

### Hoofdstuk III : De grootte van de krachtwerking van een homogeen magnetisch veld op een stroomvoerende geleider.

Een geleider waardoor een stroom loopt, ondervindt een krachtwerking in een magnetisch veld. In punt I.6 hebben we de richting én de zin van de krachtwerking van een magneet of magnetisch veld op een stroomvoerende geleider bepaald. Hoe groot is deze kracht nu echter ?

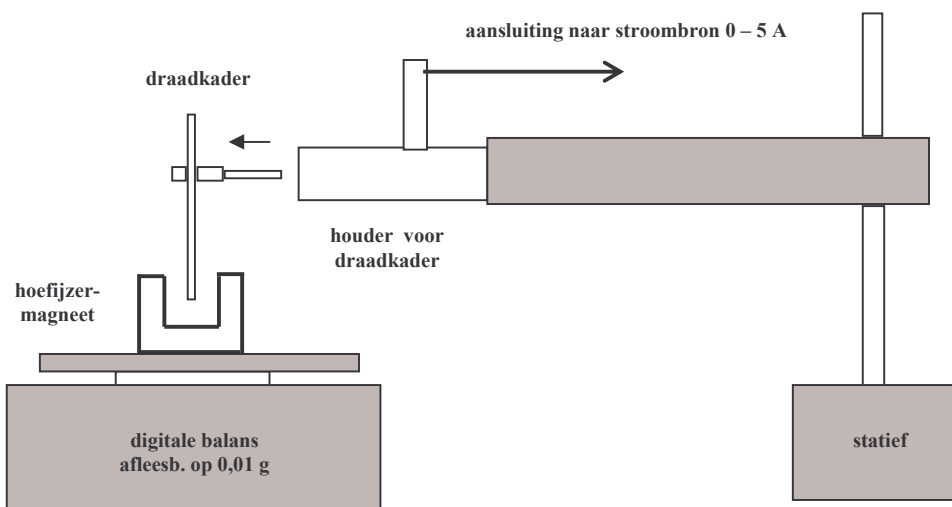
#### III.1. Meting van de grootte van de lorentzkracht m.b.v. digitale balans :

*Proefopstelling :*

Op een digitale balans (met als vereiste afleesnauwkeurigheid 0,01 gram) wordt een breed hoefijzermagneetje geplaatst. Door middel van de tarratoets wordt de aanduiding op de balans op nul gebracht.

Tussen de polen wordt de geleidende draad van een draadkader geschoven zo dat hij nergens raakt. De stroomvoerende geleider staat nu parallel met de N- en Z-pool van het hoefijzermagneetje; hij bevindt zich dus loodrecht op de magnetische veldlijnen. Vermits men over verschillende draadkaders kan beschikken, kan men de lengte van de geleidende draad tussen de polen van de magneet variëren. Zodoende kan men de invloed van de lengte  $l$  van de draad op de krachtwerking bestuderen.

Vanaf het ogenblik dat men door de geleider een stroom stuurt duidt de balans een van nul verschillende waarde aan. Door de stroomintensiteit te laten variëren kan men de invloed van de stroomsterkte  $I$  op de krachtwerking nagaan.

