

Naam: \_\_\_\_\_ Klas: \_\_\_\_\_

# Practicum magneten

## Benodigdheden

2 staafmagneten, kompasje, grote spijker, twee kleine spijkertjes, figuurzaagje, rode en blauwe stickertjes, kunststof plaat, ijzervijsel in een strooipotje, blokje weekijzer.

## Magnetische krachten

Houd de twee noordpolen van de staafmagneten bij elkaar.

Je merkt dat twee noordpolen elkaar (afstoten of aantrekken) \_\_\_\_\_

Houd de twee zuidpolen van de staafmagneten bij elkaar.

Je merkt dat twee zuidpolen elkaar (afstoten of aantrekken) \_\_\_\_\_

Houd de noordpool van de ene staafmagneet bij de zuidpool van de andere magneet.

Je merkt dat een noordpool en een zuidpool elkaar (afstoten of aantrekken)

\_\_\_\_\_

Probeer een ijzeren (stalen) voorwerp zoals een schaar of een flinke spijker aan een staafmagneet te hangen. Doe dit eerst bij de noordpool, daarna bij de zuidpool en tenslotte bij het midden van de staafmagneet. Je merkt dat de krachtwerking bij de polen het (sterkst of zwakst) \_\_\_\_\_ is en bij het midden het \_\_\_\_\_.

## Kompas

Een kompasnaald is een magneet die in het horizontale vlak vrij kan draaien.

Houd de zuidpool van de staafmagneet bij het kompasje. Ga na welke kleur het noorden van het kompasnaaldje heeft. \_\_\_\_\_

Laat het kompasnaaldje vrij draaien waarbij er geen andere magneten of ijzeren voorwerpen in de buurt van het kompas zijn. Je merkt dat de noordpool van het naaldmagneetje naar het \_\_\_\_\_ van de aarde wijst.

Ga na dat je de stand van de kompasnaald kunt beïnvloeden door er een stuk ijzer (bijvoorbeeld een schaar) bij in de buurt te houden. Aan welke voorwaarde moet je bij het gebruik van een kompas dus in ieder geval voldoen?

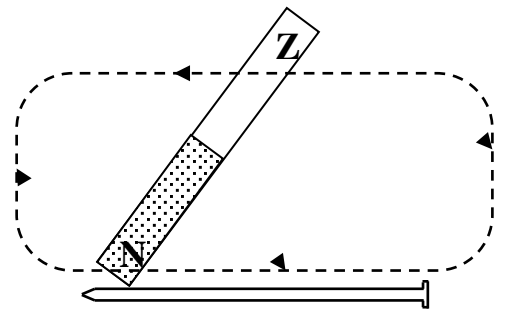
\_\_\_\_\_

## Magnetiseren

Tik een aantal keren flink tegen een grote (stalen) spijker en tegen een paar kleine (stalen) spijkertjes. Controleer daarna dat je met de grote spijker de kleine spijkertjes niet kunt optillen.

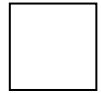
Haal nu een staafmagneet een aantal keren langs de grote spijker zoals in de figuur hiernaast is aangegeven. De richting van de beweging moet hierbij steeds gelijk blijven.

Onderzoek of je de kleine spijkertjes daarna met de grote spijker kunt optillen. Wat is je conclusie?



Tik nu nogmaals een aantal keren tegen de grote spijker. Probeer de kleine spijkertjes weer met de grote spijker op te tillen. Wat is je conclusie?

Laat het bovenstaande controleren voordat je verder gaat.



### Een magneet doormidden breken

Magnetiseer een figuurzaagje op de manier van de vorige opdracht.

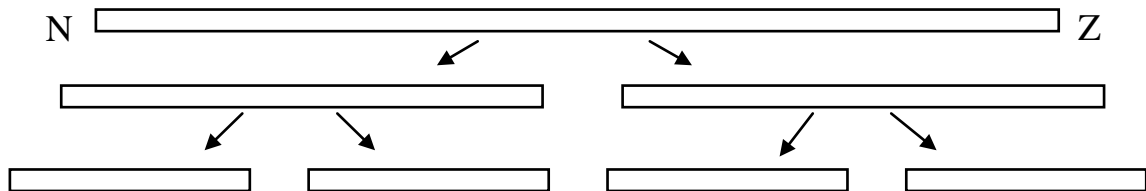
Bepaal met behulp van het kompasje wat de noordpool en de zuidpool van het figuurzaagje is.

Plak een rood stickertje op de noordpool en een blauw stickertje op de zuidpool.

Breek het figuurzaagje doormidden. Onderzoek de nieuwe uiteinden weer met behulp van het kompasje. Plak op deze uiteinden weer een rood of blauw stickertje.

Breek beide stukken nog een keer in tweeën en onderzoek de nieuwe uiteinden nogmaals.

De conclusie van het bovenstaande proefje kan in de onderstaande figuur worden samengevat. Zet in deze figuur een N of een Z bij elk van de uiteinden van het zaagje.

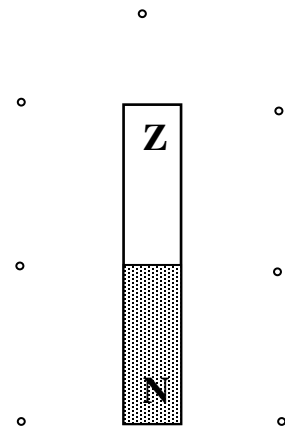


### Het magnetisch veld rond een staafmagneet

In de figuur hiernaast is een staafmagneet getekend. Plaats het kompasje achtereenvolgens op de aangegeven plaatsen (kleine rondjes). Geef met kleine pijltjes aan in welke richting de noordpool van het kompasnaaldje wijst in die punten.

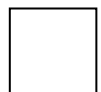
Deze pijltjes geven de richtingen van de veldlijnen door die punten aan.

Onderzoek nu het magnetisch veld rond de staafmagneet met behulp van ijzervijlsel. Doe dit als volgt. Leg de kunststof over de staafmagneet. Strooi voorzichtig ijzervijlsel op de plaat. Mors niet! Tik zachtjes tegen de plaat. De ijzerdeeltjes gaan zich dan in rijen hechten.



Teken nu in de figuur hiernaast hoe de veldlijnen door de punten (ongeveer) lopen.

Laat het bovenstaande controleren voordat je verder gaat.



## Het magnetisch veld rond twee magneten

Leg twee staafmagneten in elkaars verlengde op kleine afstand van elkaar. Laat de noordpool van de ene magneet tegenover de zuidpool van de andere magneet liggen (zie de onderstaande figuur). Om te voorkomen dat de magneten naar elkaar toe schuiven kan een houten blokje tussen de magneten gelegd worden.

Leg de kunststof plaat op de magneten. Strooi weer ijzervijlsel over de plaat heen en tik hier voorzichtig tegen.

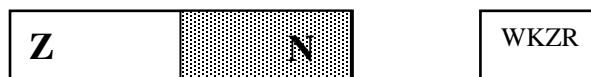
Bekijk hoe de veldlijnen rond de magneten lopen. Teken vervolgens in de onderstaande figuur minstens tien veldlijnen. Geef ook de richting van de veldlijnen aan.



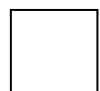
Voer dezelfde opdracht nogmaals uit maar nu met de twee noordpolen naar elkaar toe gericht. Zie de onderstaande figuur.



Voer dezelfde opdracht nogmaals uit maar nu in een situatie waarbij één staafmagneet is vervangen door een stuk weekijzer (WKZR). Zie de onderstaande figuur.



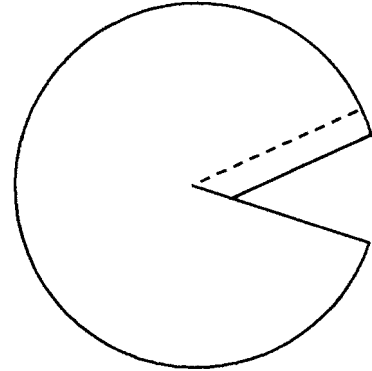
Laat het bovenstaande controleren.



