Karlsruher Institut für Technologie

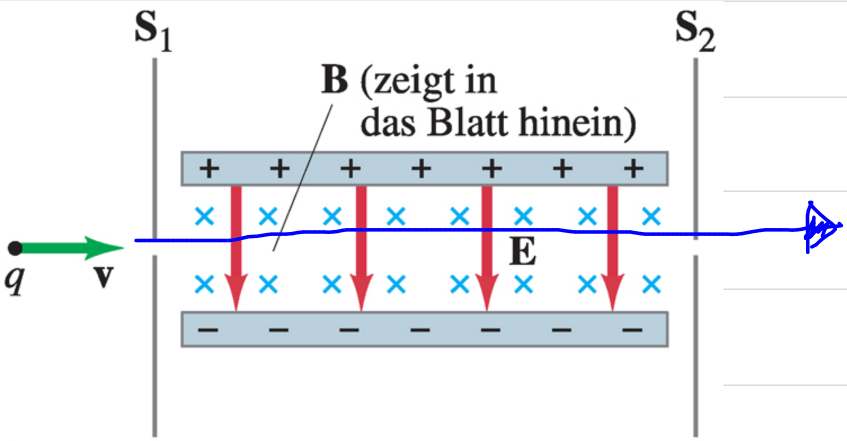
Klassische Physik 2 Elektrodynamik SS2013

Johannes Blümer

V12 11. Juni

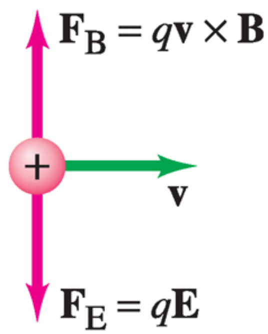
KIT-Centrum Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik KCETA

Geschwindigkeitsfilter



(a)

nur Teilchen mit der „richtigen" treten aus Blende S_2 aus



(b)

Lorentzkraft

elektr. Kraft

Kräfte addieren sich

Gleichgewicht: $F_B + F_E = 0$

$$\hookrightarrow \text{Gesamtkraft} = q\,(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) = 0$$

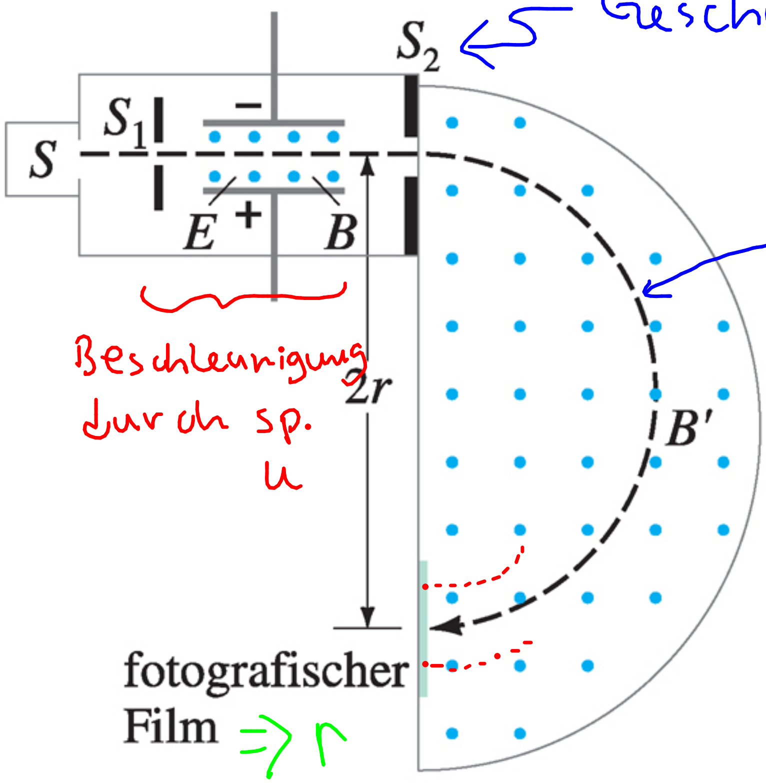
q fällt heraus

alle senkrecht aufeinander

Masse, Ladung spielen keine Rolle

$$E + v \cdot B = 0 \Rightarrow \boxed{v = -\frac{E}{B}}$$

Massenspektrometer



Beschleunigung durch sp. U

$\Rightarrow r$

Geschwindigkeitsfilter

Kreisbahnen im homogen Magnetfeld

$$q \cancel{v} B = \frac{m v^{\cancel{2}}}{r} \Rightarrow v = \frac{q}{m} B \cdot r$$