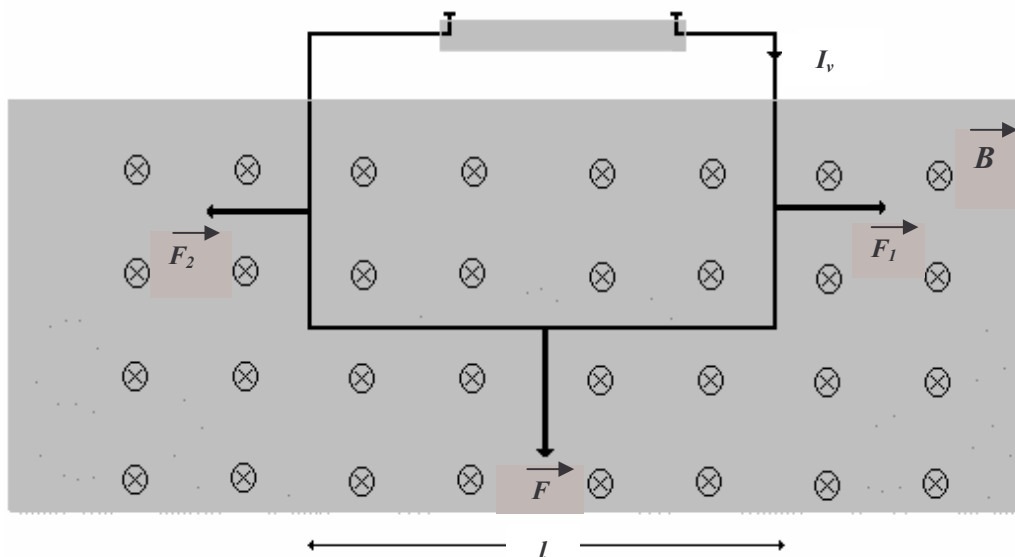


*Verklaring van het principe van de krachtmeting :*

De balans meet eigenlijk de grootte van de reactiekracht op de lorentzkracht. Inderdaad, het hoefijzermagneetje oefent een kracht uit op de stroomvoerende geleider, die op zijn beurt een tegengestelde kracht uitoefent op de magneet. De balans meet de grootte van deze kracht als een vermeerdering of een vermindering van de massa van de magneet, naargelang de zin van de stroom in de geleider.

De balans meet enkel de kracht op het onderste horizontale deel van het stroomkader. De kracht op de verticale delen van de geleider in het stroomkader spelen geen rol daar ze mekaar opheffen (zie *onderstaande fig.*). We veronderstellen dat het magnetisch veld  $\vec{B}$  loodrecht op het blad staat, en het blad indringt.

Uiteraard zullen de stroomvoerende delen van de geleider, die zich buiten het magnetisch veld van het hoefijzermagneetje bevinden, geen kracht ondervinden van de magneet.



De afgelezen waarde op de balans moet met  $g = 9,81 \text{ N/kg} = 9,81 \text{ mN/g}$  vermenigvuldigd worden om de grootte van de kracht in millinewton (mN) uit te drukken.

Proefuitvoering :

- a) Bij constante draadlengte  $l$  stuurt men verschillende stroomintensiteiten doorheen het stroomkader. We spreken af dat we deze intensiteiten  $I_v$  noemen omdat het de stroom is die voorwerp is van de magnetische krachtwerking. Dit experiment spoort het verband op tussen de lorentzkracht  $\vec{F}$  en de stroomintensiteit  $I_v$ .
- b) Bij constante stroomsterkte  $I_v$  brengt men stroomkaders met verschillende lengte  $l$  van geleiders aan (8,0 – 6,0 – 4,0 – 3,0 – 2,0 – 1,0 cm).

Waarnemingen :

- a) Invloed van de stroomintensiteit  $I_v$  in de draadgeleider. Constante lengte  $l =$       cm.

$I_v$ (A)	
$m$ (g)	
$F$ (mN)	

- b) Invloed van de lengte  $l$  van de draadgeleider. Constante stroomintensiteit  $I_v =$       A

$l$ (cm)	
$m$ (g)	
$F$ (mN)	

Grafieken : teken van beide waarnemingen een grafiek :  $F$  als  $f(I_v)$  en  $F$  als  $f(l)$

Besluit :

- a) De grootte van de lorentzkracht is recht evenredig met de stroomintensiteit (bij constante lengte van de stroomvoerende geleider in het magneetveld) :

- b) De grootte van de lorentzkracht is recht evenredig met de lengte van de stroomvoerende geleider in het magneetveld (bij constante stroomsterkte) :

### Algemeen besluit :

De magnetische kracht  $\vec{F}$  op de stroomvoerende geleider is recht evenredig met de stroomsterkte  $I_V$  én met de lengte  $l$  van de geleider :

$$F \sim I_V \cdot l$$

De evenredigheidsfactor  $F/I_V \cdot l$  is onafhankelijk van de eigenschappen van het stuk draad geleider (diameter, stofaard, enz...). Hij is enkel afhankelijk van sterkte van het magnetisch veld.

Daarom voert men m.b.v. het quotiënt  $F/I_V \cdot l$  de **grootte** in van het magnetisch veld. Deze grootte noemt men de **magnetische inductie** (of de **magnetische veldsterkte**). Ze wordt aangeduid met de vector  $\vec{B}$ . De richting en de zin is vastgelegd in hoofdstuk I.

