

Chapter 28

Bronnen van Magnetische Velden



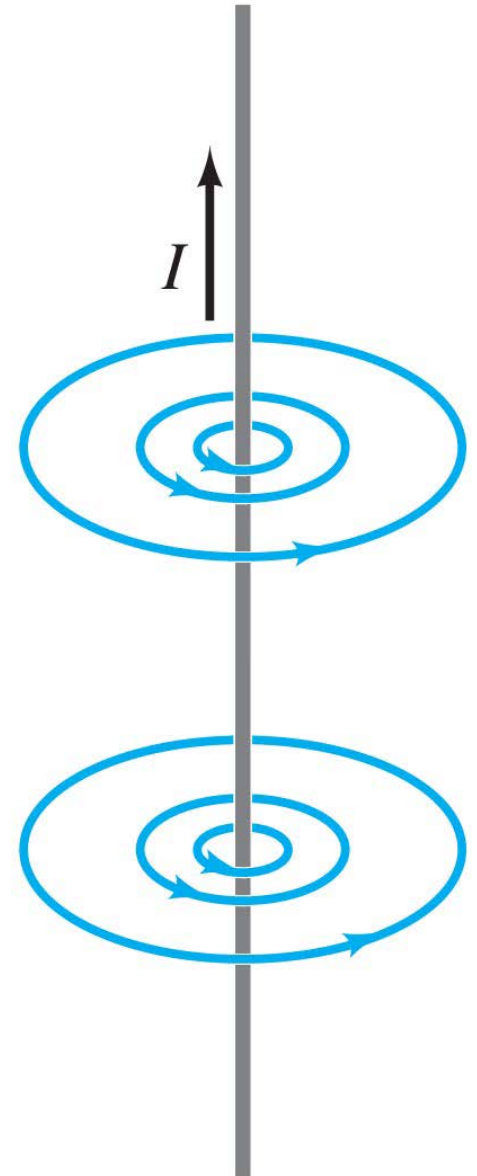
Magnetisch Veld van een Stroomdraad

Magneetveld omgekeerd evenredig met afstand tot draad :

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

Constante μ_0 is de permeabiliteit van het vacuum:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m/A}$$



Magnetisch Veld van een Draad

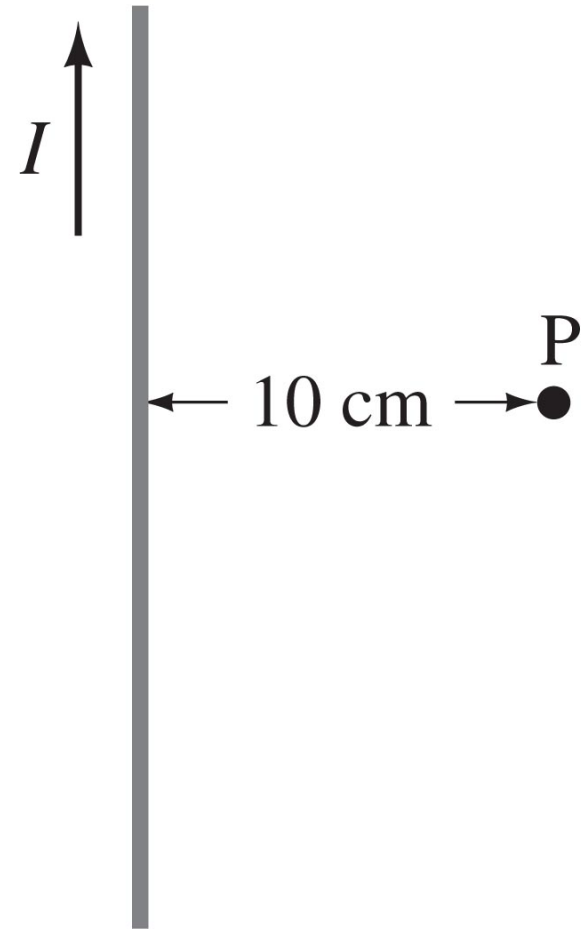
Example 28-1: Berekening

Een elektrische draad draagt een stroom van 25 A verticaal naar boven. Wat is het magneetveld agv deze stroom op een punt P 10 cm ten noorden van de draad?

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = 5.0 \times 10^{-5} T$$

0.5 Gauss, ~ grootte van aardveld

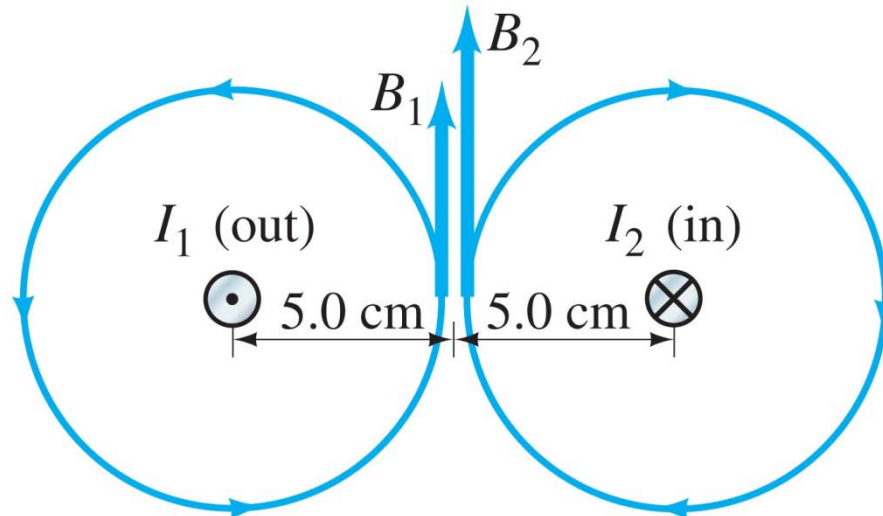
Dus dergelijke stromen verstoren
“kompas-meting”



Magnetisch Veld van een Draad

Example 28-2: Magnetisch veld tussen twee draden.

Twee parallelle rechte draden op 10.0 cm afstand dragen stroom in tegengestelde richting. Stroom $I_1 = 5.0 \text{ A}$ uit de pagina, en $I_2 = 7.0 \text{ A}$ in de pagina. Bepaal grootte en richting van magneetveld halverwege tussen de twee draden.



Richting – naar
boven:

$$B_1 = 2.0 \times 10^{-5} \text{ T};$$

$$B_2 = 2.8 \times 10^{-5} \text{ T};$$

$$\text{dus } B = 4.8 \times 10^{-5} \text{ T}.$$

Magnetisch Veld van Stroomdraden

Voorbeeld 28-3: Magnetisch veld van vier draden.

