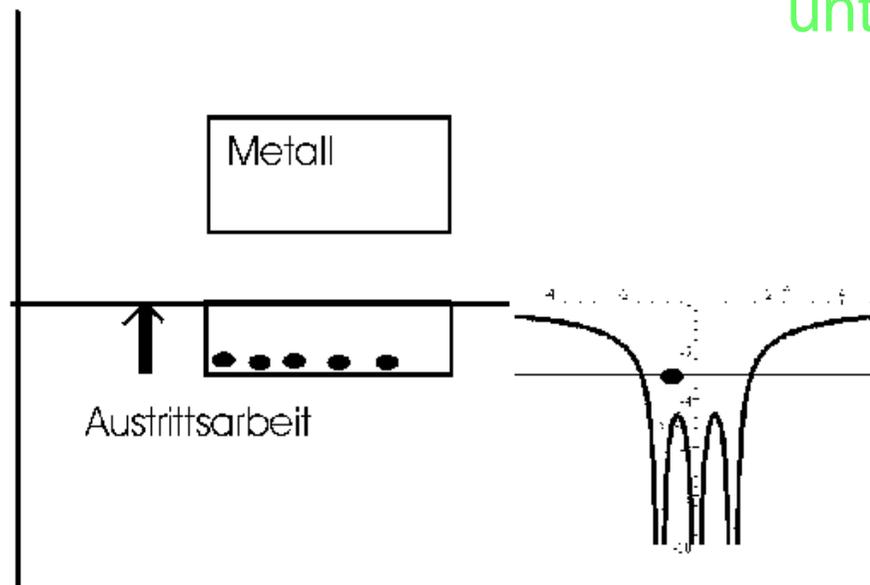


7.4. Austrittsarbeit, Berührungsspannung und Thermospannung

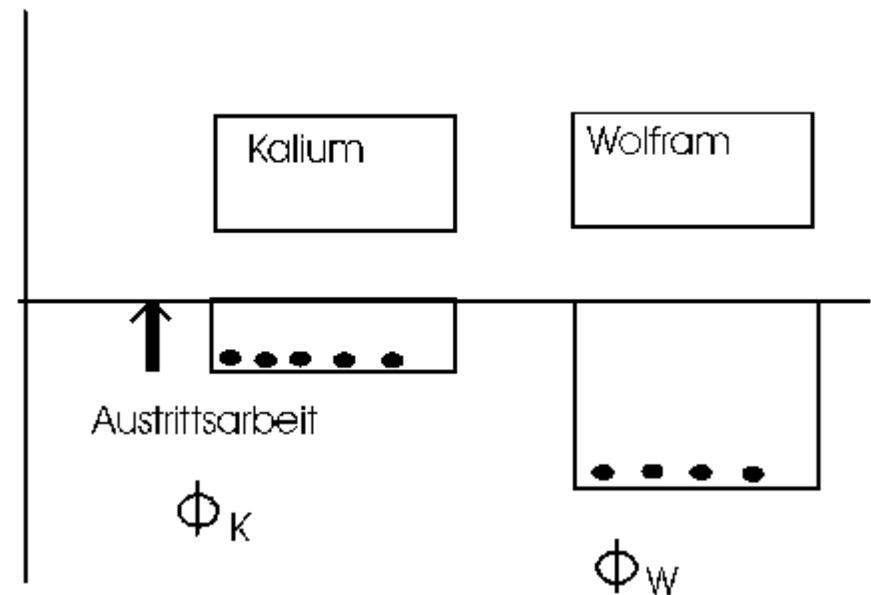
Berührungsspannung, Austrittsarbeit, EX: Kontaktspannung

