

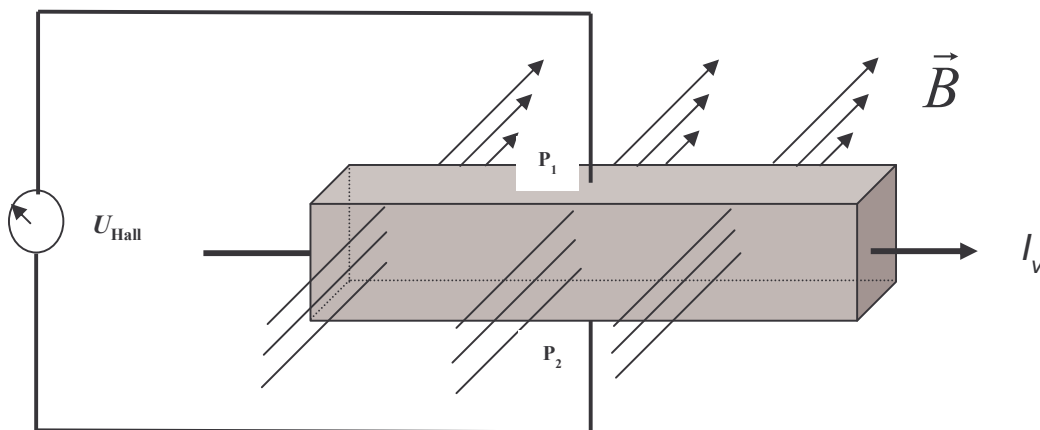
## Hoofdstuk IV : Kwantitatieve studie van het magnetisch veld verwekt door stroomvoerende geleiders.

Voorlopig bestuderen we slechts de relatieve grootte van de verschillende magnetische velden

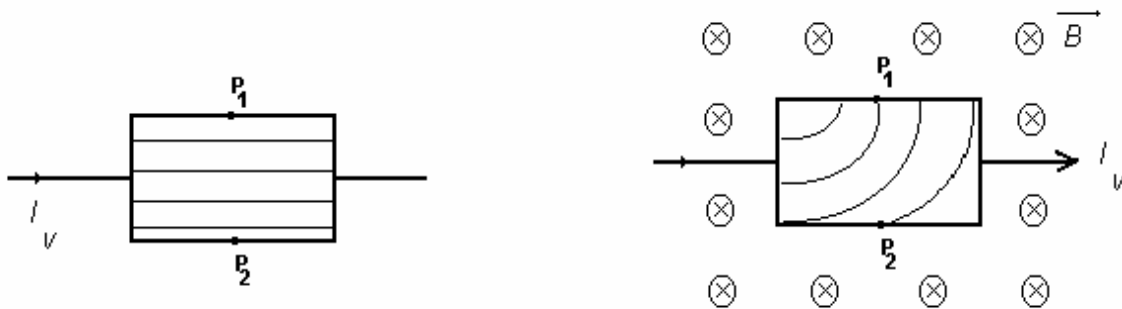
### Bepalingsmethode : hall-generator en hall-sonde

De lorentzkracht maakt een bijzonder eenvoudige meting van het magnetisch veld mogelijk.

Om het meetprincipe te begrijpen onderzoeken we even in een gedachtenexperiment de kracht die een magnetisch veld uitoefent op bewegende ladingsdragers. Een hall-generator, al dan niet ingebouwd in een microvoltmeter of in een computerinterface stuurt een **stationaire stroom** doorheen een bismuthplaatje, dat zich al dan niet in een magnetisch veld bevindt.



- Is het magnetisch veld  $\vec{B} = 0$  dan zullen de stroombanen in het Bi-plaatje parallel lopen zodat er geen potentiaalverschil optreedt tussen de punten  $P_1$  en  $P_2$  :  $U_{Hall} = 0$  (zie volgende tekening links).
- Onder invloed van een uitwendig magnetisch veld (vb. vector  $\vec{B}$  loodrecht op het blad en naar achter toe) zullen deze parallelle stroombanen worden afgebogen zoals de volgende figuur rechts aanduidt, zodat er tussen de punten  $P_1$  en  $P_2$  wel een potentiaalverschil ontstaat :  $U_{Hall} \neq 0$  (volgende tekening rechts).



Vanzelfsprekend zal de grootte van de hallspanning afhankelijk zijn van de grootte van de krachtwerking op deze stroombanen en dus ook van de grootte van het uitwendig magnetisch veld :

$$U_{Hall} \sim B$$

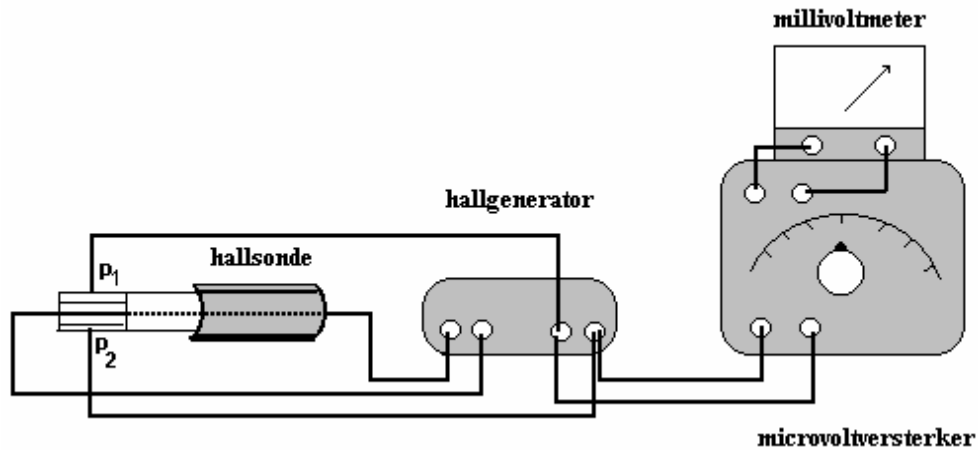
Op de hall-sonde (of op de hallsensor bij gebruik van de computerinterface) is aangegeven welke relatie er bestaat tussen de gemeten hallspanning en het magnetisch veld zodat men rechtstreeks het magnetisch veld kan opmeten in tesla - eenheid.

