7. Magnetostatik

TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

7. Magnetostatik

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- elektrische Ströme: bewegte Ladungen $\rightarrow$ magnetische Kräfte

7. Magnetostatik

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- elektrische Ströme: bewegte Ladungen $\rightarrow$ magnetische Kräfte
- Magnetostatik: zeitunabhängige Ströme $\Rightarrow$ zeitunabhängige Magnetfelder

7.1 Grundlagen

7.1.1 Elektrische Ströme

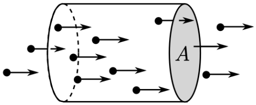
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- metallischer Leiter: ortsfeste positive Ionenrümpfe + bewegliche Elektronen
- äußeres E-Feld + Stöße ($\hat{=}$ Reibung) $\rightarrow \langle \vec{v} \rangle \sim \vec{E}$
- Stromstärke: $I = \frac{dQ}{dt}$, Einheit: $[I] = 1\ A = 1\ \frac{C}{s}$.

7.1.1 Elektrische Ströme

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- metallischer Leiter: ortsfeste positive Ionenrümpfe + bewegliche Elektronen
- äußeres E-Feld + Stöße ($\hat{=}$ Reibung) $\rightarrow \langle\vec{v}\rangle \sim \vec{E}$
- Stromstärke: $I = \frac{dQ}{dt}$, Einheit: $[I] = 1\ A = 1\ \frac{C}{s}$.



Ladungsträger mit

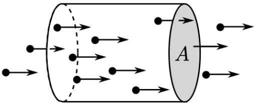
- Ladung q
- Teilchendichte $\frac{N}{V} = n$
- mittl. Geschwindigkeit $\langle\vec{v}\rangle$

Leiter mit Querschnittsfäche $A \perp \langle\vec{v}\rangle$

7.1.1 Elektrische Ströme

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- metallischer Leiter: ortsfeste positive Ionenrümpfe + bewegliche Elektronen
- äußeres E-Feld + Stöße ($\hat{=}$ Reibung) $\rightarrow \langle\vec{v}\rangle \sim \vec{E}$
- Stromstärke: $I = \frac{dQ}{dt}$, Einheit: $[I] = 1\ A = 1\ \frac{C}{s}$.



Ladungsträger mit

- Ladung q
- Teilchendichte $\frac{N}{V} = n$
- mittl. Geschwindigkeit $\langle\vec{v}\rangle$

Leiter mit Querschnittsfäche $A \perp \langle\vec{v}\rangle$

- Teilchen, die in Δt durch A laufen: $\Delta N = nA|\langle\vec{v}\rangle|\Delta t$

$$\Rightarrow \quad I = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = qnA|\langle\vec{v}\rangle| \equiv \rho_{\text{frei}} A|\langle\vec{v}\rangle|, \quad \rho_{\text{frei}} = qn$$

- Stromdichte: $\vec{j} = \frac{dQ}{dA\,dt}\,\vec{n}, \quad \vec{n} = \frac{\langle\vec{v}\rangle}{|\langle\vec{v}\rangle|}, \quad dA \perp \vec{n}$ $\rightarrow$ Stromstärke: $I = \int_A d\vec{\sigma}\cdot\vec{j}$

- Stromdichte: $\vec{j} = \frac{dQ}{dA\,dt}\,\vec{n}, \quad \vec{n} = \frac{\langle\vec{v}\rangle}{|\langle\vec{v}\rangle|}\,, \quad dA \perp \vec{n}$ ➞ Stromstärke: $I = \int\limits_A d\vec{\sigma}\cdot\vec{j}$
- Falls $\vec{j} = const.$ über $A \perp \vec{n}$: $I = \vec{j}\cdot\vec{n}A \;\Rightarrow\; \vec{j} = \frac{I}{A}\,\frac{\langle\vec{v}\rangle}{|\langle\vec{v}\rangle|} = qn\langle\vec{v}\rangle = \rho_{frei}\,\langle\vec{v}\rangle$

- Stromdichte: $\vec{j} = \frac{dQ}{dA\,dt}\,\vec{n}, \quad \vec{n} = \frac{\langle\vec{v}\rangle}{|\langle\vec{v}\rangle|}\,, \quad dA \perp \vec{n}$ ➞ Stromstärke: $I = \int_A d\vec{\sigma}\cdot\vec{j}$
- Falls $\vec{j} = const.$ über $A \perp \vec{n}$: $I = \vec{j}\cdot\vec{n}A \;\Rightarrow\; \vec{j} = \frac{I}{A}\,\frac{\langle\vec{v}\rangle}{|\langle\vec{v}\rangle|} = qn\langle\vec{v}\rangle = \rho_{frei}\,\langle\vec{v}\rangle$
- Allgemein: $\vec{j}(\vec{r},t) = \rho_{frei}(\vec{r},t)\,\langle\vec{v}\rangle(\vec{r},t)$