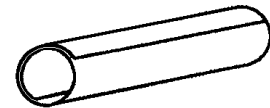
# Maak zelf een luidspreker (I)

Uit een luidspreker komt geluid dankzij magnetisme. In een luidspreker zitten twee magneten: een permanente magneet en een elektromagneet.

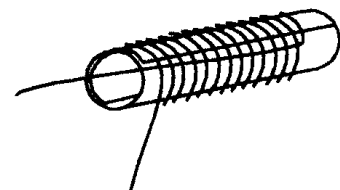
1. Maak van stevig papier (160 g/m<sup>2</sup>) een “Chinese hoed”. Zie de figuur hiernaast. De uitgesneden hoek moet ongeveer 30° zijn. Gebruik lijm of een plakstift om de uiteinden aan elkaar te bevestigen.



2. Maak van het stevige papier ook een kokertje. Maak de diameter van het kokertje zo groot dat deze straks ruimschoots om een magneet heen geschoven kan worden. Tip: rol het papier om een dikke stift of zoiets.



3. Wikkel ongeveer 5 meter koperdraad (“wikkeldraad”) om het kokertje. Dat koperdraad moet een diameter van 0,2 mm of 0,3 mm hebben. Zorg ervoor dat je het begin en het einde lang genoeg houdt. Anders kun je de luidspreker niet aansluiten. Gebruik plakband om het koperdraad op zijn plaats te houden.

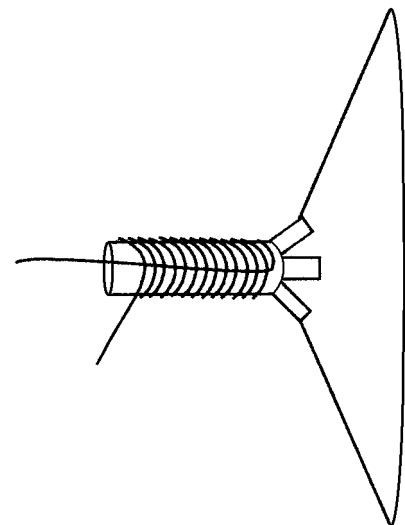


4. Schuur de uiteinden van het koperdraad blank. Met andere woorden: haal het laklaagje (isolatielaagje) eraf.

5. Bevestig het kokertje met de spoel aan de Chinese hoed. Je kunt het kokertje aan één kant bijvoorbeeld een aantal keren inknippen en de hierdoor ontstane plakstroken op de hoed plakken.

6. Schuif één pool van de permanente magneet in het open uiteinde van het kokertje.

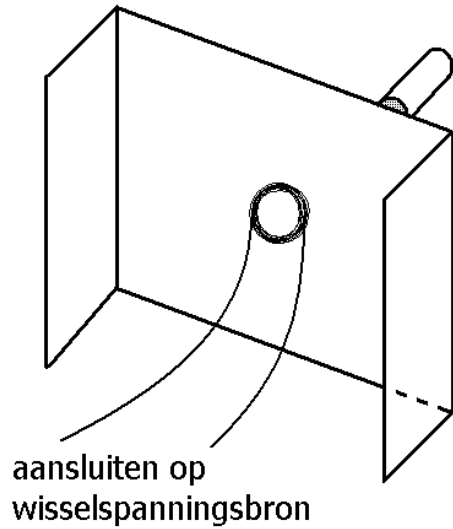
7. Sluit je luidspreker aan op een versterker. Uit de versterker komt wisselstroom. Die stroom wisselt in het ritme van de muziek.



# Maak zelf een luidspreker (II)

Wikkel een vier meter lange gelakte koperdraad om het uiteinde van een PVC-buis. Houd aan beide uiteinden van de draad 20 cm over en draai deze uiteinden enkele keren over elkaar. Schuif de gemaakte spoel van de buis af en plak de spoel met plakband op het midden van een A4-blad. Zie de figuur hiernaast. Plooi aan de twee korte zijden van het blad een strook van 5 cm om.

Verwijder de lak aan de uiteinden van de spoel met schuurpapier. Sluit de spoel op een toongenerator of een radio aan. Als er aan de andere kant van het papier een magneet wordt gehouden, komt er geluid uit het papier.



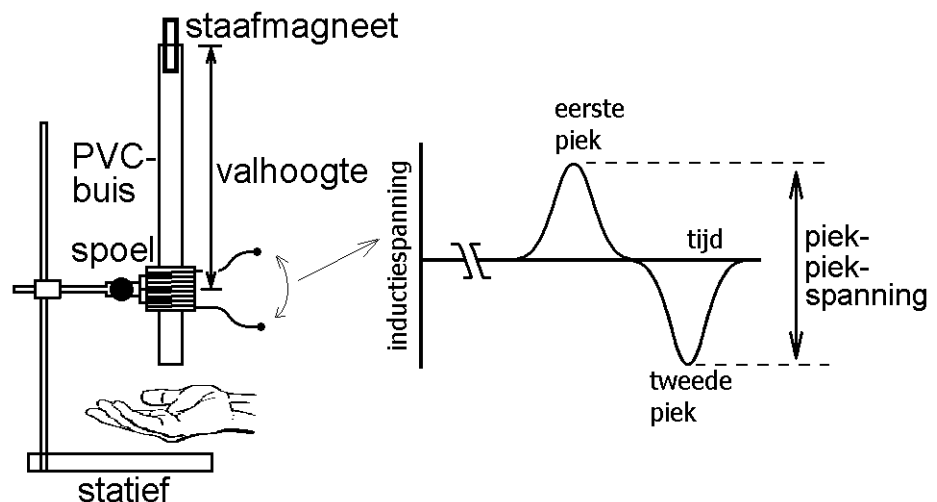
# Proef: Controle van de wet van Faraday

## Doel van de proef

In deze proef wordt de juistheid van de wet van Faraday gecontroleerd. Deze zegt dat de opgewekte inductiespanning in een spoel evenredig is met het tempo waarin de magnetische flux door de spoel verandert.

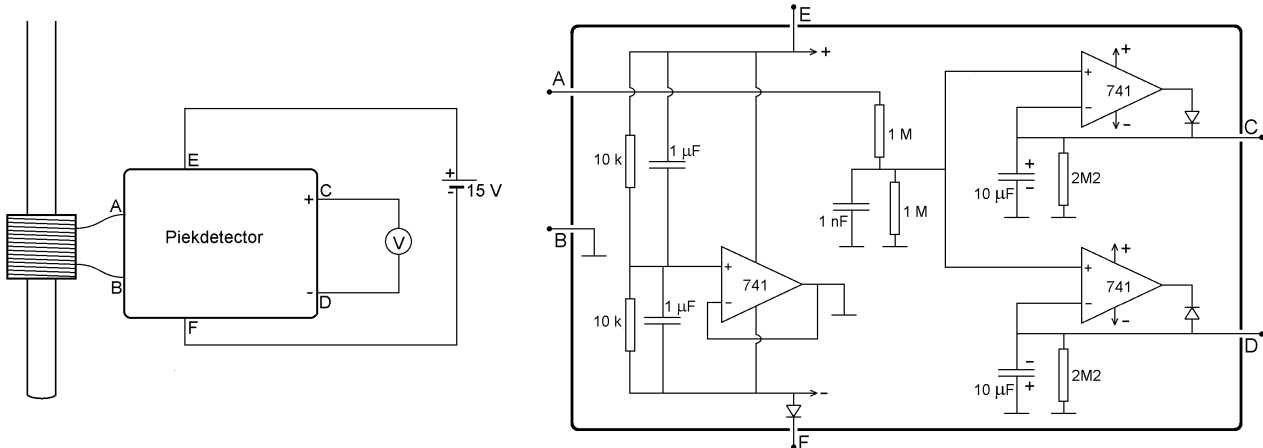
## Meetopstelling

In de figuur hiernaast is een deel van de meetopstelling getekend. Een spoel is met behulp van een klem aan een statief bevestigd. Een PVC-buis is door de spoel geschoven. Bovenin de PVC-buis wordt een staafmagneet gehouden en vervolgens losgelaten. Als de staafmagneet onderin uit de PVC-buis komt, wordt hij opgevangen om schade te voorkomen.



