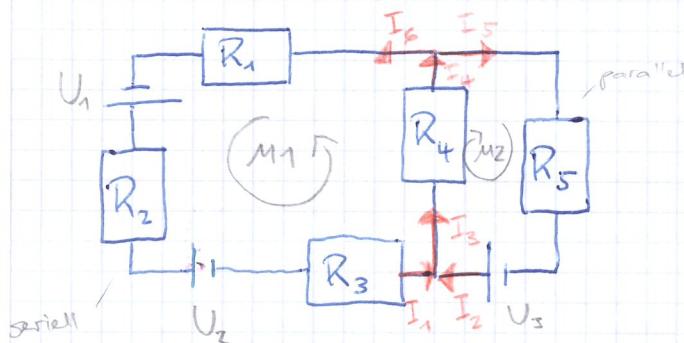


Elektrizität und Magnetismus

Kirchhoff'sche Gesetze

Knotensatz: In jedem Knotenpunkt fließen gleich viele Ströme zu und ab. (Sonst Ladungansammlung)

Maschenatz: Spannung = $\frac{\text{Spannungsabfall}}{\text{Widerstand}}$ (sonst mehr Energie)



M_1 & M_2 willkürlich gewählt
→ willkürlich gewählt

1. Knotensatz

$$\rightarrow I_1 = I_6, I_2 = I_5, I_3 = I_4$$

$$\rightarrow I_3 = I_1 + I_2$$

2. Maschenregel

$$\rightarrow \text{links: } U_1 - U_2$$

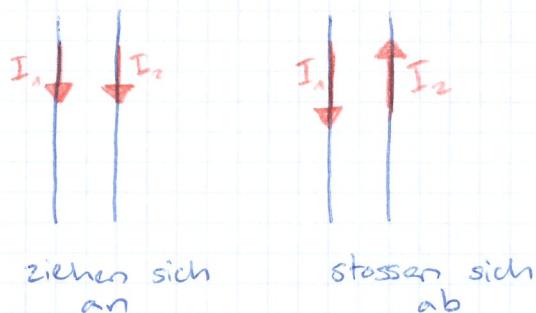
$$\rightarrow \text{rechts: } U_3$$

$$\rightarrow L: I_1 R_1 + I_1 R_2 + I_1 R_3 + I_3 R_4$$

$$\rightarrow r: I_3 R_4 + I_2 R_5$$

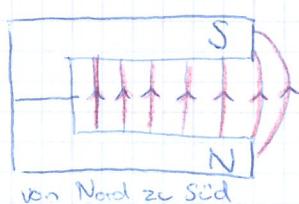
↓
3x3 GLS

stromdurchflossene Leiter

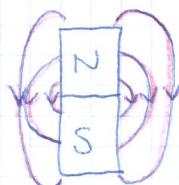


Magnetfeld

Feldlinien:



Hufeisenmagnet



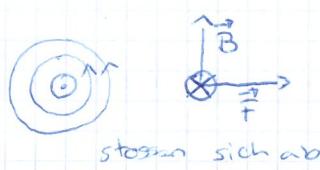
Stabmagnet

(rechte Hand,
daumen &
Finger)



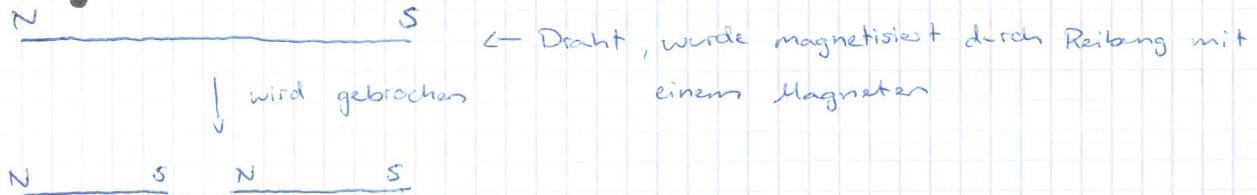
stromdurch-
flossener Draht

Zwei Drähte:



stoßen sich ab

Magnetisierung

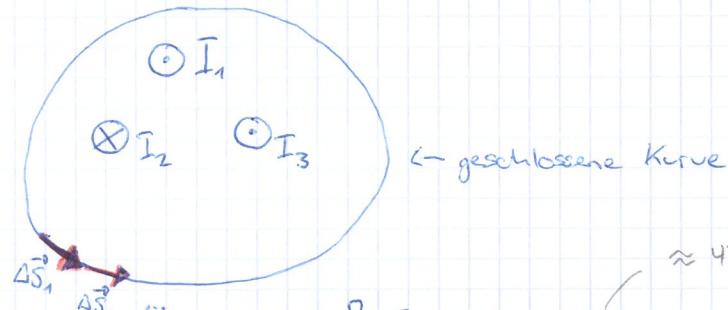


ferromagnetische Stoffe: lassen sich gut magnetisieren (z.B. Eisen, Cobalt, Nickel)

→ Wieso?: Die Elektronen rotieren und erzeugen so einen kreisförmigen Strom = Magnetisierung

Durchflutungsgesetz

→ Zusammenhang elektr. Strom & Magnetfeld



$$\sum_{i=1}^n \vec{B}_i \cdot \vec{\Delta S}_i = \mu_0 (I_1 + I_2 + I_3)$$

$$\approx 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{V}{A^2}$$

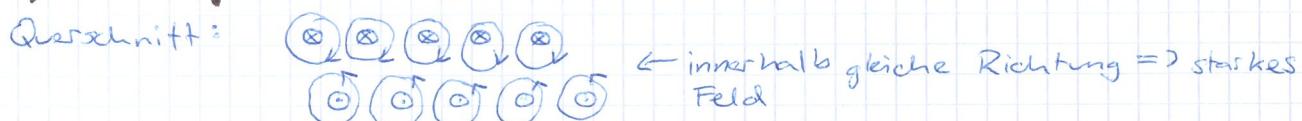
Vorzeichen I: $I_1 \rightarrow$ positiv (rechte Hand)

$I_2 \rightarrow$ negativ

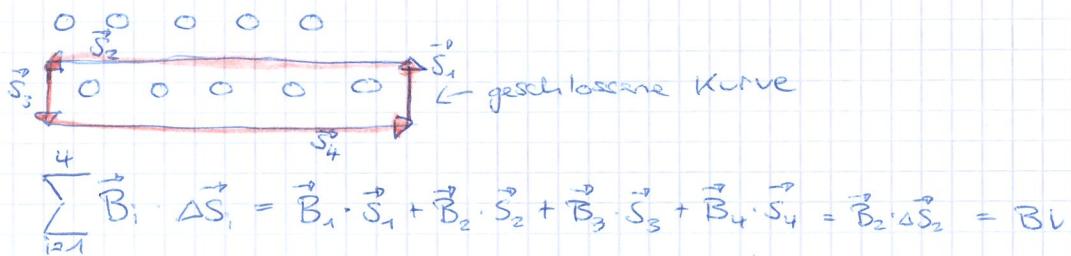
$I_3 \rightarrow$ positiv

Zylinderspule

→ aufgewickelter Draht



Anwendung Durchflutungsgesetz:



$$\downarrow \\ S_1 \rightarrow 0$$

$$\downarrow \\ S_3 \rightarrow 0 \quad \approx 0 \quad B_2 = B \\ \Delta S_2 = l$$

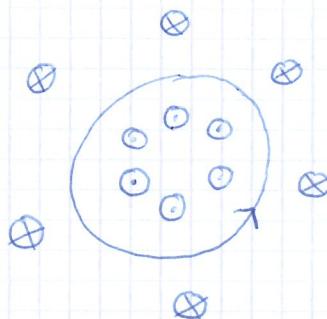
$$BL = \mu_0 \cdot N \cdot I \quad | : l$$

$$B = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I}{l}$$

↓ Magnetfeld

Ringspule

Querschnitt:



Anwendung Durchflutungsgesetz:

$$\sum_{i=1}^n \vec{B}_i \cdot \Delta \vec{S}_i = B \cdot \sum_{i=1}^n \Delta \vec{S}_i = B 2\pi r$$

$\vec{B}_i \parallel \Delta \vec{S}_i$ Zeichen: "für alle"
 $B = B_i = B; \quad \forall 1 \leq i, n \geq j$

$$\mu_0 \sum_{i=1}^N I_i = \mu_0 N I \rightarrow B = \frac{\mu_0 N I}{2\pi r}$$

Materie im magnetischen Feld

Ein Magnetfeld B_0 kann durch Materie gestärkt werden. Durch die sogenannte Permeabilitätszahl μ_r .

$$\mu_r = \frac{B}{B_0} \quad \begin{array}{l} \leftarrow \text{Feld mit Materie} \\ \leftarrow \text{ohne Materie} \end{array}$$

$\mu_r \gg 1 \rightarrow \text{ferromagnetisch}$

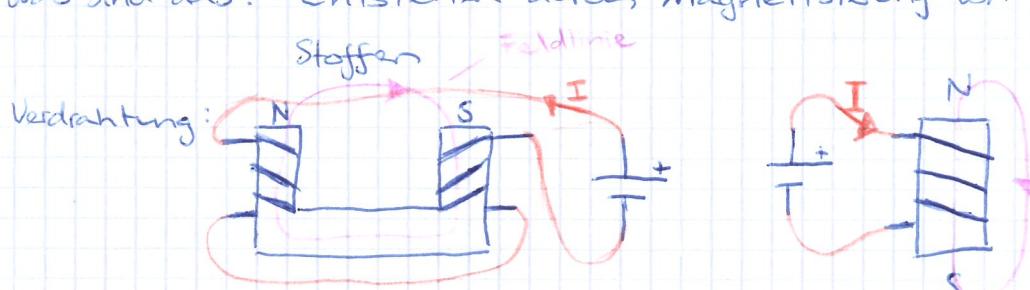
$\mu_r > 1 \rightarrow \text{paramagnetisch}$

$\mu_r < 1 \rightarrow \text{diamagnetisch}$

Info: Häufig verwendet man als Spulenkerne einen ferromagnetischen Stoff als Verstärker

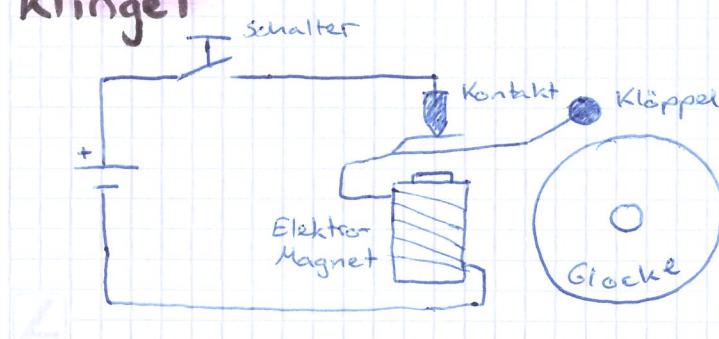
Elektromagnete

Was sind das? Entstehen durch Magnetisierung von ferromagnetischen Stoffen



"Bei Nordpol rein, Südpol raus"

Klingel



Lorentzkraft

Kraft auf eine einzelne bewegte Ladung im Magnetfeld

Herleitung (mithilfe Biot-Savart-Kraft): $\vec{F} = Q \vec{J} \times \vec{B}$

$$\vec{F} = \underbrace{\frac{\Delta Q}{\Delta t}}_{=I} \vec{J} \times \vec{B}$$

$$\vec{F} = Q \vec{J} \times \vec{B} \quad \leftarrow \begin{array}{l} \text{rechte Hand-} \\ \text{Regel} \end{array}$$