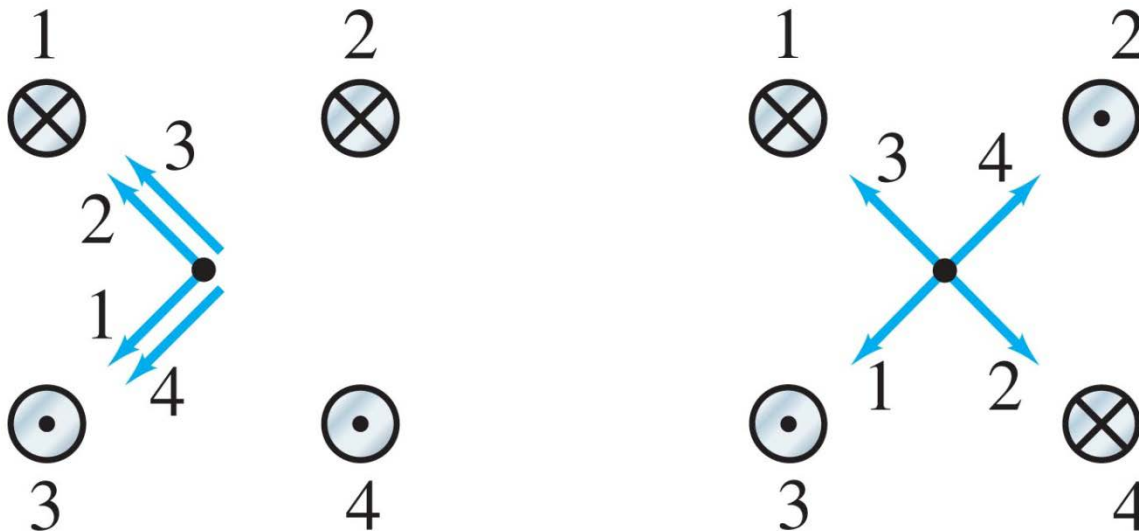
Vier lange parallelle draden voren gelijke stroom in of uit het vlak. In welke configuratie, (a) of (b), is het magnetisch veld groter in het centrum van vierkant?



Magnetisch Veld van Stroomdraden

Voorbeeld 28-3: Magnetisch veld van vier draden.

Vier lange parallelle draden voren gelijke stroom in of uit het vlak. In welke configuratie, (a) of (b), is het magnetisch veld groter in het centrum van vierkant?



Kracht tussen Parallele Draden

- 1) Een stroomdraad produceert een B -veld
- 2) Een stroomdraad in een B -veld ondervindt een kracht
- 3) Er treedt een kracht op tussen twee stroomdraden

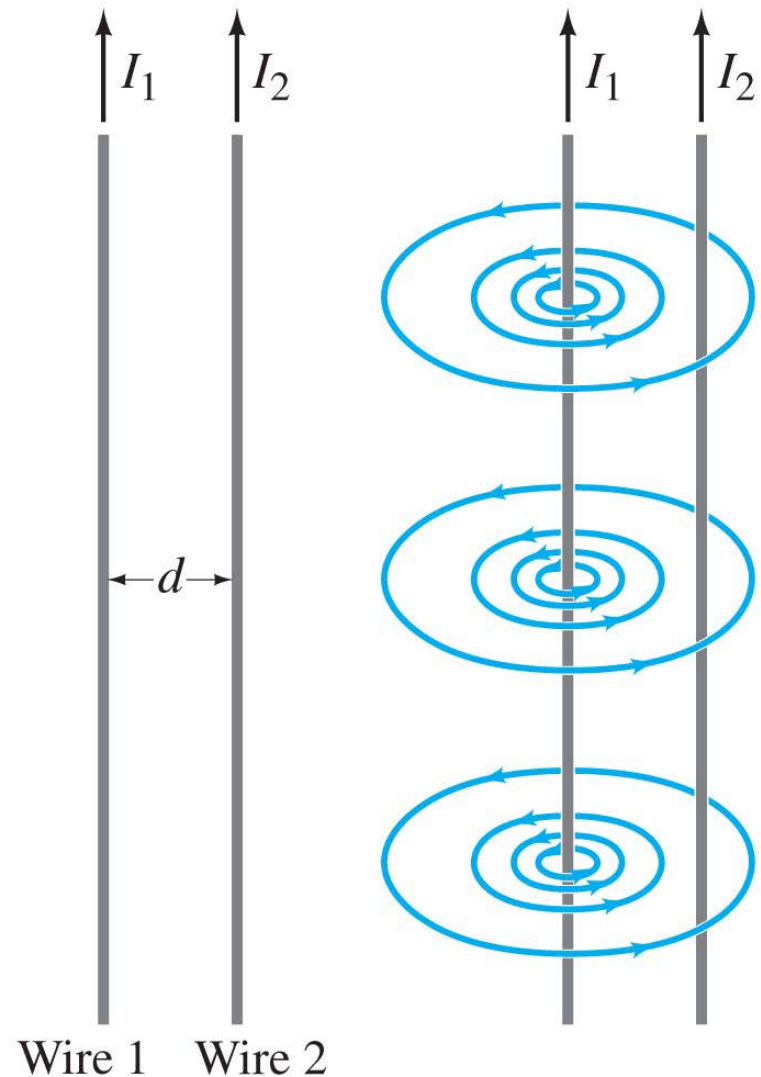
Veld van stroom draad 1: $B_1 = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1}{d}$

Kracht op draad 2 $F_2 = I_2 B_1 l_2$

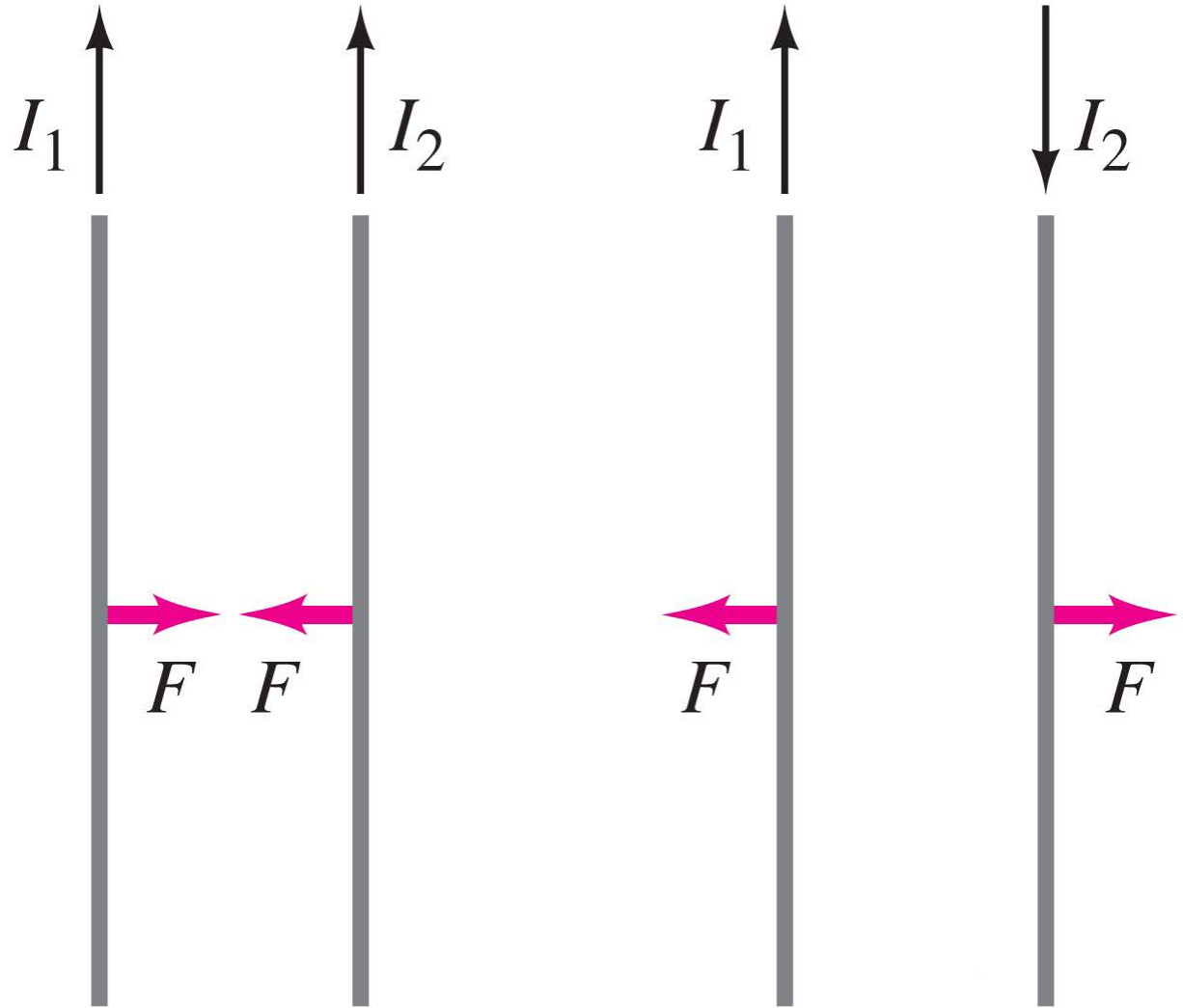
Invullen: $F_2 = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{d} l_2$

Richting?

