

HFST 26 HET MAGNETISCHE VELD.

Inleiding

Oude Grieken : sommige stenen trekken stukjes ijzer aan : "**magneten**". •1269 : Pierre de Maricourt ontdekt dat een naald geplaatst op een sferische magneet zich steeds richt volgens een lijn die door 2 punten van de sfeer gaat, die tegenover elkaar liggen op deze lijn. Hij noemde deze punten de "**polen**" van de magneet. •Later werd gevonden dat elke magneet net 2 polen heeft : een zuid-en een noordpool. Aan deze polen is de kracht uitgeoefend op bv. een stukje ijzer door de magneet het grootst. •Gelijke polen stoten elkaar af en ongelijke polen trekken elkaar aan. •1600 : William Gilbert ontdekt dat de aarde een natuurlijke magneet is. De magnetische N (Z)-pool ligt dicht bij de geografische Z(N)-pool.

De kracht uitgeoefend door een magnetisch veld

Het bestaan van een magnetisch veld B op een bepaalde plaats kan experimenteel aangetoond worden door een lading te laten bewegen in de buurt van een magnetisch voorwerp : lading zal afbuigen.

Een naald in de buurt van het magneetveld zal richten volgens dit magneetveld (cf. kompas) : magneetveld heeft een richting en is dus een **vector**.

Experimenteel toont men aan dat wanneer een lading q snelheid v heeft in een magnetisch veld, dan is er een kracht op het magnetisch veld die proportioneel is met q en met v en met de sinus van de hoek tussen de richtingen van v en B.

De kracht is loodrecht tov beide de snelheid en het veld. We kunnen dit samenvatten als volgt:

Wanneer een lading q beweegt met snelheid v in een magnetisch veld B, dan is de magnetische kracht op de lading:

$$\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$$

Waarbij de kracht dus loodrecht op het vlak gevormd door v en B staat.

$$|\vec{F}| = q v B \sin \phi \quad \begin{array}{l} \phi \text{ hoek tussen } v \\ \text{en } B \end{array}$$

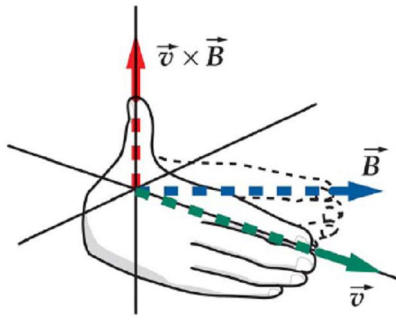
$$\vec{v} \parallel \vec{B} \Rightarrow \vec{F} = 0$$

Net zoals het elektrische veld kan het magnetische veld verschillen van plaats tot plaats:

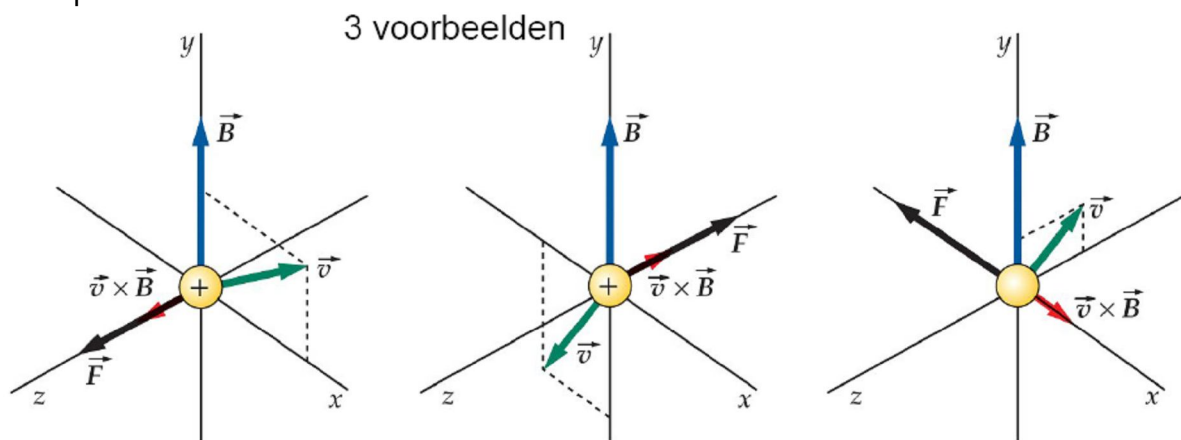
$$B = B(r)$$

De richting van $\vec{v} \times \vec{B}$ wordt gegeven door de rechterhandregel als men van v naar B draait, zoals weergegeven op de figuur.

