

## Magnetisches Feld

### 1. Durchflutung

$$\Theta = \int_A \vec{j} \cdot d\vec{A} = \sum_v j_v$$

$$[\Theta] = 1 \text{ A}$$

→ Aufg. 5.6.

1.  $\Theta = 30$

2.  $\Theta = -30$

⋮

### 2. Durchflutungsgesetz / magnetische Feldstärke

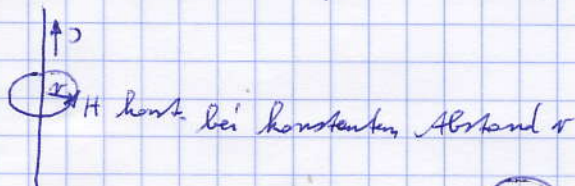
$$\oint_S \vec{H} \cdot d\vec{s} = \sum_v j_v = \Theta$$

$$[\vec{H}] = 1 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

$\vec{H}, \Theta \rightarrow$  rechte-Hand-Regel

- ist bekannt, dass  $\vec{H}$  entlang eines bestimmten Wegs konstant ist  
kann mit Hilfe des Durchflutungsgesetzes  $\vec{H}$  an einem beliebigen Punkt des Wegs berechnet werden

Beispiel: unendlich langer stromdurchflossener Leiter



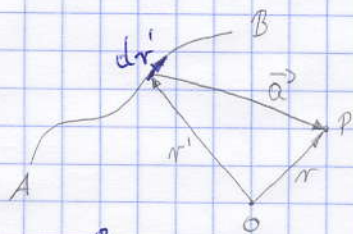
$$\Theta = j = \oint_S \vec{H} \cdot d\vec{s}$$

Betrachtung des Betrages:

$$d\vec{s} = r \cdot d\vec{\alpha}$$
$$j = \int_0^{2\pi} \vec{H} \cdot r d\vec{\alpha} = 2\pi r \vec{H} \cdot \vec{e}_\alpha \rightarrow H = \frac{j}{2\pi r}$$

### 3. Gesetz von Biot-Savart

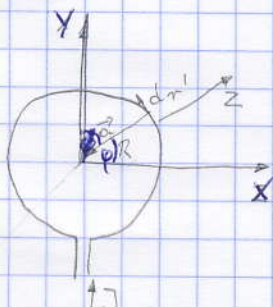
- Berechnung der magnetischen Feldstärke beliebiger Anordnungen, wenn  $\vec{J}$  durch hinreichend kleine Leiter fließt.



$$\vec{a} = \vec{r} - \vec{r}'$$

$$\vec{H} = \int_A^B \frac{\vec{J}}{4\pi a^3} \cdot (d\vec{r}' \times \vec{a}) = \int_A^B \frac{J d\vec{r}' \times (\vec{r} - \vec{r}')}{4\pi |\vec{r} - \vec{r}'|^3}$$

- Beispiel: Magnetfeld im Zentrum einer Leiterschleife



$$\vec{r} = 0 \quad \vec{r}' = -\vec{a} = R \cos \varphi \vec{e}_x + R \sin \varphi \vec{e}_y$$

$$d\vec{r}' = R \cdot d\varphi \cdot (-\sin \varphi \vec{e}_x + \cos \varphi \vec{e}_y)$$

$$d\vec{r}' \times \vec{a} = \begin{vmatrix} \vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z \\ -R \sin \varphi & R \cos \varphi & 0 \\ -R \cos \varphi & -R \sin \varphi & 0 \end{vmatrix} d\varphi = R^2 d\varphi \vec{e}_z$$

$$\vec{H} = \int_0^{2\pi} \frac{J \cdot R^2}{4\pi R^3} \vec{e}_z d\varphi = \frac{J \vec{e}_z}{4\pi R} \int_0^{2\pi} d\varphi = \frac{J \cdot \vec{e}_z}{2R}$$