  $\langle\vec{v}\rangle(\vec{r},t)$: Mittelung über $V \ll$ interessierende makroskopische Längenskala

- Stromdichte: $\vec{j} = \frac{dQ}{dA\,dt}\,\vec{n}, \quad \vec{n} = \frac{\langle\vec{v}\rangle}{|\langle\vec{v}\rangle|}, \quad dA \perp \vec{n}$ ➞ Stromstärke: $I = \int_A d\vec{\sigma}\cdot\vec{j}$
- Falls $\vec{j} = const.$ über $A \perp \vec{n}$: $I = \vec{j}\cdot\vec{n}A \;\Rightarrow\; \vec{j} = \frac{I}{A}\,\frac{\langle\vec{v}\rangle}{|\langle\vec{v}\rangle|} = qn\langle\vec{v}\rangle = \rho_{frei}\,\langle\vec{v}\rangle$
- Allgemein: $\vec{j}(\vec{r},t) = \rho_{frei}(\vec{r},t)\,\langle\vec{v}\rangle(\vec{r},t)$

  $\langle\vec{v}\rangle(\vec{r},t)$: Mittelung über $V \ll$ interessierende makroskopische Längenskala
- Punktladung: $\vec{j}_{Punkt}(\vec{r},t) = \rho_{Punkt}(\vec{r},t)\,\vec{v}_{Punkt}(\vec{r},t) = q\,\delta(\vec{r}-\vec{r}_{Punkt}(t))\,\dot{\vec{r}}_{Punkt}(t)$

- Stromdichte: $\vec{j} = \frac{dQ}{dA\,dt}\,\vec{n}, \quad \vec{n} = \frac{\langle\vec{v}\rangle}{|\langle\vec{v}\rangle|}, \quad dA \perp \vec{n}$ ➞ Stromstärke: $I = \int_A d\vec{\sigma}\cdot\vec{j}$
- Falls $\vec{j} = const.$ über $A \perp \vec{n}$: $I = \vec{j}\cdot\vec{n}A \;\Rightarrow\; \vec{j} = \frac{I}{A}\frac{\langle\vec{v}\rangle}{|\langle\vec{v}\rangle|} = qn\langle\vec{v}\rangle = \rho_{frei}\,\langle\vec{v}\rangle$
- Allgemein: $\vec{j}(\vec{r},t) = \rho_{frei}(\vec{r},t)\,\langle\vec{v}\rangle(\vec{r},t)$

  $\langle\vec{v}\rangle(\vec{r},t)$: Mittelung über $V \ll$ interessierende makroskopische Längenskala
- Punktladung: $\vec{j}_{Punkt}(\vec{r},t) = \rho_{Punkt}(\vec{r},t)\,\vec{v}_{Punkt}(\vec{r},t) = q\,\delta(\vec{r}-\vec{r}_{Punkt}(t))\,\dot{\vec{r}}_{Punkt}(t)$
- Magnetostatik: $\vec{j} = \vec{j}(\vec{r},\cancel{t})$ zeitunabhängig

  $\Rightarrow$ ρ_{frei} kontinuierlich entlang der Bewegungsrichtung

- Stromdichte: $\vec{j} = \frac{dQ}{dA\,dt}\,\vec{n}, \quad \vec{n} = \frac{\langle\vec{v}\rangle}{|\langle\vec{v}\rangle|}, \quad dA \perp \vec{n}$ ➞ Stromstärke: $I = \int_A d\vec{\sigma}\cdot\vec{j}$
- Falls $\vec{j} = const.$ über $A \perp \vec{n}$: $I = \vec{j}\cdot\vec{n}A \;\Rightarrow\; \vec{j} = \frac{I}{A}\frac{\langle\vec{v}\rangle}{|\langle\vec{v}\rangle|} = qn\langle\vec{v}\rangle = \rho_{frei}\,\langle\vec{v}\rangle$
- Allgemein: $\vec{j}(\vec{r},t) = \rho_{frei}(\vec{r},t)\,\langle\vec{v}\rangle(\vec{r},t)$

  $\langle\vec{v}\rangle(\vec{r},t)$: Mittelung über $V \ll$ interessierende makroskopische Längenskala
- Punktladung: $\vec{j}_{Punkt}(\vec{r},t) = \rho_{Punkt}(\vec{r},t)\,\vec{v}_{Punkt}(\vec{r},t) = q\,\delta(\vec{r}-\vec{r}_{Punkt}(t))\,\dot{\vec{r}}_{Punkt}(t)$
- Magnetostatik: $\vec{j} = \vec{j}(\vec{r},\cancel{t})$ zeitunabhängig

  $\Rightarrow$ ρ_{frei} kontinuierlich entlang der Bewegungsrichtung
- „Stromfaden“ = Analogon zur Punktladung:

  Linie mit infinitesimalem Querschnitt, jedoch endlicher Stromstärke