat** op de spoel telt mee in de berekening van de flux:

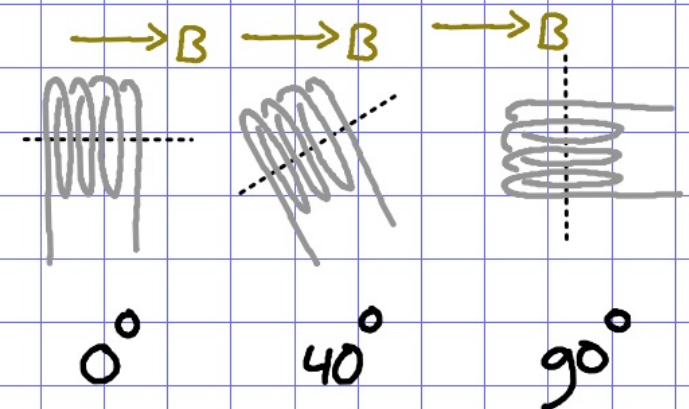
$$\Phi = B_{\perp} \cdot A$$

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.4 Elektromagnetische inductie

elektriciteit door magnetisme!

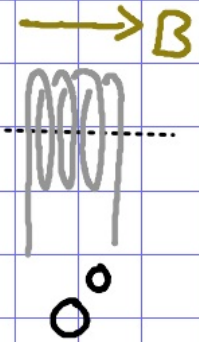
Bord oefening 9: Een spoel met een diameter van 3,6 cm bevindt zich in een magneetveld met een sterkte van 0,50 T. Reken uit wat de magnetische flux door de spoel is als de hoek tussen de as door de spoel en het magneetveld is: a) 0° b) 40° c) 90° .



Bord oefening 9:

$$A = \pi \cdot r^2 = 3,14 \cdot (0,018 \text{ m})^2$$

$$A = 0,0102 \text{ m}^2$$



$$\Phi = B \cdot A$$

$$= 0,50 \text{ T} \cdot 0,0102 \text{ m}^2$$

$$= 5,1 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$$

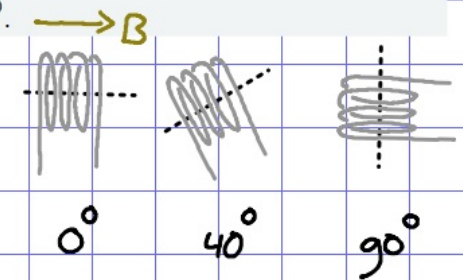
elektriciteit door
magnetisme!

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.4 Elektromagnetische inductie

Bord oefening 9: Een spoel met een diameter van 3,6 cm bevindt zich in een magnetisch veld met een sterkte van 0,50 T. Reken uit wat de magnetische flux door de spoel is als de hoek tussen de as door de spoel en het magnetisch veld is:

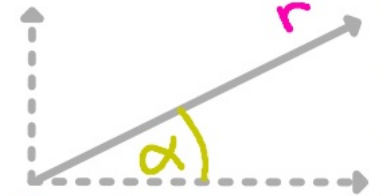
a) 0° b) 40° c) 90° .



HERHALING GONIOMETRIE

$y = r \cdot \sin \alpha$
overstaande
component van r
t.o.v. α

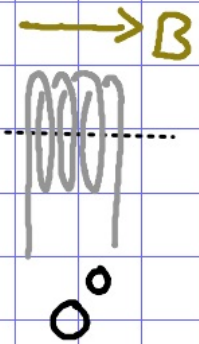
aanliggende
component van r t.o.v. α $x = r \cdot \cos \alpha$



Bord oefening 9:

$$A = \pi \cdot r^2 = 3,14 \cdot (0,018 \text{ m})^2$$

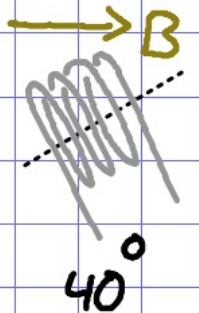
$$A = 0,0102 \text{ m}^2$$



$$\Phi = B \cdot A$$

$$= 0,50 \text{ T} \cdot 0,0102 \text{ m}^2$$

$$= 5,1 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$$



$$\Phi = B \cdot A \cdot \cos \alpha$$

$$= 0,50 \text{ T} \cdot 0,0102 \text{ m}^2 \cdot \cos 40^\circ$$

$$= 3,9 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$$

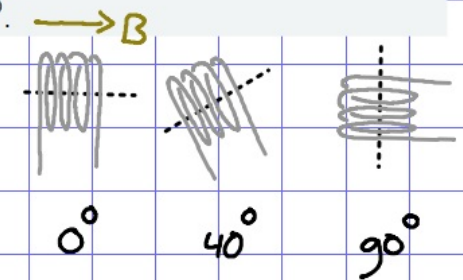
elektriciteit door
magnetisme!

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.4 Elektromagnetische inductie

Bord oefening 9: Een spoel met een diameter van 3,6 cm bevindt zich in een magneetveld met een sterkte van 0,50 T. Reken uit wat de magnetische flux door de spoel is als de hoek tussen de as door de spoel en het magneetveld is:

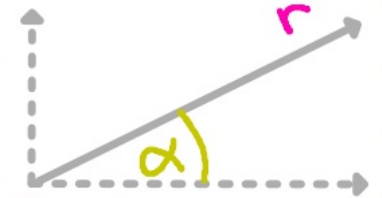
a) 0° b) 40° c) 90°.



HERHALING GONIOMETRIE

$y = r \cdot \sin \alpha$
overstaande
component van r
t.o.v. α

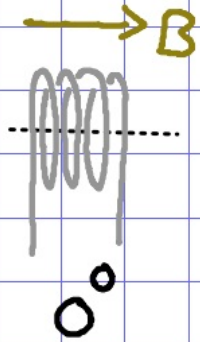
aanliggende
component van r t.o.v. α $x = r \cdot \cos \alpha$



Bord oefening 9:

$$A = \pi \cdot r^2 = 3,14 \cdot (0,018 \text{ m})^2$$

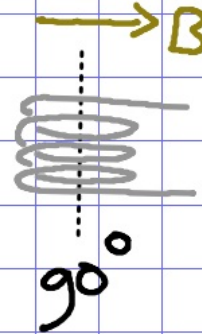
$$A = 0,0102 \text{ m}^2$$



$$\begin{aligned}\Phi &= B \cdot A \\ &= 0,50 \text{ T} \cdot 0,0102 \text{ m}^2 \\ &= 5,1 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\Phi &= B \cdot A \cdot \cos \alpha \\ &= 0,50 \text{ T} \cdot 0,0102 \text{ m}^2 \cdot \cos 40^\circ \\ &= 3,9 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\Phi &= B \cdot A \cdot \cos \alpha \\ &= 0,50 \text{ T} \cdot 0,0102 \text{ m}^2 \cdot \cos 90^\circ \\ &= 0\end{aligned}$$

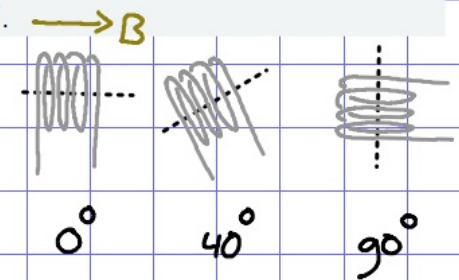
elektriciteit door
magnetisme!

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.4 Elektromagnetische inductie

Bord oefening 9: Een spoel met een diameter van 3,6 cm bevindt zich in een magneetveld met een sterkte van 0,50 T. Reken uit wat de magnetische flux door de spoel is als de hoek tussen de as door de spoel en het magneetveld is:

a) 0° b) 40° c) 90° .



HERHALING GONIOMETRIE



17(vervolg). Als de magnetische flux door een spoel **verandert in de tijd** ontstaat er een **inductiespanning** in de spoel:

$$U_{\text{ind}} = N \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Bordoefening 10:

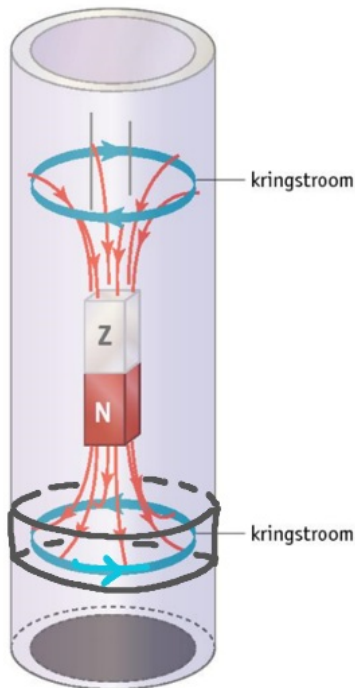
Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.4 Elektromagnetische inductie

*elektriciteit door
magnetisme!*

Bordoefening 10: Je schuift een magneet met een veldsterkte aan de noordpool van 0,50 T in 0,10 seconden van ver tot tegen de spoel aan. De spoel heeft 3600 wikkelingen en een dwarsdoorsnede van $1,6 \times 10^{-3} \text{ m}^2$. Hoe groot is de inductiespanning dan die over de spoel ontstaat?

18. Magnetisch remmen met wervelstromen.



▲ Figuur 10.56

EXTRA, Richting vd kringstroom bepalen

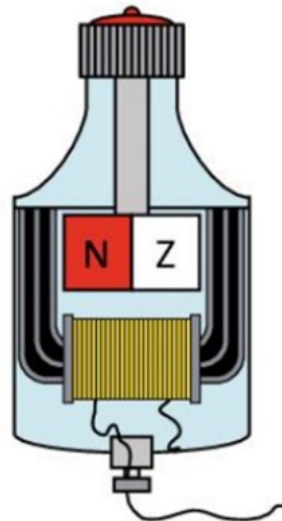
Door het aangegeven segmentje van de buis ontstaat een stroom die een magnetisch veld opwekt dat de **fluxverandering van de vallende magneet tegen gaat**.

Door de vallende magneet neemt de flux door dit segment van de buis op dit moment toe. De hierdoor opgewekte kringstroom wil dit tegengaan door zelf een magnetisch veld omhoog te genereren.

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.4 Elektromagnetische inductie

elektriciteit door magnetisme!



▲ **Figuur 10.50** Fietsdynamo

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

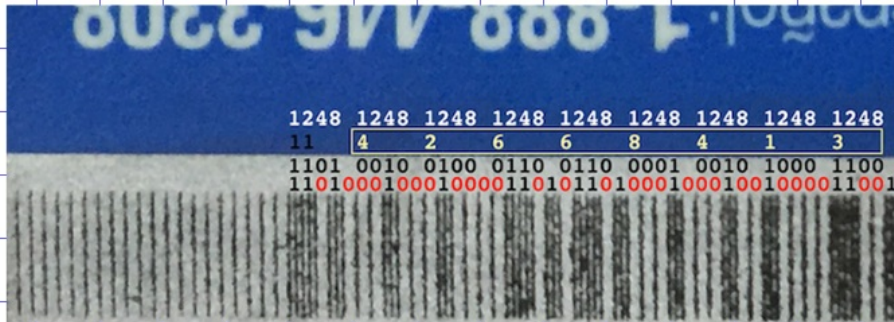
§ 10.4 Elektromagnetische inductie

Opdrachten

~~✗~~ Leg uit wat het verschil is tussen elektromagnetische inductie en de magnetische influentie.

40 a Noem drie factoren waar de spanning van een dynamo van afhangt.

b Levert een draaiende dynamo altijd stroom?



Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

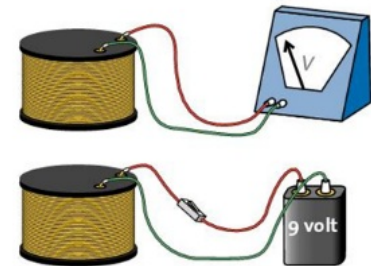
§ 10.4 Elektromagnetische inductie

- 41 Tot voor enkele jaren hadden bankpassen, creditcards, klantenkaarten e.d. een magnetische strip die informatie bevat. Als je ging betalen met zo'n pas moest je hem door een apparaat halen. Dan werd de informatie gelezen en gecontroleerd.
- a Hoe is de informatie in de magneetstrip gezet?
 - b Wat zal er in het leesapparaat (waar je de pas doorheen haalt) zitten? Leg uit wat er gebeurt als je de pas er doorheen haalt.
 - c Waarom moest je de pas er niet te langzaam doorheen halen?
 - d De magneetstrip is inmiddels vrijwel overal vervangen door chips (in bankpassen en creditcards) en streepjescodes in klantenkaarten. Bedenk twee redenen daarvoor.