Dus als q positief is, dan heeft F dezelfde richting als $\vec{v} \times \vec{B}$.



Hier volgen nog enkele voorbeelden van het bepalen van de richting van F . Merk op dat de richting van een bepaald magnetisch veld gevonden kan worden door F en v te meten voor verschillende snelheden in verschillende richtingen en dan bovenstaande vergelijking voor F toe te passen.



Deze vergelijking definieert het magnetische veld B in termen van de kracht uitgeoefend op een bewegende lading.

De SI eenheid van magnetisch veld = de tesla (T).

$$1\text{T} = 1\text{ N}/(\text{Cm/s}) = 1\text{ N} / (\text{A.m})$$

Een lading van 1 C die beweegt met een snelheid v van 1 m/s in de richting loodrecht tov het magnetische veld van 1 T ondervindt een kracht van 1 N.

De tesla is een vrij grote eenheid. Bv, het magnetische veld van de aarde op het aardopp is in de grootte orde van 10^{-4} T, magnetisch veld dicht bij permanente magneten is ongeveer 0.1 tot 0.5 T, krachtige industriële magneten zijn ongeveer 1 – 2 T.

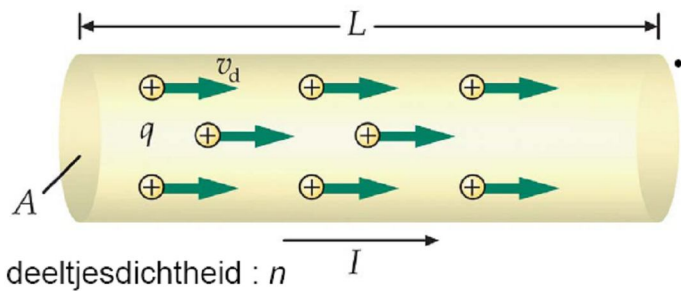
Een vaak gebruikte eenheid, die verwant is aan de tesla is de gauss:

$$1\text{G} = 10^{-4}\text{T}$$

!!! aangezien magnetische velden vaak gegeven zijn in gauss, welke geen SI eenheid is, vergeet dus niet om eerst om te zetten naar tesla voor je berekeningen maakt!!!

Magnetische kracht op een stroom-doorlopen draad.

Wanneer er door een draad in een magnetisch veld een stroom loopt, dan is er een kracht op de draad die gelijk is aan de som van de magnetische krachten op de geladen deeltjes wiens beweging voor de stroom zorgt.



Als de draad zich in een magnetische veld B bevindt, dan is de magnetische kracht op elke lading:

$$\vec{F}_q = q \vec{v}_d \times \vec{B}$$

↑
driftsnelheid

(driftsnelheid = gemiddelde snelheid)

Het aantal aldingen in een draad = $n \cdot A \cdot L$ (dichtheid x volume)

Dus de totale kracht op het stuk draad is:

$$\vec{F} = (q \vec{v}_d \times \vec{B}) n A L$$

We weten uit vorig hoofdstuk dat de stroom in de draad is:

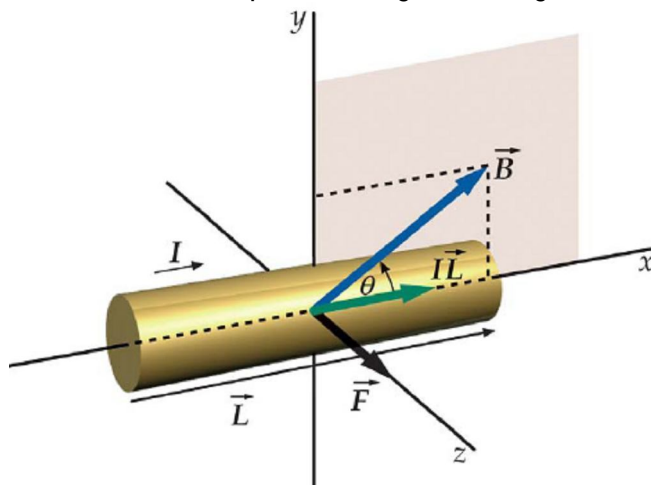
$$I = n q v_d A$$

Hieruit volgt:

$$\Rightarrow \vec{F} = I \vec{L} \times \vec{B}$$

Waarbij L = vector in de richting van de stroom met als grootte de lengte van segment draad.