$$\frac{m}{q} = \frac{B \cdot r}{v}$$

aus der Beschl. Strecke

$$qU = \frac{1}{2} m v^2$$

$$\frac{m}{q} = \frac{2U}{v^2} = \frac{2U \cdot m^2}{q^2 B^2 r^2}$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{m}{q} = \frac{B^2 \cdot r^2}{2U}}$$

Film: Messung von r

$\Delta m \rightarrow \Delta r$

Beispiel: Trennung von Nikel-Isotopen:

$^{58}Ni^+$ und $^{60}Ni^+$, jeweils $q = +e$

$U = 3\,kV$, $B = 0{,}12\,T$

$$r = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2mU}{q}} = \ldots = 500\ mm \quad , \quad \text{Abmessungen} \propto \frac{1}{B}$$

Auflösung: betr. r_{60} / r_{58}

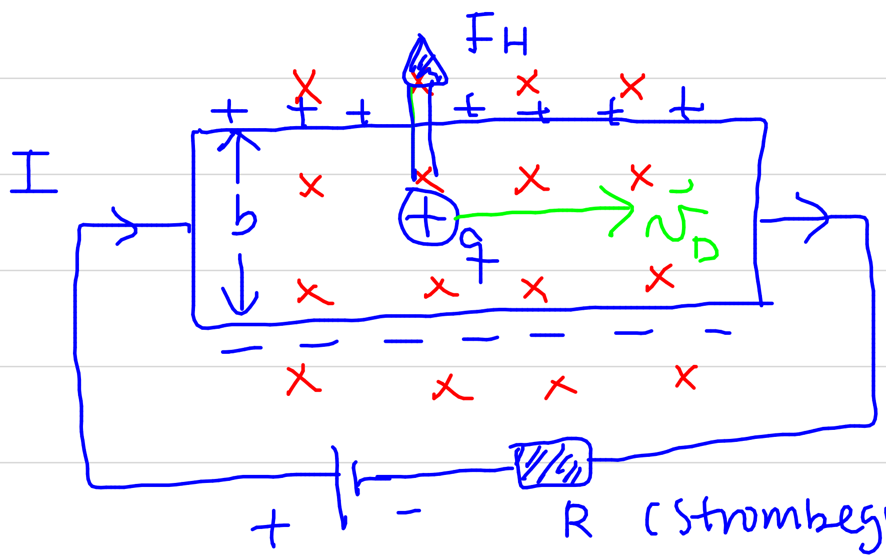
$$= \sqrt{\frac{m_{60}}{m_{58}}} \simeq \sqrt{\frac{60}{58}} \simeq 1{,}017$$

d.h. Ni-Isotope treffen um

$2\Delta r \sim 16\ mm$ ein.

Hall-Effekt

= Trennung von Ladungsträgern in Stromdurchflossenen Material durch B-Feld und Aufbau einer Querspannung



F_H : Hall-Kraft
[≡ Lorentzkraft]

$$F_H = q \cdot v_D \cdot B$$

⊕ „ nach oben" ⇒ Lad. trennung & el. Feld E

Gleichgewicht : $F_H = q \cdot E$

$$\cancel{q}\, v_D \cdot B = \cancel{q} \cdot E$$

$E \rightarrow$ Potentialdifferenz $E \cdot b$ über Streifenbreite b

$U_H = E \cdot b$ „Hall-Spannung"

$$\boxed{U_H = E \cdot b = v_D \cdot B \cdot b}$$

Größenordnung von U_H:

v_D typ. $10^{-5}\ ms^{-1}$ in Metallen

$B = 1T$, $b = 1\,cm$ $\Rightarrow$ $U_H \simeq 0{,}1\,\mu V$

Hall-Spannung $\Rightarrow$ σ, n!