**Gebruik ook 3^e wet van Newton:
Actie = - Reactie**



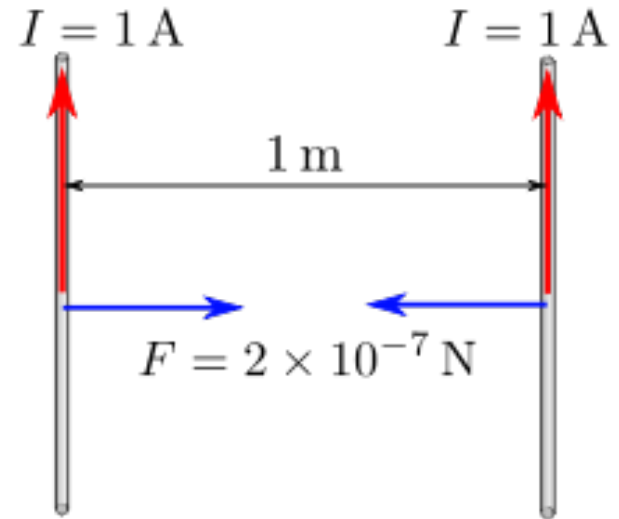
Krachten tussen stroomdraden



**Parallele stromen
trekken aan;
antiparallele
stromen stoten af**

Definitie van de Ampere in het SI stelsel

Een ampère is de constante elektrische stroom die, wanneer deze loopt door twee parallele geleiders van oneindige lengte en met een verwaarloosbare diameter, op 1 meter van elkaar geplaatst in vacuüm, een lorentzkracht tussen deze geleiders produceert van 2×10^{-7} newton per meter lengte

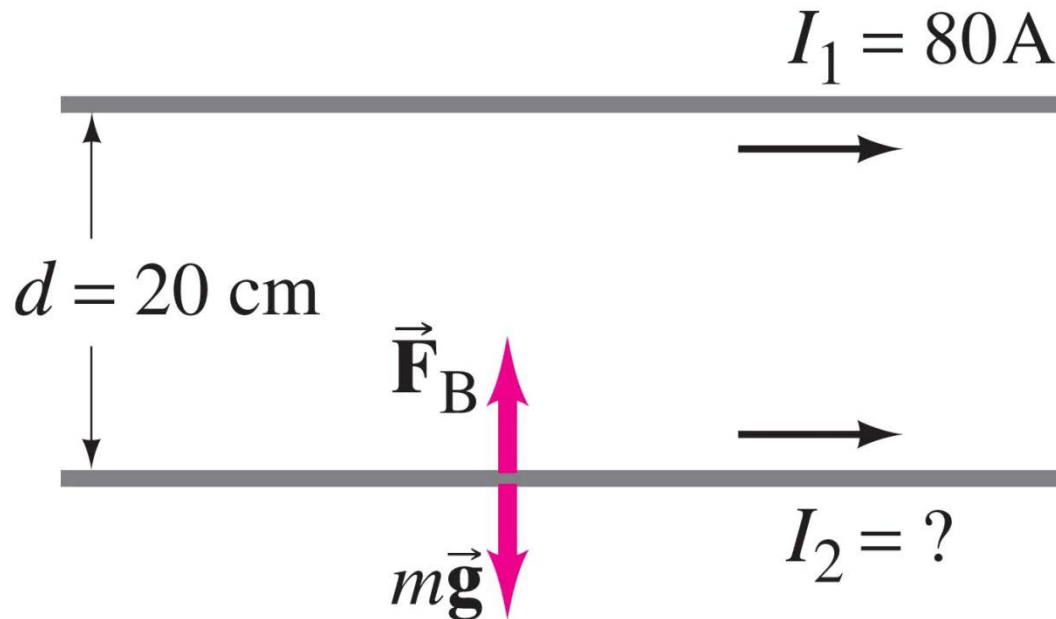


$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{d} = \frac{(4\pi \cdot 10^{-7})}{2\pi} \frac{1 \cdot 1}{1} = 2 \cdot 10^{-7}$$

Krachten tussen stroomdraden

Example 28-5: Hangende draad

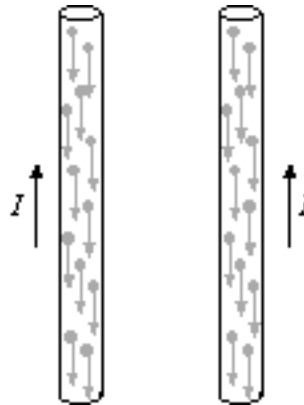
Een horizontale draad voert een stroom $I_1 = 80 \text{ A}$ dc. Een tweede parellele draad **20 cm** daaronder moet een stroom I_2 voeren zodanig dat deze niet valt door zwaartekracht. De onderste draad heeft een massa van **0.12 g** per meter.



Magnetische kracht tussen stroomdraden

Door twee evenwijdige draden lopen elektrische stromen I naar boven.

Stoten de draden elkaar af door de coulombkrachten tussen de (naar beneden bewegende) negatief geladen elektronen?



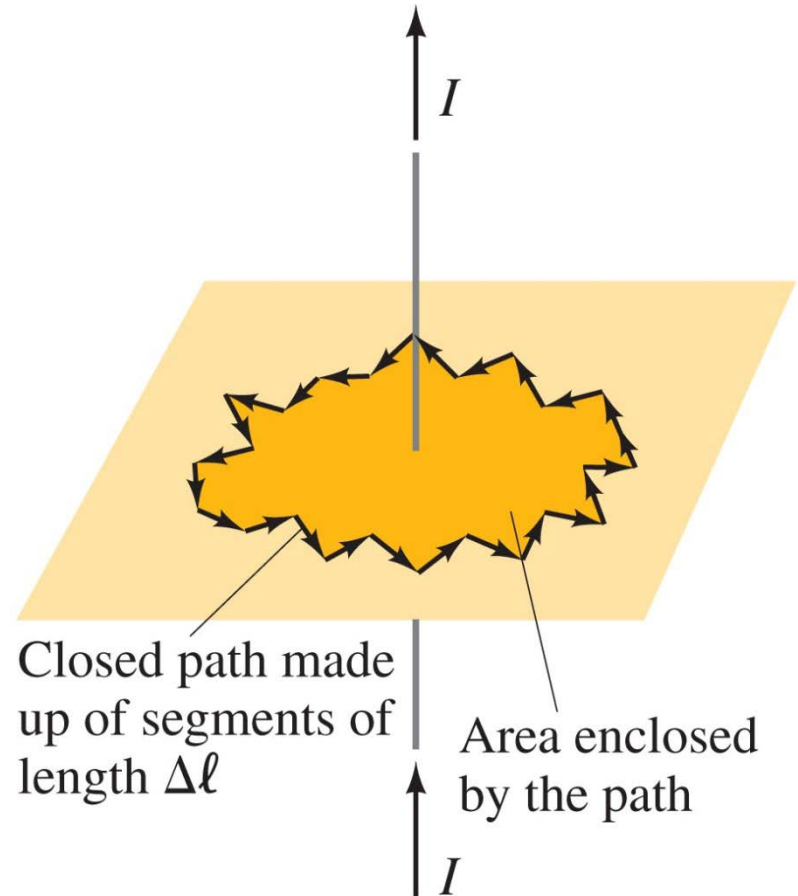
- a) Ja, als de stroom groot genoeg is.
- b) Nee, de magnetische kracht is sterker en werkt aantrekkend.
- c) Nee, de coulombkracht werkt niet op bewegende ladingen.
- d) Geen van deze antwoorden.