Als de staafmagneet door de spoel schuift, ontstaat er een inductiespanning tussen de aansluitpunten van de spoel. Het globale tijdsverloop van de inductiespanning is in het diagram getekend. De eerste piek ontstaat als de onderkant van de staafmagneet de spoel binnendringt en hierdoor de magnetische flux in de spoel toeneemt. De tweede piek ontstaat als de bovenkant van de staafmagneet de spoel uitkomt en de magnetische flux weer afneemt. In dit practicum kijken we naar de hoogte van beide pieken bij elkaar opgeteld: de piek-piekspanning. Volgens de wet van Faraday is deze spanning evenredig met de snelheid waarmee de magneet door de spoel schuift. Dit gaan we in het practicum controleren!

Om de piek-piekspanning te meten, maken we gebruik van een kastje met zes aansluitpunten die zijn aangeduid met A tot en met F. Het kastje wordt in dit practicum de piekdetector genoemd. Zie de onderstaande figuren. De linker figuur geeft aan hoe de piekdetector moet worden aangesloten; de elektronica binnenin de piekdetector wordt rechts getoond maar is hierna niet van belang.



De punten A en B vormen de ingang van de piekdetector. Hierop moet de spoel worden aangesloten.

De punten C en D vormen de uitgang van de piekdetector. Hierop moet een voltmeter worden aangesloten die de piek-piekspanning aangeeft (afgezien van een constante verzwakkingsfactor van 2 die verder buiten beschouwing blijft). Direct nadat de magneet door de spoel gegaan is, is de spanning tussen C en D gelijk aan de piek-piekspanning. Daarna daalt de spanning tussen C en D geleidelijk weer totdat hij uiteindelijk nul wordt. Het is dus belangrijk om de voltmeter direct na het opvangen van de magneet af te lezen. Op de punten E en F van de piekdetector moet de voeding (bijvoorbeeld 15 of 20 volt) worden aangesloten.

### **Uit de valhoogte de snelheid van de magneet berekenen**

In dit practicum is de valhoogte  $h$  de afstand tussen het midden van de staafmagneet in zijn beginpositie en het midden van de spoel. De piekwaarde van de inductiespanning wordt gemeten bij verschillende valhoogtes en dus bij verschillende snelheden van de magneet. Uit de valhoogte  $h$  kan de snelheid  $v$  van de magneet berekend worden volgens  $v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$ . Hierbij worden wrijvingsverliezen verwaarloosd.

## Metingen

Ga experimenteel na of het voor de piek-piekspanning uitmaakt of de noordpool of de zuidpool aan de onderkant van de staafmagneet zit. Theoretisch zou er geen verschil moeten zijn.

Meet de piek-piekspanning bij valhoogtes van bijvoorbeeld 5,0 cm, 10,0 cm, 15,0 cm, 20 cm, 30,0 cm, 40,0 cm en 50,0 cm. Doe minstens drie metingen per valhoogte en bereken steeds het gemiddelde van de piek-piekspanning. Er hoeft daarbij niet gewacht te worden tot de uitgangsspanning van de piekdetector (bijna) nul is. Schrijf de meetwaarden hieronder op.

Laat de metingen controleren voordat je verder gaat.





## Verwerking van de meetgegevens

Zet in een diagram de (gemiddelde) piek-piekspanning van de inductiespanning uit tegen de snelheid van de magneet tijdens zijn beweging door de spoel. Ga na of deze piek-piekspanning evenredig is met de snelheid. Schrijf je conclusie hieronder op.

Laat het bovenstaande controleren voordat je verder gaat.



## Bewijs formule

Bewijs hieronder de formule  $v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$ .

Laat het bovenstaande controleren.



# Proef: vallende magneet door spoel

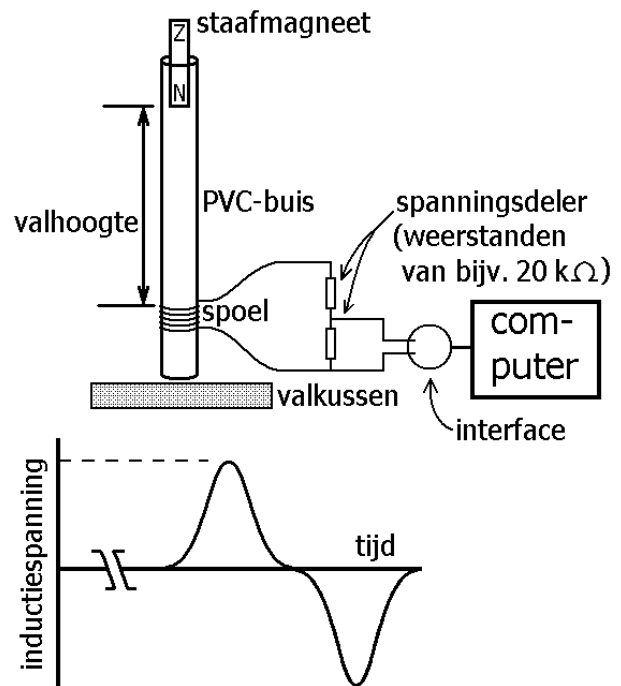
## Doel van de proef

In deze proef wordt gecontroleerd of de inductiespanning evenredig is met de snelheid waarmee de magnetische flux verandert.

## Beschrijving van de proef

De figuur hiernaast toont de opstelling van de proef. Een staafmagneet wordt bovenin een PVC buis gebracht en losgelaten. De magneet valt dan door de buis naar beneden. Tijdens de val beweegt de magneet door een spoel die om de buis zit. In de spoel ontstaat er dan een inductiespanning. Deze inductiespanning wordt door de computer geregistreerd.

De computer kan spanningen vastleggen met behulp van een interface. Dit is een soort kastje dat als schakel dient tussen de opstelling (magneet, buis en spoel) en de computer. Om te voorkomen dat de inductiespanning buiten het meetbereik van de interface komt, wordt de inductiespanning eerst verzwakt met een spanningsdeler. Ga dit in de figuur na.



De computer registreert een signaal zoals hierboven is weergegeven (eventueel gespiegeld om de horizontale as). De eerste piek ontstaat als de magneet de spoel inschuift, de tweede piek ontstaat als de magneet de spoel uitkomt.

De proef wordt uitgevoerd bij verschillende hoogtes van de spoel. Op deze manier kan de snelheid waarmee de magneet door de spoel schuift gevarieerd worden.

In deze proef wordt gekeken naar het verband tussen twee grootheden namelijk:

- 1 de snelheid waarmee de magneet in de spoel schuift.
- 2 de hoogte van de eerste piek van de inductiespanning.

## Bepaling van de snelheid van de magneet

De snelheid waarmee de magneet in de spoel schuift kan berekend worden uit de valhoogte. In deze proef is de valhoogte de afstand tussen de onderkant van de magneet in zijn startpositie en de bovenkant van de spoel. In de startpositie (dus op het moment dat je de magneet loslaat) steekt de magneet precies voor de helft in de buis. Zie de bovenstaande figuur.

In de berekening worden de volgende symbolen gebruikt.

$h$  = valhoogte van de magneet

$t$  = valtijd van de magneet

$v$  = snelheid van de magneet

$g$  = gravitatieversnelling (valversnelling) =  $9,81 \text{ m/s}^2$  op Aarde (in Nederland).