De grootte is dus gelijk aan :

$$B = \frac{F}{I_V \cdot l}$$

Als **eenheid** van de **sterkte van het magnetisch veld** nemen we de **tesla** ( **1 T** ) = het totaalveld dat op een draadsector van 1 meter lengte, doorlopen door een stroom van 1,0 ampère, een kracht uitoefent van 1 newton als draad en veld loodrecht op mekaar staan.

$$1 \text{ tesla} = \frac{1 \text{ newton}}{1 \text{ ampère} \cdot 1 \text{ meter}}$$

Voor de krachtwerking  $\vec{F}$  vanwege het magnetisch veld verkrijgen we als formule :

$$F = B \cdot I_V \cdot l$$

**Nota :** indien men bovenstaand experiment zo uitvoert dat de draadsector met lengte  $l$  niet loodrecht op de magnetische veldlijnen staat, maar met de veldvector  $\vec{B}$  een hoek  $\alpha \neq 90^\circ$  maakt, mag men van de draadsector enkel dat deel laten meetellen in de formule dat loodrecht op  $\vec{B}$  staat.

Als algemeen geldende formule mogen we dus gebruiken :

$$F = B \cdot I_V \cdot l \cdot \sin \alpha$$

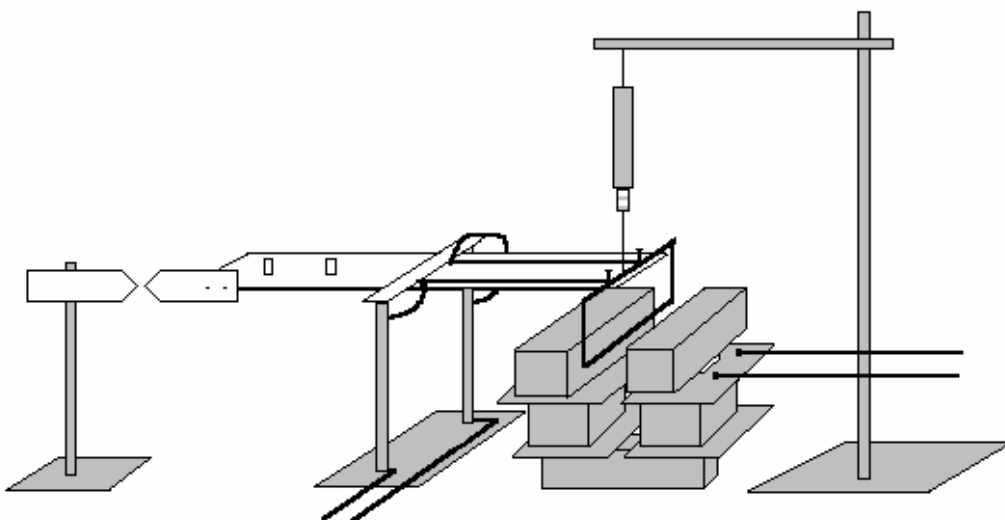
## Alternatieve proef : Meting van de grootte van de Lorentzkracht m.b.v. de balans van Cotton

### Proefopstelling :

Een geleidende rechthoekige beugel wordt bevestigd aan de arm van een balans en wordt tussen de poolschoenen van een sterke elektromagneet geschoven (zie fig.).

Het horizontaal gedeelte van de beugel wordt parallel met de N- en Z-pool van de elektromagneet opgesteld zodat het zich loodrecht op de magnetische veldlijnen bevindt.

De balans wordt met tarra in evenwicht gebracht als er geen stroom door de beugel gaat.



Wanneer er stroom door de beugel wordt gestuurd ondervindt de horizontale draadgeleider een elektromagnetische krachtwerking naar onder. De krachten op de verticale delen compenseren elkaar.

Verschuif nu de dynamometer die aan de rechtse balansarm bevestigd is zo ver naar boven totdat de balans zich in haar uitgangspositie bevindt. Dit wordt duidelijk d.m.v. de aanwijzer aan de linkse arm. Dan leest men de grootte van de elektromagnetische kracht af op de dynamometer. Daar deze krachten zeer klein zijn dient deze proef uiterst secuur uitgevoerd te worden.