Het ontstane potentiaalverschil tussen  $P_1$  en  $P_2$  is echter zeer gering en kan bijgevolg niet rechtstreeks met een voltmeter gemeten worden. Daarom wordt een **micro-volt-versterker** tussen  $P_1$  en  $P_2$  en de millivoltmeter geschakeld zodat de hall-spanning een bepaald aantal malen versterkt kan worden. De afgelezen waarde op de millivoltmeter moet dan echter gedeeld worden door de versterkingsfactor van de versterker om de juiste waarde van de hall-spanning te kennen.

Op de microvoltmeter is een schakelaar ingebouwd om de meter op nul in te stellen en zodoende de invloed van het aardmagnetisme of van andere (on)gekende velden uit te schakelen.

Als men de hallsensor aansluit op de computer via de interface wordt deze versterking automatisch door de interface gedaan. Met de versterkingsfactor dien je dan geen rekening te houden , de software doet dit rechtstreeks.

*Schematische voorstelling van het gebruikte materiaal :*



Gebruik je de computerinterface, dan dien je je te vervangen van de hall-generator en de microvoltversterker de interface in te denken ; het computerscherm neemt dan de plaats in van de millivoltmeter. Voor het overige verlopen de proeven precies hetzelfde met beide systemen.

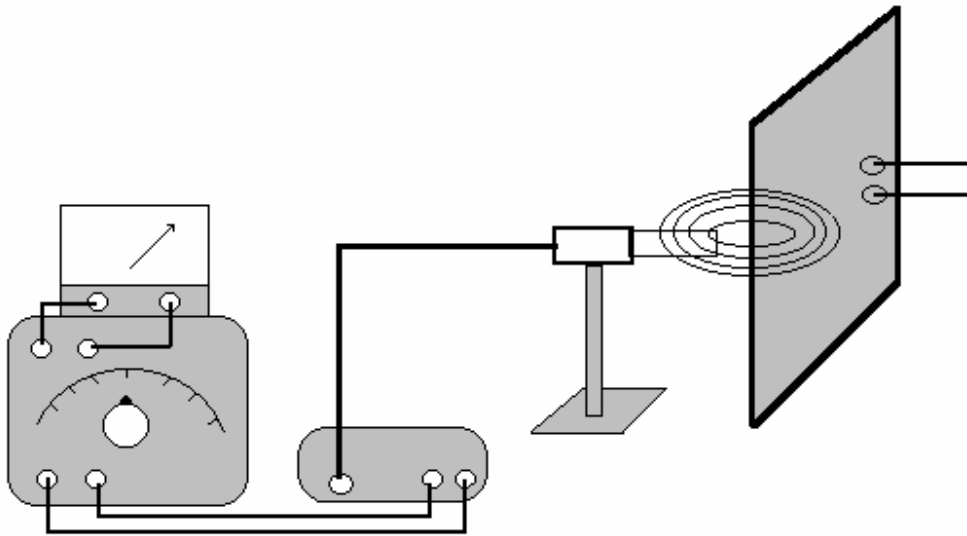
#### **IV.1. Magnetisch veld rond een rechte stroomvoerende geleider.**

##### **a) Hoe moet de hall-sonde of - sensor opgesteld worden ?**

Daar het magnetisch veld van Oersted overal loodrecht staat op de stroomvoerende geleider (zie punt I.5) moet de hall-sonde zodanig worden aangebracht dat het Bi-plaatje parallel is met de stroomvoerende geleider. In bovenstaand punt kan je terugvinden hoe de krachtwerking van het magnetisch veld op de stroombanen in het Bi-plaatje georiënteerd dient te zijn.

Als de sonde in het vlak van het magnetisch veld ligt zal deze krachtwerking nul zijn en zal er zodoende geen hall-spanning tussen de punten  $P_1$  en  $P_2$  zijn. Dit kan nu experimenteel nagegaan worden.

We weten eveneens dat de veldlijnen van het oersted-veld concentrische cirkels aftekenen rond en in vlakken loodrecht op de stroombaan, hetgeen doet veronderstellen dat dit magnetisch veld dezelfde grootte heeft in alle punten die zich op gelijke afstand van de stroomvoerende geleider bevinden. Dit kan nu experimenteel nagegaan worden.



b) Van welke factoren is de grootte van het magnetisch veld in een punt P bij die stroombaan afhankelijk ?

1°. Invloed van de afstand  $r$  van het punt P tot de geleider.

*Proefuitvoering :*

- men gebruikt een rechthoekig raamspool met 30 naast elkaar liggende koperen draden die in dezelfde zin door een stroom doorlopen worden ;
- een constante stroom door het raamspool sturen :  $I =$  A.
- de hall-sonde op verschillende afstanden  $r$  van het raamspool opstellen zoals hierboven aangegeven zodoende dat de horizontale delen van het raamspool geen invloed hebben op de hall-spanning. ( $r =$  afstand tussen het midden van de draden op het raamspool en het midden van het cirkeltje op het Bi-plaatje).
- telkens de ontstane hall-spanningen (of de grootte van het magnetisch veld) aflezen

*Metingen :*

$r$ (cm)	
$U_{Hall}$ (mV)	
$\vec{B}$ (mT)	

*Grafiek* : teken een  $r, B$ - grafiek

*Besluit* :



**2°. Invloed van de stroomintensiteit  $I$  in de geleider.**

Proefuitvoering :

De hall-sonde op een bepaalde afstand  $r$  van de geleider opstellen (  $r$  = afstand tussen het midden van het raamspoel en het midden van het cirkeltje op het Bi-plaatje).

Verschillende stroomintensiteiten  $I_b$  door het raamspoel sturen en telkens de ontstane hall-spanningen op de millivoltmeter aflezen. We stellen deze intensiteit voor door  $I_b$  omdat het de intensiteit is van de stroom die **bron** is van het magnetisch veld.

Indien we met de hall-sensor en de PC-interface werken, kunnen we de grootte van het magnetisch veld  $\vec{B}$  rechtstreeks op het scherm aflezen.