Omdat de beginsnelheid van de magneet nul is, geldt:  $h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$

Ook geldt:  $v = g \cdot t$

Als we beide vergelijkingen combineren krijgen we:  $v = \text{wortel uit } (2 \cdot g \cdot h)$

## Metingen

In dit practicum wordt met het programma Coach gewerkt om de inductiespanning als functie van de tijd te meten. Het meest gebruiksvriendelijk is om de meting door middel van triggering te laten starten. Verder zijn de volgende instellingen geschikt.

Triggerspanning = 0,1 V in de opgaande flank.

Samplefrequentie = 2500 Hz.

Tijdsduur van de meting = 0,15 s

Laat de magneet bij valhoogtes van 5,0 cm, 15,0 cm, 30,0 cm en 50,0 cm door de buis vallen en meet steeds de inductiespanning met de computer.

Zorg ervoor dat bij elke meting de eerste piek positief is en de tweede piek negatief. Keer zonnodig de magneet om en voer de meting opnieuw uit.

Bepaal bij elke meting de hoogte van de eerste piek (met de optie "uitlezen") en vul de tabel hiernaast in.

valhoogte (cm)	inductiespanning (eerste piek) (V)
5,0	
15,0	
30,0	
50,0	

Print de vier inductiespanning-tijd-diagrammen op papier.

## Verslag

Maak in Excel een tabel.

Zet in de eerste kolom de waardes van de valhoogte in meter.

Zet in de tweede kolom de waardes van de valsnelheid. Laat Excel deze waarden uitrekenen.

Zet in de derde kolom de inductiespanningen (hoogtes van de eerste piek).

Maak met Excel een grafiek.

Zet de valsnelheden horizontaal uit.

Zet de inductiespanningen (hoogtes van de eerste piek) verticaal uit.

Zet de meetresultaten als dikke stippen in de grafiek.

Trek een trendlijn die zo goed mogelijk bij de meetpunten aansluit.

Trek conclusies.

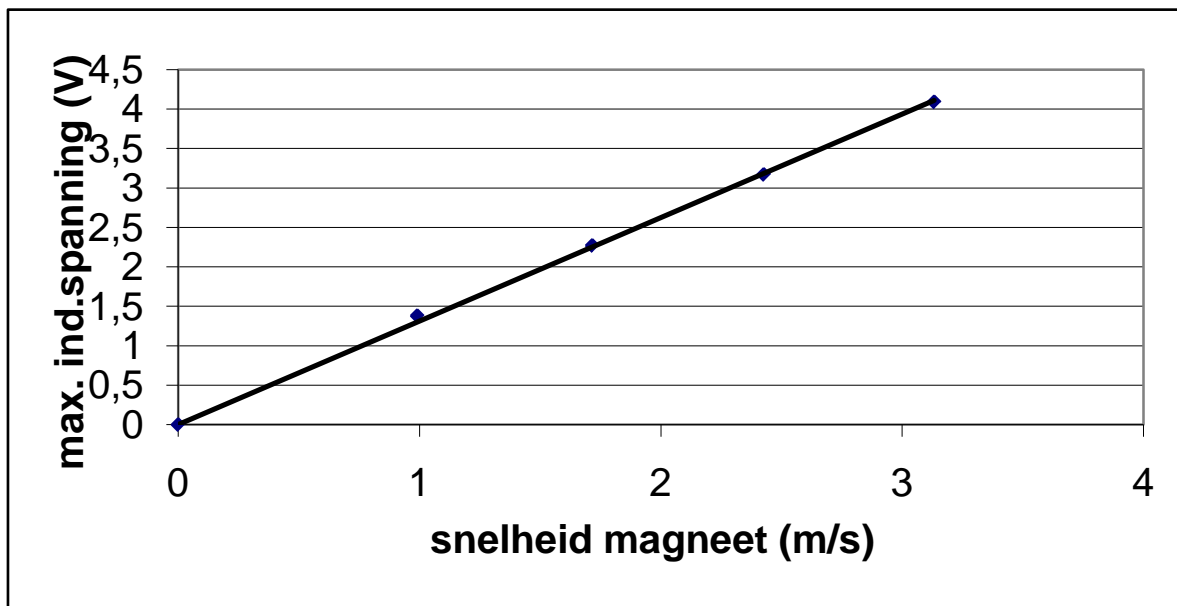
Ga na of de inductiespanning evenredig is met de snelheid van de magneet.

Leg dit uit aan de hand van de grafiek.

Verklaar eventuele afwijkingen.

Voeg bij het verslag de vier diagrammen waarin de inductiespanning tegen de tijd uitstaat.

valhoogte (m)	snelheid (m/s)	spanning (V)
0,05	0,990454441	1,38
0,15	1,715517415	2,27
0,3	2,426107994	3,17
0,5	3,132091953	4,09
	0	0



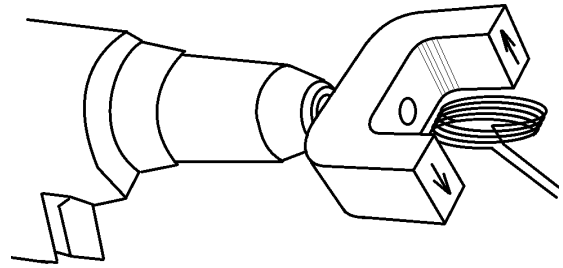
# Proef: Magneetveld tussen de polen van een hoefijzermagneet

## Doel van de proef

In deze proef wordt de sterkte van het magneetveld tussen de polen van een hoefijzermagneet gemeten.

## Beschrijving van de proef

De hoefijzermagneet wordt met behulp van een accuboormachine met een constant toerental rondgedraaid. Tussen de polen van de magneet bevindt zich een stilstaande spoel waarin een inductiespanning wordt opgewekt. Zie de figuur hiernaast. De inductiespanning wordt met een signaalversterker 100 keer versterkt en vervolgens op een oscilloscoop aangesloten. Uit



het oscilloscoopbeeld volgt de maximale inductiespanning en het toerental. Daarnaast zijn het aantal windingen van de spoel en de omsloten oppervlakte van de windingen bekend. Uit deze gegevens kan de (gemiddelde) sterkte van het magneetveld tussen de polen van de hoefijzermagneet berekend worden.

## Theorie

Hieronder gebruiken we de volgende symbolen.

$B$  = magnetische fluxdichtheid van het veld tussen de polen van de magneet;

$A$  = omsloten oppervlakte van één winding van de spoel;

$N$  = het aantal windingen van de spoel;

$\Phi$  = magnetische flux door de spoel;

$\Phi_{MAX}$  = de maximale waarde van de magnetische flux;

$U_{IND}$  = inductiespanning in de spoel;

$U_{IND,MAX}$  = maximale waarde van de inductiespanning in de spoel;

$\omega$  = hoeksnelheid van de hoefijzermagneet;

$T$  = tijd van één rotatie = periode van het signaal.