Verschiedene Metalle mit unterschiedlichen Austrittsarbeiten

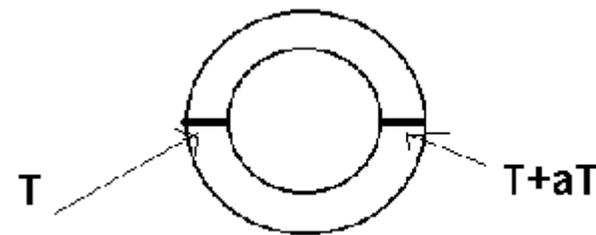
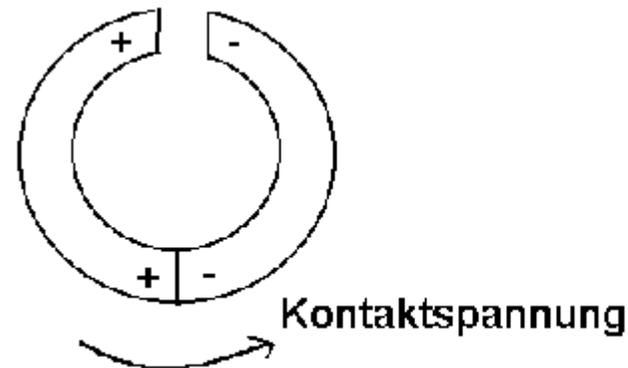
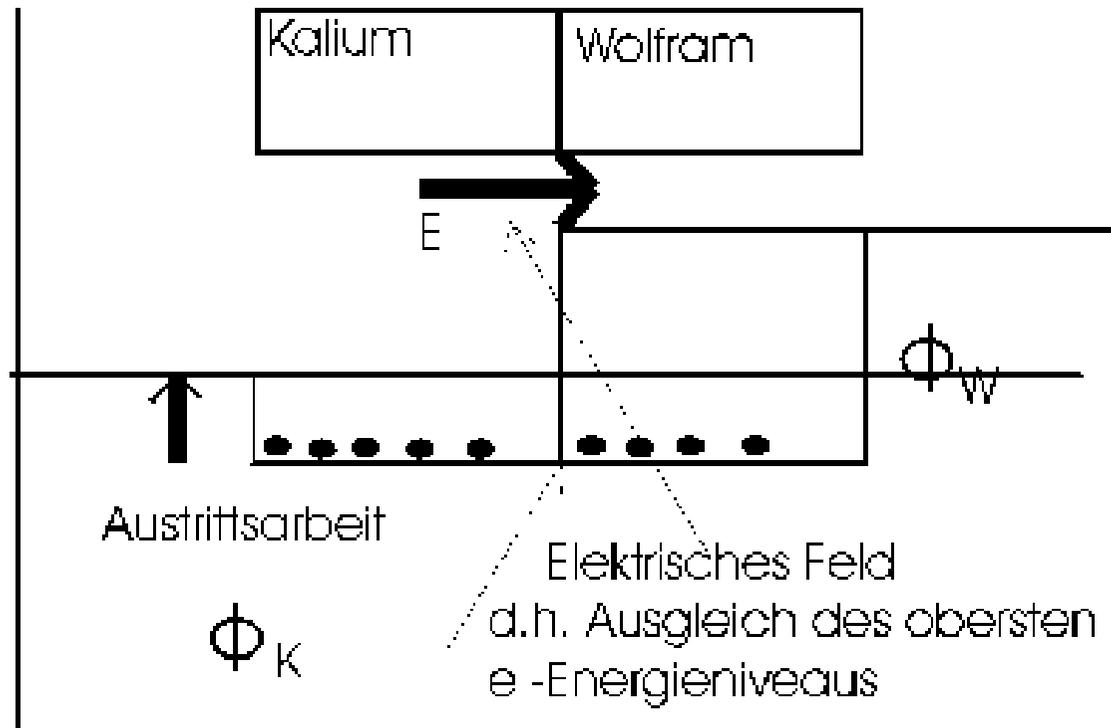
Elektronenenergie



Elektronenenergie



Elektronenenergie

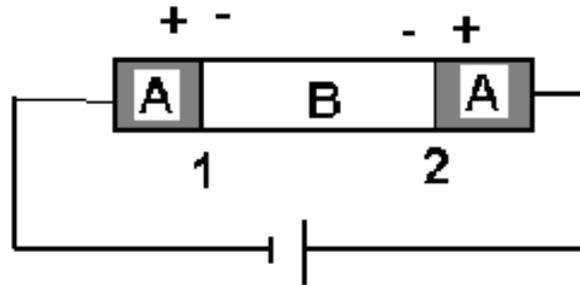


es fließt Strom \rightarrow Thermostrom

Thermospannungen
variieren von Metall zu Metall

Fe-Konstantan: 53 Mikrovolt/Grad

Peltier-Effekt:



Metall A: A

Metall B: B

$$\Phi_A < \Phi_B$$

Wo gibt es eine Erhöhung bzw. Verkleinerung der Temperatur ?

