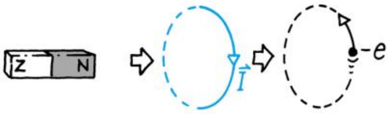
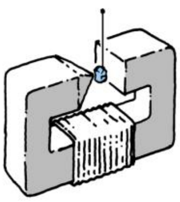
Atomair magnetisme

Ampère veronderstelde al dat een magneet bestaat uit zeer veel kringstroompjes die min of meer evenwijdig lopen. Nog een stap verder en je vervangt het kringstroompje door een draaiende elektron met hetzelfde effect.Dit magnetisme noemen we tegenwoordig het *baanmagnetisme*.



Paramagnetisme

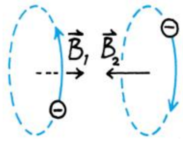
In sommige stoffen is het netto-effect van het baanmagnetisme nul omdat de helft van de elektronen linksom draait en de andere helft rechtsom. Er zijn echter ook stoffen waarbij per atoom of molecuul minstens één elektron ongecompenseerd ronddraait. Voorbeelden zijn aluminium en zuurstof. Als je dus een magneet bij aluminium houdt, zullen de ongecompenseerde banen zich richten en krijg je een magneet. Dit klinkt onwaarschijnlijk want je weet dat aluminium niet reageert op een magneet. Dat komt alleen doordat dit effect zeer zwak is. Dit soort magnetisme heet *paramagnetisme*.
Paramagnetisme is aan te tonen door een stukje aluminium tussen de polen van een sterke elektromagneet op te hangen. Door de speciale vorm van de polen is het veld sterk inhomogeen. Als de stroomsterkte door de spoel *langzaam* wordt opgevoerd, zien we het stukje aluminium naar de puntige pool gaan: het zoekt de plaats met het sterkste veld op. Als je de opstelling projecteert, is het effect beter te zien.



Diamagnetisme

Een stukje glas of koper beweegt juist de andere kant op. We hebben hier te maken met een inductieverschijnsel; zie hoofdstuk 8. Deze stoffen heten *diamagnetisch*; alle elektronen draaien paarsgewijs tegen elkaar in, zodat alle baanmagnetismes elkaar compenseren.

Een uitwendig veld dat naar rechts wijst, zorgt ervoor dat linksom draaiende elektronen langzamer gaan draaien en rechtsom draaiende sneller. Daardoor wordt $\vec{B}_1$, wat kleiner en $\vec{B}_2$ wat groter. Het atoom wordt hierdoor een magneetje dat uit het veld weg wil.



Spinmagnetisme

Er is nog een andere soort atomair magnetisme, het *spinmagnetisme*. Uhlenbeck en Goudsmit kwamen met het idee dat een elektron als een soort tol om zijn eigen as draait (to spin betekent rondtollen). Zo zou een magnetisch effect ontstaan. Het bleek al gauw dat dit model te simpel was, de snelheid zou bijvoorbeeld boven de lichtsnelheid uitkomen en dat kan niet volgens de relativiteitstheorie. Bovendien bleek later dat het elektron zeer waarschijnlijk een puntlading is en een punt kan natuurlijk niet om zijn as tollen. Hoewel men niet meer aan een tolbeweging denkt, wordt het magnetisme dat bij een elektron hoort nog steeds spinmagnetisme genoemd. Bij ijzer, kobalt en nikkel wordt het magnetisme vooral veroorzaakt door spinmagnetisme. Dankzij de kristalstructuur van die metalen werken veel elektronen met hun spin samen. Hierdoor wordt ook verklaard dat die metalen een hoge curie-temperatuur hebben: het is moeilijk om de samenhang te verbreken. Men spreekt hier van *ferromagnetisme*. Het samenwerken van de spins kan niet met klassieke natuurkunde (van voor 1926) verklaard worden, het is een zogenaamd quantummechanisch effect.

Zuurstof is paramagnetisch en het magneetveld van de aarde is inhomogeen.

a Waarom verzamelt alle zuurstof zich dan niet aan de polen?

