Experimental Physik II Kapitel 16

author
email

May 21, 2016

Contents

16 Statische magnetische Felder

Experimente:

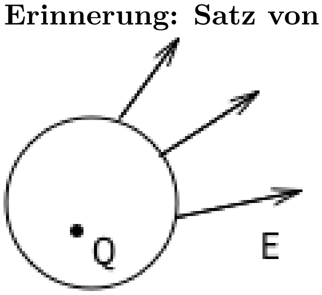
- gleichnamige Pole stoßen sich ab
- ungleichnamige Pole ziehen sich an

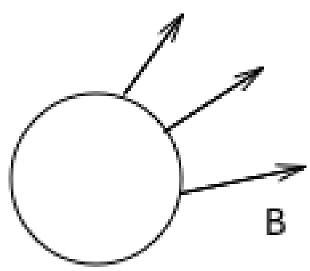
- Kraftwirkung $\propto \frac{1}{r^2}$ (1750; Coulomb)
- ähnliche Abstandsabhängigkeit für elektrische und für magnetische Kräfte
- zunächst kein Zusammenhang zwischen beiden Kräften erkennbar
- Experiment: Magnetische Pole treten nur paarweise auf.
  ($\Longrightarrow$ keine "magnetische Ladung")

Feldlinien sichtbarmachen durch Eisenfeilspitzen:

$\boxed{MagnetischeFeldliniensindstetsgeschlossen; esgibtkeineisolierbarenQuellenoderSenkendesmagnetische}$

Erinnerung: Satz von Gauß:





$\vec{E}$: elektrische Feldstärke:
Gesamtfluss: $\phi_{el} = \oint_A \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q}{\epsilon_0}$

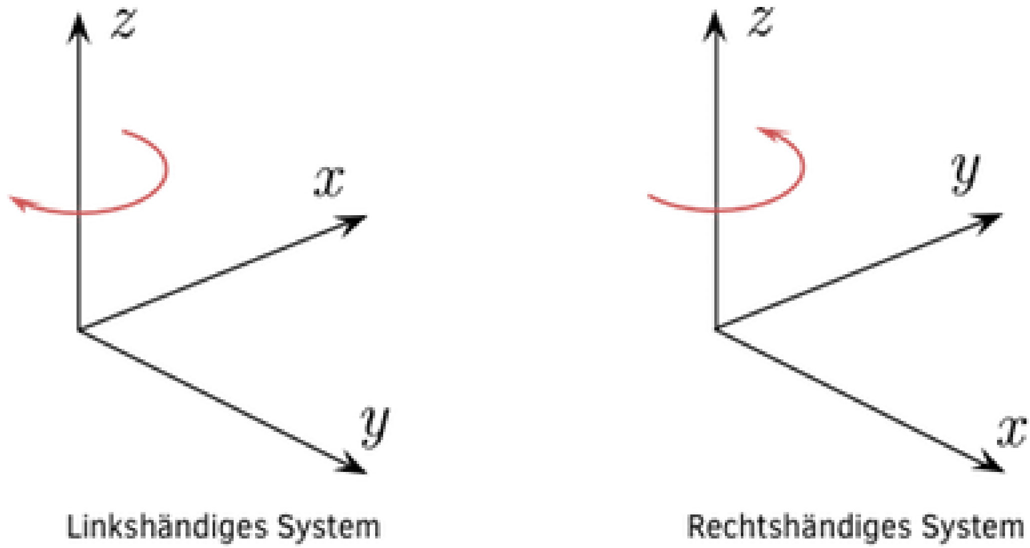
Magnetische Felder:

Gesamtfluss: $\boxed{\phi_{mag} = \oint_A \underbrace{\vec{B} \cdot d\vec{A}}_{\text{magnetischer Fluss}} = 0 \vec{B} : \text{magnetische Flussdichte}}$

