

Experimentalphysik II (H.-C. Schulz-Coulon)

Robin Heinemann

24. April 2017

Inhaltsverzeichnis

11 Elektrostatik	1
11.1 Elektrische Ladung	1
11.2 Mikroskopische Deutung	2
11.3 Coulombsches Gesetz	2
11.4 elektrisches Feld	2
11.5 Elektrischer Fluss	3

11 Elektrostatik

11.1 Elektrische Ladung

- Neue Kraft
- anziehend oder abstoßend
- Konzept der elektrischen Ladung

Experimentelle Erkenntnisse:

- Erzeugung von Ladungen durch Reibung
- Ladungen gleicher Vorzeichen: Abstoßung
- Ladungen ungleicher Vorzeichen: Anziehung
- Ladung kann transportiert werden
- Elektrische Kräfte sind Fernkräfte
- Ladungen sind erhalten

Definition 11.1 Influenz Ladungstrennung durch die (Fern) Wirkung elektrischer Kräfte nennt man Influenz oder elektrostatische Induktion.

11.2 Mikroskopische Deutung

Elektron: negativ

Proton: positiv

Atome elektrisch neutral

- Z: Anzahl Protonen / Elektronen
- N: Anzahl Neutronen
- A: Anzahl Neutronen + Protonen

Leiter und Nichtleiter: Unterschiedliche Verfügbarkeit von Ladungsträgern

11.3 Coulombsches Gesetz

Experimentelles Resultat:

$$\vec{F}_C = K \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12}$$

Definition 11.2

$$\vec{F}_C = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12}$$

mit $\epsilon_0 = 8.854\,16 \times 10^{-12} \text{ C N}^{-1} \text{ m}^{-2}$

Vergleich: Coulomb vs. Gravitation

$$\vec{F}_G = -G \frac{m_1 m_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12}$$

$$\vec{F}_C = K \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12}$$

$$\frac{F_C}{F_G} = 227 \times 10^{39}$$

11.4 elektrisches Feld

Definition 11.3 (Elektrisches Feld)

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{\vec{F}_C(\vec{r})}{q} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \hat{r}$$

$$\vec{F}(\vec{r}) = q\vec{E}(\vec{r})$$

Das elektrische Feld hängt nur von der Ladung Q ab, aber nicht von der Testladung q . Es gilt damit:

$$\vec{F}(\vec{r}) = q\vec{E}(\vec{r})$$

Bedeutung des elektrischen Feldes:

Coulomb-Gesetz beschreibt Fernwirkung.

Aber: Wodurch wird diese Wirkung übertragen?

Geschieht die Übertragung instantan? (nein!)

Feldwirkungstheorie: Elektrische Kraftübertragung über Ausbreitung des elektrischen Feldes, das mit der Probeladung q . Elektrostatik: Fernwirkung- und Feldwirkungstheorie äquivalent.

Elektrodynamik: Feldbegriff essentiell.

Feld einer allgemeinen Ladungsverteilung:

Wichtig: Es gilt das Superpositionsprinzips. Es gilt

$$dQ = \rho(\vec{r})dV$$

$$\vec{E}(\vec{R}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{\vec{R} - \vec{r}}{|\vec{R} - \vec{r}|^3} \rho(\vec{r})dV$$

Für diskrete Ladungen:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_i \frac{q_i}{r_i^2} \hat{r}_i$$

Die Anwesenheit von Ladungen verändern den Raum. Es entsteht ein Vektorfeld, dessen Stärke und Richtung in jedem Raumpunkt die normierte Kraft $\frac{\vec{E}}{q}$ auf eine Probeladung angibt.

Eigenschaften der Feldlinien

1. Das \vec{E} -Feld zeigt tangential zu den Feldlinien
2. Feldlinien zeigen weg von positiven Ladungen
3. Feldliniendichte entspricht Stärke des Feldes.

11.5 Elektrischer Fluss

Definition 11.4 (Elektrischer Fluss ϕ_E) Maß für die Anzahl der Feldlinien, die Fläche A durchstoßen.

Für geschlossene Oberflächen:

$$Q_{innen} = 0 \Rightarrow \phi_E = 0$$

$$Q_{innen} > 0 \Rightarrow \phi_E > 0$$

$$Q_{innen} < 0 \Rightarrow \phi_E < 0$$

Mathematisch:

- Homogenes Feld, \perp zur Oberfläche $\Rightarrow \phi_E = EA$
- Homogenes elektrisches Feld $EA' = EA \cos \theta = \vec{E} \cdot \vec{A} = \vec{E} \cdot \vec{n} A$

Verallgemeinerung:

$$\begin{aligned}\Delta\phi_i &= \vec{E}_i \vec{n}_i \Delta A_i \\ \phi_E &= \lim_{\Delta A_i \rightarrow 0} \sum \vec{E}_i \vec{n}_i \Delta A \\ \phi_A &= \int \vec{E} d\vec{A}\end{aligned}\quad (\text{Definition von Elektrischem Fluss})$$

Ladung einer Kugel:

$$\begin{aligned}\phi_A &= \int \vec{E} d\vec{A} \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{R^2} \int d\vec{A} \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{R^2} 4\pi R^2 \\ &= \frac{Q}{\epsilon_0}\end{aligned}$$

Definition 11.5 (Gauß'sches Gesetz)

$$\oint \vec{E} d\vec{A} = \frac{Q_{\text{innen}}}{\epsilon_0}$$

Das Gauß'sche Gesetz ist allgemeingültig, da:

$$\oint_{A_2} \vec{E} d\vec{A} - \oint_{A_1} \vec{E} d\vec{A} = 0 \quad \oint_{A_2} \vec{E} d\vec{A} = \oint_{A_1} \vec{E} d\vec{A} = \frac{Q_{\text{innen}}}{\epsilon_0}$$

Zusammen mit Superpositionsprinzip und homogener Fläche erhält man die Allgemeingültigkeit des Gauß'schen Gesetz.

Herleitung des Coulombschen Gesetz mit Gauß'schen Gesetz:

$$\begin{aligned}\oint \vec{E} d\vec{A} &= \frac{Q}{\epsilon_0} \\ E \oint d\vec{A} &= \frac{Q}{\epsilon_0} \\ E 4\pi R^2 &= \frac{Q}{\epsilon_0} \\ E(R) &= \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{R^2}\end{aligned}$$