Voor een stroom in de positieve x richting en de magneetveld vector op een segment in het xy -vlak, is de kracht op de draad gericht volgens de z -as.



Indien de draad niet recht is en/of het magneetveld is niet constant over de ganse lengte van de draad dan moeten we de vorige formule *lokaal* toepassen i.e. voor een oneindig klein stukje draad :

$$d\vec{F} = I d\vec{\ell} \times \vec{B}$$

De totale kracht wordt dan gevonden door te integreren.

we kunnen magnetisch B-veld voorstellen door veldlijnen : in elk punt zijn deze veldlijnen rakend aan de magnetische veldvector maw. de raaklijn aan de veldlijnen in een bepaald punt geeft de richting van de B-vector in dat punt.

De grootte van het magnetisch veld wordt voorgesteld door de "dichtheid" aan veldlijnen.

Er zijn twee belangrijke verschillen tussen elektrische en magnetische veldlijnen:

1. E-veldlijnen beginnen op positieve ladingen en eindigen op neg. ladingen. B-veldlijnen beginnen of eindigen nergens. Zij vormen een lus.
2. E-veldlijnen zijn in de richting van de elektrische kracht. B-veldlijnen staan loodrecht op de magnetische kracht !

Magnetische veldlijnen vertrekken uit het materiaal aan de Noordpool en komen aan in de Zuidpool.

Beweging van een puntlading in een magnetisch veld

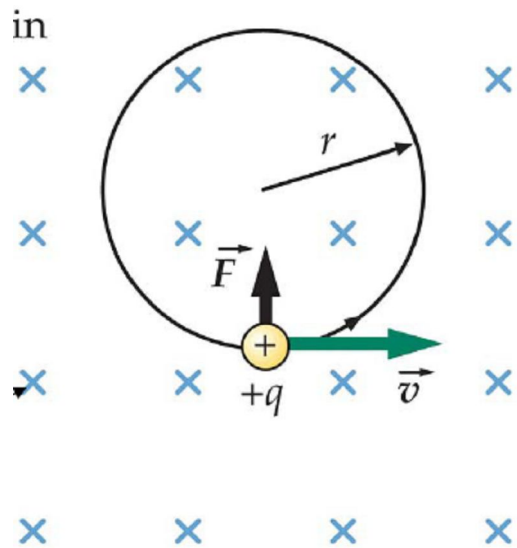
De magnetische kracht op een geladen deeltje dat door een magnetisch veld beweegt is altijd loodrecht op de snelheid v van het deeltje. De magnetische kracht verandert dus de grootte van de snelheid niet, maar wel de richting van de snelheid!!!!

Ook: het magnetische veld verricht geen arbeid op de deeltjes en verandert hun kinetische energie dus niet!

In het speciale geval waarbij de snelheid van een deeltje loodrecht is tot een uniform magnetisch veld, zoals in de figuur (x = B veld in blad), dan bewegen de deeltjes volgens een circelvormige baan.

De magnetische kracht moet dan een centripetale kracht leveren, er is immers een versnelling nodig. We kunnen de tweede wet van Newton gebruiken om de straal van de cirkel in verband te brengen met het magnetische veld en de snelheid van het deeltje. Als deze snelheid v is, dan is de grootte van de netto kracht qvB is, aangezien v en B loodrecht zijn:

$$F = m a_c = m \frac{v^2}{r} \Leftrightarrow qvB = m \frac{v^2}{r} \Rightarrow r = \frac{mv}{qB}$$



De periode van deze cirkelvormige beweging is gerelateerd tot de snelheid als:

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$$

Deze periode noemt men de cyclotron periode.

De frequentie van de cirkelvormige beweging, de cyclotron frequentie is:

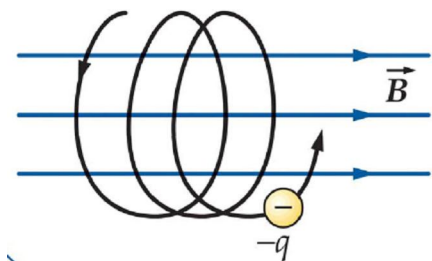
$$f = \frac{1}{T} = \frac{qB}{2\pi m}$$

Hieruit volgt dat:

$$\omega = \frac{qB}{m} \quad (\text{is ook cyclotron frequentie})$$

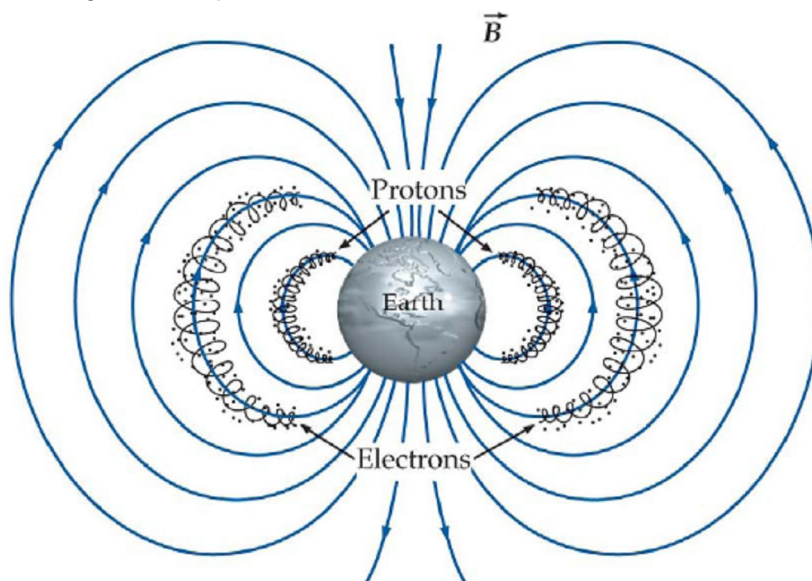
merk op dat de frequentie onafhankelijk is van r of v , maar afhangt van de lading-tot-massa-verhouding q/m .

Stel dat een geladen deeltje een uniform magnetisch veld betreedt met een snelheid die niet loodrecht is tov B . Er is geen krachtcomponent, en dus geen versnelling, evenwijdig met B , dus de snelheidscomponent evenwijdig met B blijft constant. De magnetische kracht op het deeltje is wel loodrecht op B , dus de verandering in beweging van het deeltje tgv deze kracht is dezelfde dan we net besproken hebben. Het pad van dit deeltje is dus een helix.



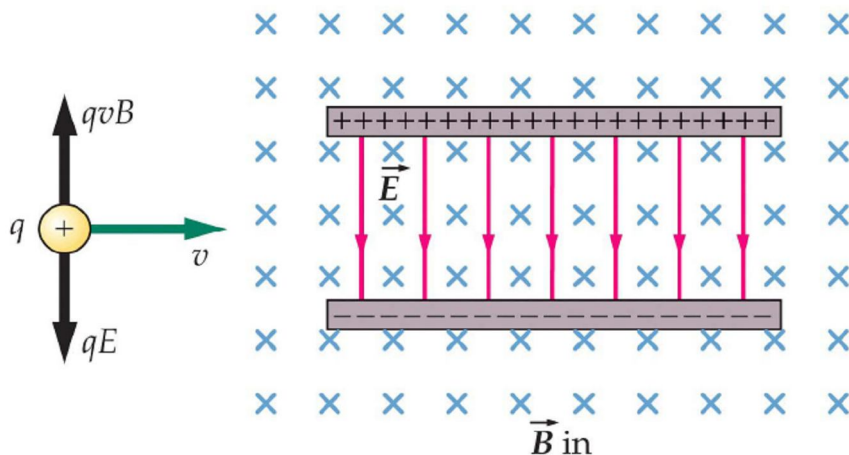
Van Allen Belts

De beweging van geladen deeltjes in een niet-homogeen (niet uniform) magnetisch veld kan heel complex zijn. Een gelijkaardig fenomeen is de beweging van ionen heen en weer tussen de magnetische polen van de aarde in de "Van Allen Belts".



De snelheidsselector

De magnetische kracht op een geladen deeltje dat in een uniform magnetisch veld beweegt kan in evenwicht gebracht worden door een elektrische kracht als de groottes en richtingen van het magnetische en elektrische veld goed gekozen zijn. Aangezien de elektrische kracht dezelfde richting heeft als het elektrische veld (voor positieve deeltjes) en de magnetische kracht loodrecht staat tov het magnetische veld, moeten het Eveld en het Bveld in het gebied waardoor het deeltje beweegt loodrecht zijn tov elkaar, wilt men de krachten in evenwicht brengen. Zo'n gebied heeft dan 'crossed fields'.