Voor de maximale waarde van de magnetische flux geldt:

$$\Phi_{MAX} = BNA.$$

Voor de momentane magnetische flux kunnen we stellen:

$$\Phi = \Phi_{MAX} \sin(\omega t) = BNA \sin(\omega t).$$

Voor de inductiespanning geldt dan:

$$U_{IND} = \frac{d\Phi}{dt} = BNA\omega \cos(\omega t).$$

Voor de maximale waarde van de inductiespanning geldt dan dus:

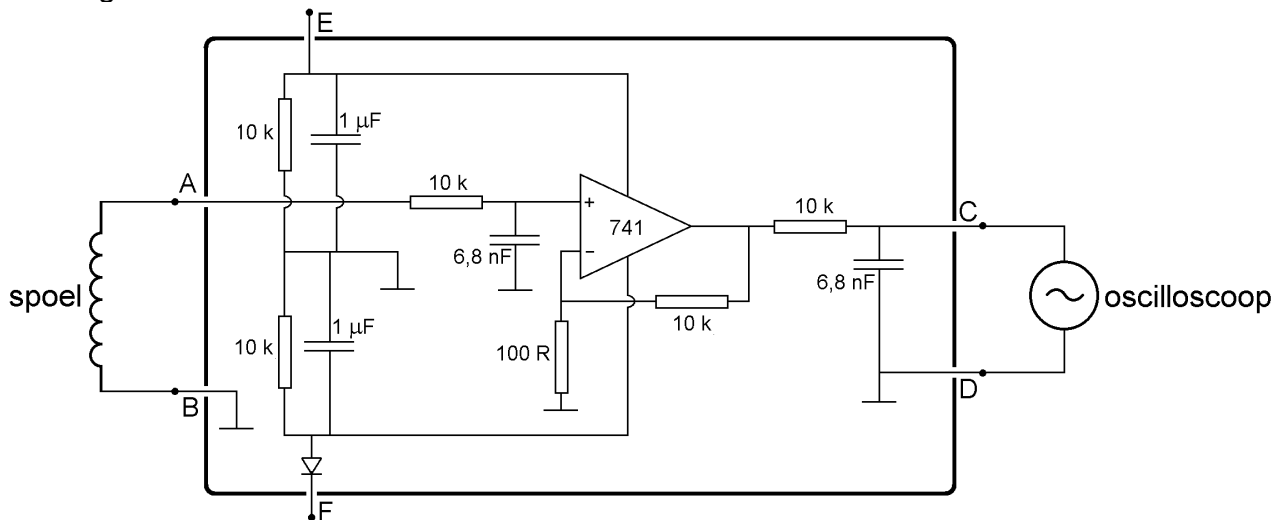
$$U_{IND,MAX} = BNA\omega.$$

Dit kunnen we als volgt herschrijven.

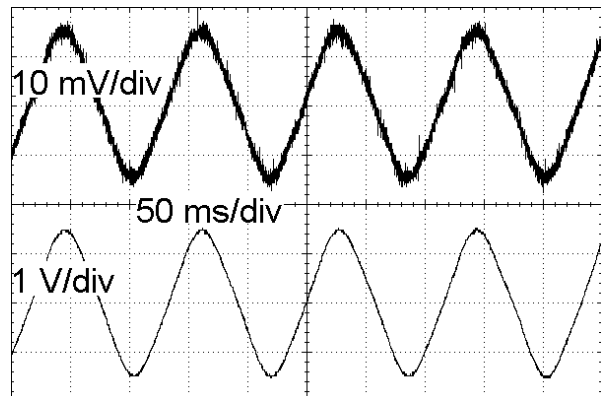
$$U_{IND,MAX} = \frac{2\pi BNA}{T}.$$

## Signaalversterker

In de onderstaande figuur is de signaalversterker (100x) afgebeeld. De spoel wordt op de punten A en B aangesloten (ingang van de versterker). De oscilloscoop wordt op de punten C en D aangesloten (uitgang van de versterker). De voeding (bijvoorbeeld 16 V) wordt op de punten E en F aangesloten (E is plus en F is min). Merk op dat de schakeling zowel aan de ingang als aan de uitgang een laagdoorlaatfilter bevat om ongewenste stoorsignalen te onderdrukken.

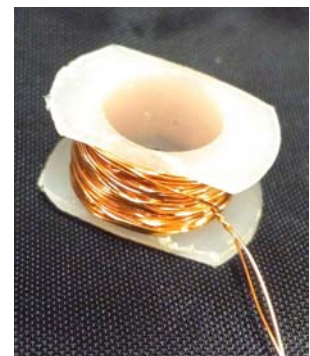


In de figuur hiernaast is een voorbeeld weergegeven van de ingangsspanning (bovenste curve) en van de uitgangsspanning (onderste curve). Duidelijk bevat het uitgangssignaal minder stoorsignalen. Daaruit blijkt dat de filters hun werk goed doen. Verder lezen we uit het oscilloscoopbeeld af dat de versterkingsfactor inderdaad een factor 100 is en dat de periodetijd ongeveer 117 ms bedraagt.



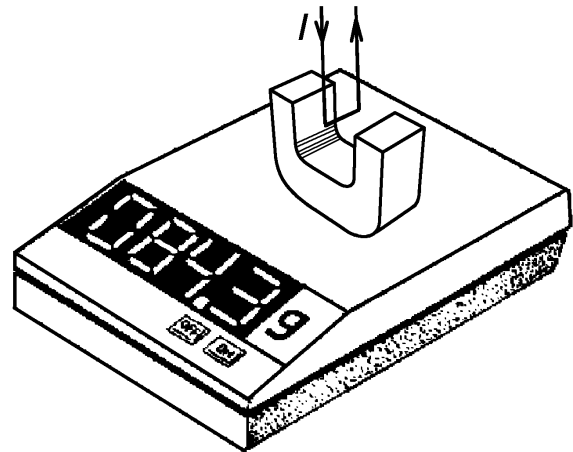
## Opdrachten

Maak zelf een spoel rond een klosje met tenminste 30 windingen. Zie bijvoorbeeld de figuur hiernaast. Houd hierbij goed bij hoeveel windingen je aanbrengt. Zorg er voor dat de spoel klein genoeg blijft om tussen de polen van de roterende hoefijzermagneet te passen. Voer vervolgens de proef uit. Bepaal uit het oscilloscoopbeeld de (gemiddelde) fluxdichtheid  $B$  tussen de polen van de hoefijzermagneet.



## Uitbreiding van de proef

Een tweede manier om de sterkte van het magneetveld tussen de twee polen van de hoefijzermagneet te bepalen is in de figuur hiernaast afgebeeld. De hoefijzermagneet rust op een weegschaal. Tussen de polen van de magneet bevindt zich een horizontaal draadstuk waar een elektrische stroom doorheen gaat. Dit draadstuk is onderdeel van een (mechanisch versterkt) U-vormig draadraam. Op het horizontale draadstuk werkt een verticaal gerichte lorentzkracht.



Als we aannemen dat het magneetveld ter plaatse van het horizontale draadstuk homogeen is, geldt voor de grootte van de lorentzkracht:

$$F_L = B \cdot I \cdot d.$$

Hierin hebben de symbolen de volgende betekenis.

$F_L$  = lorentzkracht op het horizontale draadstuk;

$B$  = magnetische fluxdichtheid van het veld tussen de polen van de magneet;

$I$  = stroomsterkte door het draadraam;

$d$  = lengte van het horizontale draadstuk.

Volgens de derde wet van Newton zal de (lorentz)kracht op het draadstuk even groot zijn als maar tegengesteld zijn aan de kracht op de hoefijzermagneet. De grootte van de lorentzkracht kan dan dus bepaald worden door de verandering van de aanwijzing van de weegschaal ten gevolge van de elektrische stroom af te lezen.

De opdracht is om de magnetische fluxdichtheid ter plaatse van het horizontale draadstuk te bepalen. Deze waarde kan vervolgens vergeleken worden met de gevonden waarde met de eerdere methode (waarbij de hoefijzermagneet ronddraait). Eventuele verschillen moeten verklaard worden.

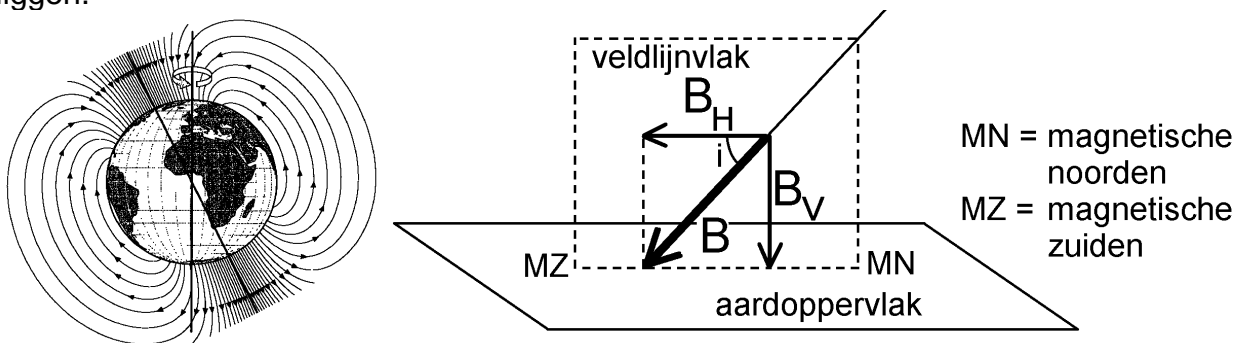
# Proef: Magneetveld van de aarde

## Doel van de proef

In deze proef wordt de sterkte van het aardmagnetisch veld in Nederland bepaald.