Proefuitvoering :

- a) Bij constante draadlengte  $l$  en onveranderd magnetisch veld stuurt men verschillende stroomsterkten doorheen de beugel. We spreken af dat we deze stroomsterkten  $I_V$  noemen omdat het de intensiteit van de stroom is die **voorwerp** is van de magnetische krachtwerking. Dit experiment spoort het verband op tussen de kracht  $\vec{F}$  en de stroomsterkte  $I_V$ .

**Nota :** Om niet in een cirkelredenering vast te raken kan men in serie met het beschouwde stuk draadgeleider een elektrolysetoestel schakelen; men zal zien dat er een ruwe evenredigheid bestaat tussen de gemeten magnetische kracht en het debiet van de vrijkomende stoffen aan de elektroden van het elektrolyse-toestel. Hieruit kan men besluiten dat  $\vec{F}$  een maat is voor de stroomsterkte van het ladingstransport, dat de gemeenschappelijke oorzaak is van de verschijnselen.

- b) Bij constante stroomsterkte  $I_V$  en onveranderd magnetisch veld brengt men beugels van verschillende grootte aan. Dit experiment spoort het verband op tussen de kracht  $\vec{F}$  en de lengte  $l$  van de draadgeleider.

Waarnemingen :

- a) *Invloed van de stroomsterkte  $I_V$  in de draadgeleider :*

Constante lengte van de draadgeleider :  $l =$                       cm

$I_V$ (A)	
$F$ (mN)	

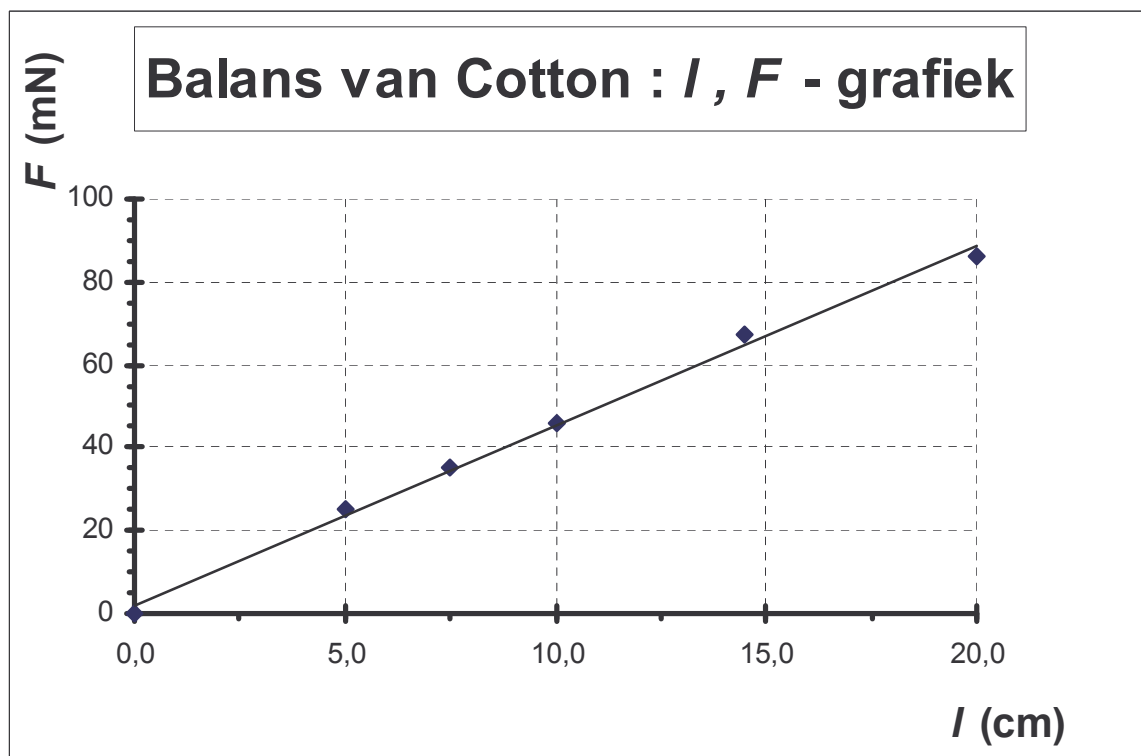
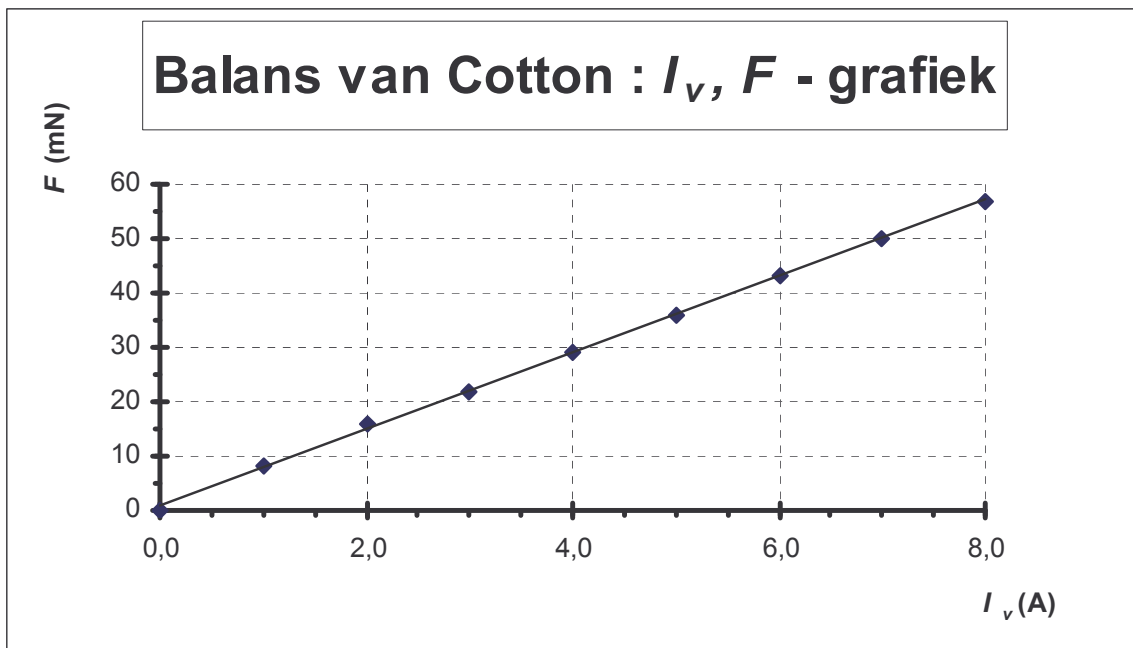
**Besluit :**