*Metingen* :

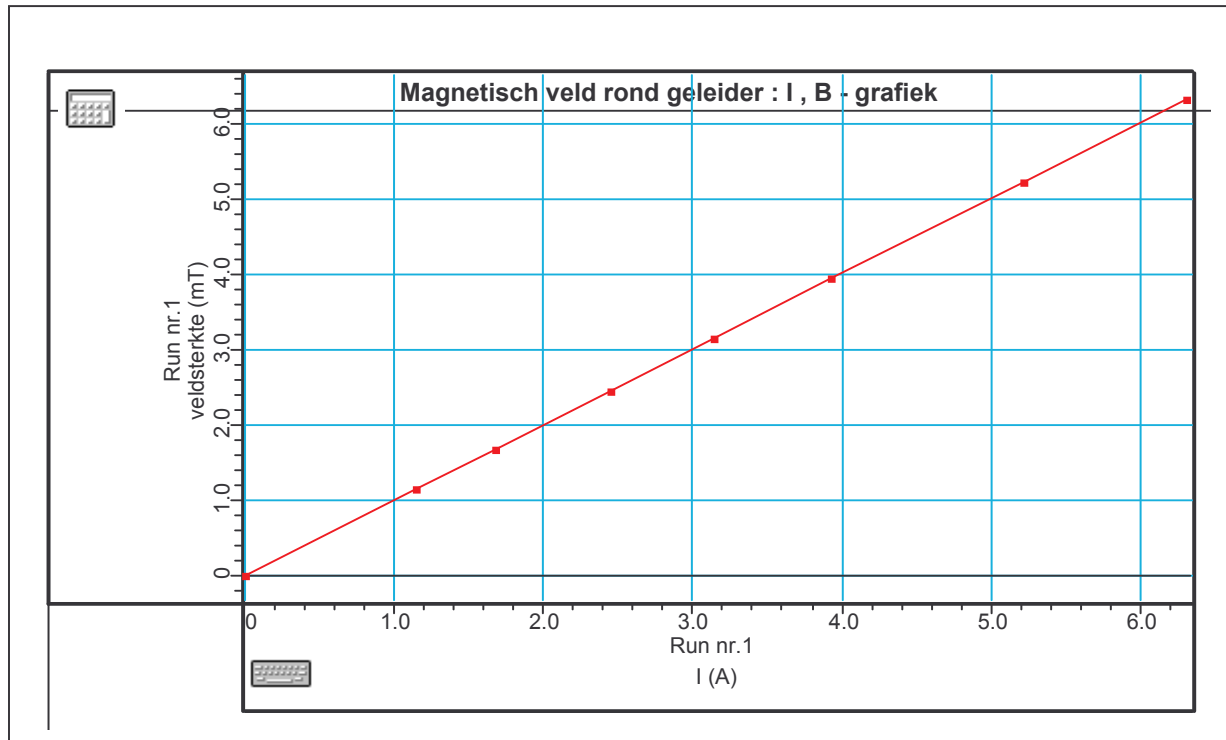
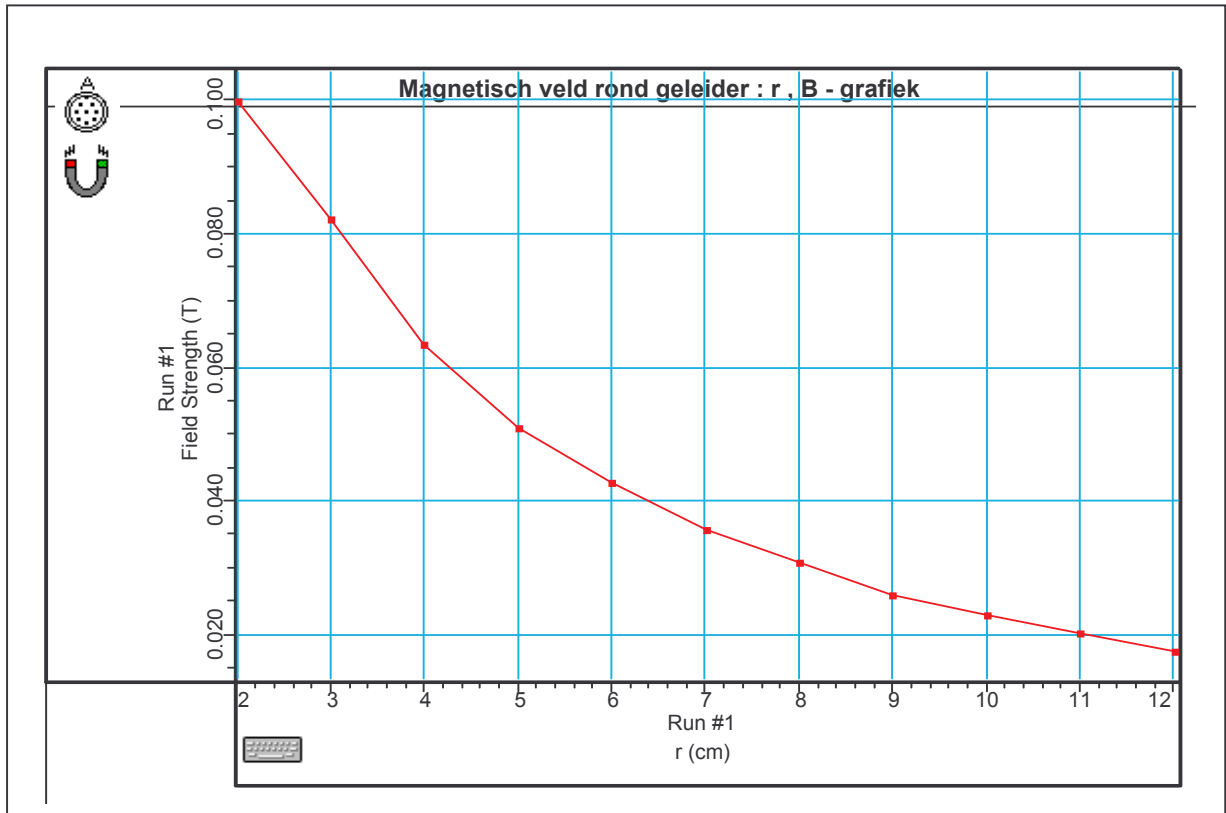
$r =$             cm

$I_b$ (A)	
$U_{Hall}$ (mV)	
$\vec{B}$ (mT)	

*Grafiek* : teken een  $I_b, B$  - grafiek

*Besluit* :





### 3°. Invloed van de middenstof

*Proefuitvoering :*

De hall-sonde of – sensor op een bepaalde afstand van het raamspoel opstellen en hierdoor een bepaalde stroom  $I_b$  sturen. De ontstane hall-spanning (of de grootte van het magnetisch veld  $\vec{B}$ ) gadeslaan als men een weekijzeren staaf in de nabijheid van het Bi-plaatje of de sensor brengt.

