

Coulombsches Gesetz

aus Wikipedia, der freien Enzyklopädie

Das **coulombsche Gesetz** oder **Coulomb-Gesetz** ist die Basis der Elektrostatik. Es beschreibt die Kraft zwischen zwei Punktladungen oder kugelsymmetrisch verteilten elektrischen Ladungen. Der Betrag dieser Kraft ist proportional zum Produkt der beiden Ladungsmengen und umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstandes der Kugelmittelpunkte. Die Kraft wirkt je nach Vorzeichen der Ladungen anziehend oder abstoßend in Richtung der Verbindungsgeraden der Mittelpunkte. Im anziehenden Fall verhält sie sich also ganz entsprechend wie die Kraft zwischen zwei Punktmassen nach dem Gravitationsgesetz.

Bei mehr als zwei Ladungen werden die einzelnen Kraftvektoren gemäß dem Superpositionsprinzip addiert.

Das coulombsche Gesetz ist Grundlage der Influenz.

Inhaltsverzeichnis

- 1 Coulomb-Kraft
 - 1.1 Vektorform
- 2 Coulomb-Potential
- 3 Coulomb-Kraft in einem Medium
- 4 Literatur

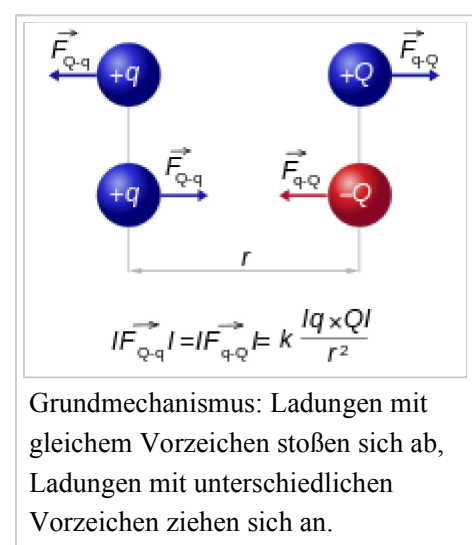
Coulomb-Kraft

Das coulombsche Gesetz wurde von Charles Augustin de Coulomb um 1785 entdeckt und in umfangreichen Experimenten bestätigt. Im Internationalen Einheitensystem, in skalarer Form und im Vakuum ist die Kraft demnach

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2},$$

q_1, q_2	kugelsymmetrisch verteilte Ladungsmengen
r	Abstand zwischen den Mittelpunkten der Ladungsmengen
ϵ_0	elektrische Feldkonstante

Vektorform



Die *allgemeine* vektorielle Notation diskreter Ladungen in beliebiger Materie ($\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$) liefert das Coulomb-Kraftfeld, dem eine Probeladung q_1 im Feld einer zweiten Ladung q_2 ausgesetzt ist, wie folgt:

$$\vec{F}_{12}(\vec{r}_1) = q_1 \frac{q_2}{4\pi\epsilon \cdot |\vec{r}_1 - \vec{r}_2|^2} \frac{(\vec{r}_1 - \vec{r}_2)}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|}$$

(sprich: Die Kraft $\vec{F}_{12}$ auf die Probeladung q_1 , hervorgerufen von der Ladung q_2 ; und: der Vektor $\vec{r}_{12}$ vom Punkt der Ladung q_2 ausgehend zum Punkt der Probeladung q_1)

Hierbei sind $\hat{r}_{12}$ der Einheitsvektor, der von q_2 (entlang der Verbindungslinie beider Ladungsmittelpunkte) in Richtung q_1 zeigt; sowie $\vec{r}_1$ und $\vec{r}_2$ die Ortsvektoren der beiden Ladungsmittelpunkte. Wie zu sehen, müssen sich gleichnamige Ladungen, d.h. solche gleichen Vorzeichens dabei obiger Festlegung gemäß abstoßen, da die Kraft $\vec{F}_{12}$ in solchem Fall dieselbe Orientierung wie $\hat{r}_{12}$ besitzt, während sich Ladungen mit ungleichem Vorzeichen (ungleichnamige Ladungen) anziehen, da die Kraft $\vec{F}_{12}$ dann (analog zum newtonschen Gravitationsgesetz) die entgegengesetzte Orientierung von $\hat{r}_{12}$ besitzt.