16.1 Kräfte auf bewegte Ladungen

16.1.1 Lorentzkraft $\vec{F}_L$

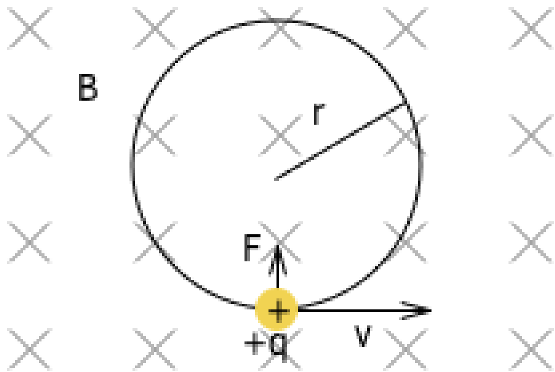
$\vec{F}_L = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$
$(\vec{F}_L \perp \vec{v}; \vec{F} \perp \vec{B})$



UVW-Regel: Ursache → Vermittler → Wirkung
Vorsicht!: Elektrische Ladung ist negativ!

$[|\vec{B}|] = \frac{N}{As \cdot \frac{m}{s}} = \frac{Vs}{m^2} = 1T(Tesla)$
Kreisbahn: $\vec{F}_L \perp \vec{v}$
$\Longrightarrow$ $\vec{F}_L$ beeinfluss die Richtung von $\vec{v}$, aber nicht den Betrag!
$\Longrightarrow$ $\vec{F}_L$ leistet keine Arbeit

Konventionen:



$\otimes\vec{B}$ zeigt in die Papierebene hinein

$\odot\vec{B}$ zeigt aus der Papierebene heraus

16.1.2 Bewegungsgleichung:

$m\ddot{\vec{r}} = \dot{\vec{r}} = \vec{F}_L = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$

$\frac{d\vec{v}}{dt} = \dot{\vec{v}} = \frac{\dot{\vec{p}}}{m} = \frac{q}{m} \cdot \vec{v} \times \vec{B}$

$d\vec{v} \perp \vec{v}; d\vec{v} \perp \vec{B}$

$\implies$ Kreisbahn: $\vec{F}_L$ ist Zentripetalkraft

$\implies q \cdot v \cdot B = m \cdot \frac{v^2}{r}; v = \omega \cdot r$

$$\boxed{\omega = \frac{q}{m} \cdot B}$$

$$\boxed{\nu = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{q}{m} \cdot B}$$

ω Zyklotronfrequenz (1930, Lawrence)

$\implies$ unabhängig von Impuls und Energie; nur von $\frac{q}{m}$ und $\vec{B}$ bestimmt!

Radius:

$r = \frac{m \cdot v}{q \cdot B} = \frac{p}{q \cdot B} = \frac{\sqrt{2mqV}}{q \cdot B}$

$E_{kin} = \frac{p^2}{2m} = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = q \cdot V$

Experiment:

$r_1 : V_1 = 200V \implies 2SKT$

$r_: V_1 = 300V \implies 2,5SKT$

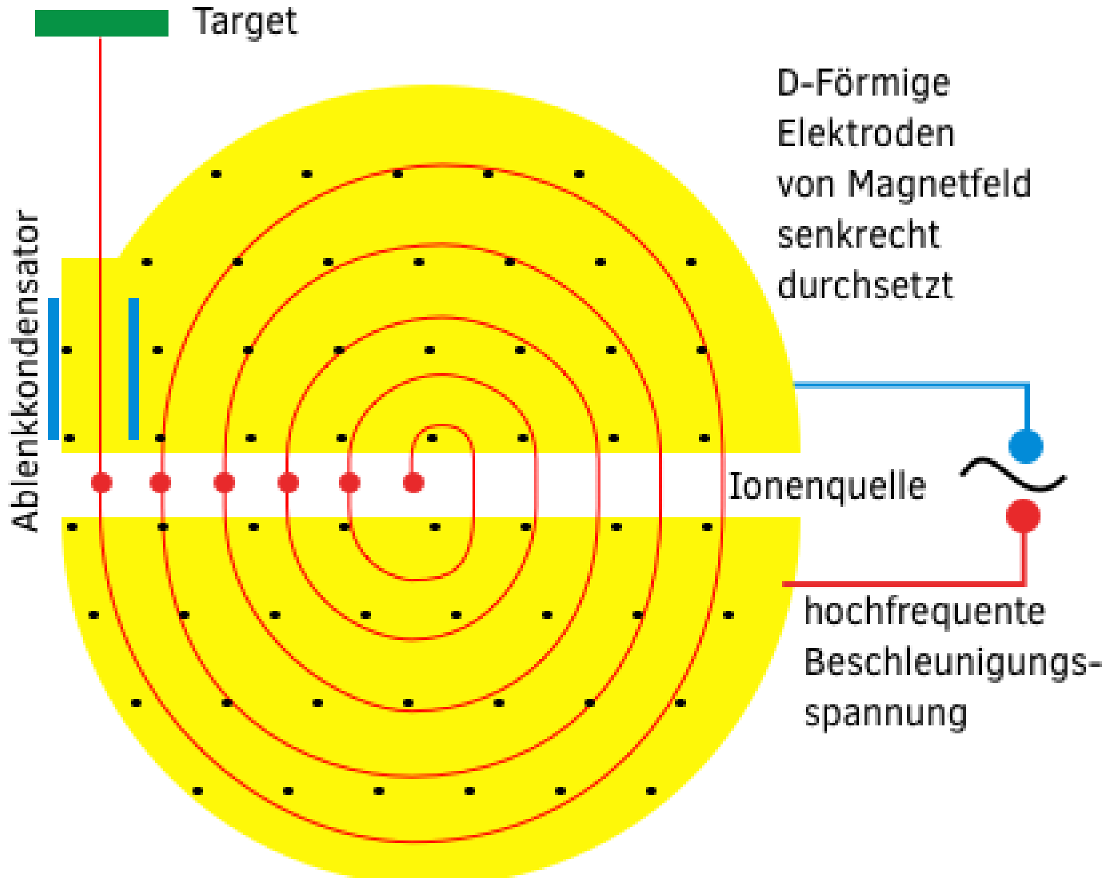
$\frac{r_1}{r_2} \stackrel{!}{=} \sqrt{\frac{V_1}{V_2}}$

$\frac{4}{5} \stackrel{!}{=} \sqrt{\frac{2}{3}}$

$\frac{16}{25} \stackrel{!}{=} \frac{2}{3}$ ✓im Rahmen der Messungenaugikeit!

16.1.3 Zyklonen:

Ziel: H- oder D-Kerne auf hohe Geschwindigkeit zubeschleunigen.



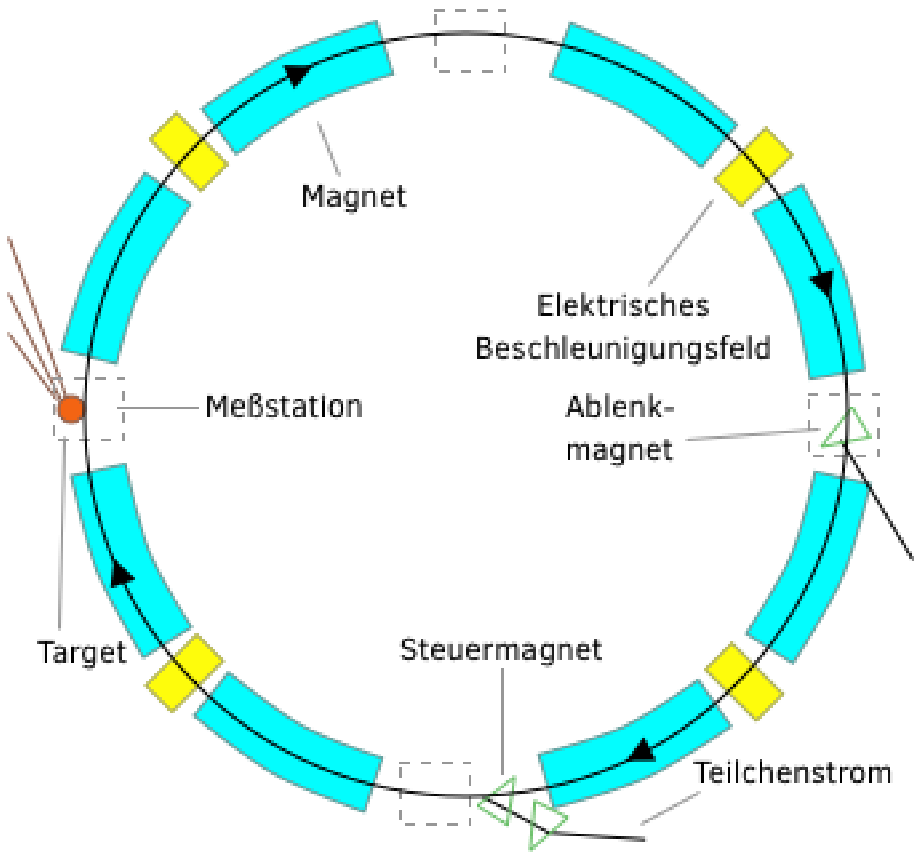
Beispiele:
(i) Protonenbeschleunigung: $r = 0,5m; B = 1,5T$
Zyklonenfrequenz: $\nu \frac{e \cdot B}{2\pi m_0} = 23MHz$