Wet van Ampère

De Wet van Ampère relateert het magnetisch veld rond een gesloten loop aan de totale stroom vloeiend door het oppervlak:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 I_{\text{encl.}}$$

Deze integraal kan genomen rond de rand van het gesloten oppervlak.



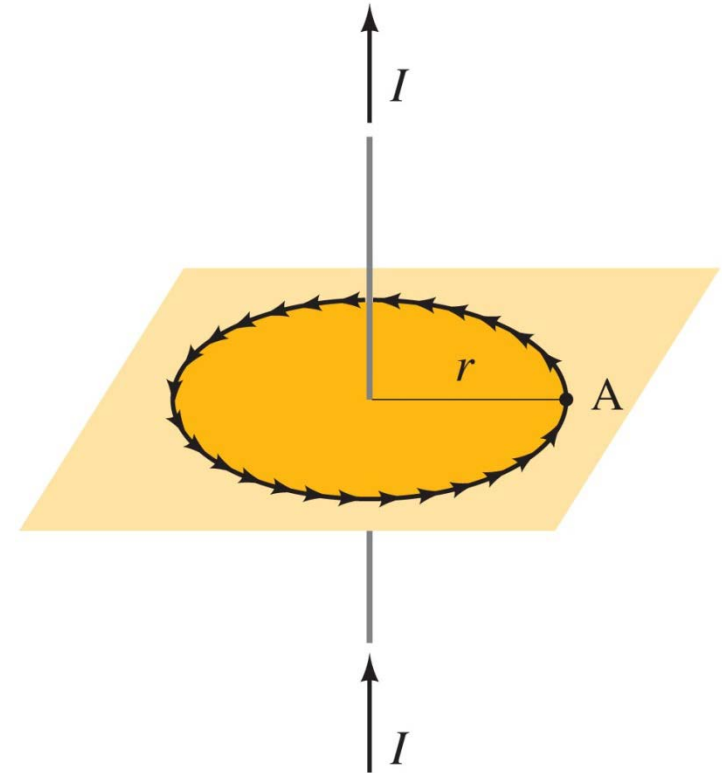
Wet van Ampère

De Wet van Ampère's kan worden gebruikt om het ***B***-veld rond een stroomdraad te bepalen:

Neem een rond pad met draad in midden; dan $\vec{\ell}$ is loodrecht op $\mathbf{r}$ op elk punt. De integraal levert dan

$$\begin{aligned}\mu_0 I &= \oint \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\ell} \\ &= \oint B \, d\ell = B \oint d\ell = B(2\pi r).\end{aligned}$$

Dus **$B = \mu_0 I / 2\pi r$** , als eerder bepaald.



Wet van Ampère

Example 28-6: Bereken veld binnen en buiten draad.

Buiten de draad, omvatte stroom is I

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

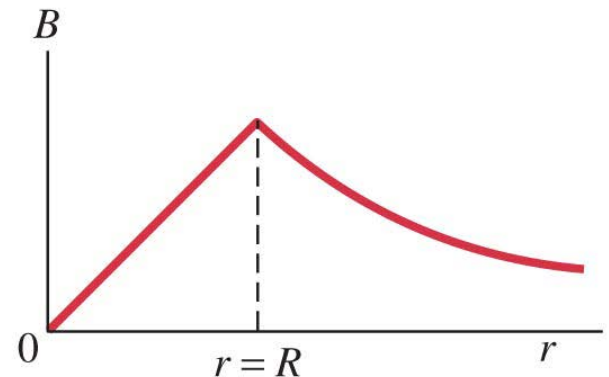
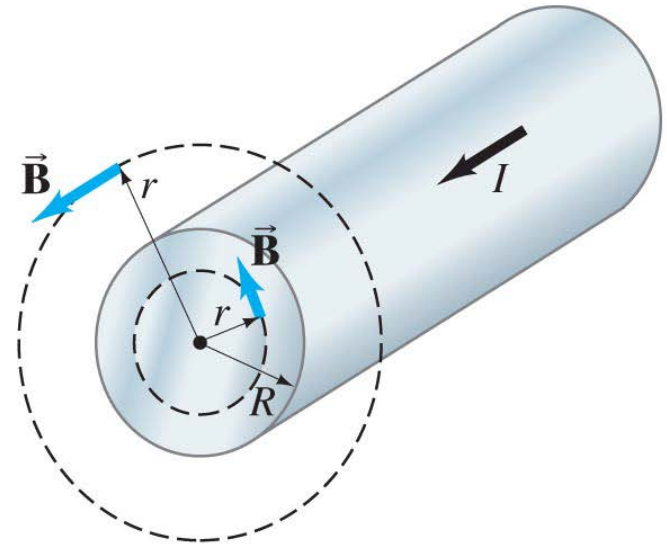
Binnen de draad, omvatte stroom is

$$I_{\text{encl}} = I(r^2/R^2)$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{\text{encl}} = \mu_0 I \left(\frac{r^2}{R^2} \right)$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = B \cdot 2\pi r$$

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



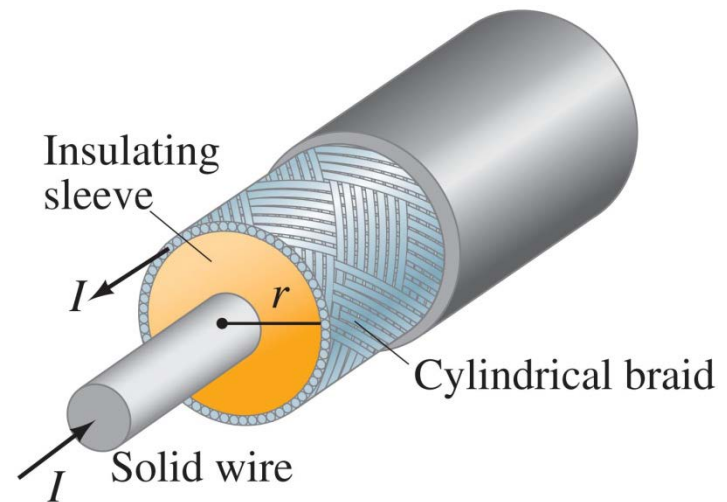
Wet van Ampère

Conceptual Example 28-7: Coaxial cable.