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

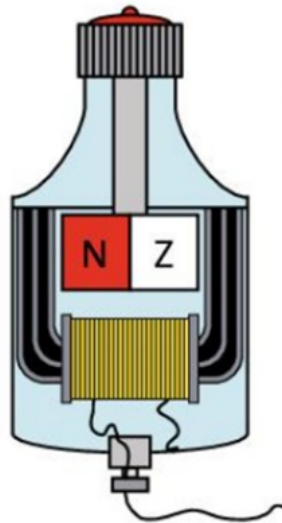
§ 10.4 Elektromagnetische inductie

- 42 Twee spoelen staan boven elkaar zoals in figuur 10.49. De onderste is via een schakelaar op een batterij aangesloten.

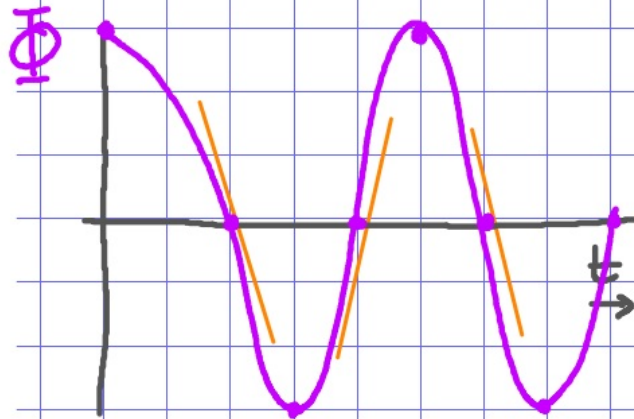


▲ Figuur 10.49

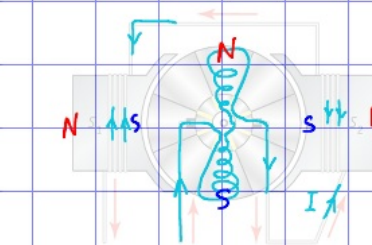
Geef twee manieren om de spanningsmeter uit te laten slaan, met uitleg. Je mag alleen de getekende spullen gebruiken.



▲ **Figuur 10.50** Fietsdynamo



$$U_{ind} = N \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$



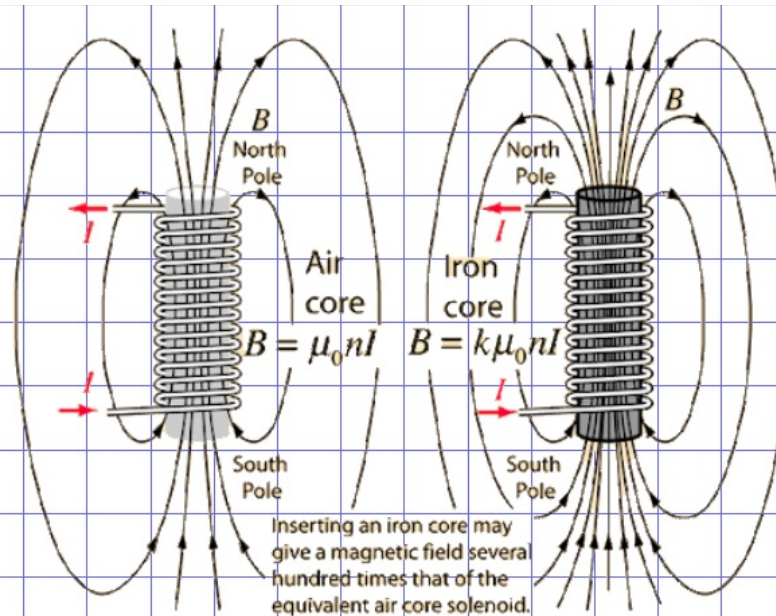
▲ **Figuur 10.46**

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

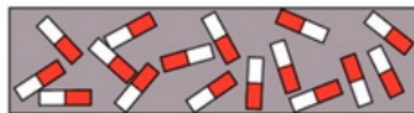
§ 10.4 Elektromagnetische inductie

Opdrachten

- 43 a** Waarom geven dynamo's en microfoons altijd wisselspanning?
- b** Twee fietsdynamo's kunnen bij dezelfde snelheid toch een verschillende spanning geven. Geef twee mogelijke oorzaken daarvoor.
- c** De magneet in een fietsdynamo heeft meestal zes of acht polen. Leg uit dat een dynamo met meer polen bij dezelfde snelheid meer spanning geeft dan een met twee polen (mits de polen even sterk zijn).
- d** Je zou een fietscomputer kunnen maken die gebruik maakt van de spanning van je dynamo. Er zijn dan twee manieren om uit die spanning de snelheid af te leiden. Leg dat uit.
- 44 a** Met een microfoon wordt afwisselend een hoge en een lage toon opgenomen. Bij beide tonen trilt het spoeltje met dezelfde amplitude. Bij welke toon ontstaat de hoogste wisselspanning of maakt dat niet uit? Verklaar je antwoord.
- b** In de praktijk is een dynamische microfoon voor heel hoge tonen minder gevoelig dan voor lagere. Geef ook daar een mogelijke verklaring voor.



Magneet: de meeste elementaire magneetjes wijzen in dezelfde richting.



Niet-gemagnetiseerd ijzer: de meeste elementaire magneetjes zitten kriskras door elkaar.

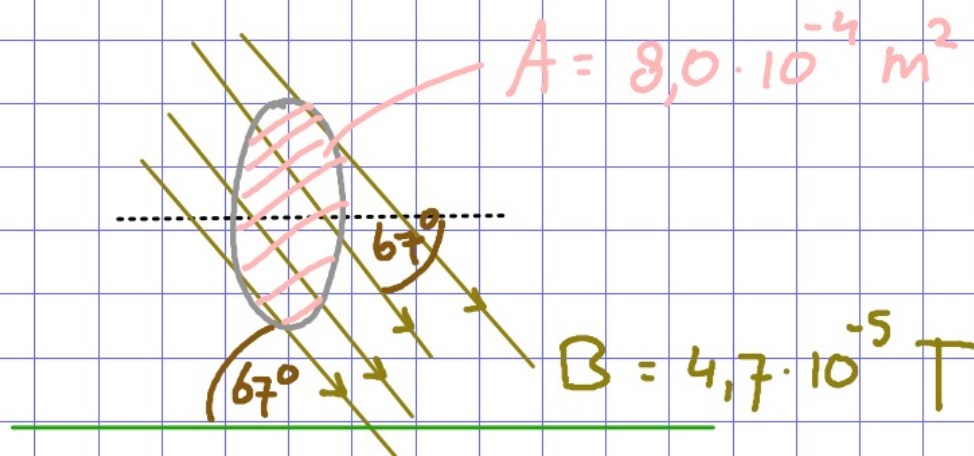
▲ **Figuur 10.8** Elementaire magneetjes

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.4 Elektromagnetische inductie

- 45 Leg uit dat de magnetische inductie in plaats van in tesla ook kan worden aangegeven in Wb/m^2 .
- 46 Leg met de formule van Faraday uit dat de inductiespanning groter is als de spoel een kern heeft (als alle andere omstandigheden gelijk zijn).
- 47 Je brillenglas heeft een oppervlakte van $8,0 \text{ cm}^2$. Er omheen zit een metalen montuur dat niet gesloten is. Het magneetveld van de aarde heeft een sterkte van $4,7 \cdot 10^{-5} \text{ T}$ naar het noorden gericht, onder een hoek van 67° met de grond.
 - a Bereken de flux door een brillenglas als je horizontaal naar het noorden kijkt.
 - b Hoe groot is de flux als je precies naar het oosten kijkt? Leg uit.
 - c Bereken de inductiespanning in je montuur als je je hoofd in $0,50 \text{ s}$ van het noorden naar het oosten draait.
 - d Loopt er dan ook inductiestroom? Leg uit.

47



naar het noorden kijken:

$$\Phi = B_{\perp} A = B \cdot A \cdot \cos \alpha = 1,5 \cdot 10^{-8} \text{ Wb}$$

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.4 Elektromagnetische inductie

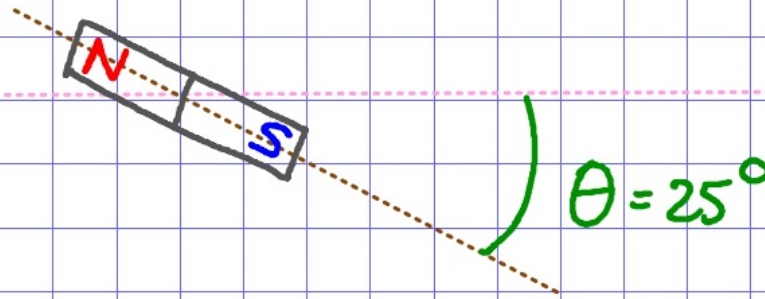
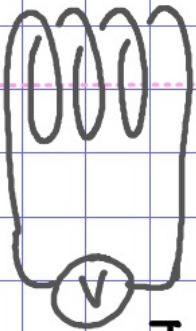
- 45 Leg uit dat de magnetische inductie in plaats van in tesla ook kan worden aangegeven in Wb/m^2 .
- 46 Leg met de formule van Faraday uit dat de inductiespanning groter is als de spoel een kern heeft (als alle andere omstandigheden gelijk zijn).
- 47 Je brillenglas heeft een oppervlakte van $8,0 \text{ cm}^2$. Er omheen zit een metalen montuur dat niet gesloten is. Het magneetveld van de aarde heeft een sterkte van $4,7 \cdot 10^{-5} \text{ T}$ naar het noorden gericht, onder een hoek van 67° met de grond.
- Bereken de flux door een brillenglas als je horizontaal naar het noorden kijkt.
 - Hoe groot is de flux als je precies naar het oosten kijkt? Leg uit.
 - Bereken de inductiespanning in je montuur als je je hoofd in $0,50 \text{ s}$ van het noorden naar het oosten draait.
 - Loopt er dan ook inductiestroom? Leg uit.

(48)

$$a. \Phi = A \cdot B = 0,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 0,020 \text{ T} = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ Wb}$$

$$b. U_{\text{ind}} = N \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = 100 \cdot \frac{1,0 \cdot 10^{-6}}{0,0030} = 3,3 \cdot 10^{-2} \text{ V}$$

c.



$$U_{\text{ind}} = N \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = N \cdot \frac{\Delta(A \cdot B \cdot \cos \theta)}{\Delta t} = 100 \cdot \frac{0,50 \cdot 10^{-4} \cdot 0,020 \cdot \cos(25^\circ)}{0,0030} = 3,0 \cdot 10^{-2} \text{ V}$$

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.4 Elektromagnetische inductie

48 Een spoeltje heeft 100 windingen, elk met een oppervlakte van $0,50 \text{ cm}^2$. Een magneet beweegt recht naar het spoeltje toe.

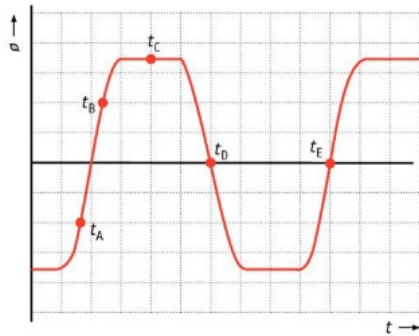
Daardoor neemt de magnetische inductie in $0,0030 \text{ s}$ toe van nul tot $0,020 \text{ T}$, loodrecht op de windingen van het spoeltje.

a Bereken de flux door één winding als de veldsterkte maximaal is.

b Bereken de (gemiddelde) inductiespanning in het spoeltje.

c Het magneetje beweegt nu in dezelfde tijd schuin naar het spoeltje toe. De hoek tussen de magneet en de as van het spoeltje is 25° . Bereken hoe groot de gemiddelde inductiespanning nu is. Maak eerst een schets.

49 In figuur 10.53 zie je hoe de flux door de spoel van een fietsdynamo verloopt als de magneet draait.



▲ Figuur 10.53

Als de flux van teken verandert dan keert de richting van het magneetveld door de spoel om.

a Wat is juist?