*Waarneming :*

*Besluit :*  $\vec{B}$  is afhankelijk van de aard van de middenstof

*Algemeen besluit :*

$$B \sim \frac{I_b}{r}$$

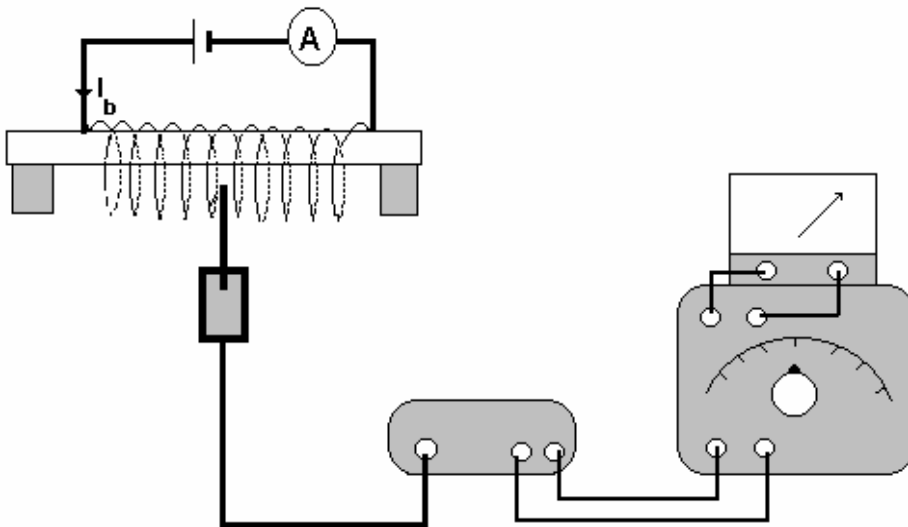
## IV.2. Magnetisch veld binnen een stroomvoerende solenoïde.

Als solenoïde gebruiken we een spoel met instelbare windingsdichtheid. Deze spoel bevat 30 windingen die over verschillende lengten variërend van 45 cm tot 20 cm kunnen ingesteld worden.

### a) Hoe moet de hall-sonde of – sensor opgesteld worden ?

In punt II.2 hebben we de richting en de zin besproken van het magnetisch veld binnenin een stroomvoerende solenoïde. We plaatsen het Bi-plaatje van de sonde dus loodrecht op de as van de solenoïde binnenin de solenoïde tussen twee windingen door.

Indien we met de hallsensor en de PC-interface werken, dien je de hallgenerator en de microvoltversterker in gedachten te vervangen door de interface. De millivoltmeter bevindt zich dan op het computerscherm !



b) Van welke factoren is de grootte van het magnetisch veld in een punt P binnenin de stroomvoerende solenoïde afhankelijk ?

1°. Invloed van de stroomintensiteit in de solenoïde.

*Proefuitvoering :*

Verschillende stroomintensiteiten  $I_b$  door de solenoïde sturen en telkens de ontstane hall-spanningen (of magnetische veldsterkten) opnemen in onderstaande tabel.

*Metingen :*

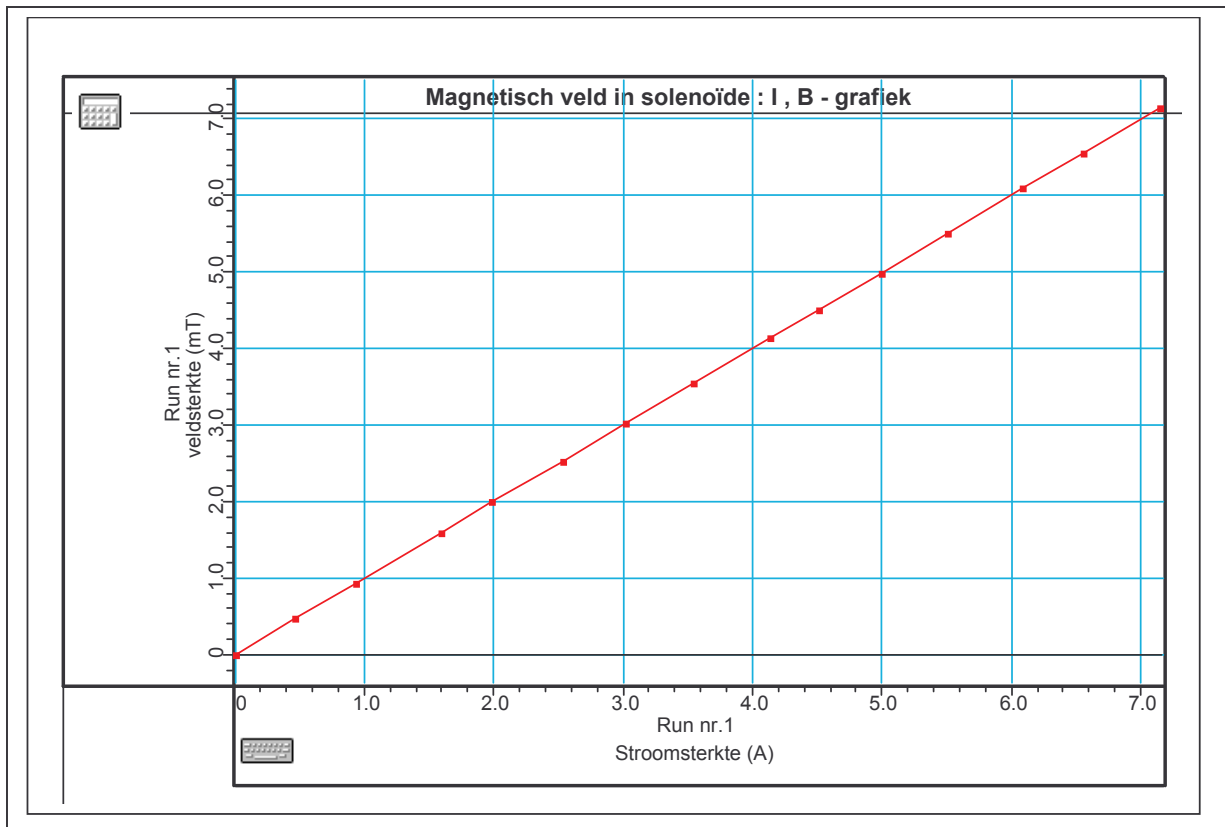
$I_b$ (A)	
$U_{Hall}$ (mV)	
$\vec{B}$ (mT)	