De figuur toont de ruimte tussen de platen van een condensator waar zich een elektrisch veld bevindt en een loodrecht magnetisch veld (geproduceert door een magneet met polen boven en onder het papier). Beschouw een deeltje met lading q dat dit gebied binnenkomt langs links. De netto kracht op het deeltje is:

$$\vec{F} = q\vec{E} + q(\vec{v} \times \vec{B})$$

Als q positief is, is de elektrische kracht met grootte qE neerwaarts en de magnetische kracht met grootte qvB opwaarts. Als de lading negatief is, dan is dit net omgekeerd.

De twee krachten zijn in evenwicht wanneer $qE = qvB$ of

$$v = \frac{E}{B}$$

Wanneer de groottes van de Ekracht en Bkracht gegeven zijn, dan zijn de krachten alleen in evenwicht voor deeltjes die bewegen met een snelheid berekent uit de vorige vergelijking. Elk deeltje met deze snelheid, ongeacht zijn massa of lading, zal het deeltje ongestoord rechtdoor bewegen.

Een deeltje met een grotere snelheid zal afbuigen in de richting van de magnetische kracht. En een deeltje met een kleinere snelheid zal afbuigen in de richting van de elektrische kracht. Deze opstelling van de velden wordt vaak gebruikt als een snelheidsselector, welke een toestel is dat alleen deeltjes met een bepaalde snelheid doorlaat.

De Massaspectrometer

De Massaspectrometer, eerst ontworpen door Francis William Aston in 1919, was ontworpen om de massa's van isotopen te meten. Zulke metingen zijn belangrijk bij het bepalen van beide de aanwezigheid en de abundantie (percentage aanwezig in natuur) van isotopen.

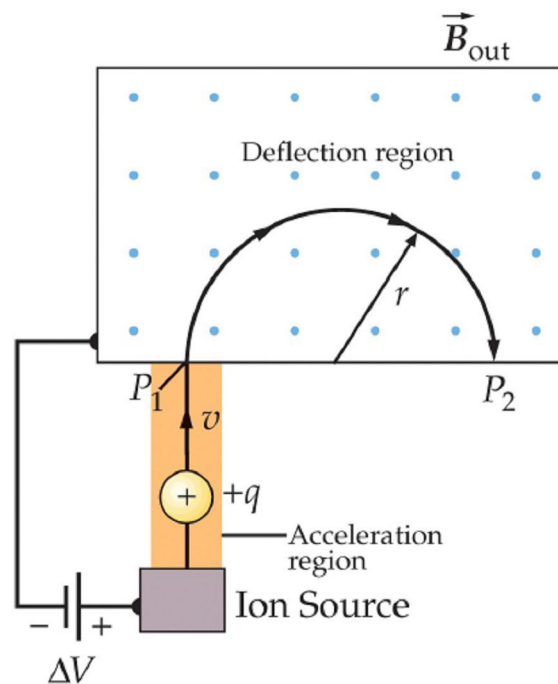
De figuur geeft een eenvoudig schema van een massa spectrometer.
hij werkt als volgt:

1. Positieve ionen worden gevormd door neutrale atomen met X-rays te bestralen of te bestralen met elektronen. (elektronen worden uit het atoom geslagen door de X-stralen of door de andere elektronen)
2. Deze ionen worden versneld door een elektrisch veld
3. Dan komen deze ionen in een homogeen magnetisch veld. Als de positieve ionen starten vanuit rust en door een potentiaal verschil ΔV bewegen, dan is de kinetische NRG van de ionen wanneer ze het magnetische veld binnen komen gelijk aan hun verlies in potentiële NRG:

$$\frac{1}{2}mv^2 = q|\Delta V|$$

in dit magnetische veld worden de ionen afgebogen.

4. De ionen bewegen dan in een cirkelvormige baan van straal r waarvan de grootte afhangt van hun massa: $r = mv/qB$ en botsen dan tegen een fotografische plaat bij punt P_2 een afstand $2r$ van punt P_1 waar de ionen het magneetveld binnengekomen zijn.
5. Uiteindelijk worden de ionen opgevangen door een detector.