1 Kalt, 2 warm

8. Das magnetische Feld

Stabmagnete: Kraft, obwohl elektrisch neutral

In Analogie mit dem el. Feld:

\vec{B} - Feld

Magnetfeld

EX: Ablenkung Draht in B-Feld

v : Geschwindigkeit
einer Ladung q

$v=0$ Keine Ablenkung

$v \neq 0 \rightarrow$ Kraft

Die Beobachtungen lassen sich zusammenfassen:

$$\vec{K} = q(\vec{v} \times \vec{B}) \quad \text{Lorentz-Kraft} \quad [B] = \frac{N \cdot s}{m \cdot C} : T : \text{Tesla oder } 1 \text{ Tesla}$$

$\vec{v} \perp \vec{B} \Rightarrow$ Die kinetische Energie bleibt beim Durchfliegen magnetischer Felder unverändert! $\simeq 10^4 \text{Gau\ss}$

Kraft auf einen stromdurchflossenen Draht in einem homogenen Magnetfeld

$$I = \frac{dq}{dt}; I = A \cdot n \cdot q \cdot v = A \cdot j \quad j = \text{Stromdichte}$$

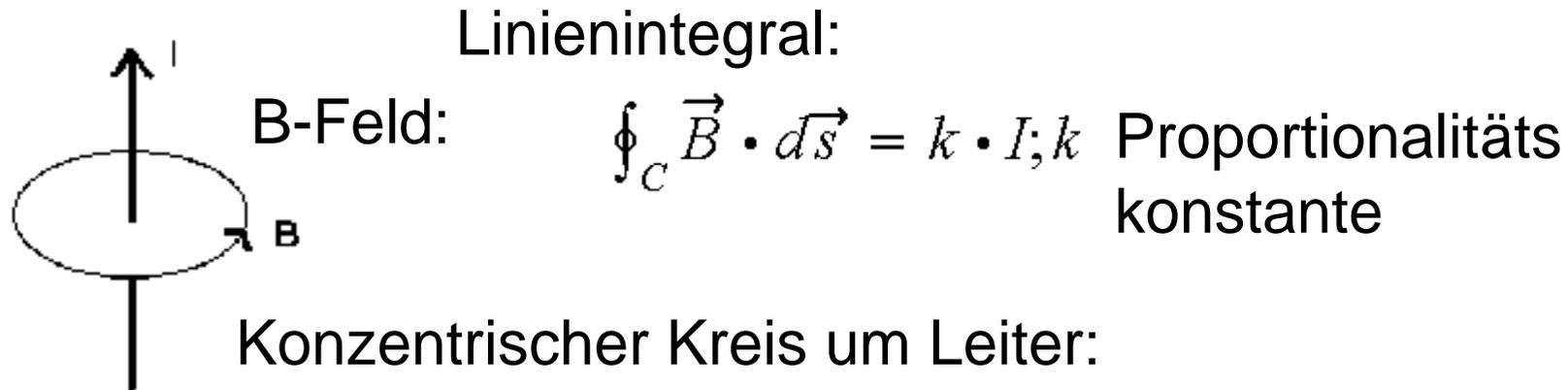
$$\vec{K} = \underbrace{q(\vec{v} \times \vec{B})}_{\text{seine Ladung}} \cdot \underbrace{L \cdot A \cdot n}_{\text{Zahl der Ladungen}}; *$$