- ☒ A De inductiespanning op t_B is even groot als de spanning op t_A maar tegengesteld.
- ☒ B De inductiespanning op tijdstip t_C is groter dan op t_B .
- ☒ C De inductiespanning op tijdstip t_C is nul.
- ☒ D De inductiespanning op tijdstip t_D is evenredig met het hellingsgetal van de raaklijn.
- ☒ E De inductiespanning op tijdstip t_E is maximaal.

b Waarom is de spanning van deze dynamo soms even nul?

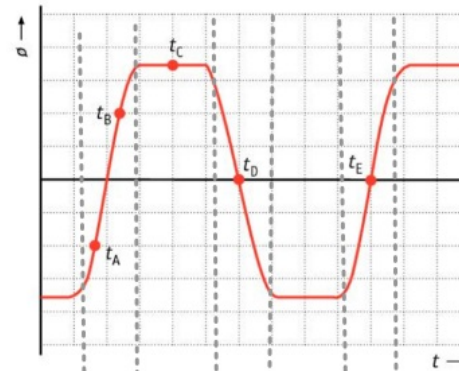
c Neem de grafiek ruwweg over en schets recht eronder het verloop van de inductiespanning. Teken eerst waar de inductiespanning nul is.

d Schets met een andere kleur in beide grafieken hoe ze veranderen als de dynamo twee keer zo snel gaat draaien.

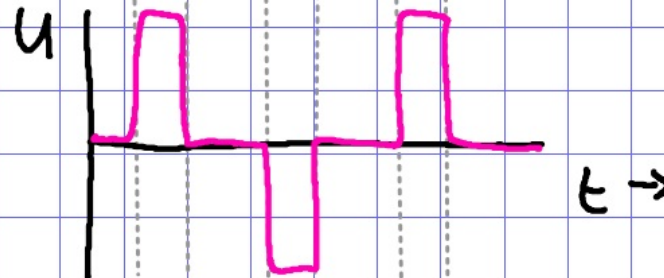
49
$$U_{ind} = N \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.4 Elektromagnetische inductie

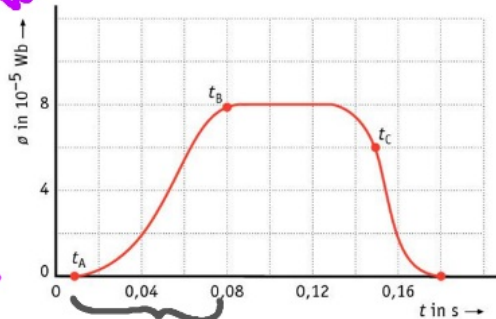


▲ Figuur 10.53



50 In figuur 10.54 zie je hoe de flux in een spoel verloopt als er een magneet doorheen valt. De spoel heeft 60 windingen.

$$\Delta \Phi = 80 \cdot 10^{-5} \text{ Wb}$$



▲ Figuur 10.54

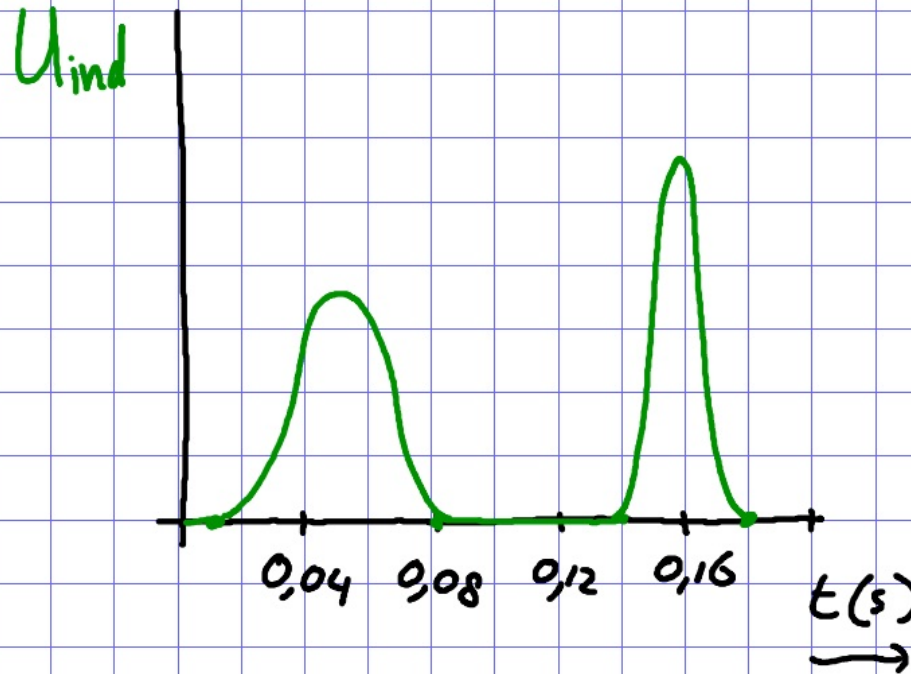
- Na 0,08 seconde is de flux enige tijd constant. Hoe zou dat komen?
- Waardoor neemt de flux op het eind sneller af dan dat hij in het begin toeneemt?
- Bepaal uit het diagram de (gemiddelde) inductiespanning tussen t_A en t_B .
- Bepaal ook de inductiespanning op het tijdstip t_C .
- Schets het verloop van de inductiespanning dat bij deze grafiek hoort.
- Stel dat figuur 10.54 een plaatsgrafiek was. Hoe zou dan de bijbehorende snelheidsgrafiek eruit zien?

51 Je wilt dat een spoel een constante inductiespanning geeft.

- Schets in een (Φ, t) -grafiek hoe de flux in de spoel dan moet verlopen.
- Waarom is het onmogelijk om met een spoel langdurig een constante spanning op te wekken?

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.4 Elektromagnetische inductie

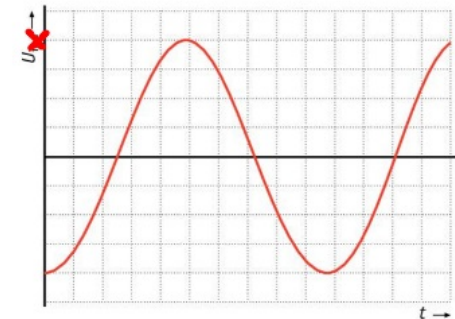


Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.4 Elektromagnetische inductie

52 Twee spoelen liggen boven op elkaar, met één ijzeren kern door beide spoelen. Op de bovenste spoel is een lampje aangesloten. De onderste spoel wordt aangesloten op een wisselspanningsbron. Het lampje gaat dan branden.

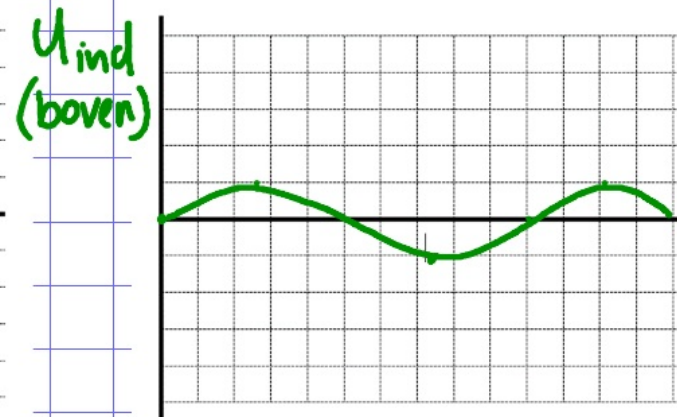
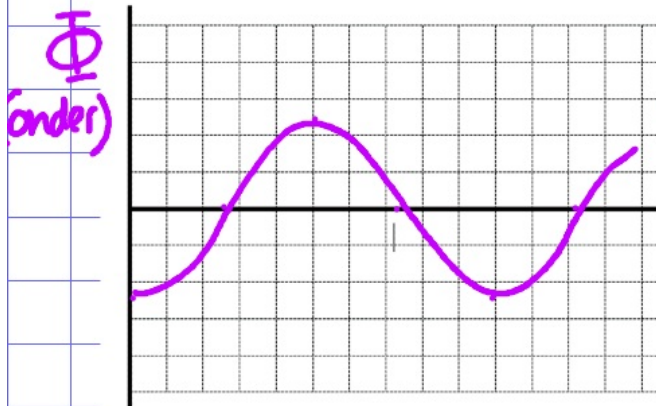
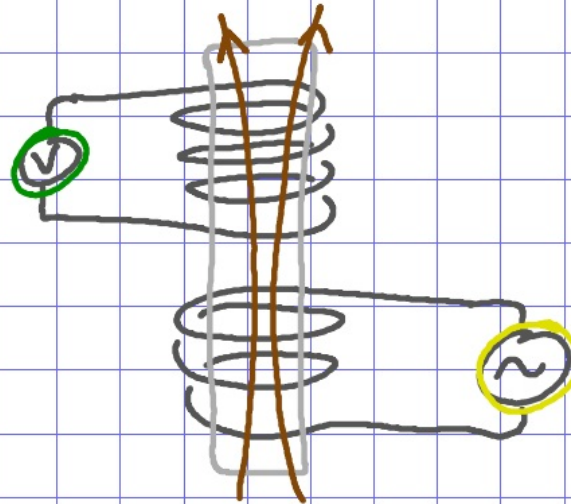
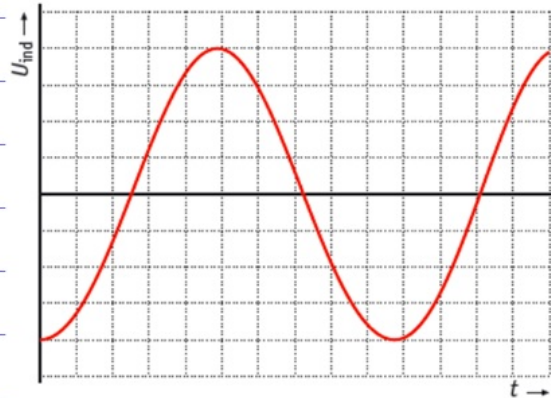
- Leg uit waarom er over de bovenste spoel een wisselspanning ontstaat.
- In figuur 10.55 zie je het verloop van de spanning in de onderste spoel.



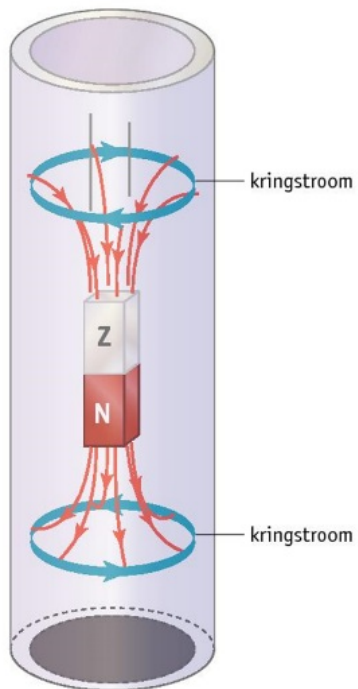
▲ Figuur 10.55

Dat is ook weergegeven in de eerste grafiek op het werkblad. Schets in het tweede diagram het verloop van de magnetische flux door beide spoelen.

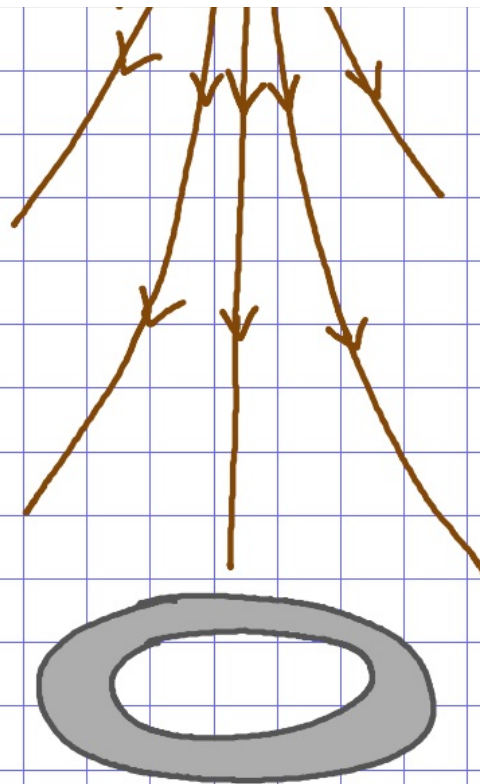
- Schets in het derde diagram het verloop van de inductiespanning in de bovenste spoel.
- Welke energieomzettingen vinden er bij deze proef achtereenvolgens plaats?