## De grote lijnen van de proef

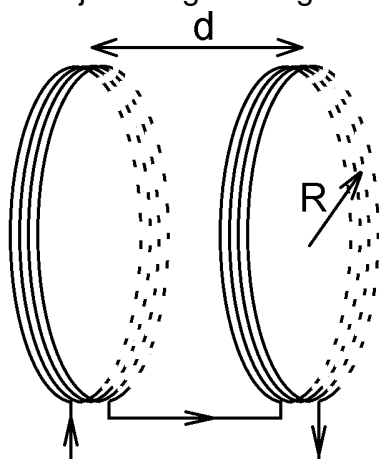
In de onderstaande linker figuur is een aantal veldlijnen van het aardmagnetisch veld getekend. In de rechter figuur is zo'n veldlijn getekend die het aardoppervlak treft. De magnetische fluxdichtheid  $B$ , weergegeven met een dikke pijl, heeft twee componenten namelijk de horizontale component  $B_H$  en de verticale component  $B_V$ . Beide componenten spannen een vlak op dat hier het veldlijnvlak wordt genoemd. Ook is aangegeven aan welke kant het magnetische noorden (MN) en het magnetische zuiden (MZ) van de aarde liggen.



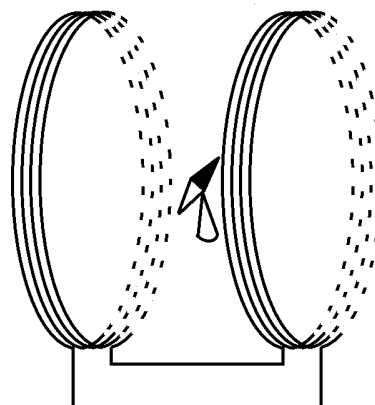
De inclinatiehoek  $i$  is de hoek tussen  $B$  en  $B_H$ . In deze proef wordt eerst de waarde van de horizontale component  $B_H$  bepaald en vervolgens de inclinatiehoek  $i$ . Uit deze twee waarden volgt de totale magnetische fluxdichtheid  $B$ .

## Bepaling van de horizontale component van het aardmagnetisch veld

In de onderstaande figuren is getekend hoe de horizontale component  $B_H$  wordt bepaald. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een zogenoemde helmholtzspool. Zie figuur 1.

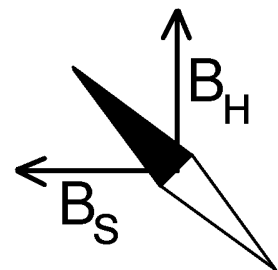


Figuur 1



Figuur 2

Bovenaanzicht:



Figuur 3



Een helmholtzspoel bestaat uit twee identieke spoelen die met elkaar zijn doorverbonden en waarvan de centrale assen samenvallen. De afstand  $d$  tussen de twee spoelen is gelijk aan de straal  $R$  van elke winding van de spoelen. Hiermee wordt bereikt dat het magneetveld tussen de twee spoelen bij benadering homogeen is.

De helmholtzspoel in onze proef is zodanig opgesteld, dat de twee (deel)spoelen in de (magnetische) noord-zuid-richting staan. Zie figuur 2. Precies in het midden van de helmholtzspoel wordt een draaibaar kompasnaaldje geplaatst dat alleen in het horizontale vlak kan draaien. Als er géén elektrische stroom door de spoelen loopt, neemt de kompasnaald de noord-zuid-richting aan. De lengte-as van de kompasnaald loopt dan evenwijdig aan de (deel)spoelen.

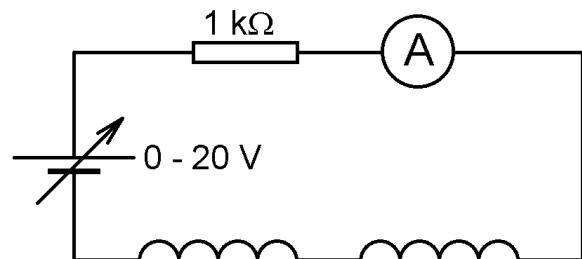
Er wordt nu een zodanige stroom door de spoelen gestuurd, dat de kompasnaald precies 45 graden draait. In dat geval is de horizontale component van het aardmagnetisch veld  $B_H$  even sterk als het magneetveld  $B_S$  dat door de helmholtzspoel wordt opgewekt. In figuur 3 is het bovenaanzicht van die situatie weergegeven.

Hierna gaan we ervan uit dat elke deelspoel  $N$  windingen bevat. Bij stroom  $I$  door de spoelen geldt dan voor de fluxdichtheid  $B_S$  in het midden van de helmholtzspoel:

$$B_S = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{\mu_0 N I}{R}$$

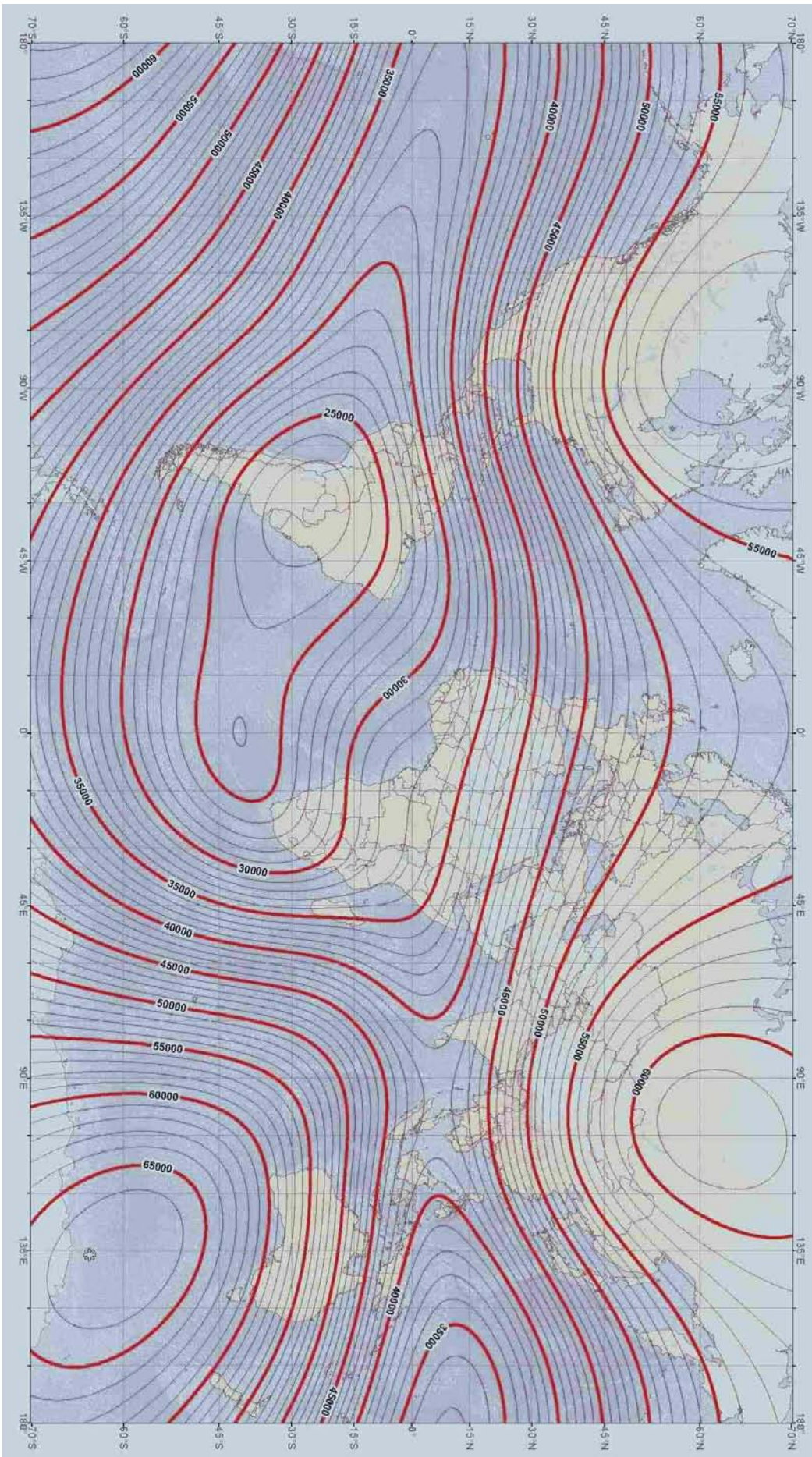
Hierbij is  $\mu_0$  de magnetische permeabiliteit in vacuüm en bedraagt  $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$ . Zoals hiervoor reeds is gezegd, is  $B_H$  gelijk aan  $B_S$  als de kompasnaald 45 graden gedraaid is.