- b) *Invloed van de lengte  $l$  van de draadgeleider :*

$I_V =$                       A

$l$ (cm)	
$F$ (mN)	

**Besluit :**

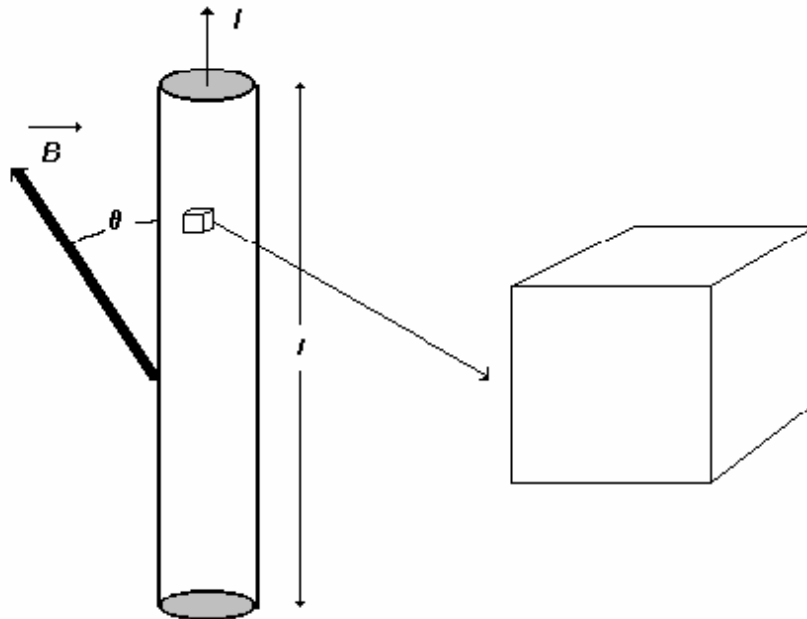


### III.2. Magnetische kracht die een bewegende puntlading in een magnetisch veld ondervindt (lorentz-kracht).

Vermits de krachtwerking in bovenstaande proef enkel optreedt als er stroom door de geleider gaat, kunnen we hieruit besluiten dat een magnetisch veld ook een krachtwerking uitoefent op een **bewegende lading**. De elektronenstraal van een oscilloscoop kan afgebogen worden door een magneet.