- 53 Een staafmagneet valt met de zuidpool naar beneden door een metalen ring.
- a Maak een schets en geef daarin aan in welke richting de inductiestroom loopt als de magneet vlak boven de ring is. Leg uit hoe je dat weet.
 - b Leg ook uit dat de stroom de andere kant op loopt als de magneet vlak onder de ring is.
 - c En als de magneet precies midden in de ring is?

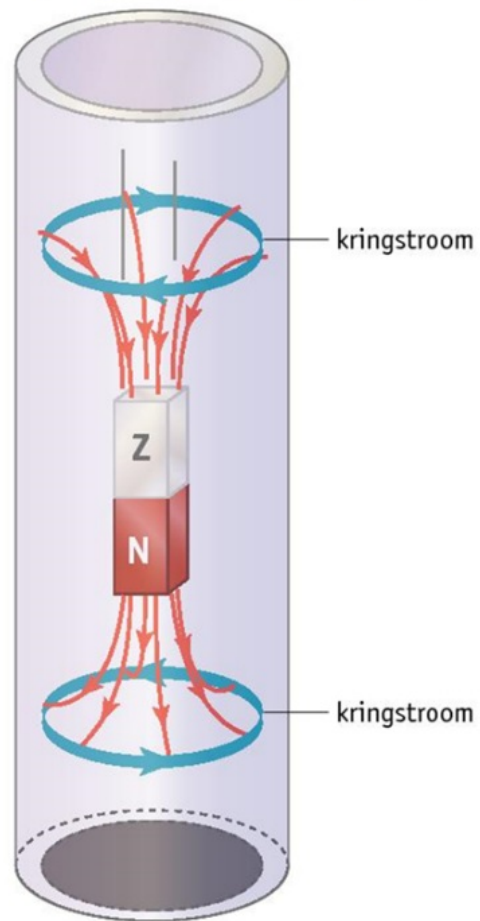


▲ Figuur 10.56



Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.4 Elektromagnetische inductie



▲ **Figuur 10.56**

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.4 Elektromagnetische inductie

- 54** In figuur 10.56 wordt een vallende magneet in een metalen buis afgeremd door inductiestromen.
- a** Waarom kan de magneet onmogelijk versneld worden door inductiestromen?
 - b** Leg met behulp van de rechterhandregel uit dat de bovenste kringstroom in figuur 10.56 de vallende magneet afremt.
 - c** Doe hetzelfde voor de onderste kringstroom.

10.4 Elektromagnetische inductie

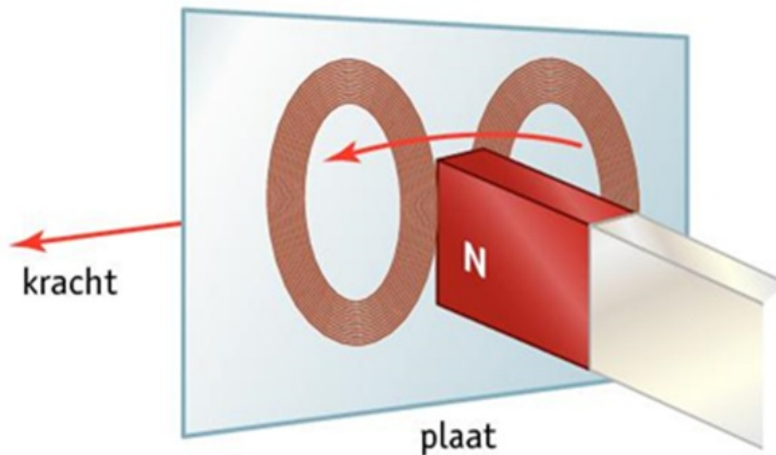
⚙ Dit luchtkusservoertuig wordt aangedreven door een draaiende magneet. De magneet draait vlakbij een metalen plaat op het voertuig, maar raakt hem niet.

Deze manier van aandrijven is mogelijk doordat de plaat:

- A een heel ruw oppervlak heeft.
- B van ijzer is.
- C geleidend is.
- D uit heel veel kleine magneetjes bestaat.



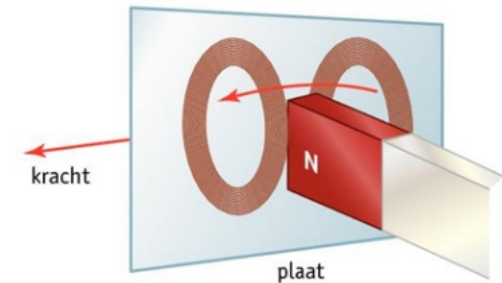
▲ Figuur 10.47



▲ Figuur 10.57

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

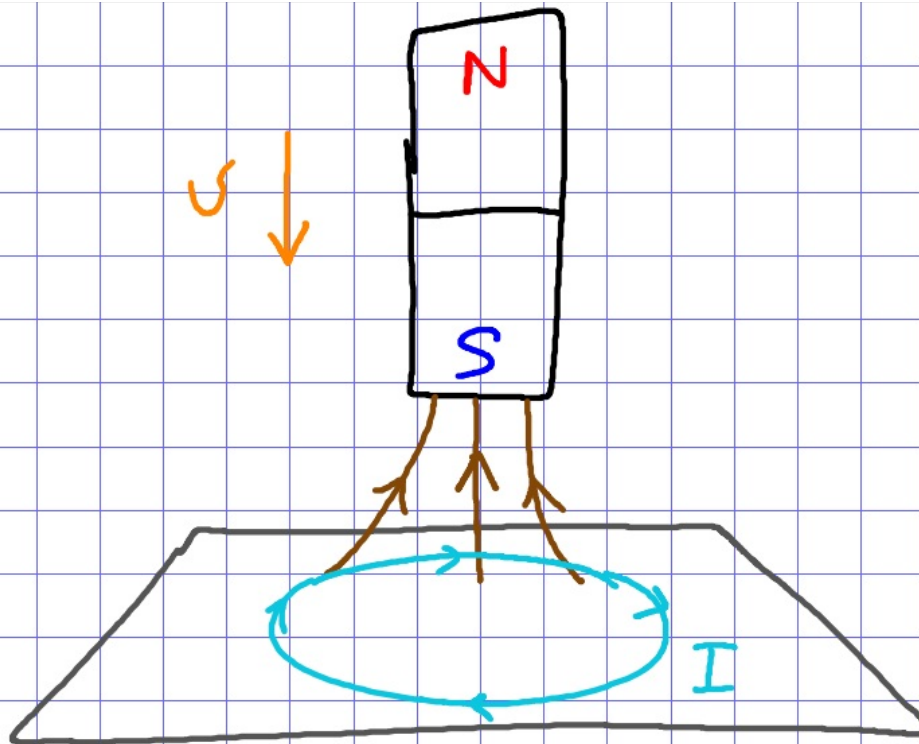
§ 10.4 Elektromagnetische inductie



▲ Figuur 10.57

55 In figuur 10.47 wordt een aluminiumplaat op een luchtkusservoertuig weggeduwd door een draaiende magneet. In figuur 10.57 zie je de aluminiumplaat met vlak daarvoor een noordpool die naar links beweegt. In de plaat ontstaan dan kringstromen zoals getekend is in bruin. De plaat ondervindt een kracht in de aangegeven richting.

- a Maak een schets van de situatie en geef daarin de draairichting van de kringstromen aan. Leg uit hoe je daaraan komt.
- b Tomas gelooft niet dat er zomaar stromen in het aluminium ontstaan. Bedenk een proef om aan te tonen dat de plaat zonder kringstromen niet aangedreven wordt.

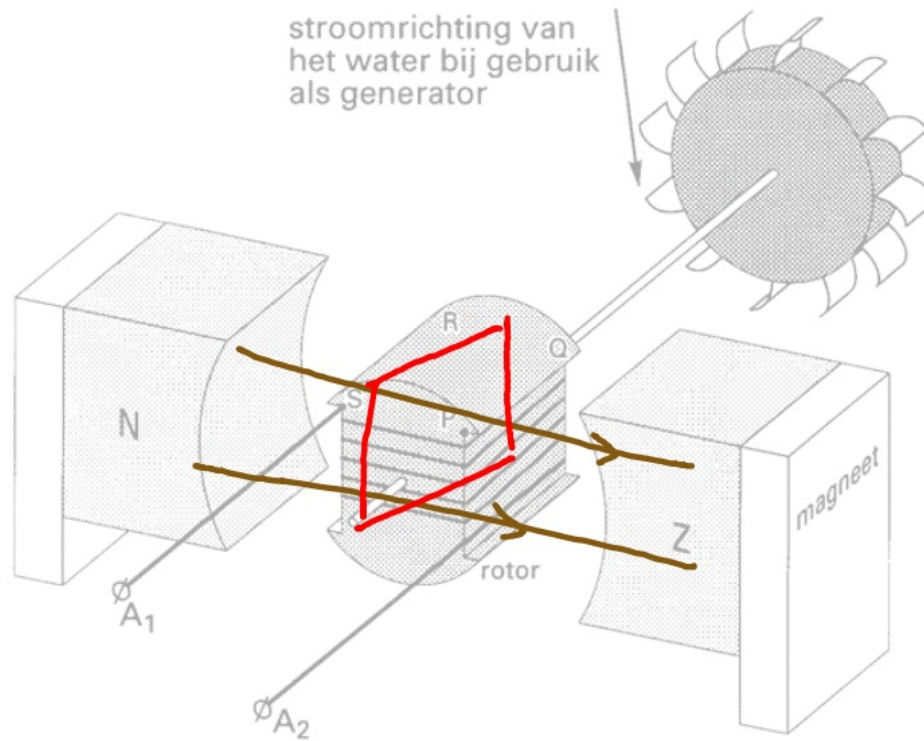


Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.4 Elektromagnetische inductie

- 56 Een magneetje dat op een metalen plaat valt, wordt ook afgeremd door inductiestromen in het metaal.
- a Teken een metalen plaatje in schuin bovenaanzicht, en daarboven een schijfmagneetje dat valt met de zuidpool naar beneden.
 - b Teken in welke richting de kringstroom in het metaal moet lopen om het magneetje af te remmen. Leg uit.
 - c In een supergeleider kan de stroom onbeperkt toenemen omdat deze helemaal geen weerstand ondervindt. Wat zal er gebeuren als je het magneetje boven een supergeleidende metaalplaatje loslaat? Leg ook dat uit.
- 57 Wat zou er gebeuren als het 'tovertolletje' van figuur 10.58 precies in het midden zou gaan staan tollen?