Beschrijf het B -veld in een coaxiaal kabel

Buiten kabel: $I_{\text{encl}} = 0$
Dus geen veld –
“selfshielding”

Tussen de draden:
 B -veld concentrisch



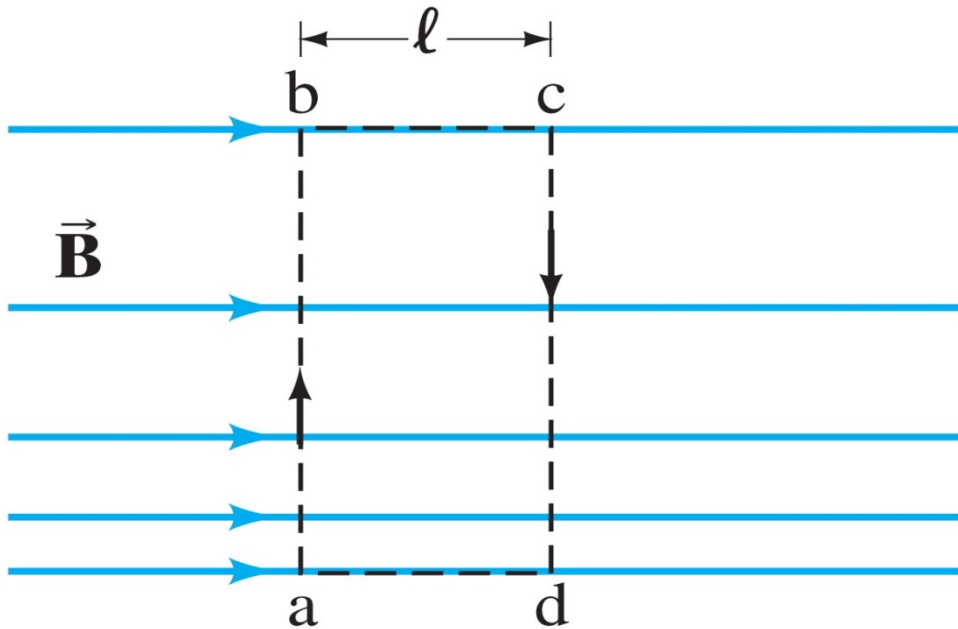
Wet van Ampère; methode

Los problemen op m.b.v. Wet van Ampère:

- **Wet van Ampère werkt alleen als er een hoge mate van symmetrie in probleem zit. Bepaal de symmetrie.**
- **Kies een integratiepad dat die symmetrie reflecteert (typisch, kies pad langs lijnen waar het veld constant is en loodrecht waar veld verandert).**
- **Gebruik symmetrie om richting van veld te bepalen.**
- **Bepaal omvatte stroom.**

B-Veldconfiguratie

Is onderstaande B -veld
configuratie mogelijk ?



Ampere $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = 0$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = B_{bc}l - B_{da}l$$
$$= (B_{bc}l - B_{da}l)$$

Veld langs bc
is niet gelijk aan veld
langs ad

Dus kringintegraal $\neq 0$

Magneetveld van een spoel

$$\mu I = \oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l}$$

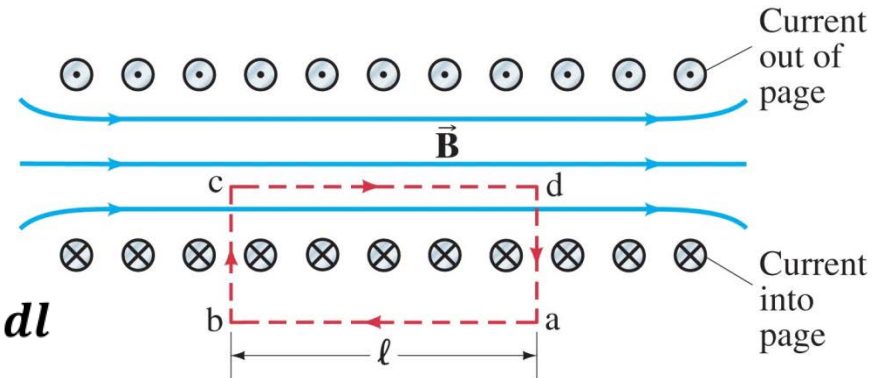
$$= \int_a^b \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} + \int_b^c \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} + \int_c^d \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} + \int_d^a \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l}$$

$$= 0 + 0 + \int_c^d \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} + 0$$

Veld buiten spoel = 0

$$\rightarrow Bl = \mu NI, \quad N = \text{aantal lussen}$$

$$\text{stel } n = \frac{N}{l} \rightarrow B = \mu_0 n I$$



Gewikkelde spoel: methode om uniform B-veld te maken

Magnetisch Veld van een Spoel en een Torus

[28-10]: Torus.

Gebruik wet van Ampère's om magneetveld te bepalen

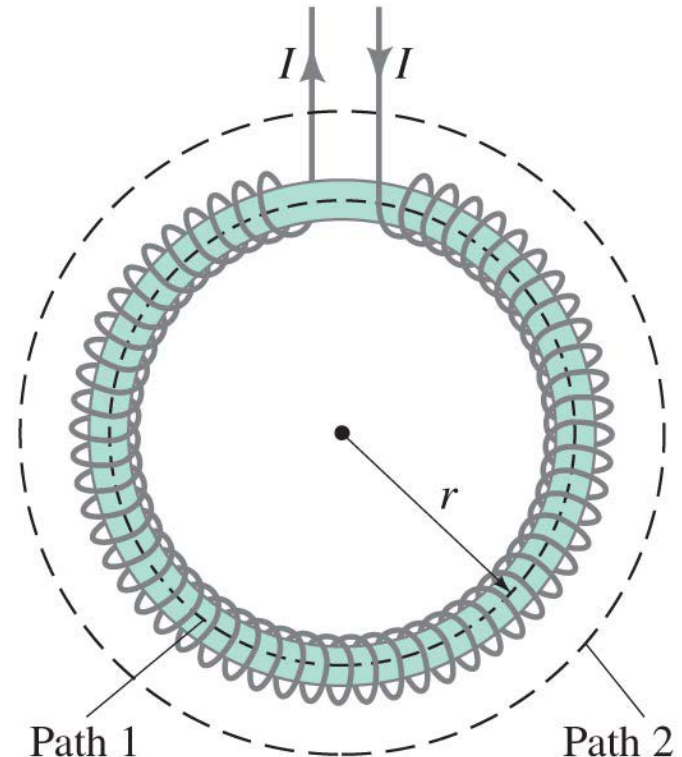
Beschouw de torus als een gebogen spoel

Buiten de torus geldt: $B=0$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{encl}$$

$$B(2\pi r) = \mu_0 NI$$

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r}$$



VRAAG

1 – De wet van Ampère geeft

- a) een vergelijking voor alleen statische magneetvelden en elektrische stromen.
- b) een definitie van elektrische stroom.
- c) een vergelijking voor alleen symmetrische stroomverdelingen en magnetische velden.
- d) een vergelijking voor de magnetische kracht op een bewegende lading.