*Grafiek :* zie volgende bladzijde

*Besluit :*







**2°. Invloed van het aantal windingen per lengte-eenheid.**

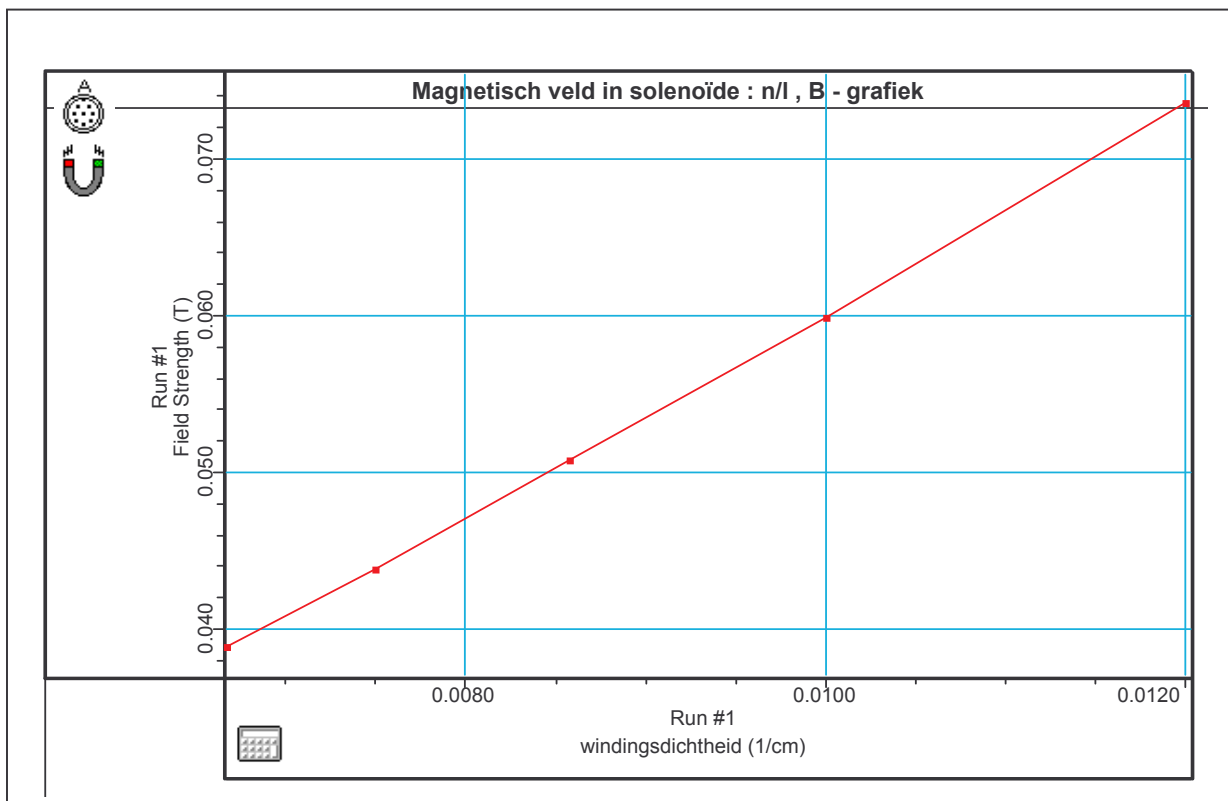
*Proefuitvoering :*

- een constante stroom doorheen de solenoïde sturen
- een bepaald aantal windingen per lengte-eenheid instellen door de lengte van de solenoïde te wijzigen. De lengte opmeten met een meetlat. Het aantal windingen  $n$  blijft steeds 30.
- telkens de ontstane hall-spanning (grootte van ontstaan magnetisch veld) noteren

Metingen en berekeningen :

$l$ (cm)	
$\frac{n}{l}$ (cm <sup>-1</sup> )	
$U_{Hall}$ (mV)	
$B$ (mT)	

Grafiek : teken een  $n/l$  ,  $B$  - grafiek



Besluit :

3°. Invloed van de diameter van de solenoïde.

*Proefuitvoering :*

- een solenoïde met een andere diameter nemen doch met dezelfde windingsdichtheid
- dezelfde stroomintensiteit doorheen beide solenoïdes sturen
- de ontstane hall-spanning (grootte van ontstane  $\vec{B}$ ) noteren.

*Waarneming :*

*Besluit :*  $B$  is onafhankelijk van de diameter van de solenoïde

#### **4°. Invloed van de middenstof.**

*Proefuitvoering :*

De hall-sonde of – sensor tussen twee windingen door van een stroomvoerende solenoïde opstellen en hierdoor een bepaalde stroom  $I_b$  sturen. De ontstane hall-spanning ( $\vec{B}$  - grootte) nagaan als men een weekijzeren staaf in de nabijheid van het Bi-plaatje houdt.

*Waarneming :*

*Besluit :*  $B$  is afhankelijk van de aard van de middenstof

**Algemeen besluit :**

$$B \sim \frac{n \cdot I_b}{l}$$

### Samenvatting :

De betrekkingen :

$$B \sim \frac{I_b}{r} \quad \text{in geval van een stroomvoerende rechtlijnige geleider}$$

$$B \sim \frac{n \cdot I_b}{l} \quad \text{in geval van een stroomvoerende solenoïde}$$

kunnen geschreven als :

$$B = k \frac{I_b}{r} \quad \text{en} \quad B = k' \frac{n \cdot I_b}{l}$$

Uit afspraken i.v.m. de definitie van de ampère (die we verder zullen bespreken) heeft men de waarde van de evenredigheidscoëfficiënten  $k$  en  $k'$  bepaald. In het luchtledige is  $k' = 1,26 \cdot 10^{-6}$  en wordt voorgesteld door  $\mu_0$ .

