

# Die Coulombwechselwirkung

## Eigenschaften von Ladungen

- Es gibt zwei Arten von Ladungen (positiv und negativ). Die Ladung ist die Quelle der Coulombwechselwirkung.
- Die Summe aller Ladungen bleibt in einem abgeschlossenen System immer erhalten. Sie hängt nicht vom Bewegungszustand des Beobachters ab.
- Der Betrag der Ladung  $Q$  ist gequantelt:

$$Q = ne$$

$n$  – ganzzahlig ;  $e$  – Elementarladung

$$e = (1,6021773 \pm 0,00000005) \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$1 \text{ C} = 1 \text{ Coulomb} = 1 \text{ As}$$

- Gleichnamige Ladungen stoßen einander ab, ungleichnamige ziehen sich an.
- Die Kraft zwischen zwei Punktladungen hat die Richtung ihrer Verbindungslinie.
- Die Kraft zwischen zwei Punktladungen  $Q$  und  $Q'$  ist dem Produkt der Ladungen  $QQ'$  proportional (positiv für gleichnamige Ladungen).
- Die Kraft zwischen zwei Ladungen vom Abstand  $r$  ist proportional zu  $r^{-2}$ .

## Das Coulombgesetz

$$\vec{F} = \frac{QQ'}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

$$\epsilon_0 = 8,8542 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}} \quad (\text{Influenzkonstante})$$

## Elektrische Felder

- Durch Ladungen verursachte Kräfte, die auch dann auftreten, wenn ein geladener Körper ruht, heißen elektrische Kräfte oder Coulombkräfte.
- Kräfte, die nur auftreten, wenn sich ein geladener Körper bewegt, heißen magnetische Kräfte oder Lorentzkräfte.
- Innerhalb von Gebieten, in denen Coulombkräfte wirken, herrscht ein elektrisches Feld. Das elektrische Feld in einem Raumpunkt kann man messen, indem man die Kraftwirkung  $\vec{F}$  auf eine Probeladung  $q$  misst:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

$$[E] = \frac{N}{As} = \frac{Nm \cdot V}{Ws \cdot m} = \frac{V}{m}$$

(  $1Nm = 1 J = 1VAs = 1Ws$  ;  $1V = 1Nm/C = 1 J/As$ )

- Umgekehrt sind Ladungen auch die Quelle eines elektrischen Feldes. Die Ermittlung des elektrischen Feldes aus einer vorgegebenen Ladungsverteilung ist die Grundaufgabe der Elektrostatik. Das elektrische Feld einer Punktladung ergibt sich zu

$$\vec{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

- Kräfte und Felder, die von Ladungen ausgehen, sind additiv (Superpositionsprinzip).

## Arbeit – Spannung – Potential

Wird eine Ladung  $Q$  in einem elektrischen Feld verschoben, so wird in dem auf das elektrische Feld verursachten Kraftfeld folgende Arbeit verrichtet:

$$W = \int_{s_1}^{s_2} \vec{F} d\vec{s} = Q \int_{s_1}^{s_2} \vec{E} d\vec{s} = QU$$

Die Größe  $U$  heißt **Potentialdifferenz** oder elektrische **Spannung**:

$$U = \int_{s_1}^{s_2} \vec{E} d\vec{s} = V(s_2) - V(s_1)$$

Eine Arbeit von 1J wird verrichtet, wenn eine Ladung von 1As ein Spannungsfeld von 1V durchläuft. Eine Arbeit von 1eV (1 Elektronenvolt) wird verrichtet, wenn eine Elementarladung eine Potentialdifferenz von 1 V durchläuft.

Das unbestimmte Wegintegral über das elektrische Feld bezeichnet man als Potential  $V$ :

$$V = \int \vec{E} d\vec{s}$$

Kennt man das Potential  $V$ , so können mit seiner Hilfe Spannungen bzw. Potentialdifferenzen berechnet werden.

## Das Coulombpotential

Das Coulombpotential ermittelt man aus dem Feld einer Punktladung:

$$\vec{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

$$V = \int \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{\vec{r}}{r} d\vec{r} = \int \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} dr = -\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r}$$

Das unbestimmte Integral ist bis auf eine Konstante bestimmt. Setzt man  $V$  im Unendlichen gleich Null, so erhält man:

$$V = -\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r}$$

Häufig bezieht man Potentiale auf den Erdboden (Erd- oder Nullpotential). Dies hat jedoch keinen Einfluss auf den Betrag von Potentialdifferenzen. Setzt man das Potential einer Punktladung im Abstand  $r_0$  gleich Null, so gilt für das Potential  $V$  der Ausdruck

$$V = -\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r} \left( 1 - \frac{r}{r_0} \right)$$