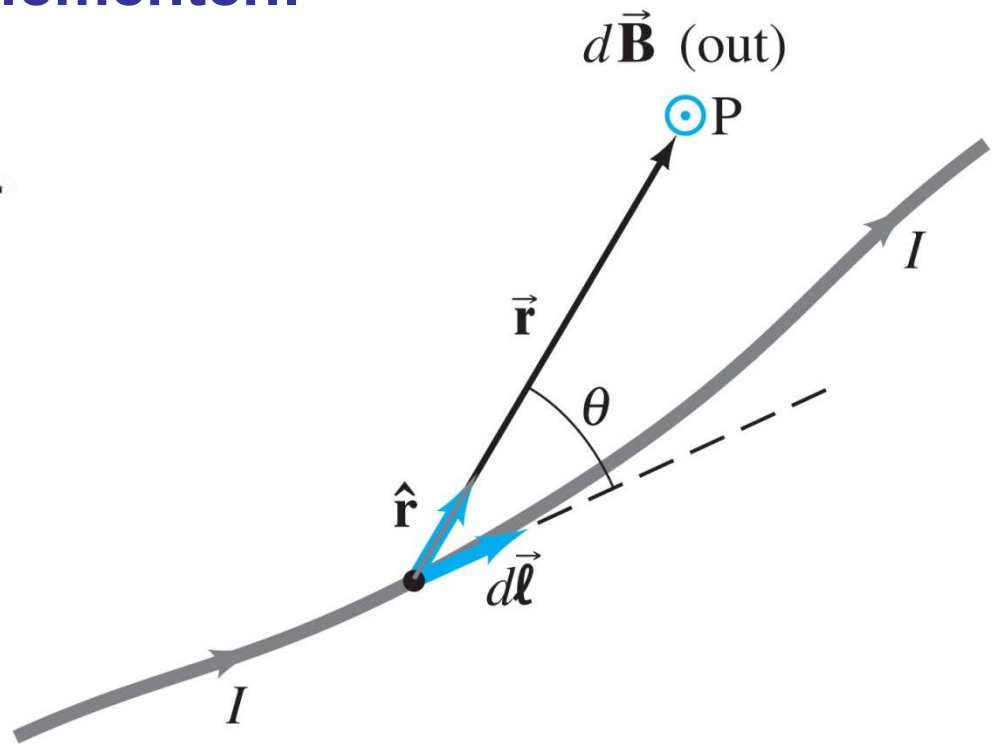
Wet van Biot-Savart

De Biot-Savart wet geeft het magneetveld van een infinitesimaal stroomelement; het totale veld kan berekend worden door integratie over de totale lengte van alle stroomelementen:

$$d\vec{\mathbf{B}} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{\ell} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2}.$$

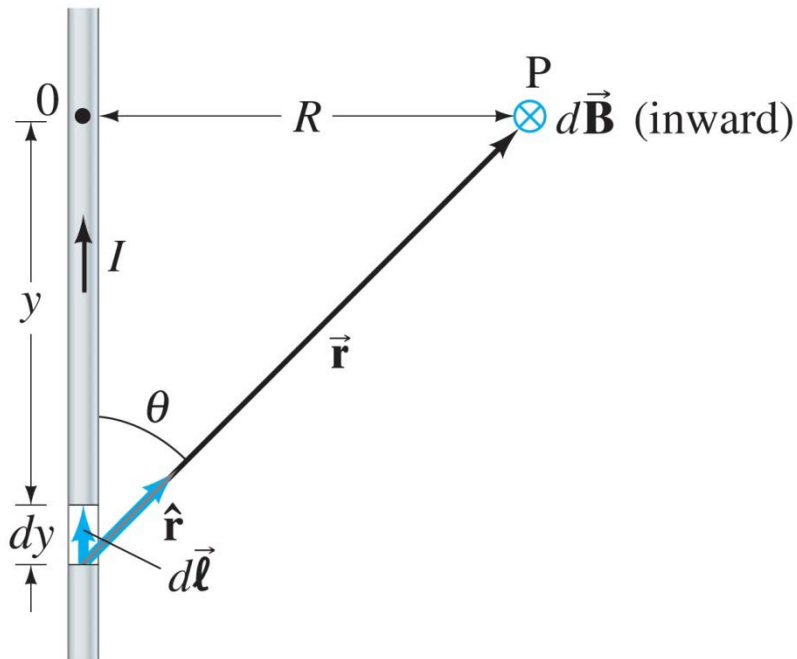
**Magnetisch equivalent van
Wet van Coulomb
Ook “schaling” met $1/r^2$**

$$dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dQ}{r^2}.$$



Wet van Biot-Savart

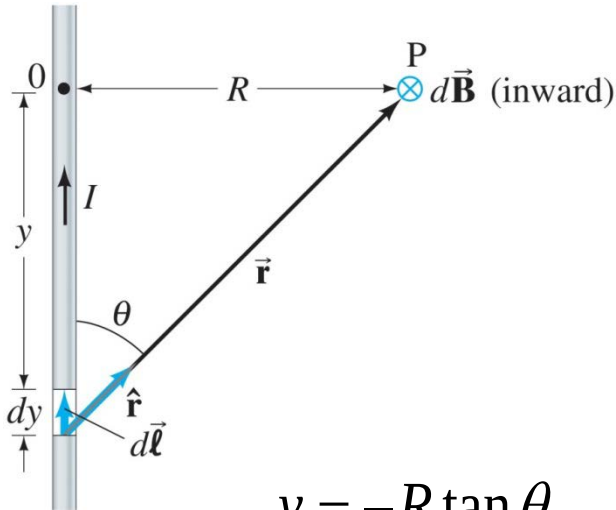
Example **28-11**: $\vec{B}$ agv stroom I in rechte draad.



Bereken het veld van alle stukjes dl of dy , met inachtneming van hoek θ en integreer dan over de lengte van de draad.

Te bewijzen: Biot-Savart geeft (ook): $B = \mu_0 I / 2\pi r$

Wet van Biot-Savart



$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{\ell} \times \hat{r}}{r^2}.$$

$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{dy \sin \theta}{r^2}$$

$$y = -R \tan \theta \quad \text{dus} \quad dy = \frac{R}{\sin^2 \theta} d\theta = \frac{R d\theta}{(R/r)^2} = \frac{r^2 d\theta}{R}$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{1}{R} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{dy \sin \theta}{r^2} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{1}{R} \int_{\theta=0}^{\pi} \sin \theta d\theta = -\frac{\mu_0 I}{4\pi R} \cos \theta \Big|_0^{\pi} = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$$

Dus, vanuit Biot-Savart, uitgerekend het veld van stroomdraad

Biot-Savart Law

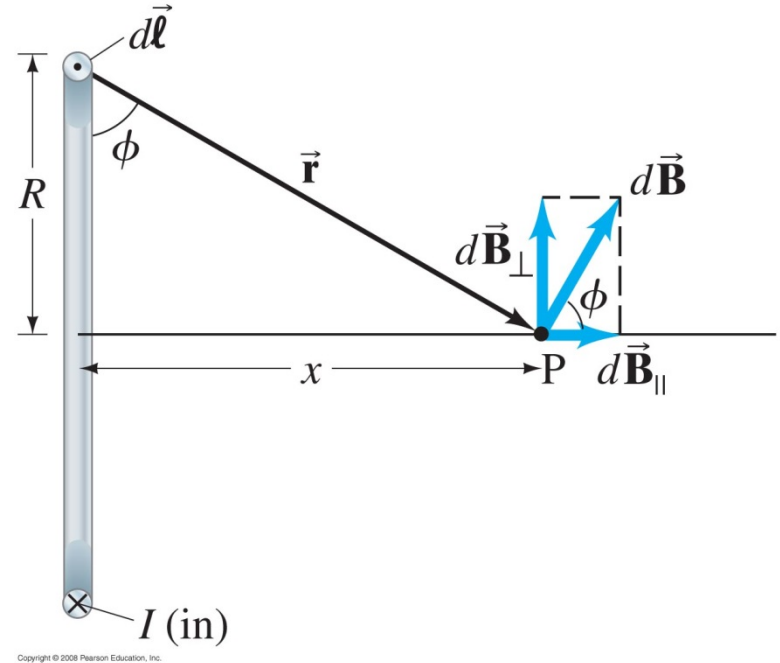
Example 28-12: $\vec{B}$ veld in cirkel-draad (loop)