We verkrijgen dan als formules :

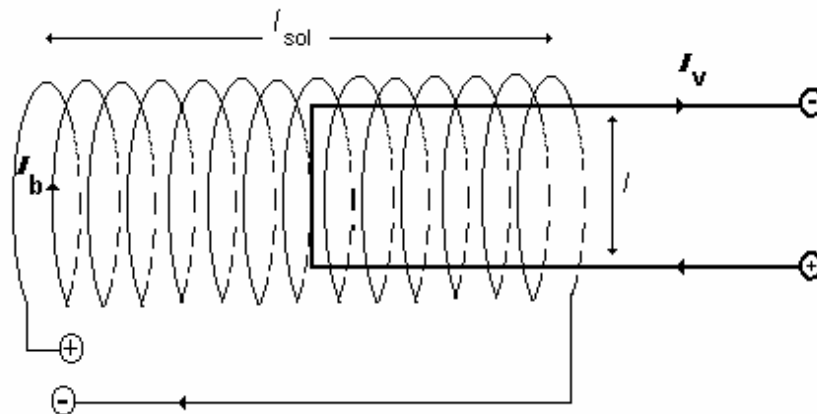
$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_b}{2\pi \cdot r}$$

en

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I_b \cdot n}{l}$$

## Hoofdstuk V : Krachtwerking van magnetische velden op stroomvoerende geleiders.

### V.1. Krachtwerking van een stroomvoerende solenoïde op een rechtlijnige stroomvoerende geleider in de solenoïde.



In de solenoïde heerst een homogeen magnetisch veld. Dit veld  $\vec{B}$  hebben we gemeten met de hallsonde of hallsensor (zie punt IV.2) door de kracht te meten die het uitoefent op een stationaire stroom in een Bi-plaatje. Deze kracht veroorzaakt een afbuiging van de stroombanen en doet aldus een hallspanning ontstaan. Deze hallspanning is een maat voor de grootte van het magnetisch veld.

In het geval van luchtledige geldt :

$$B_0 = \mu_0 \frac{I_b \cdot n}{l_{sol}}$$

Welke kracht ondervindt de draadgeleider met lengte  $l$  in deze solenoïde ?

$$\begin{aligned} F &= I_v \cdot l \cdot B \cdot \sin 90^\circ = I_v \cdot l \cdot \mu_0 \frac{I_b \cdot n}{l_{sol}} \\ &= \mu_0 \cdot n \cdot \frac{l}{l_{sol}} \cdot I_v \cdot I_b \end{aligned}$$

Indien men de geleider én de solenoïde in serie plaatst geldt dat :  $I_v = I_b = I$

Vorige formule wordt dan :

$$F = \mu_0 \cdot n \cdot \frac{l}{l_{\text{sol}}} I^2$$

Dit geeft  $I$  in functie van louter mechanische grootheden zodat men als het ware een "**absolute**" ampère-meter verkrijgt.

***Uitbreiding :***

## **V.2. Grootte van de krachtwerking van een magnetisch veld op een draaibaar opgesteld stroomvoerend kader.**

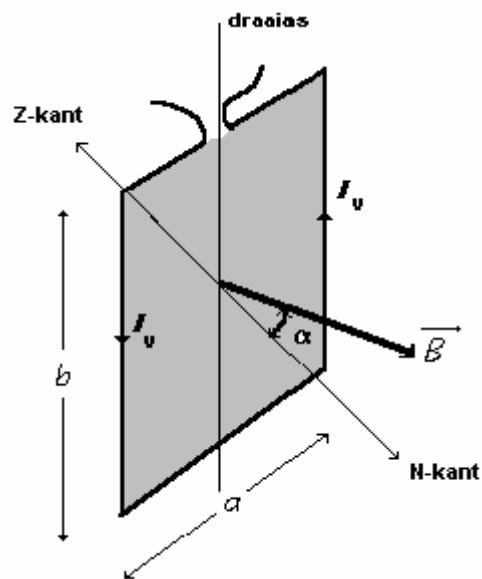
*Proefopstelling :*

Een onvervormbaar vlak rechthoekig stroomkader

- met afmetingen  $a$  en  $b$
- doorlopen door een stroom met intensiteit  $I_v$

wordt draaibaar rond een verticale as opgesteld in een homogeen magnetisch veld met vector  $\vec{B}$  zo dat :

- $\vec{B}$  de afmeting  $b$  orthogonaal kruist
- $\alpha$  = de hoek tussen de vector  $\vec{B}$  en de verbindingslijn Zuid-kant  $\longleftrightarrow$  Noord-kant (zie punt II.1) van het stroomvoerend kader.



*Waarneming :*

*Besluit :* het stroomvoerend kader draait totdat de verbindingslijn Z-kant  $\longleftrightarrow$  N-kant in richting én zin samenvalt met de vector  $\vec{B}$ .

*Verklaring :*

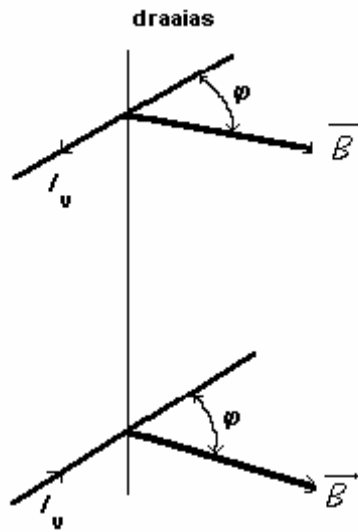
**1°. Bespreking van de krachtwerking op de twee horizontale stukken :**

De draadstukken met afmeting  $a$  ondergaan gelijke tegengestelde krachten :

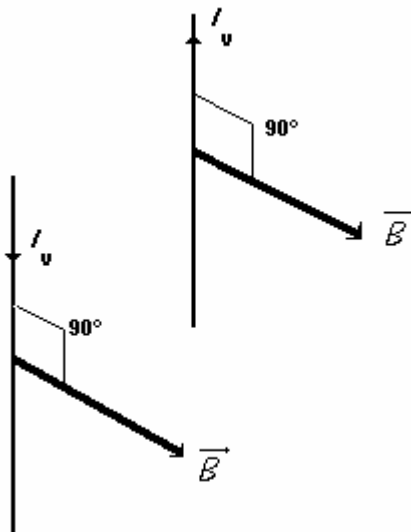
$$F_a = I_v \cdot a \cdot B \cdot \sin \varphi$$

Teken deze krachten op de tekening op volgende blz.