$I = n \cdot q \cdot v_D \cdot A$, A = Streifenquerschnitt

$A = b \cdot d$, d = Streifendichte

$q = e$

$\hookrightarrow$ $n = \dfrac{I}{A \cdot q \cdot v_D} = \dfrac{I}{b \cdot d \cdot e \cdot v_D}$

$$\Rightarrow \boxed{n = \frac{I \cdot B}{e \cdot d \cdot U_H}}$$

vgl. oben
$$b \cdot v_D = \frac{U_H}{B}$$

$$\Leftrightarrow \quad U_H = \frac{IB}{n \cdot e \cdot d} = A_H \cdot \frac{IB}{d}$$

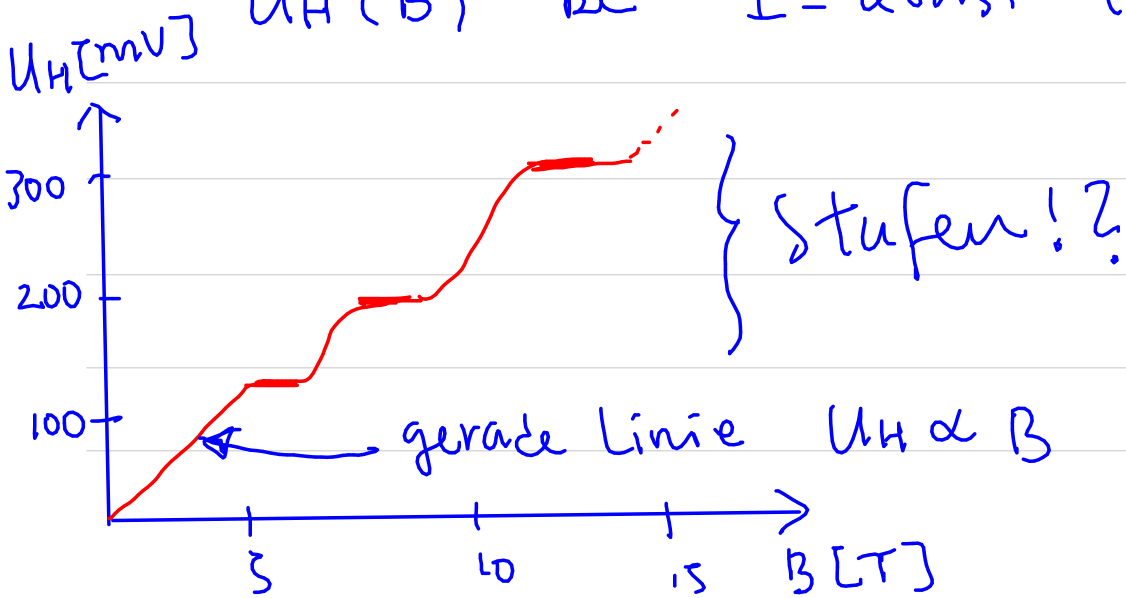
„Hall-Konstante" $A_H = \frac{1}{n \cdot e}$

vgl. Leitfähigkeit von Leitern, $\sigma = n \cdot e \cdot \mu$

(μ früher b) $\Rightarrow A_H = \mu / \sigma$

Quanten-Hall-Effekt (v. Klitzing 1980)

$U_H(B)$ bei $I = \text{konst}$ (25 μA), $T = 1.39\,K$



Hall-Widerstand:

$$R_H = \frac{U_H}{I} = \frac{R_K}{N}, \quad N = 1, 2, 3 \ldots$$

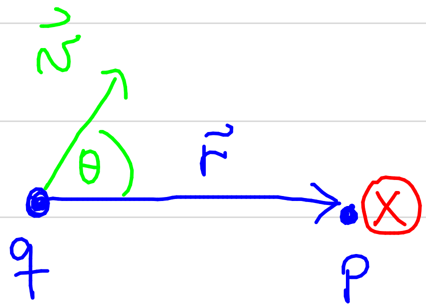
$$R_K = \frac{h}{e^2} = 25813\,\Omega$$

v. Klitzing-Konstante R_K auf 10^{-9} messbar

Das Magnetfeld bewegter Punktladungen

⇒ Def. von $1\,\Omega$ so, daß $R_K \equiv 25812{,}807\,\Omega$

später: Strom aus bewegten Punktladungen aufbauen, dB integrieren.