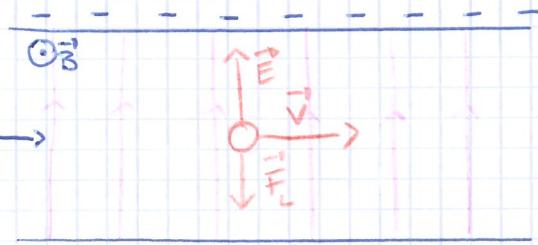
Lorentzkraft

Geschwindigkeitsfilter

-)

Funktionsweise:

Hat ein Teilchen eine gewisse Geschwindigkeit, so kann es den Filter passieren. Hat es jedoch nicht die gewünschte Geschw., so wird es abgelenkt.



O: positiv geladenes Teilchen

$$\vec{F}_L = Q \vec{J} \times \vec{B} \quad \vec{F}_{el} = q \cdot \vec{E}$$

Welche Geschwindigkeit?

$$\vec{F}_{el} = \vec{F}_L$$

$$qE = qvB \rightarrow v = \frac{E}{B}$$

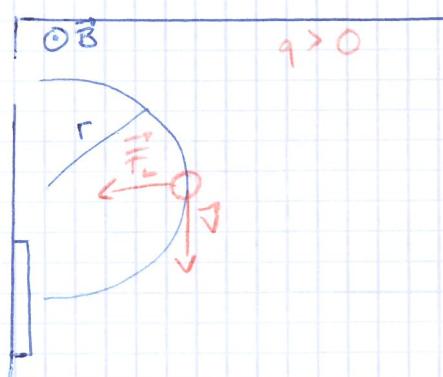
Was mit negativ geladenen Teilchen?

\vec{F}_{el} und \vec{F}_L ändern die Richtung, q kürzt sich weg

Massenspektrometer

z.B. bei

C-14 Methode



$$\vec{F}_L = \vec{F}_Z$$

$$\vec{F}_Z = \frac{mv^2}{r}$$

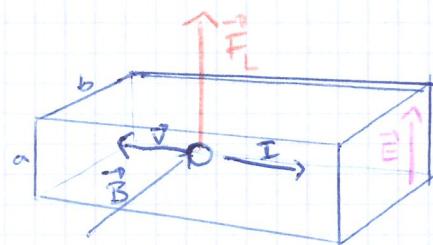
$$v \perp B$$

$$\vec{F}_L = qvB$$

$$\frac{mv^2}{r} = qvB \quad I - F:V$$

$$m = \frac{qrB}{v}$$

Hallspannung



Driftgeschwindigkeit v_d :

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{q \cdot \Delta N}{\Delta t} = \frac{q n a b v_d \Delta t}{\Delta t} = q n a b v_d$$

$$\rightarrow v_d = \frac{I}{q n a b}$$

Hallspannung:

$$\frac{\vec{F}_L}{F_L} = \frac{\vec{F}_E}{F_E}$$

$$q v_d B = q E \quad | : q$$

$$\frac{I}{q n a b} B = E \quad | \cdot a$$

$$\frac{BI}{qnb} = E \cdot a = U_H$$

Beschleuniger

$$W = \Delta E = \vec{F} \cdot \Delta \vec{s}$$

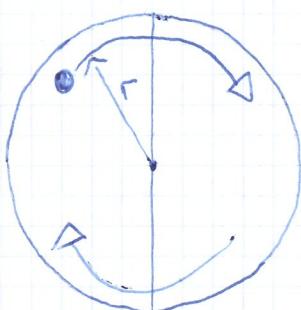
Zeigt, dass ein Magnetfeld auch auf Strom eine Wirkung hat.

durch \vec{F}_L bildet sich ein elektrisches Feld

Anzahl fließender Ladungsträger N :

$$\Delta N = n \Delta V = n a b v_d \Delta t$$

Zyklotron:



Umlaufzeit:

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

$\rightarrow \text{const.}$

Proton wird beschleunigt
+ -
Umpolung

Mit Lorentzkraft:

$$W = \vec{F}_L \cdot \Delta \vec{s} = \vec{F}_L \cdot \vec{v} \cdot \Delta t = 0$$

$\uparrow \vec{F}_L \perp \vec{v}$

\Rightarrow Lorentzkraft verrichtet keine Arbeit

Mit F_E :

$$W = \vec{F}_E \cdot \Delta \vec{s} = q E \Delta s$$

\Rightarrow Arbeit wurde verrichtet

je schneller ein Proton, desto
größeres τ . irgendwann verlässt es
Zyklotron

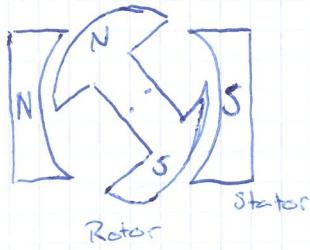
$$\rightarrow \vec{F}_L = \vec{F}_2$$

$$qvB = \frac{mv^2}{r}$$

$$v = \frac{qB}{m} \cdot r \quad \rightarrow \quad v \sim r$$

\downarrow
 const.

Gleichstrommotor



Funktionsprinzip: Rotor stößt sich ab, Stromrichtung ändert sich, stößt sich wieder ab,

...

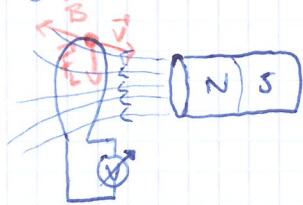
Unterbruch im Ring: Umpolung

Permanentmagnet: stößt Rotor ab

reale Gleichstrommotoren: Dreifach-T-Rotor, damit er von selbst anfährt.

Induktion

das Umgekehrte vom Motor \rightarrow Motor generiert Spannung



Magnet durch Leiterschleife oder umgekehrt \Rightarrow Spannung
(Bezugssystem)

Lorentzkraft:

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

Wenn Leiterschleife sich bewegt: q würde fließen = Spannung

Wenn Magnet sich bewegt: nicht erkläbar

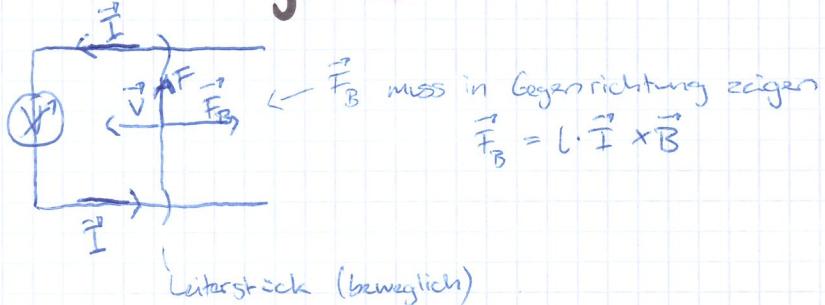
magnetischer Fluss

$$\Phi_m = \vec{B} \cdot \vec{A}$$

↑
Magnetfeld ↑ Fläche

$$\Phi = \sum_{i=1}^n \Phi_i = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i \cdot \vec{A}_i$$

Induktionsgesetz & Lorentzkraft



Spannung:

o Herleitung mit \vec{F}_L :

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

$$W = \vec{F}_L \cdot l = q v B l$$

$$U_{\text{ind}} = \frac{W}{q} = v B l$$

o Herleitung mit Induktionsgesetz:

$$A = (x_0 - vt) l$$

(Fläche)

$$\Phi(t) = B(x_0 - vt) l$$

$$U_{\text{ind}} = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt} (x_0 B l - vt B l)$$