Veronderstel :

- $l$  = lengte van het beschouwde element van de geleider
- $I_V$  = intensiteit van de stroom in de geleider
- $\vec{B}$  = magnetische veldvector (inductievector) van een homogeen veld
- $n$  = het aantal vrije ladingsdragers (= vrije elektronen) bevat in 1 volume-eenheid.
- $q$  = de grootte van de lading van één ladingsdrager



We weten uit vorig punt dat de magnetische krachtwerking op dit stukje draadgeleider :

$$F = I_V \cdot l \cdot B \cdot \sin \alpha$$



Vermits  $I_v$  = de hoeveelheid lading die per seconde door de doorsnede van de geleider stroomt

$$= (v.A).n.q$$

$n.q$  = hoeveelheid lading per volume-eenheid  
 $v.A$  = in beslag genomen volume per seconde  
 $A$  = oppervlakte van de doorsnede van de draad  
 $v$  = driftsnelheid van de vrije ladingsdragers

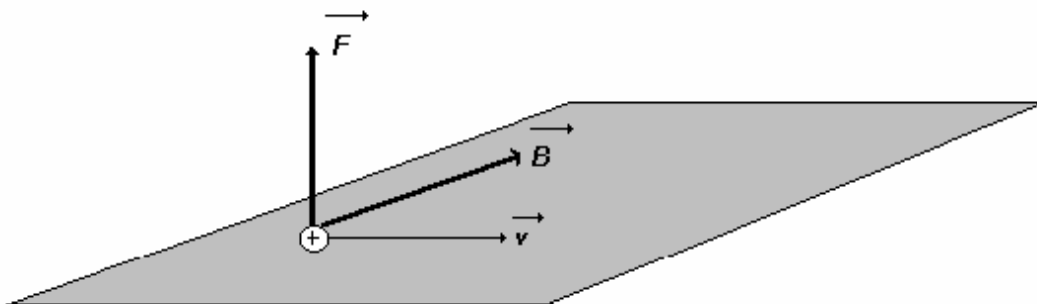
Dus :  $F = v.A.n.q.l.B.\sin \alpha$

$$= v.q_{tot}.B.\sin \alpha$$

$q_{tot}$  = de totale hoeveelheid bewegende lading in het beschouwde draadelement

hetgeen eveneens beduidt dat de bewegende puntlading  $q$  (die we + veronderstellen om in overeenstemming te blijven met de conventionele stroomzin) ook een lorentzkracht ondervindt die gekenmerkt is door :

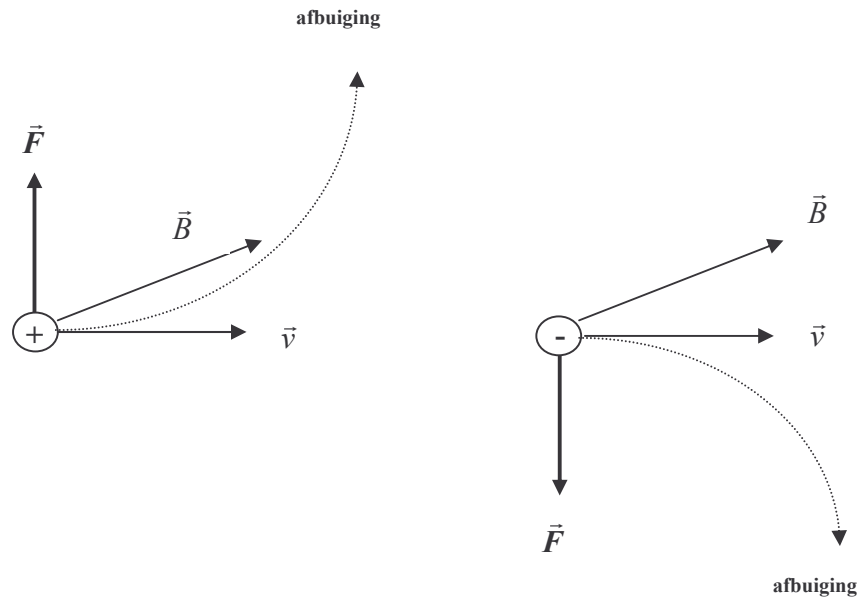
$q$  : de beschouwde puntlading  
 $\vec{v}$  : de snelheidsvector van deze puntlading  
 $\vec{B}$  : de magnetische veldvector (inductievector)