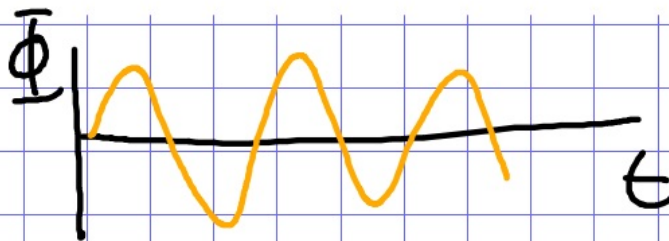
figuur 4

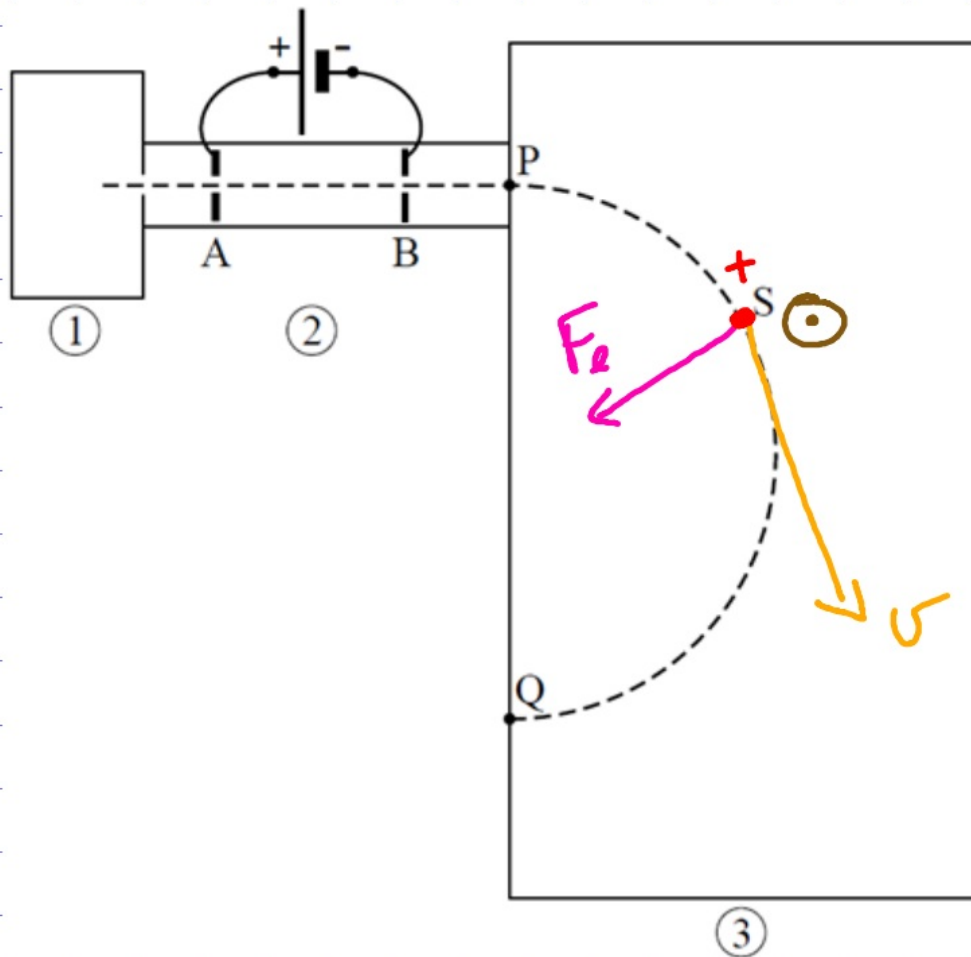


Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.4 Elektromagnetische inductie

elektriciteit door
magnetisme!



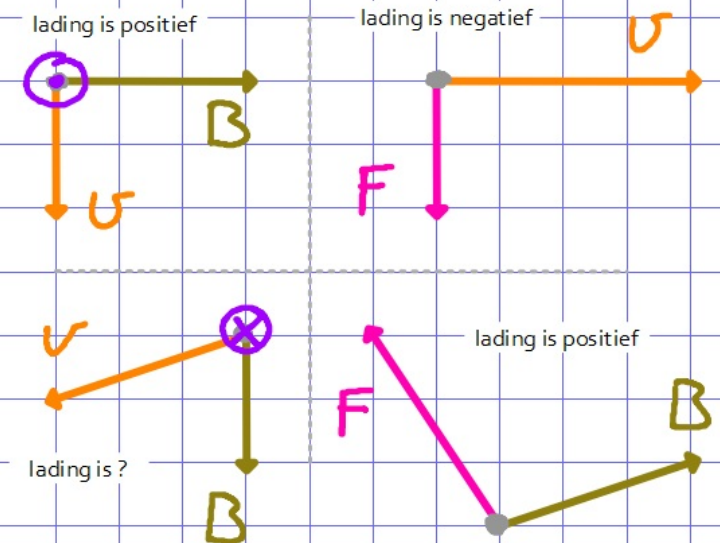


Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

§ 10.3 De Lorentzkracht

*kracht door
elektriciteit en
magnetisme!*

Bordtoefening 7: Bepaal in onderstaande situaties de richting of het teken van de onbekende grootte (snelheid, magneetveld, lorentzkracht of lading[+/-]).



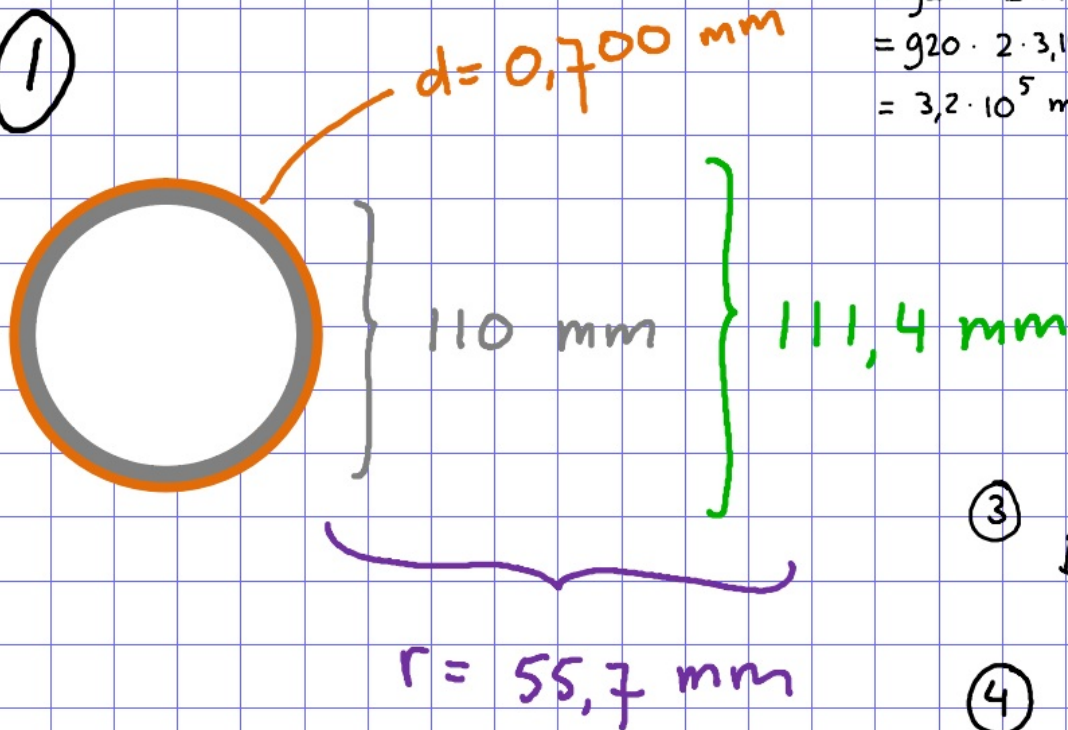
Hoofdstuk 10 Elektromagnetisme

- Toepassingen -

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

Toepassingen

①



② $920 \cdot 0,700 \text{ mm} = 644 \text{ mm}$

① $\ell = 920 \times \text{omtrek}$
 $= 920 \cdot 2\pi r$
 $= 920 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 55,7 \text{ mm}$
 $= 3,2 \cdot 10^5 \text{ mm}$

③ $B = \mu_0 \cdot \frac{N \cdot I}{\ell} = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{920 \cdot 0,86}{0,644 \text{ m}} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ T}$



Opgave 1 Een zelfbouwspoel

John heeft voor zijn profielwerkstuk een onderzoek gedaan over magnetisme. Voor één van zijn experimenten heeft hij zelf een grote spoel om een pvc afvoerpijp gewikkeld. In figuur 10.59 zie je een tekening van zijn spoel. De tekening is niet op schaal.

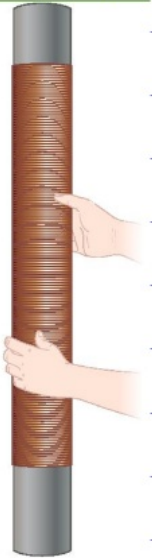
De spoel heeft 920 windingen van geïsoleerd koperdraad met een dikte van 0,700 mm. De buitendiameter van de afvoerpijp is 110 mm.

- 1 Toon aan dat de lengte van de koperdraad 320 m is.
- 2 Toon aan dat de lengte van de koperen spoel 0,644 m is als je aanneemt dat de windingen strak tegen elkaar aan liggen.

John sluit de spoel aan op een accu. Door de spoel loopt dan een gelijkstroom van 0,86 A. Voor de magnetische inductie B in een lange rechte spoel geldt de formule $B = \mu_0 \cdot \frac{N \cdot I}{\ell}$ (zie ook opdracht 22).

- 3 Bereken de grootte van de magnetische inductie B in de spoel.
- 4 De spoel moet zijn noordpool aan de bovenkant krijgen. Als je van boven op de spoel kijkt, loopt de stroom dan met de wijzers van de klok mee of juist er tegen in? Licht je antwoord toe.

- 5 Bereken de spanning die John nodig heeft om die stroom van 0,86 A door de spoel te sturen. Zoek de soortelijke weerstand van koper op in Binas.



▲ Figuur 10.59

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

Toepassingen

$$\textcircled{5} \quad A = \pi \cdot r^2 = 3,14 \cdot \left(\frac{0,700 \text{ mm}}{2} \right)^2$$
$$= 0,3847 \text{ mm}^2 = 3,847 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2$$

$$R = \frac{\rho \cdot \ell}{A} = \frac{17 \cdot 10^{-9} \cdot 3,2 \cdot 10^2 \text{ m}}{3,847 \cdot 10^{-7}} = 14 \, \Omega$$

$$U = I \cdot R = 0,86 \text{ A} \cdot 14 \, \Omega = 12 \text{ V}$$

Opgave 1 Een zelfbouwspoel

John heeft voor zijn profielwerkstuk een onderzoek gedaan over magnetisme. Voor één van zijn experimenten heeft hij zelf een grote spoel om een pvc afvoerpijp gewikkeld. In figuur 10.59 zie je een tekening van zijn spoel. De tekening is niet op schaal.

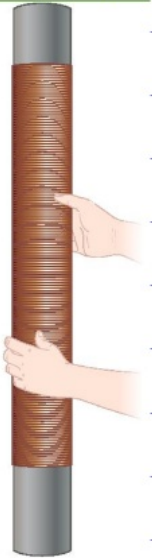
De spoel heeft 920 windingen van geïsoleerd koperdraad met een dikte van 0,700 mm. De buitendiameter van de afvoerpijp is 110 mm.

- 1 Toon aan dat de lengte van de koperdraad 320 m is.
- 2 Toon aan dat de lengte van de koperen spoel 0,644 m is als je aanneemt dat de windingen strak tegen elkaar aan liggen.

John sluit de spoel aan op een accu. Door de spoel loopt dan een gelijkstroom van 0,86 A. Voor de magnetische inductie B in een lange rechte spoel geldt de formule $B = \mu_0 \frac{N \cdot I}{\ell}$ (zie ook opdracht 22).

- 3 Bereken de grootte van de magnetische inductie B in de spoel.
- 4 De spoel moet zijn noordpool aan de bovenkant krijgen. Als je van boven op de spoel kijkt, loopt de stroom dan met de wijzers van de klok mee of juist er tegen in? Licht je antwoord toe.

- 5 Bereken de spanning die John nodig heeft om die stroom van 0,86 A door de spoel te sturen. Zoek de soortelijke weerstand van koper op in *Binas*.

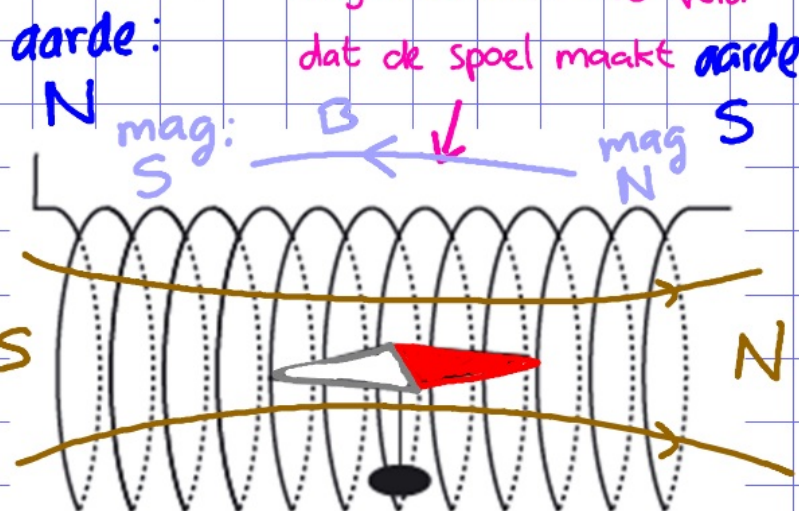
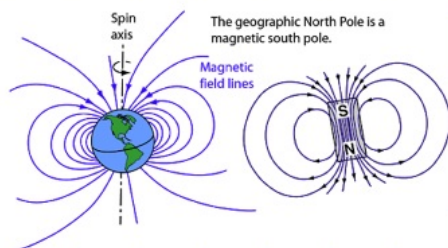


▲ Figuur 10.59

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

Toepassingen

LET OP: de noordpool van de aarde is een magnetische zuidpool!



magneetnaald heeft zich al gericht naar het veld dat de spoel maakt

$$⑧ \quad B = \mu_0 \cdot \frac{N \cdot I}{\ell} = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{1600 \cdot 2,2 \cdot 10^{-3}}{0,25 \text{ m}} = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ T}$$

Nieuw inzicht:

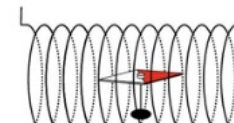
De kompasnaald bevindt zich bij aanvang van de proef in het externe magnetisch veld van de aarde, maar tijdens de proef in het interne magnetisch veld van de spoel.