seine Ladung Zahl der Ladungen

EX: Stromdurchflossener Draht, Späne

a) Kompassnadel stellt sich tangential zu konzentrischen Kreisen um den Leiter

b) Eisenfeilspäne ordnen sich in konzentrischen Ringen



(r: Radius des Kreises) $B = B(r) = k \cdot \frac{I}{2\pi r}$

EX: Lorentzkraft zwischen
stromdurchflossenen Leitern

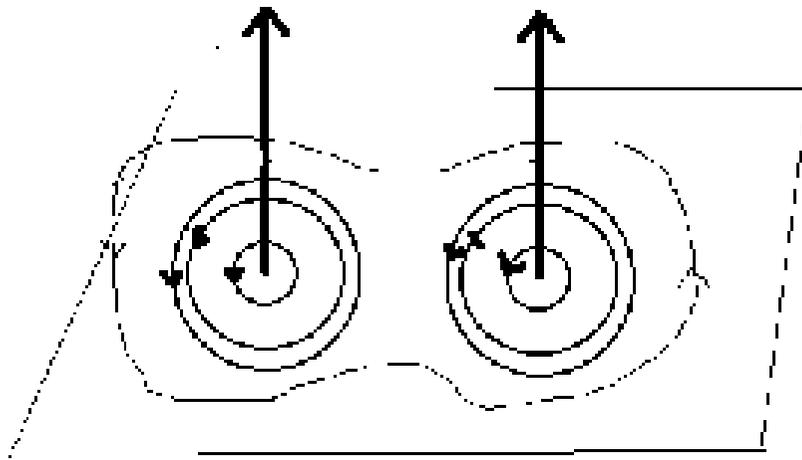
Für $k = \mu_0; [\mu_0] = \frac{T \cdot m}{I}$

EX: Lorentzkraft zwischen stromdurchflossenen Leitern

Kräfte zwischen zwei stromdurchflossenen

Drähten: $I_1 = I_2 = I$

aus * : $K = L \cdot I \cdot B \Rightarrow K = L \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I^2}{r}$



Parallel: Anziehung

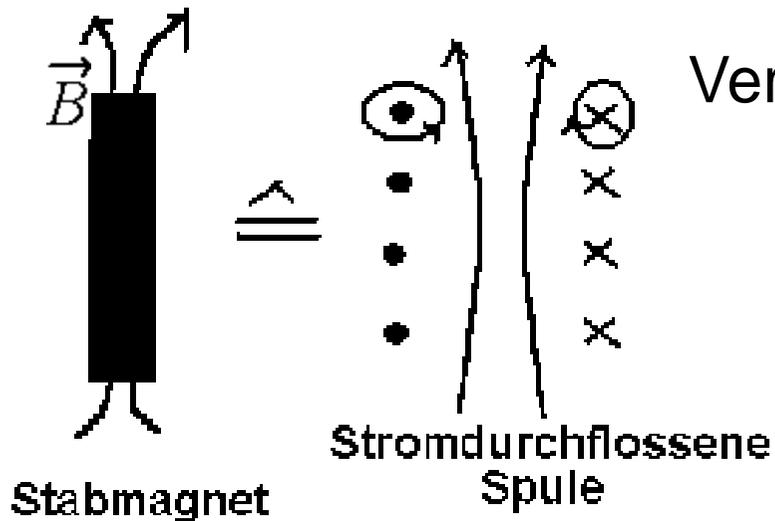
Antiparallel: Abstoßung

Vektoriell läßt sich B schreiben als:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{(\vec{I} \times \vec{r})}{r^2};$$

Magnetische Felder sind quellenfreie
Wirbelfelder

Bisher keine magnetischen Pole gefunden!



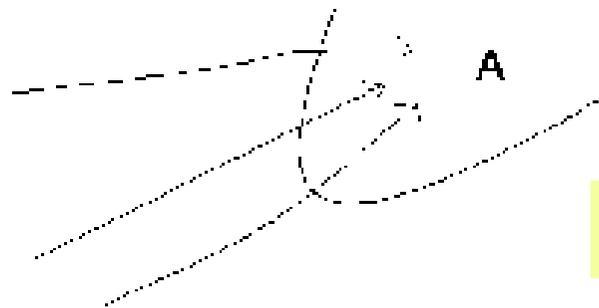
Vermutung: Auch im Stabmagneten wird

\vec{B}

hervorgerufen durch Kreisströme!