$$E_{kin} = \frac{1}{2}\frac{q^2B^2}{m_0} \cdot \nu^2 = 4,3 \cdot 10^{-1}J$$

Angabe in Elektronenvolt

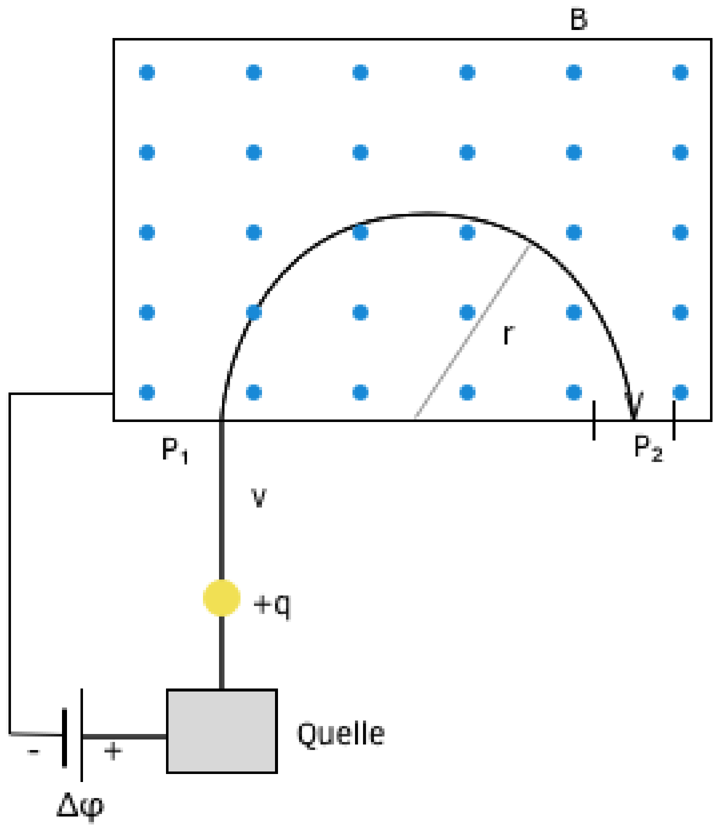
$$[eV] : 1eV = 1,602 \cdot 10^{-19} As \cdot 1V \tag{1}$$
$$= 1,602 \cdot 10^{-19} J \tag{2}$$

$\implies \underline{26,9 MeV}$



(ii) Massenspektrometer: Trennung von Isotopenmasser und Messung natürlicher Isotopenverhältnis:

Beschleunigung (auf höhere E_{kin}) ist nur im elektrischen Feld möglich! ($\implies$ Design von Beschleunigung!)



(Ashton 1919; $\frac{\Delta m}{m} = 10^{-4}$)

Beispiel: Mg-Isotop:
$^{24}Mg : 78,7\ \%$
$^{25}Mg : 10,1\ \%$
$^{26}Mg : 11,2\ \%$
Massenverhältnis: 24:25:26