Deze krachten zijn op dezelfde werklijn gelegen en hebben, vermits ze even groot zijn, geen uitwerking.



2°. Bespreking van de krachtwerking op de twee verticale stukken :



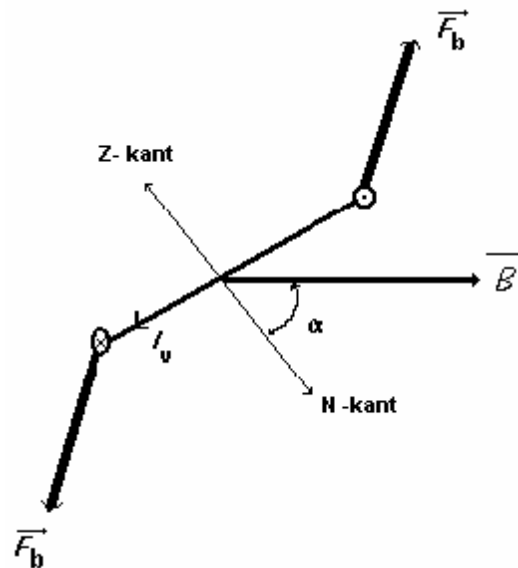
De twee draadstukken met afmeting  $b$  ondergaan eveneens gelijke tegengestelde krachten :

$$F_b = I_v \cdot b \cdot B \cdot \sin 90^\circ = I_v \cdot b \cdot B$$

De krachten de verticale draadstukken liggen echter niet op dezelfde werklijn en vormen een **krachtenkoppel**.



### Effect van het krachtenkoppel :



Het effect van een krachtenkoppel is een ROTATIE - beweging met als draaimoment :

$$M = \text{kracht} \times \text{arm van het koppel}$$

$$= F_b \times a \cdot \sin \alpha$$

De winding is dus onderworpen aan een draaimoment met waarde :

$$M = I_v \cdot b \cdot B \cdot a \cdot \sin \alpha$$

$$M = I_v \cdot A \cdot B \cdot \sin \alpha$$

( $A$  = oppervlakte van het stroomkader)

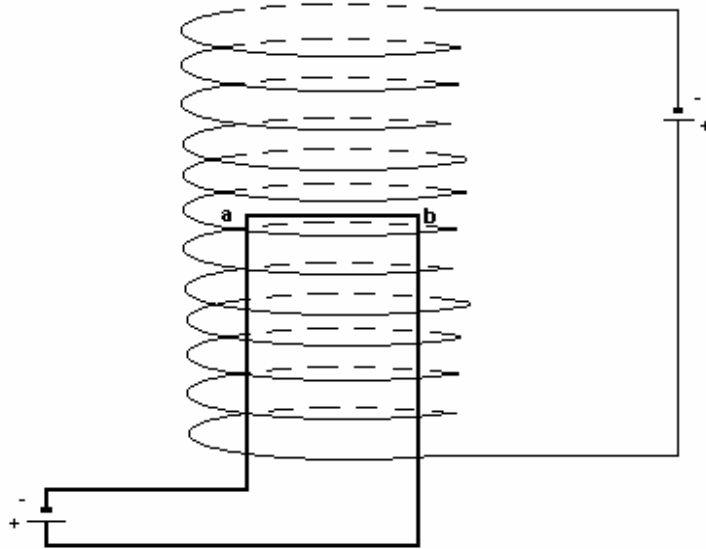
### Bespreek :

- wanneer wordt  $M = 0$

- hoe is het stroomkader dan georiënteerd t.o.v.  $\vec{B}$  ?

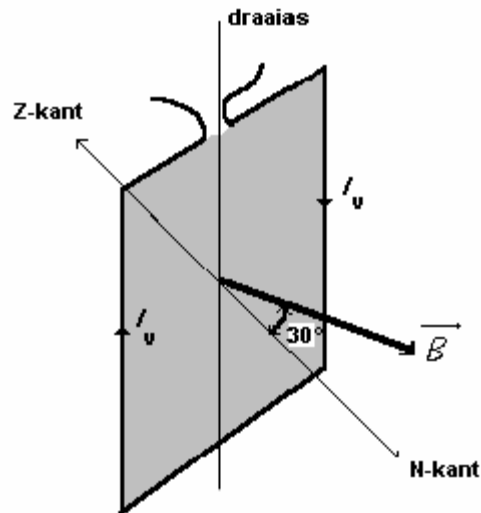
### Oefeningen :

1. Een solenoïde met een lengte van 20,0 cm bestaat uit 300 windingen en wordt doorlopen door een stroom met intensiteit  $I = 10,0$  A. In deze solenoïde loopt een stroomvoerende draad waarvan een stuk  $[a,b]$  met een lengte van 5,00 cm beweegbaar opgesteld is loodrecht op de as van de solenoïde. De stroomintensiteit in deze draad bedraagt 2,00 A.  
 $\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6}$  V.s/A.m