Opgave 2 Het magneetveld van de aarde

Isabel wil de sterkte van het horizontale aardmagneetveld bepalen. Daarvoor gaat ze met een spoel proberen een precies even sterk maar tegengesteld veld te maken. Daarvan kan ze namelijk de sterkte uitrekenen.

De spoel heeft 1600 windingen en is 25 cm lang. Ze zet de spoel zo neer dat de linkerkant van de spoel naar het noorden wijst. Midden in de spoel plaatst zij een kompasnaaldje. Zie figuur 10.60.

Ze sluit de spoel aan op een regelbare spanningsbron. Vervolgens maakt ze de spanning langzaam groter. Bij een bepaalde stroomsterkte ziet ze ineens het naaldmagneetje omdraaien. In de tekening op het werkblad zie je hoe het naaldje dan staat.



▲ Figuur 10.60

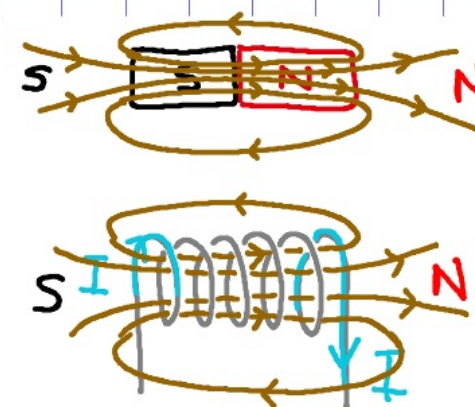
6 Teken op het werkblad enkele magnetische veldlijnen binnen de spoel in de juiste richting.

7 Bepaal de richting van de stroom in de spoel.

Op het moment dat het naaldmagneetje omdraait, is de stroomsterkte 2,2 mA.

8 Bereken de sterkte van de magnetische inductie in de spoel met de formule uit opgave 1.

9 Leg uit dat de berekende sterkte gelijk is aan de horizontale component van het aardmagneetveld.



Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

Toepassingen

12

magneetveld B in Q door I_p

$$B_Q = \mu_0 \cdot \frac{I}{2\pi \cdot r} = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{12 \text{ A}}{6,28 \cdot 0,04 \text{ m}}$$

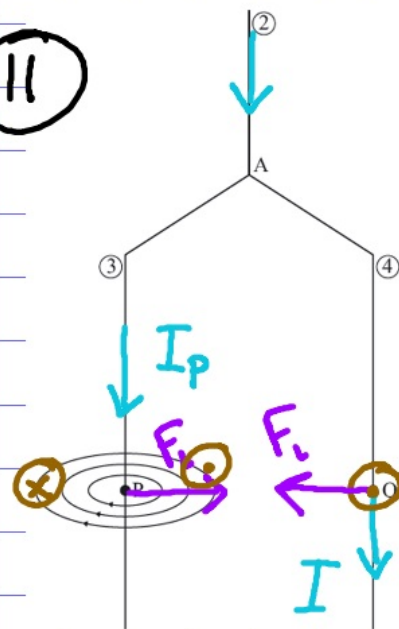
$$B_Q = 6,0 \cdot 10^{-5} \text{ T}$$

Lorentzkracht op Q door B door I_p

$$F_Q = B \cdot I \cdot l = 6,0 \cdot 10^{-5} \text{ T} \cdot 12 \text{ A} \cdot 0,50 \text{ m}$$

$$F_Q = 3,6 \cdot 10^{-4} \text{ N}$$

11



⊗ IN

⊙ UIT

Opgave 3 Evenwijdige stroomdraden (naar examen vwo 2013-II)

In figuur 10.61 zie je twee evenwijdige stroomdraden 3 en 4.

Op de draden zijn de punten P en Q aangegeven. Rondom beide stroomdraden afzonderlijk ontstaat een magneetveld. Dit veld is gedeeltelijk getekend rondom draad 3. Figuur 10.61 staat ook op het werkblad.

10 Bepaal de richting van de stroom in draad 3.

De stroomrichting in draad 4 is hetzelfde als in draad 3.

11 Voer de volgende opdrachten uit:

- Teken de richting van de stroomsterkte in punt Q.
- Teken de richting van het magneetveld van draad 3 in punt Q.
- Teken de richting van de Lorentzkracht in punt Q.
- Teken de richting van de Lorentzkracht in punt P.

Voor de sterkte van het magneetveld rondom een stroomvoerende draad geldt de formule:

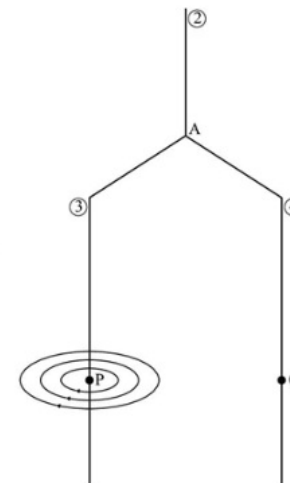
$$B = \mu_0 \frac{I}{2\pi r}$$

Hierin is:

- B de sterkte van het magneetveld (in T),
- μ_0 de magnetische permeabiliteit (in $\text{T m A}^{-1} = \text{H m}^{-1}$),
- I de stroomsterkte (in A),
- r de afstand tot de draad (in m).

De draden 3 en 4 staan verticaal opgesteld op een afstand van 4,0 cm van elkaar over een lengte van 50 cm. De stroomsterkte in elke draad is 12 A.

12 Bereken de grootte van de Lorentzkracht op draad 4.



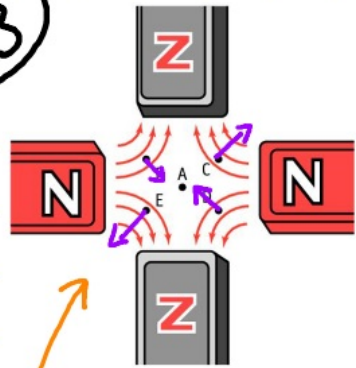
▲ Figuur 10.61



Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

Toepassingen

13

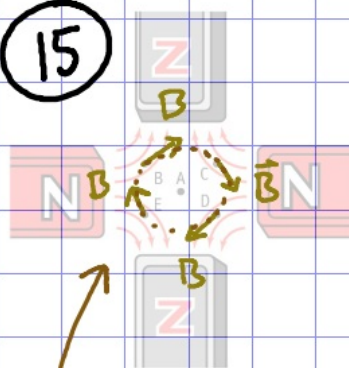


▲ Figuur 10.63

14

elektronen, vliegen
bord uit, dus: $\odot \vec{U}$

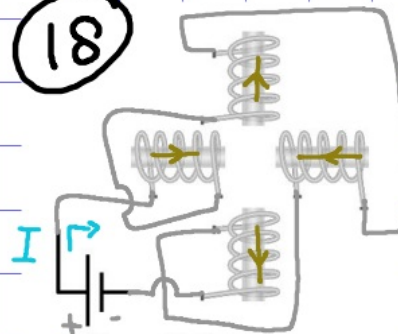
15



▲ Figuur 10.63

circulair B-veld
zou beter zijn

18



▲ Figuur 10.64

In figuur 10.63 zie je het veldlijnenpatroon van een quadrupool magneet. Als daar een bundel elektronen doorheen gestuurd wordt dan worden de elektronen afgebogen. Alleen precies in het midden, bij A, is de veldsterkte nul. Een deeltje precies door het midden gaat dus rechtdoor, net als bij een lens. De bundel elektronen komt recht van achter, precies loodrecht op de vier magneten.

13 Neem het veldlijnenpatroon over en teken daarin de richting waarin de elektronen worden afgebogen in de punten B, C, D en E. Geef er uitleg bij.

14 Worden de elektronen hierdoor echt naar één punt gebundeld?

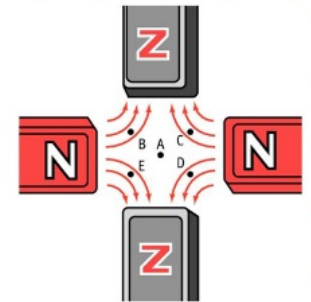
15 Schets hoe de magnetische veldlijnen zouden moeten lopen om alle elektronen in één keer in de juiste richting af te buigen.

16 Bestaat zo'n magneetveld? Zo ja, waar komt het dan voor? En waarom is dat veld toch niet geschikt om een elektronenbundel mee te focussen?

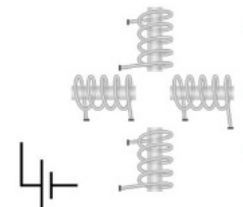
17 Het blijkt wel mogelijk te zijn om de elektronen op één punt te richten met twee quadrupool magneten. Hoe moet de tweede quadrupool magneet dan opgesteld worden?

In figuur 10.64 zie je vier elektromagneten en een spanningsbron.

18 Teken hoe je de vier spoelen moet aansluiten op de bron om hetzelfde veldlijnenpatroon te krijgen als in figuur 10.63. De spoelen moeten in serie staan.



▲ Figuur 10.63



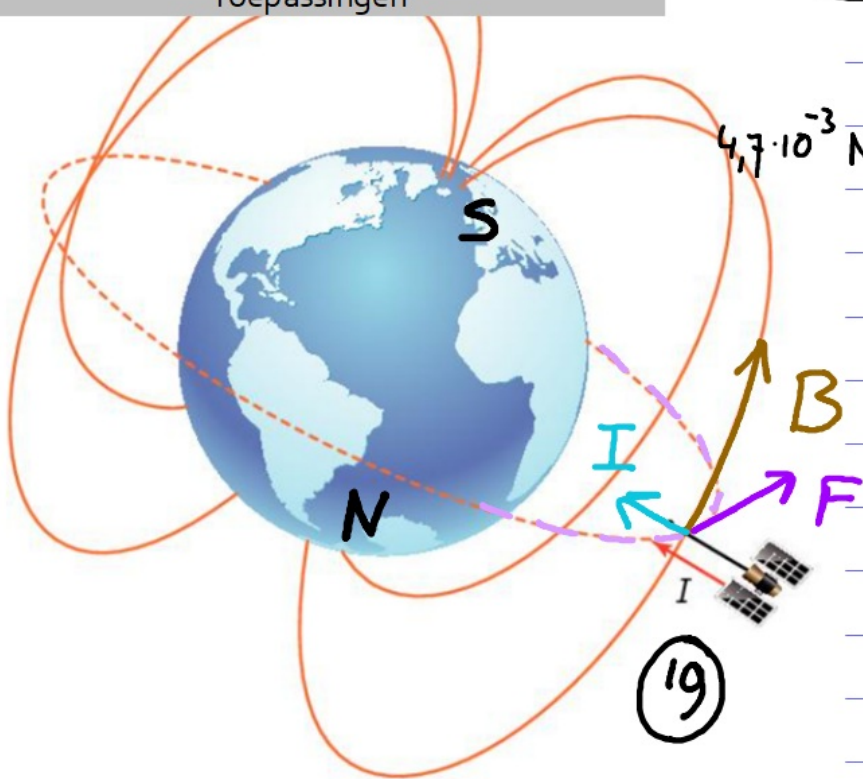
▲ Figuur 10.64

Denkvraag bij opg. 17:

"Wat schiet je er mee op om series van quadrupoolmagneten achter elkaar te zetten met telkens de polen omgewisseld bij elke volgende quadrupoolmagneet?"