$\vec B$ in Zeichnenebene

↳ P mit Ortsvektor $\vec r$ von der bewegten Ladung her

$$\boxed{\vec B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{q \cdot \vec v \times \hat r}{r^2}}$$

$$\hat r = \frac{\vec r}{r},$$

in Analogie zum elektr. Feld einer Punktladung

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\,\frac{\mathrm{Tm}}{\mathrm{A}} = 4\pi \cdot 10^{-7}\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{A}^2}$$

„Konvention über 4π“

Das Magnetfeld von Strömen: Das Biot-Savart'sche Gesetz

Erinn. $d\vec{F} = I\cdot d\vec{s} \times \vec{B}$ Kraftwirkung auf Stromelemente im B-Feld

Jetzt: Punktladung $\rightarrow$ Stromelement

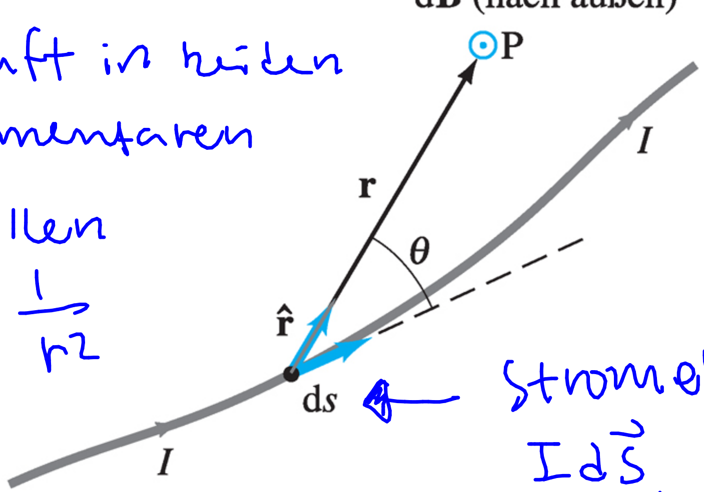
$$\underbrace{q\cdot\vec{v}}_{\vec{B}(\vec{r})} \quad \hat{=} \quad I\cdot d\vec{s}$$

$\longrightarrow dB$ alle $I\cdot d\vec{s}$ tragen zu $\vec{B}$ bei

(*) $$\boxed{d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\cdot\frac{I\cdot d\vec{s}\times\hat{r}}{r^2}}$$ Biot-Savart-Gesetz

$\Rightarrow$ Feld realer Ströme durch Integration!

(*) Kraft in beiden elementaren Fällen $\sim \frac{1}{r^2}$



$\leftarrow$ Stromelement $\underbrace{I\,d\vec{s}}_{\text{lokale Richtung von } I}$

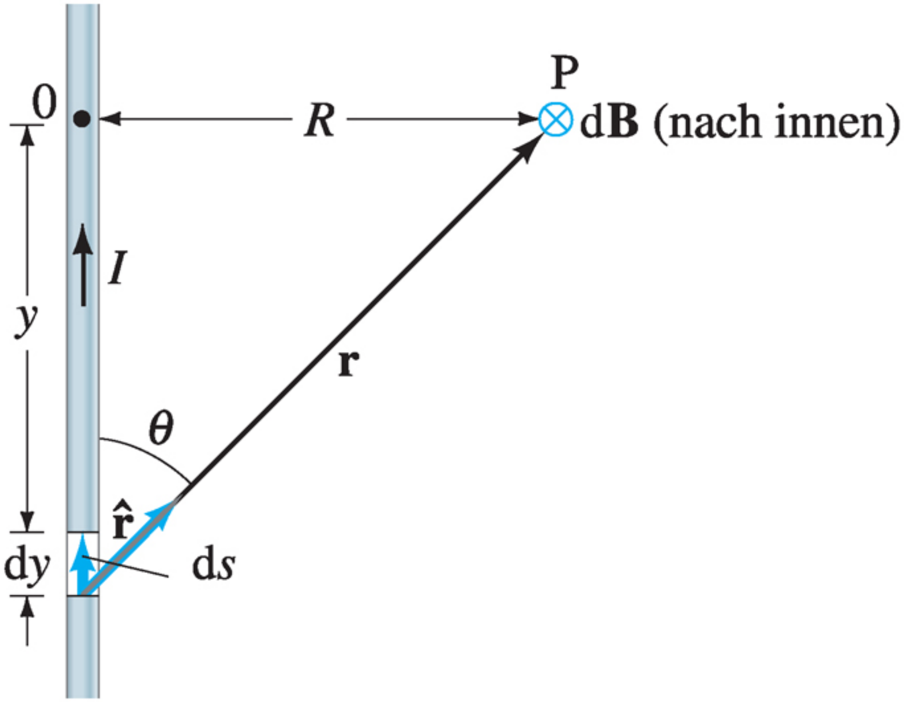
$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\cdot\frac{ds\cdot\sin\theta}{r^2}$$