$\frac{q}{m}$ von Ionen bei bekannter Ladung: U

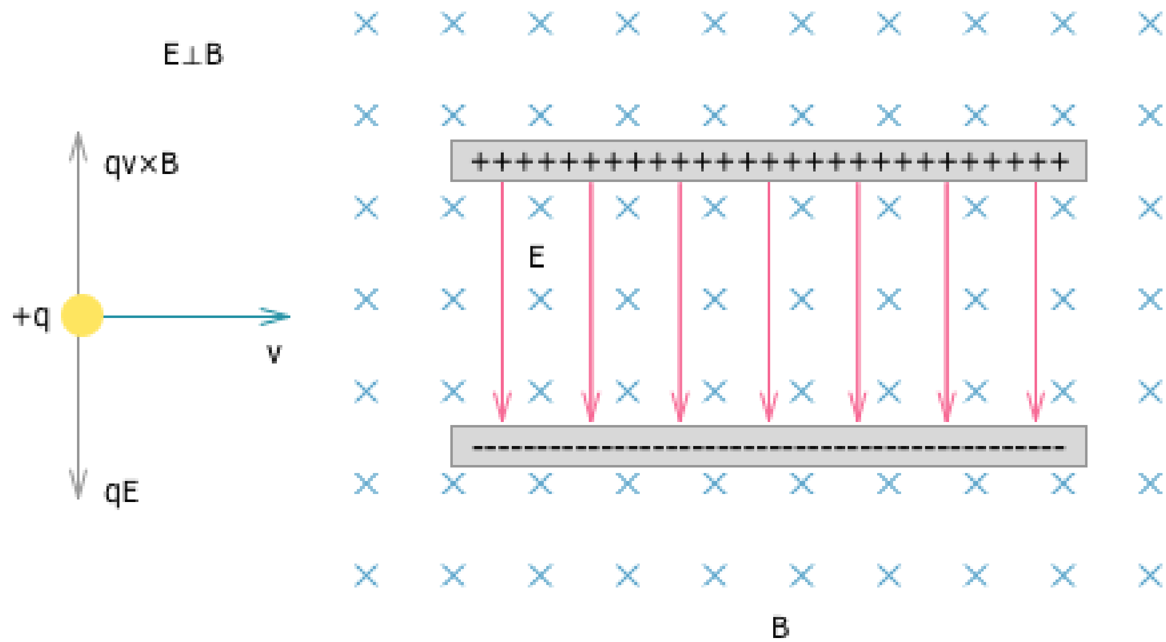
- Beschleunigung:$q \cdot \Delta\varphi \implies E_{kin} = q \cdot U = \frac{1}{2}mv^2$

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

$\implies q \cdot U = \frac{1}{2} v^2 \cdot B^2 \cdot q^2 \cdot \frac{1}{m}$

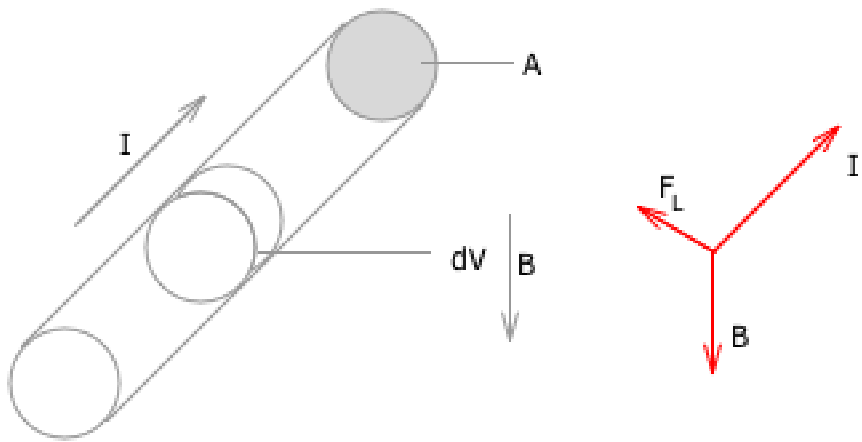
$\boxed{\frac{m}{q} = \frac{B^2 \cdot v^2}{2U}}$

(iii) Geschwindigkeits...: Gekreuzte elektrische und magnetische Felder (Wien-Filter)



Kompensation der Felder ("Kräftegleichgewicht") für:
$q \cdot E = q \cdot v \cdot B$
$\underline{v = \frac{E}{B}}$
Ionen mit $v = \frac{E}{B}$ passieren die Anordnung ohne Ablenkung! ($\rightarrow$ Lochblende)
Anwendungsbeispiel: SIMS

16.1.4 Kräfte auf stromdurchflossene Leiter



Kraft auf eine Ladung:
$\vec{F}_L = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$