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

Toepassingen



▲ Figuur 10.66

(20)

$$F_L = B \cdot I \cdot l$$

$$4,7 \cdot 10^{-3} \text{ N} = 8,4 \cdot 10^{-6} \cdot 1,1 \text{ A} \cdot l$$

$$l = 5,1 \cdot 10 \text{ m}$$

(19)

Opgave 5 Satelliet met tether (naar examen vwo 2011-II)

Een satelliet die door de buitenste lagen van de atmosfeer rondcirkelt, ondervindt een kleine wrijvingskracht. Als hij geen aandrijfmotor heeft, zal hij daardoor in een steeds lagere baan rond de aarde gaan cirkelen en uiteindelijk op de aarde neerstorten. Wetenschappers onderzoeken of het mogelijk is om een satelliet zonder brandstof op 400 km hoogte in zijn baan te houden met een zogenaamde tether. Een tether is een lange, elektrisch geïsoleerde metalen kabel die uit de satelliet richting aarde hangt. Onderaan de tether zit een metalen bol die lading uitwisselt met de ionosfeer. Zie figuur 10.65.



▲ Figuur 10.65

Figuur 10.66 geeft de positie weer van een satelliet met een tether in een baan om de aarde. Doordat de tether zich in het aardmagnetisch veld bevindt, ontstaat er een Lorentzkracht die de satelliet voortstuwt in zijn bewegingsrichting.

De richting van de stroom in de tether is aangegeven. Figuur 10.66 staat vergroot weergegeven op de uitwerkbijlage.

- 19 Bereken in welke richting de satelliet in figuur 10.66 beweegt, in oostelijke of in westelijke richting. Teken daartoe op de uitwerkbijlage de richtingen van het magnetisch veld van de aarde en van de Lorentzkracht op de tether.

De weerstandskracht op de satelliet bedraagt 4,7 mN.

De sterkte van het magnetisch veld van de aarde bij de tether is 8,4 μT .

De stroomsterkte in de tether is 1,1 A.

- 20 Bereken de lengte die de tether moet hebben om de satelliet op gelijke hoogte met constante snelheid te laten bewegen.

▲ Figuur 10.66



Er bestaan ook zogenaamde 'polaire' satellieten waarbij de baan over de noord- en zuidpool van de aarde loopt.

- 21 Leg uit of deze manier van voortstuwten met een tether ook bij polaire satellieten kan werken.

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

Toepassingen

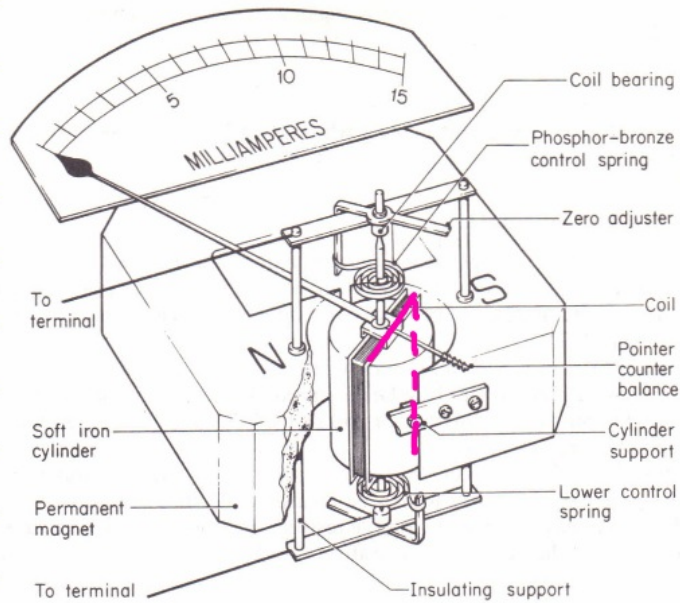
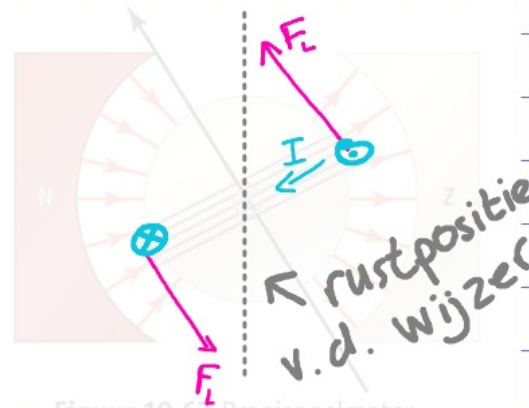
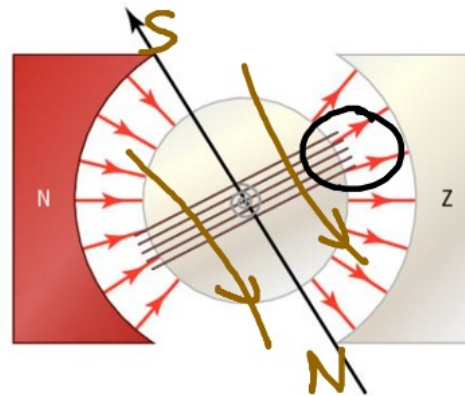


Fig. 39.1. Details of moving-coil milliammeter



▲ Figuur 10.67 Draaispoelmeter



▲ Figuur 10.67 Draaispoelmeter

Opgave 6 Een stroommeter

In figuur 10.67 is een gedeelte van een stroommeter schematisch getekend. Je ziet een spoeltje dat kan draaien om een ijzeren kern, met een wijzer eraan. Het geheel bevindt zich tussen de polen van een hoefijzermagneet. Er loopt stroom door het spoeltje, waardoor de wijzer naar links uitslaat.

22 Wat gebeurt er in het ijzeren cilindertje zodra het tussen de magneetpolen komt? Geef kort toelichting.

23 Welke twee krachten houden elkaar in evenwicht in de getekende situatie?

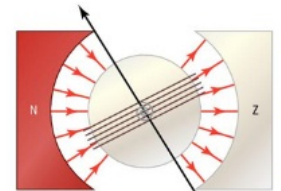
24 Leg uit dat er geen lorentzkracht werkt op het gedeelte van het spoeltje dat je in de tekening ziet.

25 Teken op het werkblad de twee lorentzkrachten die op de zijkanten van het spoeltje werken.

26 Bepaal in welke richting de stroom door het spoeltje loopt en teken dat op het werkblad.

De zijkant van het spoeltje is 4,0 cm lang (de richting loodrecht op het papier). Er loopt een stroom van 12 mA. De magnetische inductie tussen de polen van de hoefijzermagneet bedraagt 0,065 T. Het spoeltje heeft 150 windingen.

27 Bereken de lorentzkracht op de zijkant van het spoeltje.



▲ Figuur 10.67 Draaispoelmeter

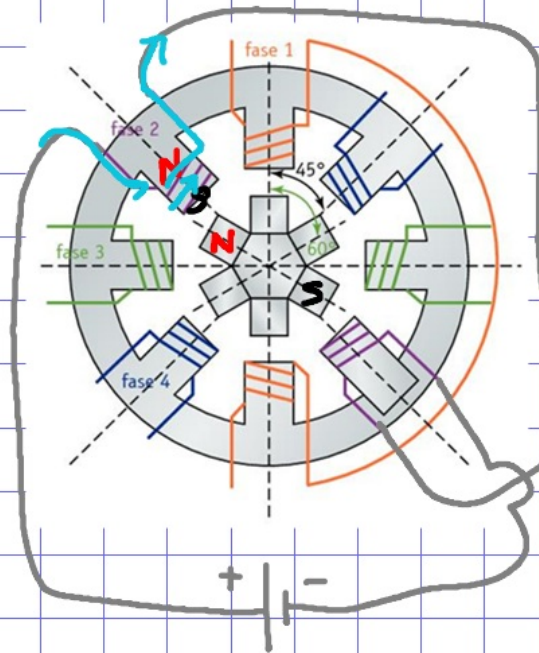
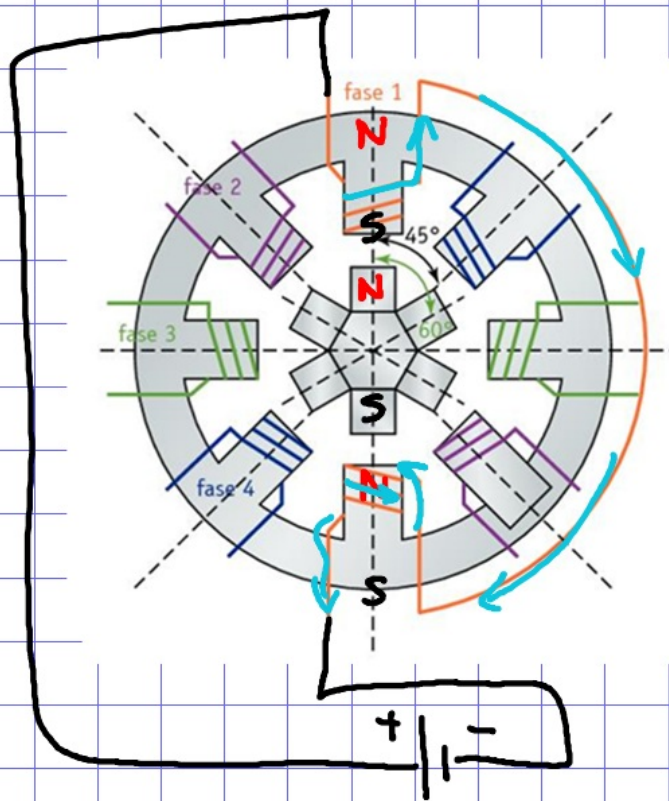
$$F_L = B \cdot I \cdot L = 0,065 \text{ T} \cdot 0,012 \text{ A} \cdot 0,04 \text{ m}$$

$$F_L = 3,1 \cdot 10^{-5} \text{ N (kracht op één winding)}$$

$$\text{totale kracht dus: } F = 150 \cdot 3,1 \cdot 10^{-5} = 4,7 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

Toepassingen

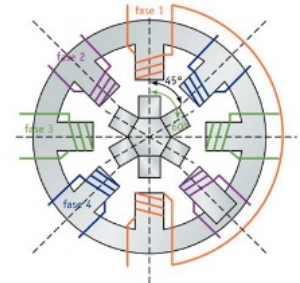


Opgave 7 Een stappenmotor

In robots, printers, scanners en andere nauwkeurige apparatuur worden stappenmotoren gebruikt. Bij zo'n motor zijn de draaisnelheid en de positie heel nauwkeurig te regelen, en hij kan ook een bepaalde stand vasthouden.

Een stappenmotor heeft een rotor met permanente magneten en daar omheen elektromagneten. Zie figuur 10.68.

Het aantal elektromagneten is niet gelijk aan het aantal polen van de rotor. Daardoor kan de rotor in kleine stapjes verdraaien.



▲ Figuur 10.68 Stappenmotor

28 De rotor bestaat uit permanente magneten. Wat is het voordeel daarvan?

29 Hoe kan ervoor gezorgd worden dat de motor de getekende stand vasthoudt?

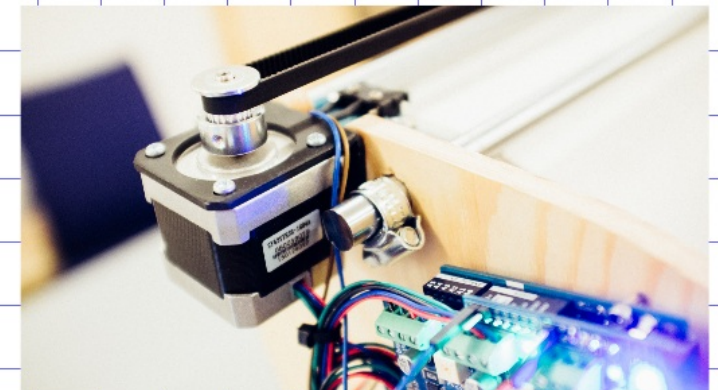
30 Leg uit welke spoelen stroom moeten krijgen om de rotor de kleinst mogelijke stap rechtsom te laten draaien.