Met de onderstaande schakeling kan de benodigde stroom  $I$  door de spoelen wordt bepaald waarbij de kompasnaald 45° draait.



## Opdrachten

- 1) Vraag aan de docent of TOA de waarde van  $N$ . Meet de (gemiddelde) diameter van de spoelen van de helmholtzspoel.
- 2) Bepaal volgens de bovenstaande manier de waarde van de horizontale component  $B_H$  van het aardmagnetisch veld.
- 3) Bepaal de inclinatiehoek  $i$ . Deze kan worden bepaald door de magneetnaald draaibaar op te stellen in het veldlijnvlak (zie de eerste figuur). De inclinatie is dan gelijk aan de hoekverdraaiing van de kompasnaald met de horizontale stand als uitgangspunt.
- 4) Bepaal uit deze twee waarden ( $B_H$  en  $i$ ) de totale magnetische fluxdichtheid  $B$ . Vergelijk de in deze proef gevonden waarde van  $B$  met de waarde die uit de onderstaande figuur volgt. Hierin zijn de aangegeven waarden in nanotesla (nT).



Naam: \_\_\_\_\_ Klas: \_\_\_\_\_

## Practicum:

# Bepaling van de magnetische permeabiliteit in vacuüm

### Theorie

Er zijn twee grootheden die de sterkte van een magnetisch veld op een willekeurige plaats beschrijven namelijk de magnetische fluxdichtheid  $B$  en de magnetische veldsterkte  $H$ . Beide grootheden zijn vectoren; ze hebben dus een grootte en een richting. In vacuüm hebben  $B$  en  $H$  in elk willekeurig punt dezelfde richting. Ook is in vacuüm (of lucht) de verhouding van de grootte van  $B$  en de grootte van  $H$  constant. Deze verhouding is een scalaire grootheid (dus geen vector) en wordt de magnetische permeabiliteit (in vacuüm)  $\mu_0$  genoemd. Er geldt dan:

$$\frac{B}{H} = \mu_0 \quad \text{waarbij} \quad \mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ N/A}^2$$

Elektriciteit en magnetisme zijn nauw verweven met elkaar. Beschouw de volgende twee verschijnselen:

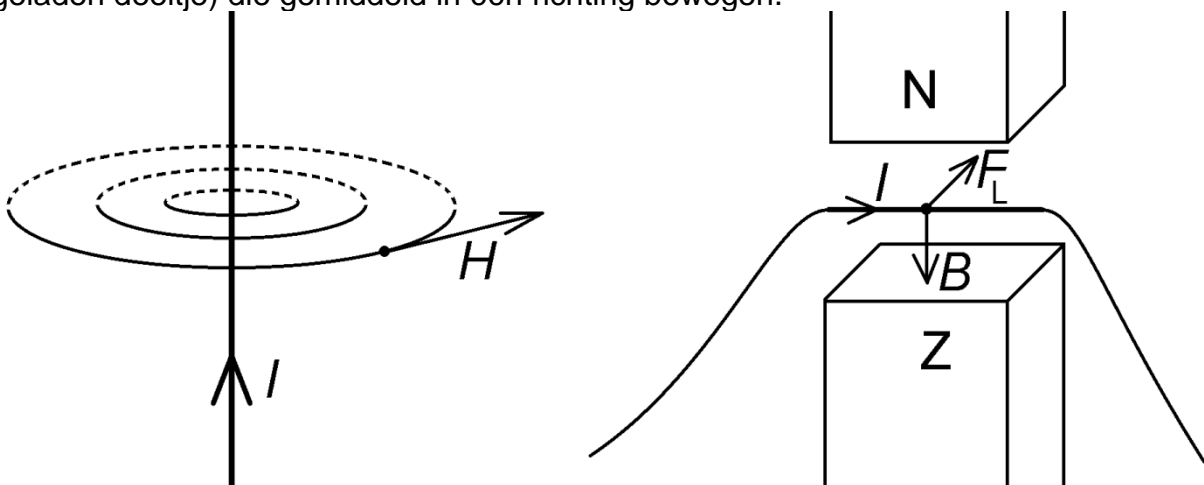
1)

Een bewegend elektrisch geladen deeltje wekt een magneetveld  $H$  op.

2)

Een bewegend elektrisch geladen deeltje ondervindt een kracht (de zogenoemde lorentzkracht)  $F_L$  in een extern magneetveld  $B$ . De toevoeging 'extern' slaat op het feit dat het hier om het magneetveld gaat dat niet door het bewegende deeltje zelf is opgewekt.

De magnetische veldsterkte  $H$  is direct gekoppeld aan verschijnsel 1 en de magnetische fluxdichtheid  $B$  aan verschijnsel 2. In de onderstaande figuren wordt dit toegelicht aan de hand van een stroomdraad waar een elektrische stroom doorheen gaat. Er is dan natuurlijk sprake van heel veel geladen deeltjes (in plaats van één geladen deeltje) die gemiddeld in één richting bewegen.



In de bovenstaande linker figuur is een oneindig lange rechte stroomdraad getekend. Ook zijn er drie veldlijnen getekend. Als  $I$  de stroomsterkte door de draad is en  $r$  de afstand tot de draad, geldt voor de magnetische veldsterkte  $H$ :

$$H = \frac{I}{2\pi \cdot r}$$

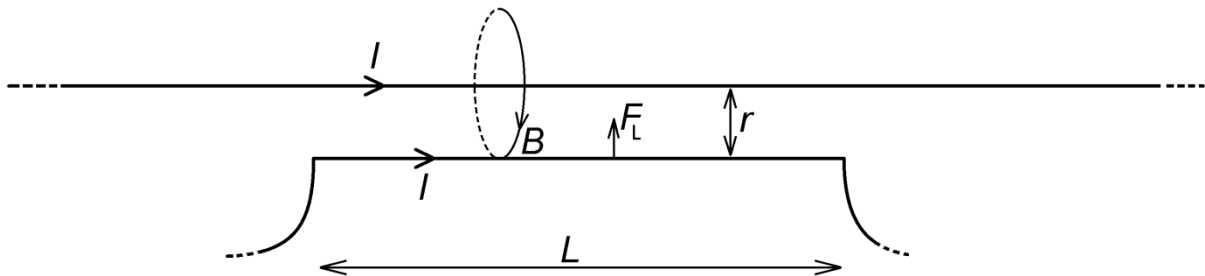
Merk op dat de magnetische veldsterkte keer de lengte van de veldlijn gelijk is aan de stroomsterkte.