8.2. Das Gesetz von Ampère

Magnetischer Fluss:



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

$$[\Phi] = \text{Weber, } Wb; 1Wb = 1T \cdot m^2$$

Magnetfelder sind quellenfrei, d.h.

Integral über eine geschlossene Fläche

$$\int_A \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

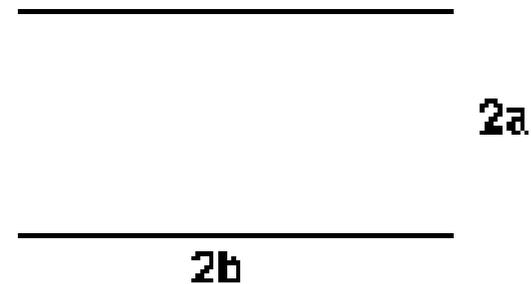
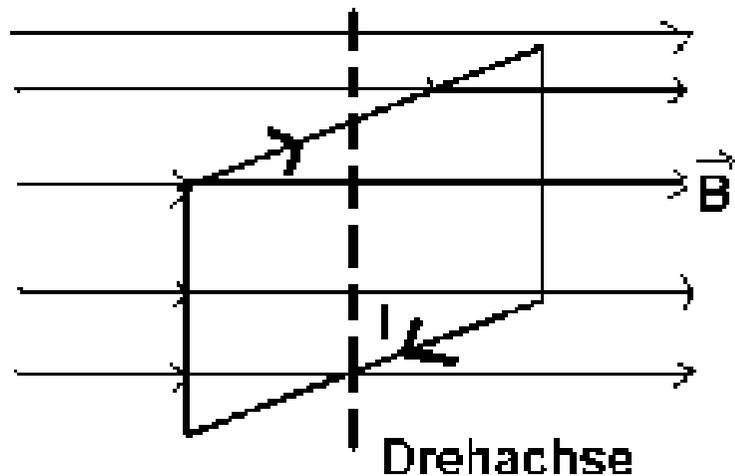
Linienintegral: $\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \cdot I; I = \int_A \vec{j} \cdot d\vec{A}$

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \cdot I; I = \int_A \vec{j} \cdot d\vec{A}$$

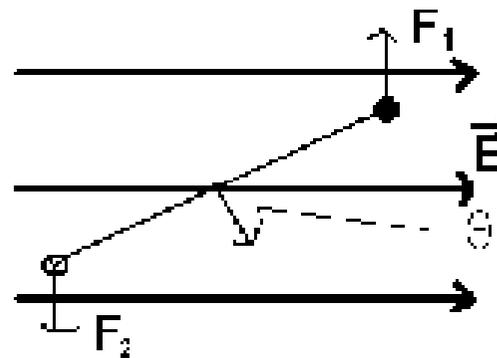
oder mit Hilfe des
Stokeschen Satzes:

$$\mu_0 \int_A \vec{j} \cdot d\vec{A} = \oint_C \vec{B} \cdot d\vec{s} = \oint (\vec{\nabla} \times \vec{B}) d\vec{A} \Rightarrow \boxed{\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \cdot \vec{j}}$$

8.3. Stromschleife



Von der Seite:



F_1, F_2 : Kräfte im Abstand b von der Drehachse

$$\text{Drehmoment } \vec{T} \text{ mit } F_1 = F_2 \quad T = 2 \cdot \underbrace{F_1}_{2 \cdot a \cdot I} \cdot b \cdot \sin\theta$$

$$T = 4ab \cdot I \cdot B \cdot \sin\theta = A \cdot I \cdot B \cdot \sin\theta$$

A: Fläche der Stromschleife

oder $\vec{T} = I \cdot \vec{A} \times \vec{B}$; $I \cdot \vec{A} = \vec{\mu}$ magnetisches Moment