31 Leg ook uit hoeveel graden de rotor dan verdraait.

32 Wat moet er gebeuren om de rotor precies een kwartslag te laten draaien?

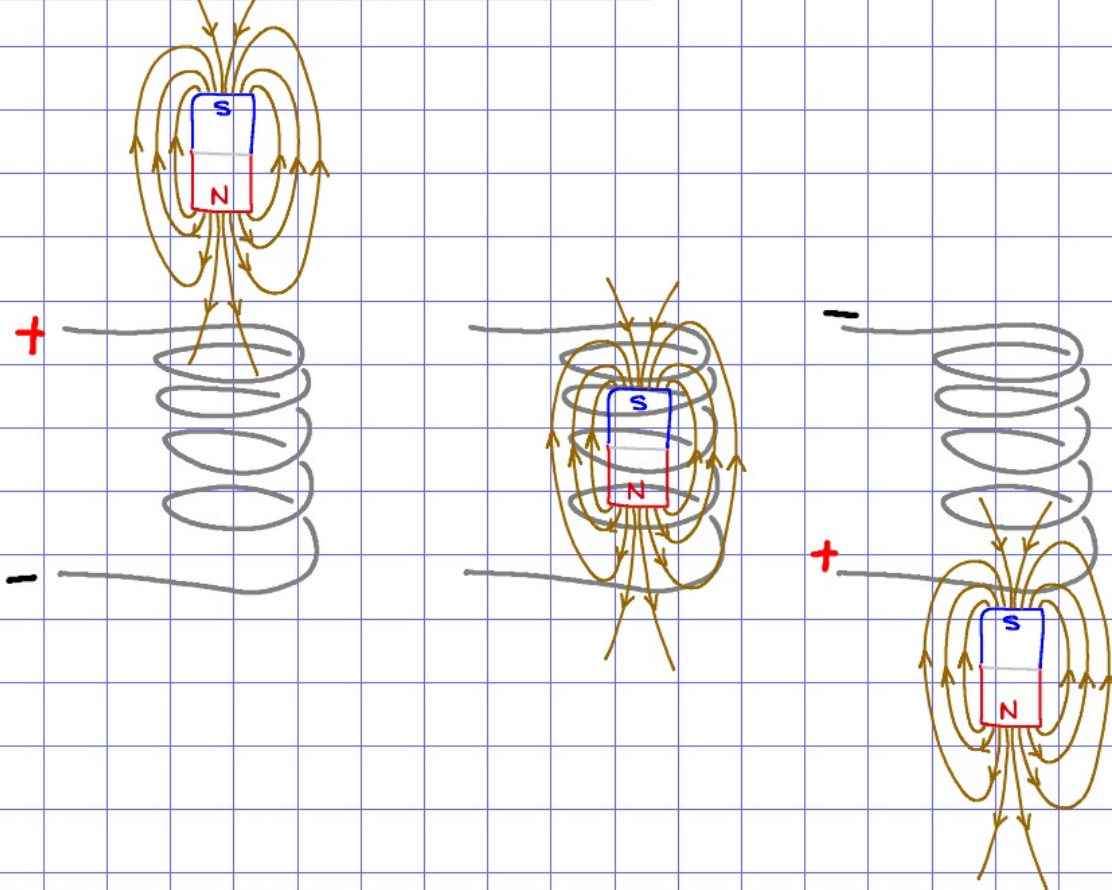
33 Hoe kun je een motor bouwen die kleinere stapjes kan maken?

34 Er zijn stappenmotoren met een 'stapgrootte' van 1,8°. Hoeveel polen heeft dan de rotor en hoeveel elektromagneten zitten daar omheen? Geef uitleg.



Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

Toepassingen



Opgave 8 Schuuddynamo (naar examen havo N1,2 2007-I)

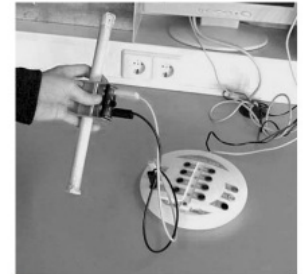
Astrid heeft een magneet in een plastic buis gedaan. De uiteinden van de buis zijn dicht.

De buis bevindt zich in een spoel die is aangesloten op een computer. Zie de foto in figuur 10.69.

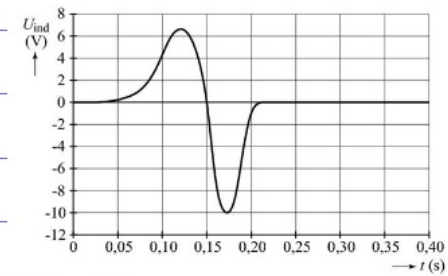
Als zij de buis omdraait, maakt de magneet een (vrije) val door de spoel.

De computer meet de induktiespanning U_{ind} en de bijbehorende flux door alle windingen samen als functie van de tijd. Zie de figuren 10.70 en 10.71.

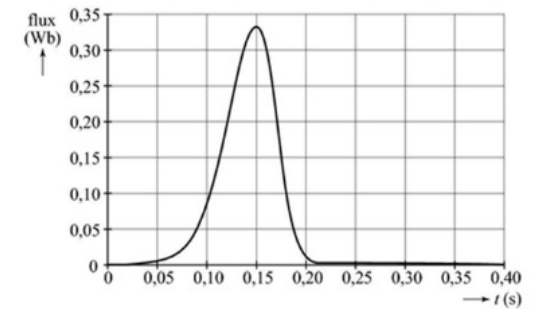
Figuur 10.71 staat ook op het werkblad.



▲ Figuur 10.69



▲ Figuur 10.70

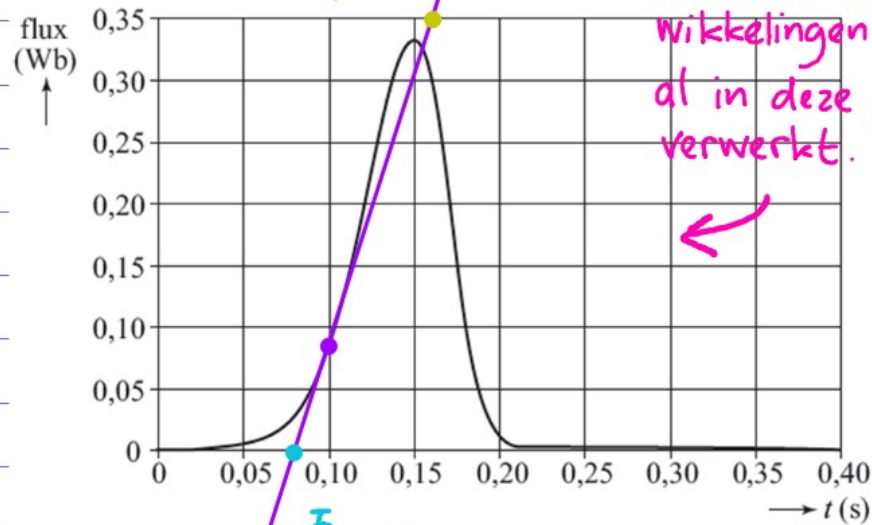


▲ Figuur 10.71

35 Leg uit dat er zowel een positieve als een negatieve spanning ontstaat als de magneet één keer door de spoel gaat.

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

Toepassingen



$$\Phi = 0,35 \text{ Wb}$$
$$t = 0,17 \text{ s}$$

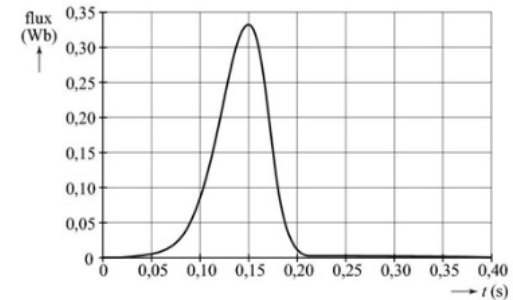
$$\Phi = 0$$
$$t = 0,08 \text{ s}$$

LET OP: het aantal
wikkelingen N is
al in deze grafiek
verwerkt.

dus
zo:

$$U_{\text{ind}} = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{0,35 - 0}{0,17 - 0,08} = 3,9 \text{ V}$$

$$U_{\text{ind}} = N \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$



▲ Figuur 10.71

35 Leg uit dat er zowel een positieve als een negatieve spanning ontstaat als de magneet één keer door de spoel gaat.

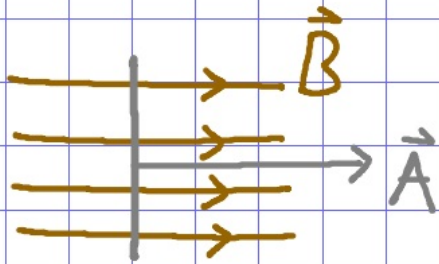
Uit de grafiek van de inductiespanning (figuur 10.70) blijkt dat de maximum spanning op $t = 0,12 \text{ s}$ kleiner is dan de (absolute) waarde van de minimum spanning op $t = 0,17 \text{ s}$.

36 Leg met behulp van de fluxgrafiek (figuur 10.71) uit waarom dat zo is.

37 Bepaal met behulp van figuur 10.71 op het werkblad zo nauwkeurig mogelijk de grootte van de inductiespanning op $t = 0,10 \text{ s}$. Laat duidelijk zien hoe je dat doet.

Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme

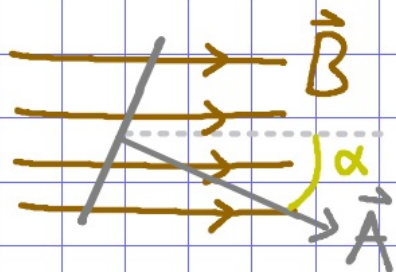
Toepassingen



bij rotatie

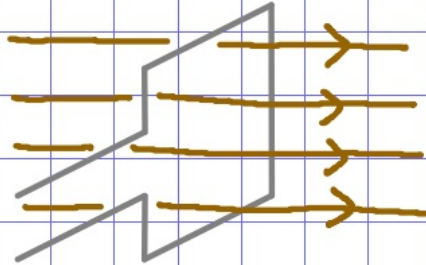
$$\alpha(t) = \frac{2\pi}{T} \cdot t = 2\pi \cdot f \cdot t$$

$$\Phi = A \cdot B \cdot \cos(2\pi f t)$$



$$\Phi = A \cdot B \cdot \cos \alpha$$

$$U_{\text{ind}} = \frac{d\Phi}{dt} = -2\pi f N A B \sin(2\pi f t)$$



Opgave 9 Wisselstroomgenerator

In grote generatoren, die altijd wisselstroom opwekken, draait een spoel in een homogeen magneetveld. In bron 16 wordt beweerd dat de wisselspanning die dan ontstaat sinusvormig is. Dat gaan we in deze opgave laten zien. Daarvoor bekijken we eerst één winding van de spoel. Die winding staat in een homogeen magneetveld, loodrecht op de veldlijnen. De flux is in deze stand maximaal. De winding wordt over een hoek α gedraaid.

38 Laat met behulp van een tekening zien dat de flux nu gelijk is aan $B \cdot A \cdot \cos \alpha$.

39 Bovenstaande formule geldt ook als α groter is dan 90° . Leg met behulp van opdracht 49 uit wat er dan aan de hand is.

De winding gaat nu draaien met een constante omlooptijd T . De hoek α varieert dan met de tijd: $\alpha(t) = 2\pi \cdot t/T = 2\pi \cdot f \cdot t$. Hier is t de tijd in s, f het aantal omwentelingen per seconde en α de hoek in radialen.

$$s = v \cdot t$$

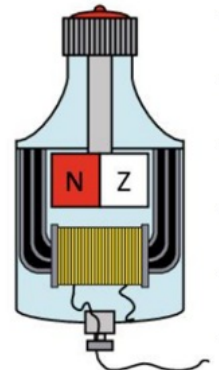
$$f = \frac{1}{T}$$

40 Laat zien dat deze formules voor α juist zijn.

41 De flux hangt nu ook van de tijd af. Leg uit dat de volgende formule de flux door de winding geeft: $\Phi(t) = B \cdot A \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t)$

42 De spoel heeft N windingen. Laat nu met de wet van Faraday zien dat de inductiespanning in de spoel wordt gegeven door: $U_{\text{ind}}(t) = -2\pi \cdot N \cdot B \cdot A \cdot f \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$

43 Welke andere bewering in bron 16 wordt door deze formule gestaafd?



▲ **Figuur 10.50** Fietsdynamo