Kraft auf N Ladungen in dV:

$$d\vec{F} = \underbrace{dV \cdot n}_{N} \cdot \vec{v} \times \vec{B} \tag{3}$$

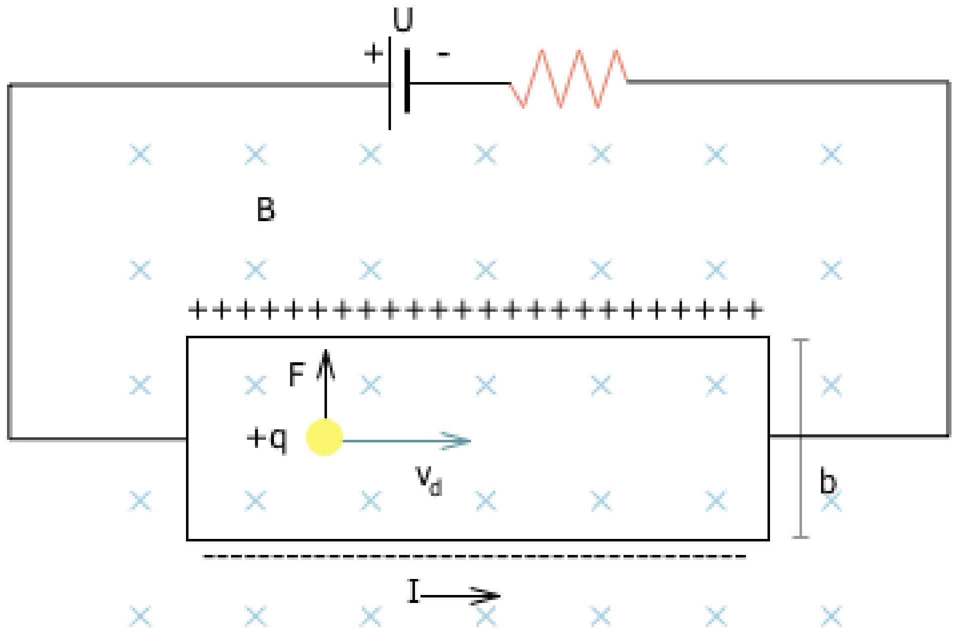
$$dV \cdot \vec{j} \times \vec{B} \tag{4}$$

$$\vec{F}_L = \int_V (\vec{j} \times \vec{B}) dV \tag{5}$$

Geradliniger Leiter: Länge L

$\vec{F}_L = \int_0^L (\vec{j} \times \vec{B} \underbrace{A \cdot dl}_{=dV} = \int_0^L (\vec{I} \times \vec{B}) dl = \underline{(L \cdot (\vec{I} \times \vec{B})}$

Leitersch...
Problem: Ladungsträgertyp nicht identifizierbar!
$\Longrightarrow$ Edmin Hall (1879): Hall-Effekt - Typ und Konzentration der Ladungsträger messbar!



Annahme: positive Ladungsträger; Bewegung mit $\underline{|\vec{v}| = \vec{v}_D}$

Gleichgewicht bei: $q \cdot \vec{v}_0 \times \vec{B} + q \cdot \vec{E}_H = 0$
$\vec{E}_H = -\vec{v}_0 \times \vec{B}$

Zugehörige Potentialdifferenz: U_H(Hall-Spannung): $\implies$ Polarität erlaubt Bestimmung des Ladungsträger-Types
$\implies$ Dadurch konnte gezeigt werden, dass Ladungstransport in Metallen durch Elektronen erfolgt!

$|\vec{E}_H| = \frac{U_H}{b} = D \cdot B = \frac{n \cdot q \cdot v_D}{n \cdot q} \cdot B = \frac{j \cdot B}{n \cdot B}$

Streifen der Dicke d: $j = \frac{I}{b \cdot d}$

$U_H = \frac{I \cdot B}{n \cdot q \cdot d} = K_H \cdot \frac{I \cdot B}{d}$

K_H:Hallkonstante (Materialspezifisch):

$$\boxed{K_H = \frac{1}{n \cdot q} = \frac{\mu}{\nu}}$$

$\implies$ Bei Kenntnis von ν ist μ zu bestimmen!