Wird der Koordinatenursprung an die Position der Ladung q_2 gelegt, vereinfacht sich die obige Gleichung zu:

$$\vec{F}_{12}(\vec{r}_1) = q_1 \frac{q_2}{4\pi\epsilon \cdot |\vec{r}_1|^3} \vec{r}_1.$$

Weiter ist dann

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{q_2}{4\pi\epsilon r^3} \vec{r}$$

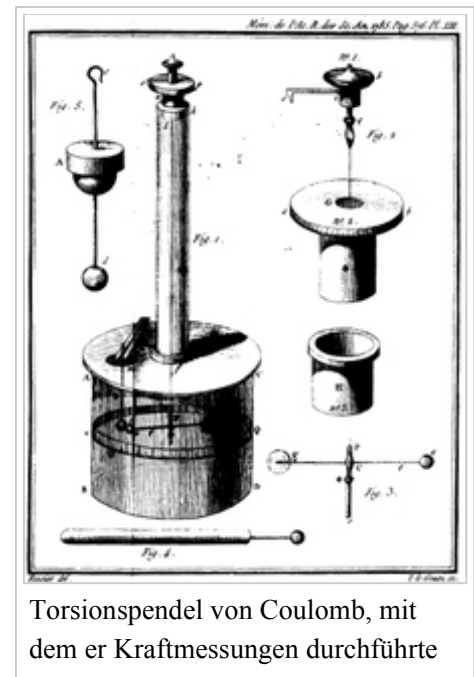
der Vektor der Feldstärke des von der Zentralladung q_2 erzeugten elektrischen Feldes an der Stelle $\vec{r}$, d.h. im Abstand r vom Ursprung.

Wird die das Feld erzeugende Zentralladung q_2 durch eine im Raum verteilte Ladungswolke mit der Ladungsverteilung $\rho(r')$ ersetzt, tritt an die Stelle der eingangs gegebenen Formel für die Coulomb-Kraft auf die Probeladung q_1 das Integral

$$\vec{F}_{12}(\vec{r}) = q_1 \frac{1}{4\pi\epsilon} \int \rho(r') \cdot \frac{(\vec{r} - \vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} d\vec{r}'.$$

Das coulombsche Gesetz in der eingangs gegebenen Form ist dabei als Spezialfall für eine punktförmige Ladungsverteilung in dieser Formel enthalten. Umgekehrt kann mittels Superpositionsprinzip auch diese allgemeinere Form aus dem coulombschen Gesetz abgeleitet werden.

Der in den obigen Gleichungen auftretende Term



Torsionspendel von Coulomb, mit dem er Kraftmessungen durchführte

$$k_C = \frac{1}{4\pi\epsilon}$$

wird auch als **Coulomb-Konstante** bezeichnet.

Im Vakuum ($\epsilon_r = 1$) gilt:

$$k_C = \frac{1}{4\pi}\mu_0 c^2 \approx 8,987551787 \cdot 10^9 \frac{\text{Vm}}{\text{As}}$$

Dabei ist c die Lichtgeschwindigkeit.

Im gaußschen und elektrostatischen CGS-Einheitensystem wird das coulombsche Gesetz zur Definition der elektrischen Ladung benutzt. Eine Ladungseinheit wirkt auf eine zweite im Abstand 1 cm mit der Kraft 1 dyn. Die elektrische Basiseinheit der Einheitensysteme SI, CGS-ESU und CGS-EMU unterscheidet sich prinzipiell nur durch die Festlegung von μ_0 :

- Im CGS-ESU ist $\mu_0 = 4\pi/c^2$. Daher hat die Coulomb-Konstante in diesem Einheitensystem den Wert $k_C = 1$.
- Im CGS-EMU ist $\mu_0 = 4\pi$. Daher hat in diesem Einheitensystem die Coulomb-Konstante den Wert $k_C = c^2$.