1) Magneetveld loodrecht op: $\vec{r}$

$$dB = \frac{\mu_0 I dl}{4\pi r^2}$$

2) Symmetrie: alleen $B_{//}$

$$dB \cos \varphi = dB \frac{R}{r}$$



3) Integraal over dl ; vaste r , x , R

$$\int dl = 2\pi l$$

4) Dus: $B = \frac{\mu_0 I R^2}{2r^3}$

5) Voor $x=0$: $B = \frac{\mu_0 I}{2R}$

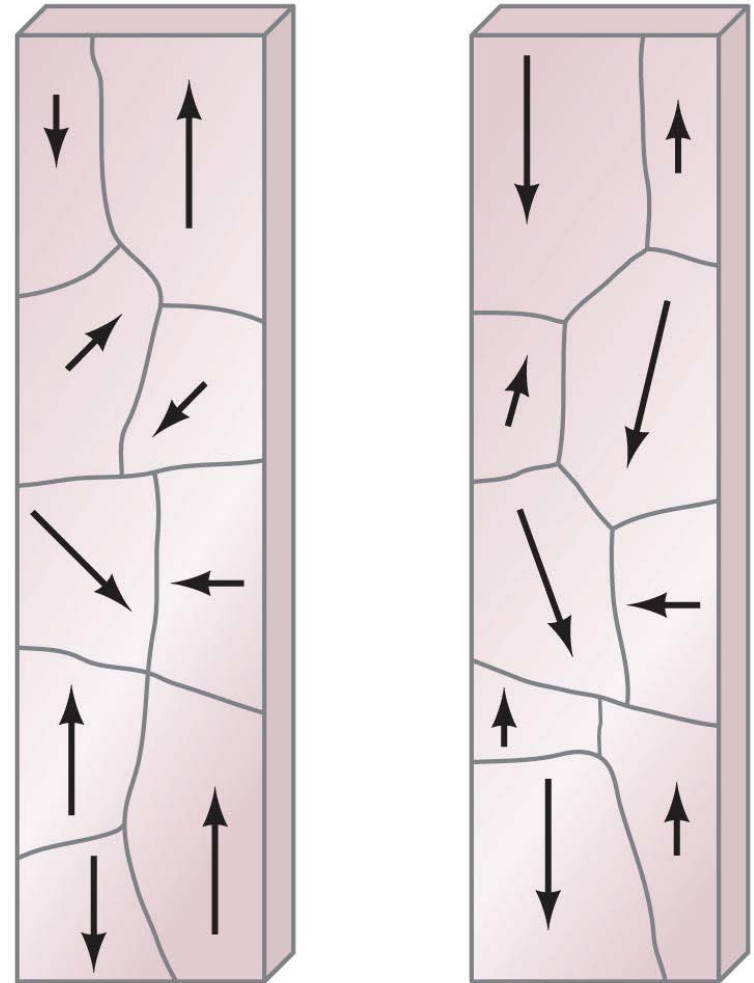
Magnetische Materialen – Ferromagnetisme

Ferromagnetische materialen zoals ijzer en nikkel kunnen sterk magnetisch worden.

Deze materialen zijn opgebouwd uit kleine regio's - domeinen; het magneteveld in elk domein staat in een bepaalde richting.

Als de magneet onverstoord is wordt ***B***-veld behouden. Bij schokken, of verhitten gaat dat verloren.

Groot magneteveld kan worden opgewekt door orientatie van domeinen o.i.v. extern veld.



Magnetisch Veld in Magnetische Materialen; Hysterese

Als een ferromagnetisch materiaal in een spoel wordt geplaatst, wordt het magnetisch veld versterkt door het veld gecreeerd door de ferromagneet zelf. Dit is gewoonlijk groter dan het B -veld van de spoel.

Schrijf

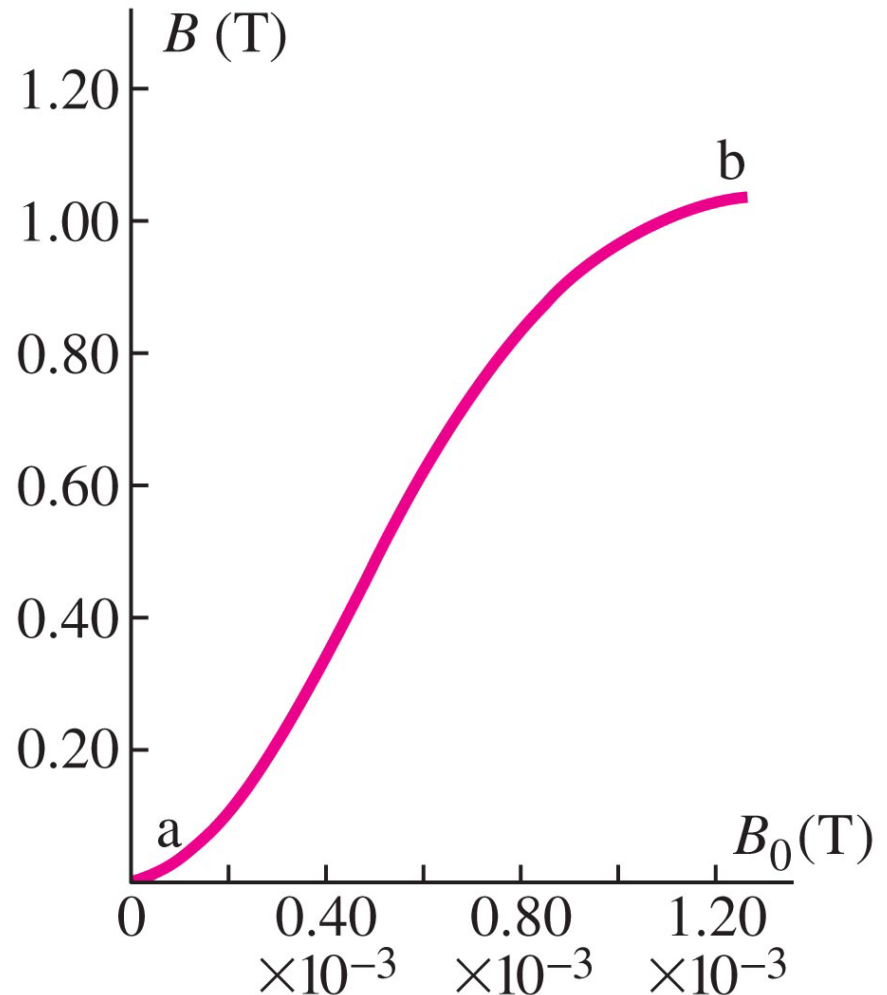
$$B = \mu I$$

met μ de magnetisch permeabiliteit. Voor ferromagneten $\mu \gg \mu_0$, voor alle andere materialen $\mu \approx \mu_0$.

Magnetisch Veld in Magnetische Materialen; Hysterese

Permeability is groot voor ferromagneten. De waarde hangt ook nog af van extern veld.