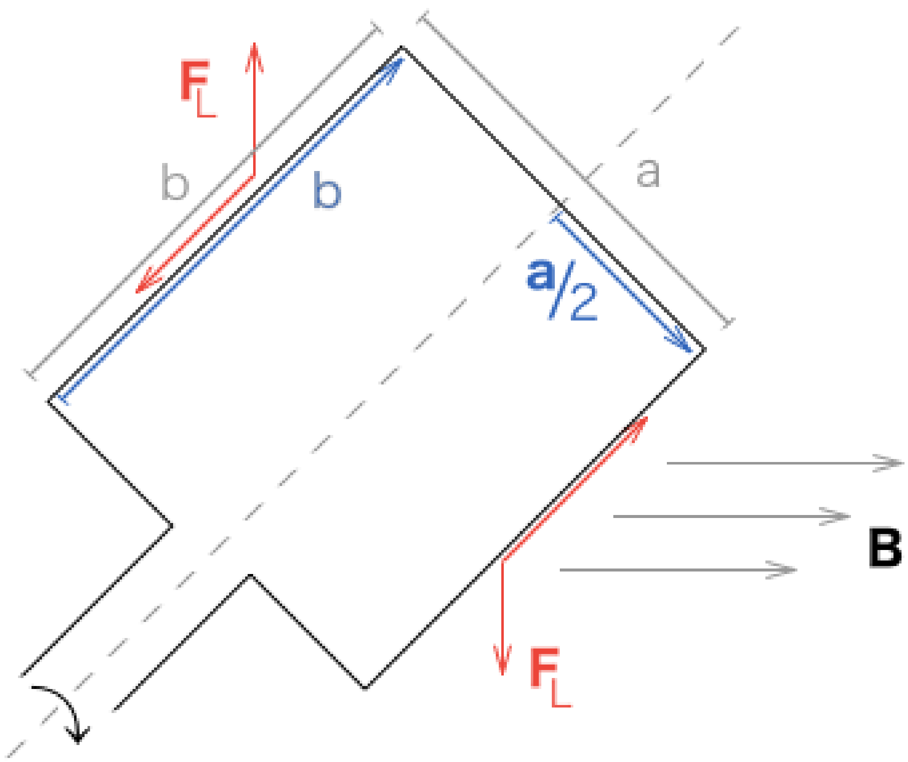
Cu-Streifen:

$I = 4A; B = 0,28T; d = 2,0\mu m; U_H = 50\mu V$

$n_e = \frac{I \cdot B}{U_H \cdot q \cdot d} = \frac{4 \cdot 0{,}28A\frac{Vs}{m^2}}{50 \cdot 10^{-4}V \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}As \cdot 2 \cdot 10^{-6}m}$
$= \frac{1}{1{,}6}10^{29}m^{-3}$
$= \underline{...}$

Dichte der Cu-Atome: $n_{Cu} = 8,4 \cdot 10^{22}cm^{-3}$
... im Mittel $1\frac{e^-}{\text{Atom}}$!
Weitere Anwendungen: Hall-Sonde zur MEssung von B!
$\Longrightarrow$ Quanten-Hall-Effekt!

16.1.5 Stromdurchflossene Leiterschleife



Kräfte auf Teilstücke:

- Entlang der Seite "a": $\vec{I} \parallel \vec{B} \rightarrow \vec{I} \times \vec{B} = 0$

- Entlang der Seite "b": $\Longrightarrow$ Kräftepaar $\Longrightarrow$ Drehmoment!

$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} = \frac{\vec{a}}{2} \times \vec{F} + (\frac{-\vec{a}}{2}) \times (-\vec{F}) = \vec{a} \times \vec{F}$

$|\vec{F}| = |\vec{b}| \cdot (\vec{I} \times \vec{B})$; $\quad |\vec{M}|_{max} = a \cdot b \cdot I \cdot B$

Allgemein: $\vec{M} = I \cdot (\vec{A} \times \vec{B})$; $\quad \vec{A} = (\vec{a} \times \vec{b})$

Definition: Magnetisches Moment einer Leiterschleife:

$\boxed{\vec{\mu}_{mag} = I \cdot \vec{A}}$

$\Longrightarrow \boxed{\vec{M} = \vec{\mu}_{mag} \times \vec{B}}$

$\Longrightarrow$ Messung von I im Dreh...mometer!