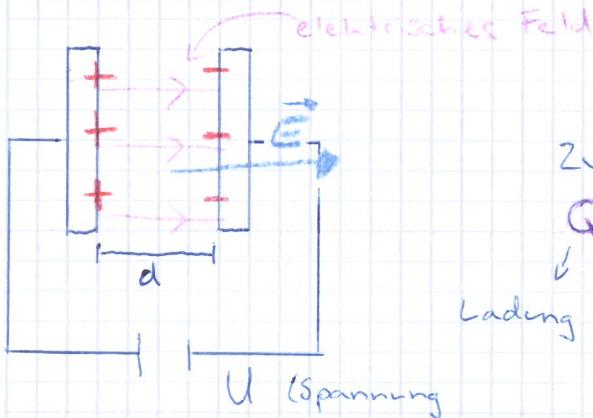
$$= v B l$$

Kondensator

Was ist ein Kondensator?

kann Ladung speichern, somit elektrische Energie

Plattenkondensator



Zusammenhang Ladung & Spannung:

$$Q = CU$$

↓ ↓ → Spannung
Ladung Kapazität

Aufgaben

1. Ein Kondensator wird auf die Ladung Q geladen. Danach wird die Spannungsquelle getrennt. Nun wird der Abstand d verdoppelt.
Bleibt die Ladung konstant? Ja, es kann keine Ladung zu oder weg fließen

Wie ändert sich die Kapazität? halbiert sich, da $C = \frac{A}{d}$

Wie ändert sich das Feld zwischen den Platten? bleibt gleich, da

$$E = \frac{Q}{A}$$

Wie ändert sich die Spannung? Feld bleibt konstant, deshalb $U_2 = 2U_1$

2. Es wird ein Dielektrikum eingefügt mit der Dielektrizitätszahl $\epsilon = 2$.
Wie verändert sich das elektrische Feld? bleibt gleich, da $E = \frac{U}{d}$.
Weshalb vergrößert Dielektrikum die Kapazität? Dielektrikum wird polarisiert. Die neue Ladung beträgt nun $Q_0 + Q_{DE}$



Um welchen Faktor steigt die Kapazität? $\epsilon = 2 \leftarrow$

Wie ändert sich die Spannung? bleibt gleich, immer noch an Spannungsquelle angeschlossen

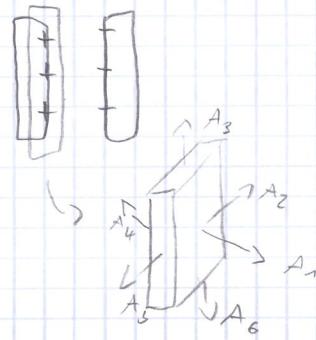
Wie ändert sich die gespeicherte Energie? nimmt um Faktor 2 zu und steigt an, wegen Spannungsquelle

3. Berechne den Betrag des elektrischen Feldes zwischen den Platten

in Abhängigkeit von Q und A . Verwende den Satz von Gauss.

Satz von Gauss: $\Phi = \frac{Q_{\text{innen}}}{\epsilon_0}$

$$\Phi = \frac{Q}{\epsilon_0} = \sum_{i=1}^6 E_i \cdot A_i = \vec{E}_1 \vec{A}_1 + \vec{E}_6 \vec{A}_6 + \underbrace{\sum_{i=2}^5 E_i \cdot A_i}_{\text{fast } 0}$$
$$|\Phi| = EA + \vec{D} \cdot \vec{A}_6 = EA$$
$$\downarrow$$
$$\vec{E}_6 = \vec{D}$$



4. Drücken sie die Spannung zwischen den Platten durch E und d aus.

$$U = d \cdot E \Rightarrow U = \frac{Qd}{\epsilon_0 A}$$

5. Folgere nun den Ausdruck für die Kapazität.

$$Q = CU \Rightarrow Q = \frac{\epsilon_0 \cdot A}{d} \cdot U \Rightarrow C = \frac{\epsilon_0 \cdot A}{d}$$

Einheit Kapazität: $[C] = \frac{F}{V} = F$ [Farad]