Coulomb-Potential

→ *Hauptartikel: Elektrisches Potential*

Das elektrische Feld ist, solange keine zeitliche Änderung des magnetischen Felds auftritt, wirbelfrei und die Energiedifferenz beim Transfer einer Ladung von A nach B daher in diesem Fall unabhängig vom konkret zurückgelegten Weg. Entsprechend kann man das elektrische Feld und die elektrische Kraft auch durch ein Potential beschreiben.

Für den Fall der einfachen Coulomb-Kraft ergibt sich das Coulomb-Potential, das für eine einzelne Punktladung Q wie folgt beschrieben werden kann:

$$\Phi(r) = - \int \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r} + C$$

Dabei wird die Integrationskonstante C typischerweise null, so dass das Potential im Unendlichen verschwindet. Die Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten ist der Spannungsabfall U zwischen diesen beiden Punkten. Das Coulomb-Potential gilt exakt nur für ruhende Ladungen. Für bewegte Punktladungen dagegen, bei denen auch Magnetfelder ins Spiel kommen, wird aus dem Coulomb-Potential ein Liénard-Wiechert-Potential.

Die potentielle elektrische Energie W_{pot} ist ebenfalls ein Potential, nun bezüglich der elektrischen Kraft:

$$W_{pot}(r) = - \int \vec{F} \cdot d\vec{s} = -q \int \vec{E} \cdot d\vec{s} = q \cdot \Phi(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q \cdot Q}{r} + C$$

Auch hier ist es üblich, die Randbedingung so zu wählen, dass die potentielle Energie im Unendlichen Null wird, C also auch hier gleich null ist.

Coulomb-Kraft in einem Medium

Das coulombsche Gesetz lässt sich auf einfache Weise auf den Fall von Ladungen in homogenen, isotropen, linearen Medien erweitern. Das die Ladungen umgebende Material muss dazu in guter Näherung diese Eigenschaften besitzen:

- Es ist elektrisch neutral.
- Es füllt den Raum zwischen den Ladungen und um diese herum *gleichmäßig* (homogen) aus.
- Die Polarisierbarkeit des Mediums ist *richtungsunabhängig*.
- Die Polarisierung ist *proportional* zum elektrischen Feld, das von den Ladungen erzeugt wird.

Insbesondere verlangt die Homogenität, dass der atomare Charakter der Materie im Vergleich zum Abstand der Ladungen vernachlässigbar ist.

Für solche Medien schreibt sich das coulombsche Gesetz in gleicher Form wie im Vakuum, mit dem einzigen Unterschied, dass ϵ_0 durch $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$ ersetzt wird:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

Die relative Permittivität ϵ_r ist bei isotropen Medien eine Materialkonstante, die der Polarisierbarkeit des Mediums Rechnung trägt. Sie kann sowohl durch Messungen als auch aus theoretischen Überlegungen gewonnen werden.

In der Umkehrung gilt im Vakuum $\epsilon_r = 1$.

Literatur

- Dieter Meschede: *Gerthsen Physik*. 23. Auflage, Springer, Berlin/Heidelberg/New York 2006, ISBN 3-540-25421-8.

Abgerufen von „https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Coulombsches_Gesetz&oldid=152977954“

Kategorie: Elektrostatik

-
- Diese Seite wurde zuletzt am 29. März 2016 um 18:34 Uhr geändert.
 - Abrufstatistik

Der Text ist unter der Lizenz „Creative Commons Attribution/Share Alike“ verfügbar; Informationen zu den Urhebern und zum Lizenzstatus eingebundener Mediendateien (etwa Bilder oder Videos) können im Regelfall durch Anklicken dieser abgerufen werden. Möglicherweise unterliegen die Inhalte jeweils zusätzlichen Bedingungen. Durch die Nutzung dieser Website erklären Sie sich mit den Nutzungsbedingungen und der Datenschutzrichtlinie einverstanden.

Wikipedia® ist eine eingetragene Marke der Wikimedia Foundation Inc.