Analogon: $\vec{T} = \vec{p} \times \vec{E}$ beim elektrischen Dipol

Magnetisches Moment der Erde: $|\vec{\mu}| = 10^{26} A \cdot m^2$

das entspricht einem Kreisstrom von $\simeq 10^{12} A$ am Äquator

8.4. Der relativistische Zusammenhang zwischen elektrischen und magnetischen Feldern

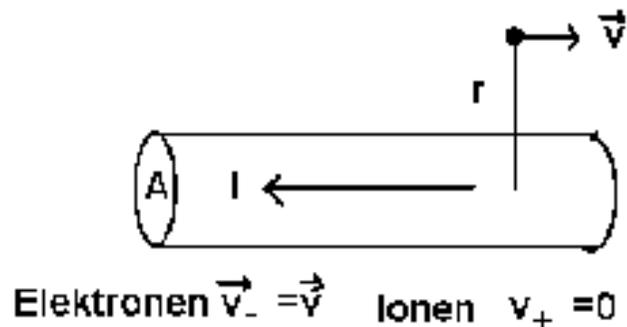
Kraft zwischen 2 Ladungen $K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$

Kraft zwischen 2 Drähten der Länge L $K = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I^2 \cdot L}{r}$

Bisher: Beide Kräfte unabhängig

Empirisch: $\frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}} = c = 2.9979 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$; Lichtgeschwindigkeit

Beispiel: Stromdurchflossener Draht mit Probeladung



System S: Draht in Ruhe ,
q bewegt sich mit v nach rechts

Ann.: e^- im Draht bewegen sich
mit v rechts

$$I = \rho_- \cdot A \cdot v_-; \rho_- = n \cdot q$$

Um den Draht entsteht : $B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi r}$

⇒ " abstoßende" Lorentzkraft , da entgegengesetzte Ströme

$$c^2 = \frac{1}{\mu_0 \cdot \epsilon_0}; K = q \cdot B \cdot v = q \cdot \mu_0 \cdot \frac{I}{2\pi r} \cdot v = \frac{1}{2\pi \epsilon_0} \frac{q \cdot \rho_- \cdot A}{r} \cdot \frac{v^2}{c^2}$$

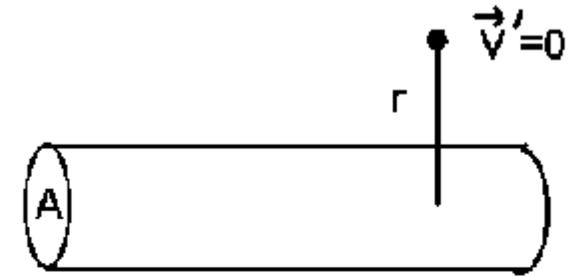
Bezugssystem S': Ladung q in Ruhe

Keine magnetischen Kräfte!

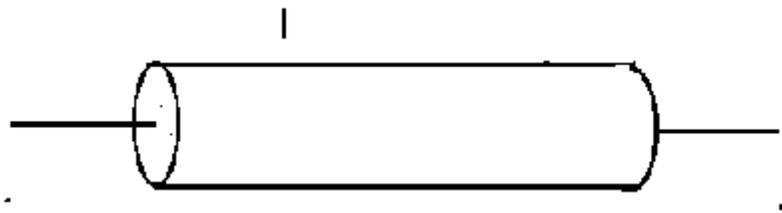
$$(\vec{v}' = 0)$$

Elektrische Kräfte?