In de bovenstaande rechter figuur bevindt een stuk stroomdraad met lengte  $L$  zich in een magnetisch veld dat wordt opgewekt door twee permanente magneten. De sterkte van het magneetveld wordt weergegeven met de magnetische fluxdichtheid  $B$ . De draad ondervindt dan een kracht, de zogenoemde lorentzkracht,  $F_L$  die loodrecht op de draad en ook loodrecht op het magnetisch veld staat. Er geldt dan:

$$F_L = B \cdot I \cdot L$$

De bovenstaande vergelijking geldt alleen als het magneetveld loodrecht op de stroomdraad staat. Als het magneetveld niet loodrecht op de draad staat, moet het rechter lid nog vermenigvuldigd worden met de sinus van de hoek tussen de stroomdraad en de veldrichting. Verder geldt dat als de stroomrichting omkeert, de richting van de lorentzkracht ook omkeert.

In de onderstaande figuur lopen een zeer lange stroomdraad en een stroomdraad ter lengte  $L$  evenwijdig aan elkaar. De stroom  $I$  door beide draden is gelijk en wijst in dezelfde richting. De onderlinge afstand tussen de draden is  $r$ . Deze afstand is gemeten van hartlijn tot hartlijn (midden tot midden). Het geheel bevindt zich in lucht en daarom mogen we in goede benadering rekenen met de permeabiliteit van vacuüm.



De zeer lange (beter gezegd: oneindig lange) stroomdraad wekt ter plaatse van de kortere stroomdraad een magneetveld op. Voor de magnetische fluxdichtheid ter plaatse van de kortere stroomdraad geldt:

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

Op de kortere stroomdraad werkt dan een lorentzkracht ter grootte:

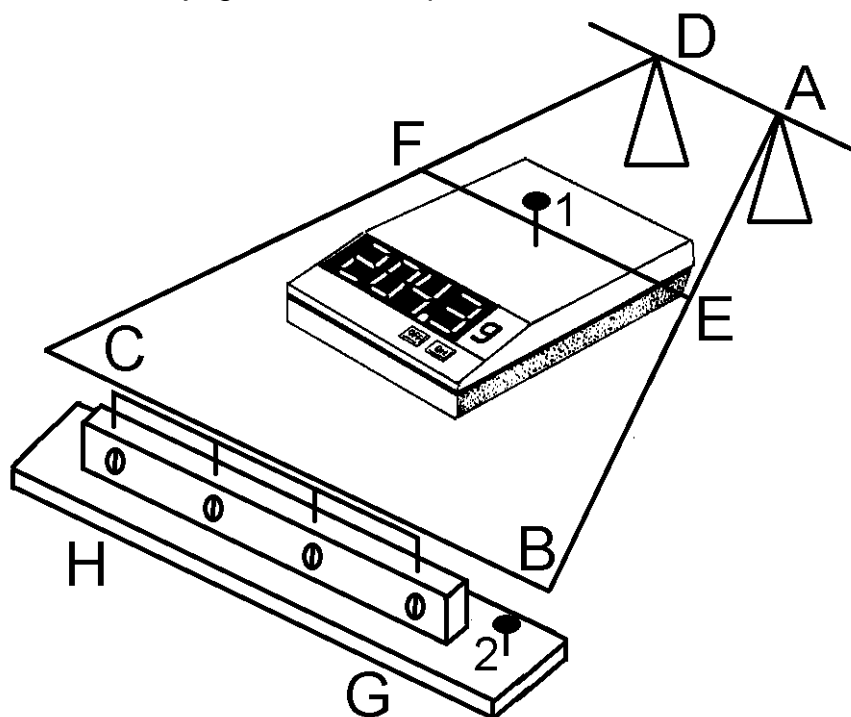
$$F_L = \frac{\mu_0 \cdot I^2 \cdot L}{2\pi \cdot r}$$

Deze lorentzkracht werkt in de richting van de zeer lange stroomdraad. Anders gezegd: de zeer lange stroomdraad trekt de kortere stroomdraad aan. Omgekeerd zal de korte stroomdraad de zeer lange stroomdraad ook aantrekken. Volgens de derde wet van Newton zijn beide aantrekkingskrachten gelijk aan elkaar qua grootte en tegengesteld qua richting. Uiteraard zijn de aantrekkingskrachten alleen merkbaar of meetbaar als de onderlinge afstand  $r$  tussen de stroomdraden klein is. Kennelijk trekken twee gelijkgerichte stromen elkaar aan! Dat zijn we niet gewend, want ladingen met dezelfde polariteit stoten elkaar af, net als magneetpolen met dezelfde polariteit.

In beginsel werken er ook lorentzkrachten op de verbindingsdraden van de korte stroomdraad. Als deze draden echter een rechte hoek maken met de (kortere) stroomdraad, hebben deze lorentzkrachten geen invloed op de aantrekkingskrachten tussen beide stroomdraden.

### Practicumopstelling

De onderstaande figuur geeft de opstelling weer die gebruikt wordt om de magnetische permeabiliteit in lucht (of vacuüm) te bepalen. Draadraam ABCD is draaibaar rond as AD. De stand van het draadraam kan met stelschroef 1 in het midden van tussendraad EF ingesteld worden. Stelschroef 1 rust met zijn onderkant op een gevoelige weegschaal. Onder draadzijde BC bevindt zich draad GH of een deel daarvan. Met stelschroef 2 kan ervoor gezorgd worden dat de draadstukken BC en GH evenwijdig aan elkaar lopen.



Zowel draaddeel AD als draaddeel EF zijn van isolerend materiaal gemaakt. De pluspool van de stroombron wordt aangesloten op punt A van het draadraam. De stroom loopt van punt A via de punten B en C naar punt D. Bij D wordt de stroom afgevoerd en naar punt G van de onderste draad geleid. Punt H is aangesloten op de minpool van de stroombron.

In het practicum wordt de aantrekkingskracht tussen de draden bepaald door de weegschaal af te lezen. Als de stroom nul ampère is, wordt de weegschaal op nul gezet. Bij toenemende stroom zal de weegschaal meer aanwijzen. Hieruit volgt de lorentzkracht. Bedenk daarbij dat door de hefboomwerking de verandering van de kracht op de weegschaal groter is dan de toename van de lorentzkracht. De versterkingsfactor hierbij is  $AB / AE$  (of natuurlijk  $CD / FD$ ).

### Metingen

1)

Bepaal de lorentzkracht bij vier verschillende stroomsterktes (tot 20 A) bij een draadlengte van 40 cm en een hart-hart-afstand van 2 mm.

2)

Bepaal de lorentzkracht bij vijf verschillende draadlengtes (10, 20, 30, 40 en 50 cm) bij een stroomsterkte van 15 A en een hart-hart-afstand van 2 mm.

3)

Bepaal de lorentzkracht bij vier verschillende hart-hart-afstanden bij een stroomsterkte van 15 A en een draadlengte van 40 cm.

### Verwerking van de metingen

Volgens de bovenstaande theorie voldoet de lorentzkracht aan de volgende vergelijking.

$$F_L = \frac{\mu_0 \cdot I^2 \cdot L}{2\pi \cdot r}$$

Ga aan de hand van een diagram na of de lorentzkracht  $F_L$  evenredig is met het kwadraat van de stroomsterkte  $I$ .

Ga aan de hand van een diagram na of de lorentzkracht  $F_L$  evenredig is met de draadlengte  $L$ .

Ga aan de hand van een diagram na of de lorentzkracht  $F_L$  omgekeerd evenredig is met de hart-hart-afstand  $r$ .

Bepaal de waarde van de magnetische permeabiliteit in vacuüm  $\mu_0$  uit één diagram op basis van alle metingen.