Kenmerken van de krachtvector  $\vec{F}$  :

- grootte :  $F = q.v.B.\sin \alpha$
- richting : loodrecht op  $\vec{v}$  én loodrecht op  $\vec{B}$  (zie punt I.6)
- zin : bepaald door "de regel van de linkerhand" (zie punt I.6)
- aangrijpingspunt : de beschouwde puntlading  $q$

De kracht die een magneetveld uitoefent op bewegende geladen deeltjes noemt men de **lorentzkracht**. Ze staat altijd loodrecht op de bewegingsrichting van de bewegende geladen deeltjes. Ze verandert daardoor niet de grootte van de snelheid maar wel de richting van de snelheid.



**Nota :** De tesla-definitie (zie punt III.1) kan dan ook op een enigszins variante wijze afgeleid worden :

In een punt van een magnetisch veld is de veldsterkte = *1 tesla* als in dat punt een lading van *1 coulomb*, die zich beweegt loodrecht op de magnetische veldvector met een snelheid van *1 meter/seconde*, een kracht ondervindt van *1 newton*.

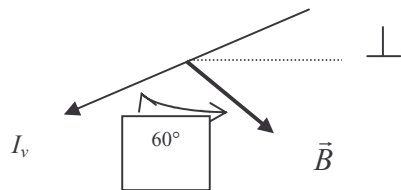
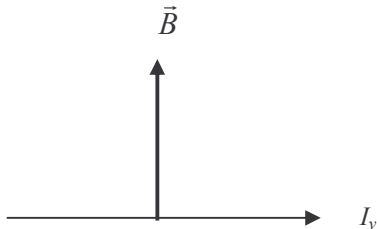
## Oefeningen :

1. Teken de krachtvector én bereken de grootte van de kracht.  
De lengte van het draadelement is **5,00 cm** in beide gevallen.

a)  $\vec{B}$  (vertikaal) = 0,020 T  
 $I_v$  (vertikaal) = 2,0 A

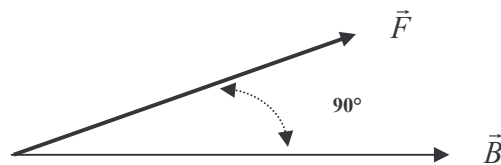
b)  $\vec{B}$  (horizontaal) = 0,010 T  
 $I_v$  (horizontaal) = 10,0 A

De hoek tussen het draadelement en het magnetisch veld =  $60^\circ$



2. Hoe moet je in de volgende tekening een stroomvoerend draadelement met een lengte van 10,0 cm plaatsen opdat het een horizontale kracht zou ondervinden  $\vec{F} = 2,0 \cdot 10^{-4}$  N ?  
Welke stroomintensiteit  $I$  moet in het draadelement heersen ?

$\vec{B} = 1,0 \cdot 10^{-2}$  T

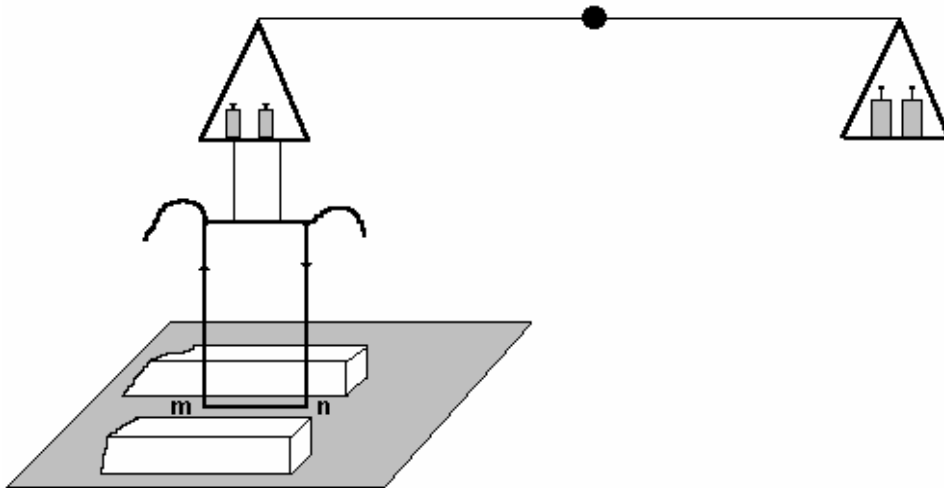


3. Welke moet de richting van het magnetisch veld zijn op de volgende figuur opdat het stroomvoerend draadelement er geen kracht ondervindt ?