Zwischenrechnung



Elektronen $\vec{v}' = 0$ Ionen $\vec{v}'_+ = -\vec{v}$



"langer" Draht $E \perp$

auf dem Zylinder

Gaußscher Satz:

$$\underbrace{\int \vec{E} \cdot d\vec{A}}_{\text{Zylinderwand}} + \underbrace{\int \vec{E} \cdot d\vec{A}}_{+2 \text{ Kreisflächen}} = \frac{l \cdot \lambda}{\epsilon_0}, \lambda :$$

Zylinderwand + 2 Kreisflächen

Ladung/Länge

$$E \cdot 2\pi \cdot r \cdot l + 0$$

$$\Rightarrow E = \frac{\lambda}{2\pi r \epsilon_0}$$

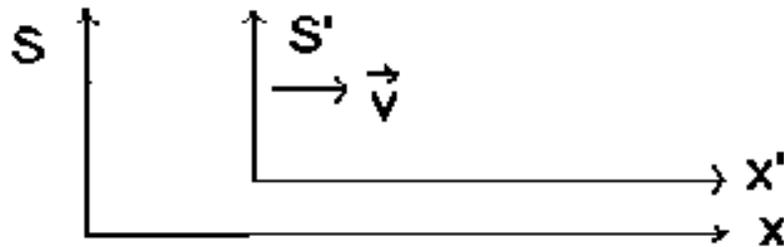
In S: $\rho_+ + \rho_- = 0$ $n_+ = n_-$: elektrisch neutral

In S': Eine im System S ruhende Drahtlänge

$$L \text{ in } S' \quad L' = L \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

(in Richtung v bewegt) v: Relativgeschwindigkeit zwischen

$$S \leftrightarrow S'$$



Keine Änderung der Querschnittsfläche und Q $Q = \rho \cdot L \cdot A$

oder $\rho = \frac{Q}{L \cdot A}$ für die Ladungsdichten

$$\text{allgemein: } \rho^{(bewegt)} = \frac{\rho_0^{Ruhe}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} *$$

In S

$$\rho = \rho_+ + \rho_- = 0; *$$

Draht stationär

und neutral

allgemeine Bez. $S \leftrightarrow S'$

In S'

$$\text{allgem } \rho'_+ = \frac{\rho_+}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \rho_+ \cdot \gamma$$

\Rightarrow Ladungsdichte des Drahtes:

$$\rho'_- = \frac{\rho_-}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \rho_- \cdot \gamma$$

Hier aufpassen: $\rho_- = \rho_-^{bewegt}$

$$\rho'_+ = \rho_+^{bewegt} \quad * \rho' = \rho'_+ + \rho'_- = \rho_+ \left(\gamma - \frac{1}{\gamma} \right) = \rho_+ \left(\frac{\gamma^2 - 1}{\gamma} \right) = \rho_+ \left(\frac{\frac{1}{1-\frac{v^2}{c^2}} - 1}{\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}} \right)$$

$$\rho' \text{ f\u00fchrt zu } E' = \frac{\rho' \cdot A}{2\pi\epsilon_0 \cdot r}; \Rightarrow K' = q \cdot E'$$

$$\text{Absto\u00dfung!} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{q \cdot \rho_+ \cdot A \cdot v^2}{r \cdot c^2 \cdot \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow$$

$$= \rho_+ \left(\frac{\frac{1}{1-\frac{v^2}{c^2}} - 1}{\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}} \right)$$

Vergleich: bis auf den Faktor $\cdot \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$

gleich der Lorentzkraft
in S d.h.: f\u00fcr

$\frac{v}{c} \ll 1 \Rightarrow$ Gleichheit

Nach der Wirkung einer Kraft $F \Rightarrow$ Transversaler Impuls

$$\Delta p_y = F \cdot \Delta t \quad \text{in } S \quad \Delta p'_y = F \cdot \Delta t' \quad \text{in } S'$$

Beide Ausdrücke gleich, wenn $\Delta t' = \Delta t \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

Kraft in S "rein" magnetisch
Kraft in S' "rein" elektrisch

Schluss:

Elektrische und magnetische Kräfte sind Wirkungen
ein und desselben Phänomens

Quantitative Übereinstimmung, wenn

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, z' = z$$

Längenkontraktion

$$y' = y, t' = \frac{t - x \frac{v}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Zeitdilatation

Voraussetzung: 2 Postulate

1. Die Gesetze der Physik sind gleich in allen Systemen

2. In jedem gegebenen Inertialsystem ist die Lichtgeschwindigkeit die gleiche, ob das Licht von einem ruhenden oder bewegten Körper emittiert wird