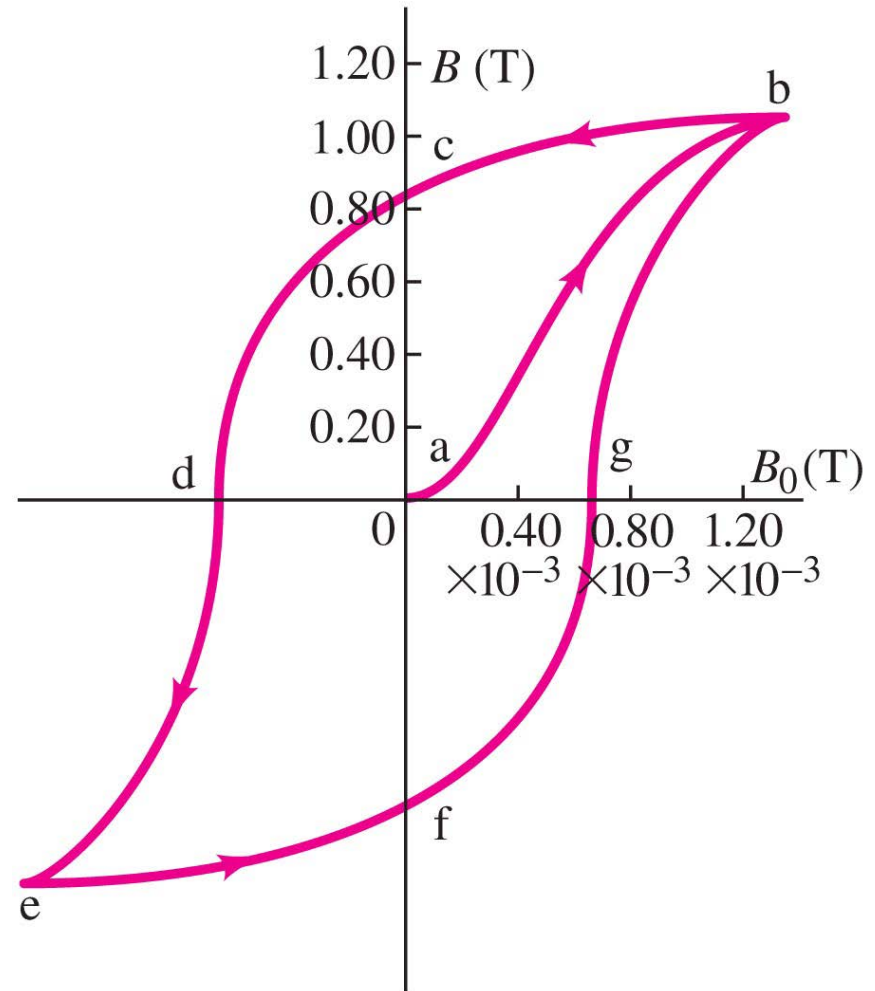
Niet-linear effect.



Magnetisch Veld in Magnetische Materialen; Hysterese

Hysterese curve

Als gevolg van
orientatie van
domeinen



Paramagnetisme en Diamagnetisme

Alle materialen vertonen magnetisch gedrag; de meeste zijn paramagnetisch (μ iets groter dan μ_0) of diamagnetisch (μ iets kleiner dan μ_0). Tabel voor χ_m , met

$$\chi_m = \mu/\mu_0 - 1$$

TABLE 28–1 Paramagnetism and Diamagnetism: Magnetic Susceptibilities

Paramagnetic substance	χ_m	Diamagnetic substance	χ_m
Aluminum	2.3×10^{-5}	Copper	-9.8×10^{-6}
Calcium	1.9×10^{-5}	Diamond	-2.2×10^{-5}
Magnesium	1.2×10^{-5}	Gold	-3.6×10^{-5}
Oxygen (STP)	2.1×10^{-6}	Lead	-1.7×10^{-5}
Platinum	2.9×10^{-4}	Nitrogen (STP)	-5.0×10^{-9}
Tungsten	6.8×10^{-5}	Silicon	-4.2×10^{-6}

Paramagnetisme en Diamagnetisme

Moleculen in paramagnetische materialen hebben een klein **intrinsiek** magnetisch dipoolmoment, en deze oriënteert in een extern magneetveld. ***B*** wordt groter.

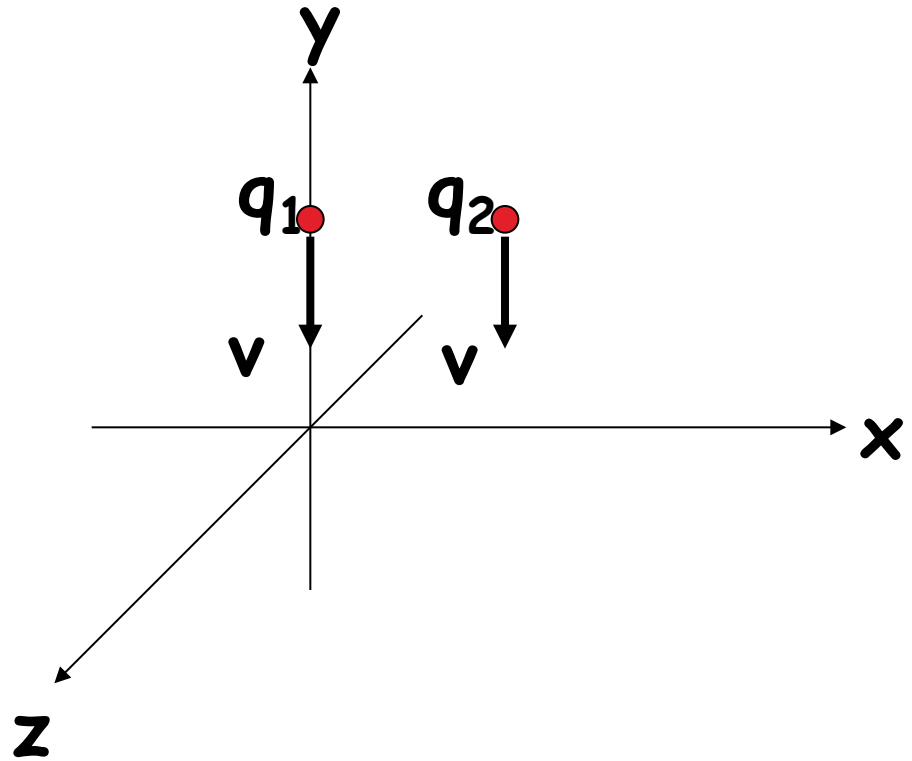
Moleculen in diamagnetische materialen hebben geen intrinsiek magnetisch dipoolmoment. Een extern veld induceert een klein dipoolmoment, zodanig dat het totale veld kleiner wordt.

Magnetische kracht tussen bewegende geladen deeltjes

Twee positief geladen deeltjes bewegen evenwijdig aan elkaar in het xy -vlak, zoals hieronder is aangegeven.

Wat is de richting van de magnetische kracht die q_2 op q_1 uitoefent?

- a) $+x$
- b) $-x$
- c) $+y$
- d) $-y$
- e) $+z$
- f) $-z$



Magnetische kracht tussen stroomdraden

Twee strips op een computerchip geleiden een stroom I_1 van A naar B en Een stroom I_2 van C naar D. Er is een magnetisch kracht tussen de strips.

De stroomrichting in strip 1 wordt omgedraaid.

- a) de richting van de kracht op strip 2 blijft hetzelfde.
b) de richting van de kracht op strip 2 draait om.
c) de grootte van de kracht op strip 2 wordt kleiner.
d) de grootte van de kracht op strip 2 wordt groter.