We kunnen uit ook de snelheid bepalen:

$$v^2 = \frac{r^2 q^2 B^2}{m^2}$$

als we dit substitueren in de eerste vgl dan krijgen we:

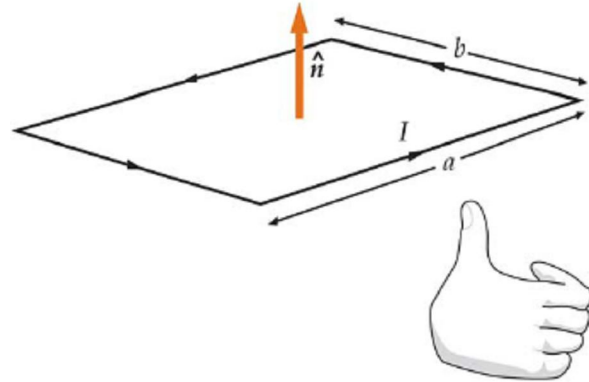
$$\Rightarrow \frac{q}{m} = \frac{2|\Delta V|}{r^2 B^2}$$

In de eerste massaspectrometer van Aston konden de massa verschillen gemeten worden tot op 1/10 000 nauwkeurig. De nauwkeurigheid werd verbeterd door het gebruik van een snelheidsselector : wordt geplaatst na het gebied waar ionen versneld worden en voor het gebied van het magneetveld. De snelheid is dan veel nauwkeuriger gekend.

Moment op een stroom-doorlopen lus

Een stroomdoorlopen lus ondervindt geen netto kracht in een uniform magnveld, maar wel een moment dat de neiging heeft om de stroomdoorlopen lus te draaiten. De orientatie van de lus kan makkelijk beschreven worden aan de hand van een eenheidsvector \hat{n} die loodrecht staat tov het vlak van de lus.

Als de vinger van je rechterhand rond de lus krullen in de richting van de stroom, dan wijst je duim in de richting van \hat{n} .



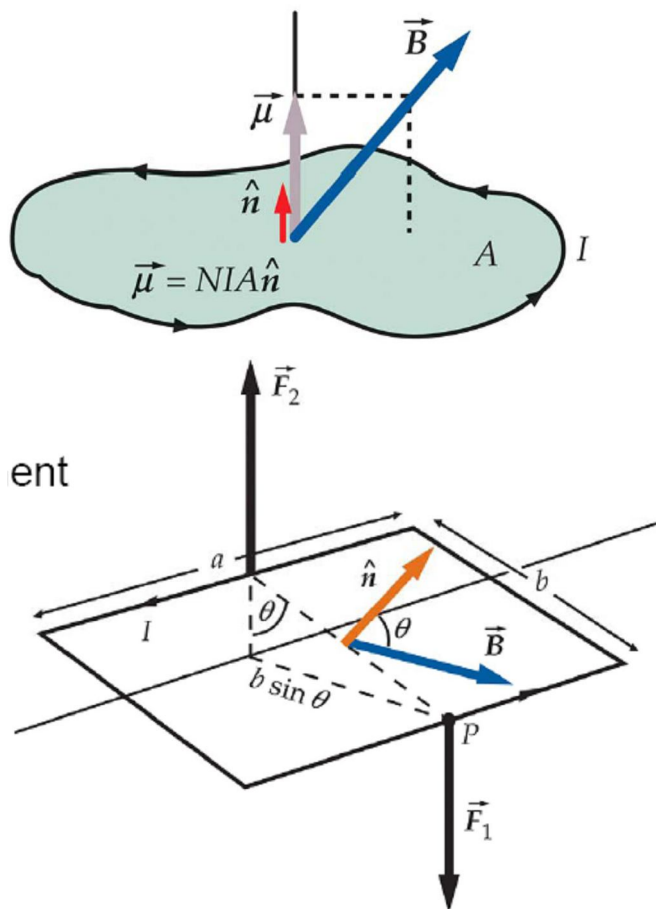
Het moment kan schreven worden in termen van het magnetisch dipoolmoment μ (ook magnetisch moment genoemd) van de stroomlus,

$$\vec{\mu} = I A \hat{n}$$

(A = opp ingesloten door lus)

De SI eenheid van het magnetisch moment is $[Am^2]$. In termen van het magentische dipoolmoment wordt het moment op de stroomlus gegeven door:

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$



De potentiële NRG van een magnetische dipool in een magnetisch veld

Enkel de formule is te kennen zonder bewijs

$$U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B} = -\mu B \cos \theta$$

Indien er N windingen zijn dan wordt het magnetische dipoolmoment gegeven door:

$$\vec{\mu} = N I A \hat{n}$$

Werking van een kompas:

Wanneer een kleine permanente magneet, zoals een kompasnaald, in een magnetisch veld B geplaatst wordt, dan oefent het veld een moment uit op de magneet dat deze gedraaid wordt zodat deze evenwijdig komt te zijn aan het veld.