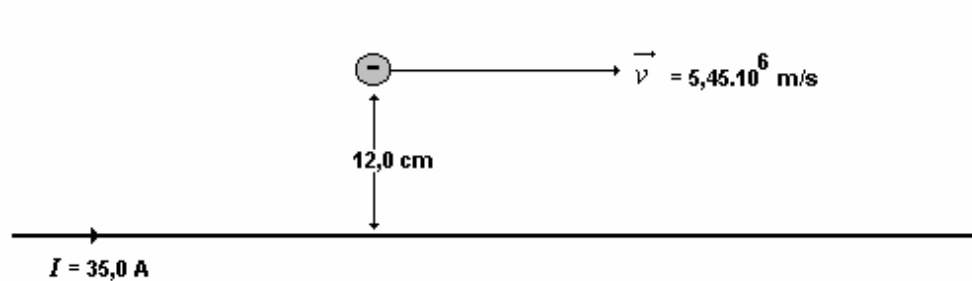
- Geef de N - kant aan van deze solenoïde;
- Geef de richting én de zin van het magnetisch veld binnenin deze solenoïde;
- Bereken de sterkte van het magnetisch veld  $\vec{B}_0$  binnenin deze solenoïde;
- Geef de richting én de zin aan van de kracht die het draadstuk  $[a,b]$  ondervindt;
- Bereken de grootte van de kracht op het draadstuk  $[a,b]$

2. Een rechthoekig draadraam (hoogte = 10,0 cm; diepte = 5,0 cm) telt 20 windingen en is draaibaar opgesteld om een as doorheen de middens van de kortste zijden. Het raam is opgesteld in een homogeen magnetisch veld met  $\vec{B} = 0,20 \text{ T}$  zo dat  $\vec{B}$  loodrecht staat op de draaias en een hoek van  $60^\circ$  vormt met het vlak van het kader. Een stroom  $I$  met een intensiteit van 5,0 A wordt in de aangegeven zin door het kader gestuurd.

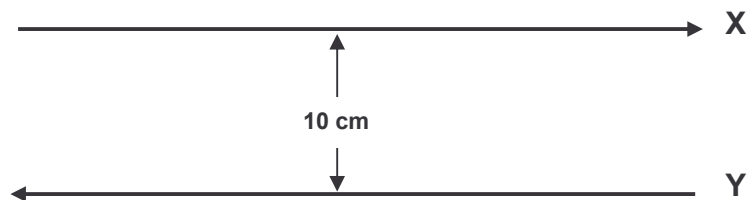


- Geef de richting én de zin van de krachtwerking op de horizontale delen van het kader;
- Geef de richting én de zin van de krachtwerking op de verticale delen van het kader;
- Bereken de grootte van de krachtwerking op één vertikaal gedeelte van het kader;
- Bereken het draaimoment dat dit kader in deze positie ondervindt;
- Geef aan hoe het kader gaat draaien en hoe het tot stilstand zal komen.

3. Een elektron met een lading van  $-1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  beweegt parallel met lange rechtlijnige draad die doorlopen wordt door een stroom met een intensiteit van  $35,0 \text{ A}$  (zie fig.).



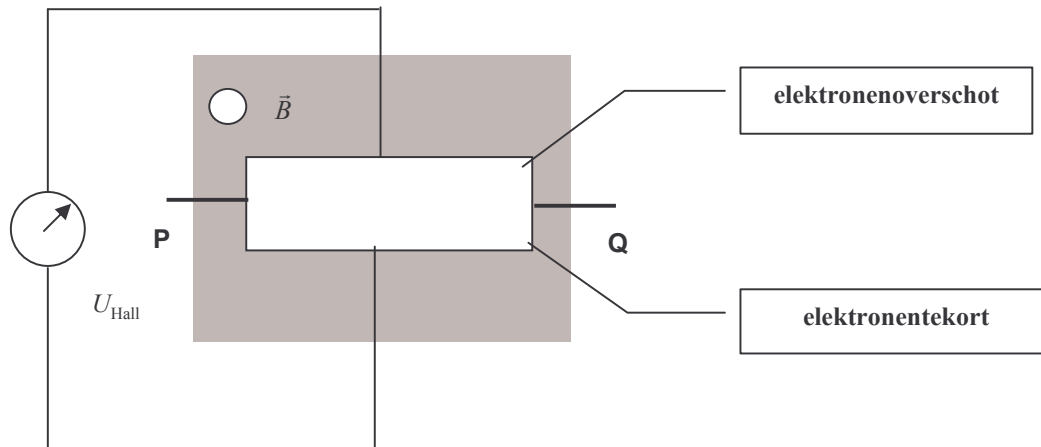
- a) Geef op de tekening de richting én de zin van de kracht aan die het elektron daar ondervindt;
- b) Bereken tevens de grootte van deze kracht als het elektron  $12,0 \text{ cm}$  van de draad verwijderd is.  
 $\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ V} \cdot \text{s/A} \cdot \text{m}$
4. Twee rechte zeer lange geleiders X en Y lopen parallel aan elkaar in een vertikaal vlak op een afstand van  $10 \text{ cm}$ . Ze worden in *tegengestelde* zin doorlopen door stromen met intensiteiten  $I_X = 15 \text{ A}$  en  $I_Y = 25 \text{ A}$ .



In welk gebied kunnen we punten vinden waar het magnetisch veld vanwege deze twee geleiders *nul* is ?

- A. alléén in het gebied boven X;  
 B. alléén in het gebied onder Y;  
 C. alléén in het gebied tussen de twee geleiders X en Y;  
 D. zowel in het gebied boven X als in het gebied onder Y.

5. Een germaniumplaatje van een hall-sensor, waarmee de hall-spanning in een magnetisch veld gemeten wordt, is loodrecht op de  $\vec{B}$  - vector van een magnetisch veld opgesteld zoals aangegeven op onderstaande figuur. We veronderstellen bovendien dat het magnetisch veld homogeen is in gans de grijze rechthoek



Opdat in de bovenste helft van het germanium-plaatje een elektronenoverschot en in de onderste helft een elektronentekort zou ontstaan moet :

- A. de verzorgingstroom (conventionele stroomzin) in het plaatje van P naar Q gaan én het magnetisch veld  $\vec{B}$  uit het blad naar je toe komen ;
- B. de verzorgingstroom (conventionele stroomzin) in het plaatje van Q naar P gaan én het magnetisch veld  $\vec{B}$  uit het blad naar je toe komen ;
- C. de verzorgingstroom (conventionele stroomzin) in het plaatje van P naar Q *of* van Q naar P gaan én het magnetisch veld  $\vec{B}$  uit het blad naar je toe komen ;
- D. de verzorgingstroom (conventionele stroomzin) in het plaatje van P naar Q gaan én het magnetisch veld  $\vec{B}$  uit het blad naar je toe komen *of* het blad in gaan.