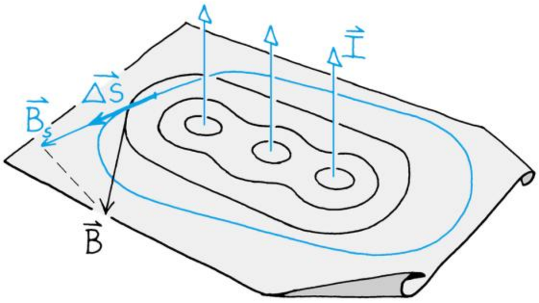
►Een verticale ijzeren staaf wordt snel om zijn verticale as rondgedraaid, van bovenaf gezien met de klok mee.

b Welke pool zit na afloop boven?

De stelling van Ampère

Tijdens zijn onderzoek van magnetisme kwam Ampère tot de conclusie dat de ‘kringintegraal’ van B een belangrijke rol speelt. Als je in een magnetisch veld een rondje loopt dan doorsnijd je allerlei veldlijnen. Op ieder stukje $\Delta\vec{s}$ van de weg bepaal je de component $\vec{B}_s$ van de magnetische inductie $\vec{B}$ in de richting van de weg. De som van alle producten $\Sigma B_s \cdot \Delta s$ wordt de kringintegraal genoemd als we de limiet $\Delta s \rightarrow 0$ nemen.

We schrijven dit als: $\oint B_s \mathrm{d}s$



Volgens Ampère weet je dan ook de nettostroom door het omsloten oppervlak:

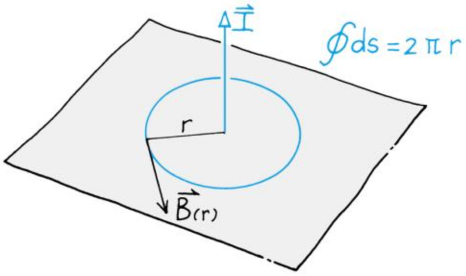
$$\oint \vec{B}_s \mathrm{d}s = \mu_0 \cdot \Sigma I$$

Het is alsof je − strak voor je uitkijkend − een rondje om een voorwerp maakt en na afloop precies weet wat voor voorwerp het was.
De gekozen weg doet niet er zake; zolang je maar in het beginpunt eindigt, mag je *elke* weg kiezen. De uitkomst is dus nul als je bij je rondgang géén stroomdraad hebt ingesloten.

Met deze stelling kunnen we B berekenen op afstand r van een rechte draad met de stroomsterkte I.
Kies een cirkel als integratieweg, zoals in de volgende figuur. $\vec{B}$ raakt voortdurend aan de weg en dus geldt $B_s = B(r)$. Het somteken vervalt want er is maar één stroom.

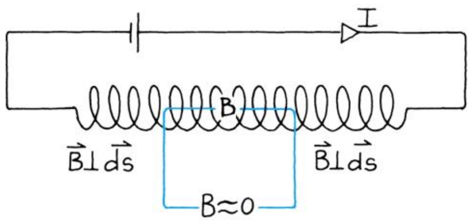
$$\oint \vec{B}_s \mathrm{d}s = \mu_0 \cdot I \quad \Rightarrow \quad B(r) \cdot 2\pi r = \mu_0 I \quad \Rightarrow$$

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



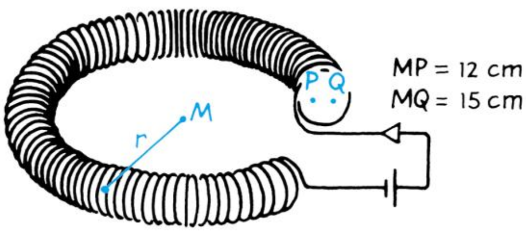
Voor het veld in een lange spoel geldt:

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



a Bewijs dit met de getekende integratieweg.
b Hoe groot zal B aan het eind van de spoel zijn?
►In een rondgebogen spoel (toroïde) geldt:

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



c Bewijs deze formule.
d Hoe verhouden zich B_P en B_Q?