$\downarrow$ dann

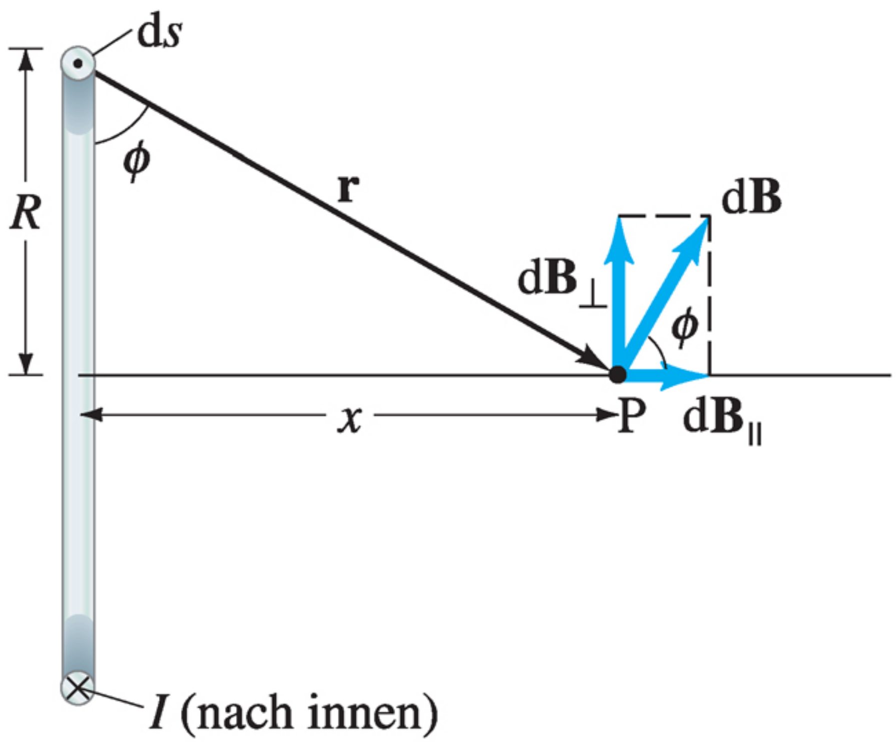
$$\vec{B} = \int d\vec{B}$$

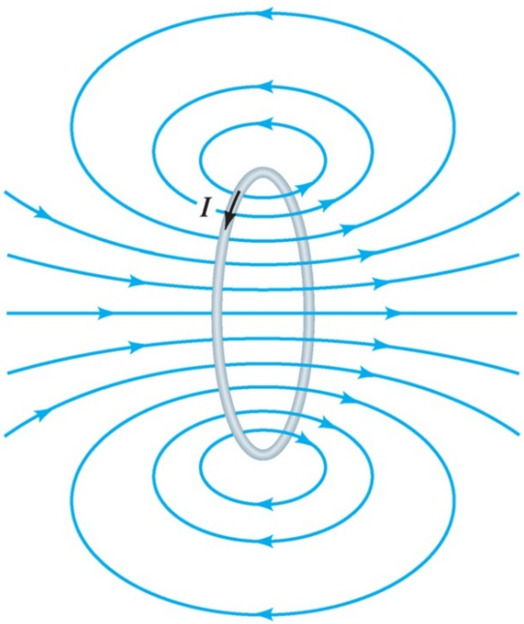
Biot-Savart-Gesetz $\hat{=}$ Coulomb

Magnetfeld eines geraden Leiters



Magnetfeld einer Leiterschleife




I