→ Aufgabe 5.9

### 4. Magnetische Flussdichte

- für Stoffe mit der Permeabilität  $\mu$  gilt

$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H}$$

$\mu$  ... Permeabilität  $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$

$$\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6} \frac{Vs}{Am}$$

$$\mu_r = \begin{cases} 1 - \epsilon \\ 1 + \epsilon \\ \gg 1 \end{cases}$$

$\left. \begin{array}{l} \text{diamagnetische Stoffe (Aluminiumoxid, Kupfer, Wasser)} \\ \text{paramagnetische Stoffe (Aluminium, Sauerstoff, Eisen > 800°C)} \\ \text{ferromagnetische Stoffe (Eisen < 800°C, Permalloy)} \end{array} \right\} \mu_r \approx 1$

$$[\vec{B}] = 1 \frac{Vs}{m^2}$$

### 5. Magnetischer Fluss

$$\Phi = \iint_A \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

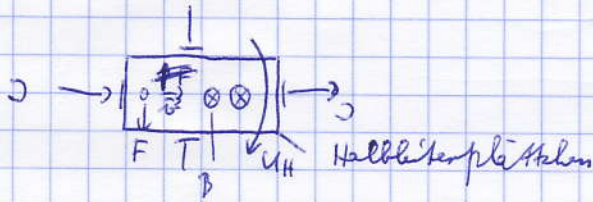
- beschreibt Kraftwirkung auf bewegte ~~Elektronen~~ Ladungen im Feld

## 5. Lorentzkraft

$$\vec{F} = Q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

- Kraft auf bewegte Ladungen im Magnetfeld

Beispiel Hall-Effekt

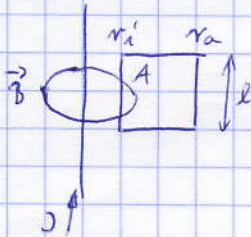


## 6. Magnetischer Fluss

$$\Phi = \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

$$[\Phi] = 1 \text{ Vs} = 1 \text{ Wb}$$

Beispiel: magnetischer Fluss in einer Fläche A neben einem linienförmigen Leiter



$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi r} \quad dA = dr \cdot dl'$$

$$\Phi = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi} \int_0^l dl' \cdot \int_{r_i}^{r_a} \frac{dr}{r} = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot l}{2\pi} \cdot \ln\left(\frac{r_a}{r_i}\right)$$

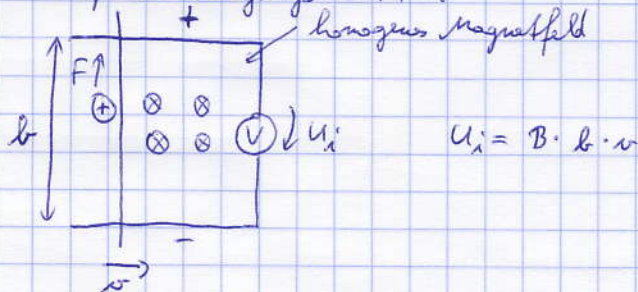
→ verketteter magnetischer Fluss

$$\Psi = w \cdot \Phi \quad w: \text{Windungszahl}$$

## 7. Induktion

$$U = \frac{d\Psi}{dt}$$

Beispiel: Bewegungsinduktion



$$\frac{d\Psi}{dt} = B \cdot l \cdot \frac{dx}{dt}$$

$$U_i = B \cdot l \cdot v$$

→ 5.1.

## 8. Induktivität

Selbstinduktivität

$$L = \Psi / I$$

~~2 fließt im selben Kreis~~

~~3 fließt an~~

3 fließt durch den Kreis, nachdem  $\Psi$  auftritt



Gegeninduktivität

$$M_{21} = \Psi_{21} / I_1$$

$\Psi$  wird durch einen anderen Kreis hervorgerufen



Mit  $U = \frac{d\Psi}{dt}$  folgt

$$U = L \frac{dI}{dt}$$

$$U = M_{21} \frac{dI_1}{dt}$$

falls beide Kreise von Strom durchflossen werden:

$$U_1 = L_1 \frac{dI_1}{dt} + M_{12} \frac{dI_2}{dt}$$

$$U_2 = L_2 \frac{dI_2}{dt} + M_{21} \frac{dI_1}{dt}$$