$I_v = 3,0$  A



4. Men beschikt over de volgende opstelling : een gevoelige balans, een hoefijzermagneet in een horizontaal vlak geplaatst, een rechthoekig stroomvoerend kader bestaande uit  $10$  windingen met als lengte van  $[m,n] = 5,00$  cm.

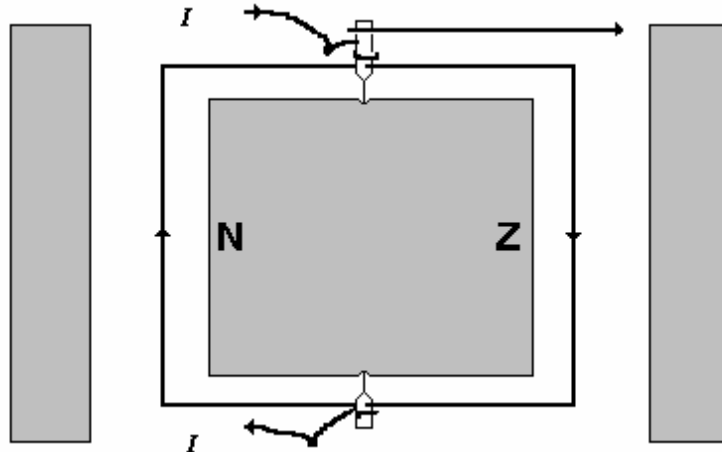


Als men een stroom van  $10,0$  A door het kader stuurt moet men  $1,20$  g op de rechter schaal van de balans bijplaatsen om opnieuw evenwicht te verkrijgen.

- Duid de N - en Z - pool aan van de hoefijzermagneet;
  - Bereken de sterkte van het veld tussen de magneetpolen in de veronderstelling dat dit veld homogeen is.
5. Een draadje met een lengte  $l = 5,0$  cm, doorlopen door een stroom met een intensiteit  $I = 7,0$  A ondervindt in een homogeen magnetisch veld met een veldsterkte  $\vec{B} = 0,35$  T een krachtwerking  $\vec{F} = 0,045$  N.  
Welke hoek maakt het draadje met de magnetische veldlijnen ?
6. Een lichaam met een lading  $q = - 2,0 \cdot 10^{-9}$  C beweegt in een horizontaal naar je toe gericht magnetisch veld met een veldsterkte  $\vec{B} = 5,0 \cdot 10^{-2}$  T . Het lichaam beweegt horizontaal naar links met een snelheid  $\vec{v} = 3,5 \cdot 10^4$  m/s.

Geef de richting, de zin en de grootte aan van de magnetische kracht die dit lichaam ondervindt.

7. Verklaar de werking van deze ampère-meter met beweegbaar kader !



8. De horizontale component van het magnetisch veld van de aarde bedraagt ongeveer  $\vec{B} = 1,9 \cdot 10^{-5} \text{ T}$ . Bereken de kracht die een hoogspanningsdraad in de oost-westrichting gespannen ondervindt als hij doorlopen wordt door een stroom  $I = 100 \text{ A}$ . De afstand tussen twee pylonen bedraagt 150 m.

9. Een rechthoekige draadwinding is verticaal opgehangen. De draadwinding hangt in een horizontaal magnetisch veld  $\vec{B}$  dat er loodrecht opstaat en dat vanuit het papier naar je toewijst. De draadwinding hangt aan een balans en deze geeft een meeraanduiding van  $\vec{F} = 6,20 \cdot 10^{-2} \text{ N}$  als er door de draad een stroom met  $I_v = 0,395 \text{ A}$  gaat.

- geef de zin van de stroom  $I_v$  aan in de draadwinding;
- bereken de sterkte van het magnetisch veld  $\vec{B}$ .  
(Het veld wordt homogeen verondersteld in de grijze rechthoek)

