

6 Elektrodynamik

6.1 Elektrostatik

Die Elektrostatik beschäftigt sich, ähnlich der Statik in der Mechanik, mit Kräften. Es wirken Kräfte zwischen elektrischen Ladungen, die Coulomb Kräfte, die der Gravitationskraft entsprechen. Beim Vergleich der Gravitations- mit der Coulombkraft muss man aber daran denken, daß in manchen Materialien, den Leitern, die Ladungen frei verschiebbar sind. Bei gleichbleibender Gesamtladung ändert sich die Ladungsverteilung in Abhängigkeit von den elektrischen Eigenschaften der Umgebung. Dagegen bleibt die räumliche Verteilung der Massen meistens nahezu unverändert.

6.1.1 Elektrische Ladungen, das Coulomb Gesetz

In der alltäglichen Anwendung wird der Strom in metallischen Leitern erzeugt, geführt und in Energie verwandelt. Zur Ladungserzeugung in Leitern benötigt man aber ein magnetisches Feld und eine geeignete Bewegung des Leiters. Viel einfacher ist die Ladungserzeugung in Isolatoren: Werden ausgewählte Materialien miteinander in Kontakt gebracht und wieder getrennt, dann bleiben Ladungen an ihrer Oberfläche zurück. Die Ladungen zeigen sich durch ihre Kraftwirkung: Haare steigen beim Kämmen auf, Papierschnipsel kleben an einem geriebenen Füller. Auf diese Art wurden Ladungen schon im Altertum von Thales von Milet mit geriebenem Bernstein entdeckt: *ηλεκτρον* ist der griechische Name für Bernstein.

Versuch 1 Stäbe aus Porzellan und Hartgummi werden am Katzenfell gerieben. Beide saugen Papierschnipsel und ähnliches auf. Man mache Selbstversuche mit Füller, Kugelschreiber, Kämmen usw..

Versuch 2 Ein Stab aus Hartgummi (Troidur) wird in einer Schlaufe aufgehängt und am Katzenfell gerieben. Man nähert sich einem Ende mit geriebenen Gegenständen: Der Hartgummistab stößt ab, Glasstab zieht an, das Tuch stößt ab.

Man erkennt aus diesen Versuchen:

1. Es gibt Ladungen, die von einem Körper zum andern übergehen können
2. Zwischen den Ladungen wirken Kräfte
3. Es genügt die Annahme von zwei Ladungsarten: Positive und Negative
4. Gleichnamige Ladungen stoßen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an
5. Im unbehandelten Zustand sind die Körper elektrisch neutral: Es gibt gleich viele positive wie negative Ladungen.

Die elektrische Ladung kann durch Erdung, d.h. einer leitenden Verbindung zum Ladungsreservoir der Erde oder mit einer Flamme oder heißem Gas, beide transportieren Ladungen, neutralisiert werden. In beiden Fällen fließt den aufgeladenen Bereichen die entgegengesetzte, gleich große Ladung zu.

Versuch 3 Kontaktelektrizität durch Abziehen einer Glimmerplatte von der Quecksilber Oberfläche.

Versuch 4 Ein Paraffinstab wird in Wasser getaucht und herausgezogen. Das Elektrometer zeigt seine Ladung.

Versuch 5 Ein Stab mit zwei metallischen Enden wird von der Flamme entladen.

6.1.1.1 Das Coulomb Gesetz

Elektrische Ladungen erkennt man durch Kraftwirkung zwischen ihnen. Wie in der Mechanik abstrahiert man die Ladungsverteilung zur Punktladung. Dem Gravitationsgesetz für die Kräfte zwischen zwei Massen entspricht das Coulomb Gesetz:

Formel	Einheit	Anmerkung
$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 \cdot q_2}{r_{12}^2}$	N	Coulomb Gesetz: Kraft F zwischen zwei Ladungen q_1, q_2 im Abstand r_{12}
q_1, q_2	1 Coulomb, C	Ladungen
\vec{r}_{12}, r_{12}	m	Abstandsvektor zwischen den Ladungen und sein Betrag
$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$	$\frac{C^2}{Nm^2}$	Influenzkonstante
$e = 1,60 \cdot 10^{-19}$	C	Elementarladung, kleinstes Ladungsquantum

Tabelle 1 das Coulomb Gesetz

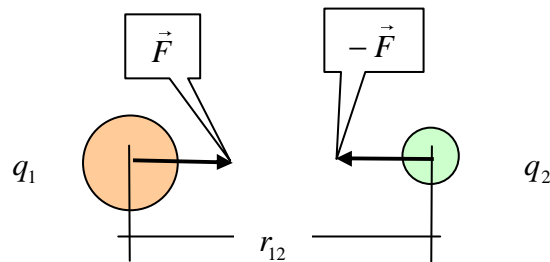


Abbildung 1 zum Coulomb Gesetz: Kraft zwischen zwei entgegengesetzten Ladungen q_1 und q_2 . Es gilt das 3. Newtonsche Axiom: Actio=Reactio

Die Kraft zwischen nicht überlappenden Ladungsverteilungen ist gleich der Kraft zwischen Punktladungen gleichen Betrags im Schwerpunkt der Verteilungen, analog der Gravitationskraft zwischen Massenverteilungen.

Versuch 6 An einer Influenzmaschine wird eine Kugel $\phi = 60\text{mm}$ geladen, mit dieser werden zwei Kugeln geladen: Die eine steht fest, die andere hängt an einer Waage. Diese mißt die Kraft zwischen den beiden gleichen Ladungen in unterschiedlichen Abständen. Man erkennt qualitativ die Gültigkeit der Coulomb Gesetzes.

6.1.1.2 Ladungsbewegung im Leiter: Influenz

Es gibt Isolatoren und leitende Materialien. In Isolatoren bleiben die Ladungen am Ort ihrer Entstehung lokalisiert, in Leitern sind sie frei beweglich. Gleichnamige Ladungen stoßen sich ab, deshalb suchen sie die Orte größtmöglichen Abstandes zueinander: Das Resultat ist bei freistehenden Leitern die gleichmäßige Ladungsdichte auf der Oberfläche.

Im Elektroskop nützt man diese Eigenschaft um Ladungen anzuzeigen. Weil sich gleichnamige Ladungen abstoßen, werden die Blättchen eines Blättchenelektroskops und der Zeiger eines „Braunschen Elektrometers“ in Abhängigkeit von der Ladung ausgelenkt.

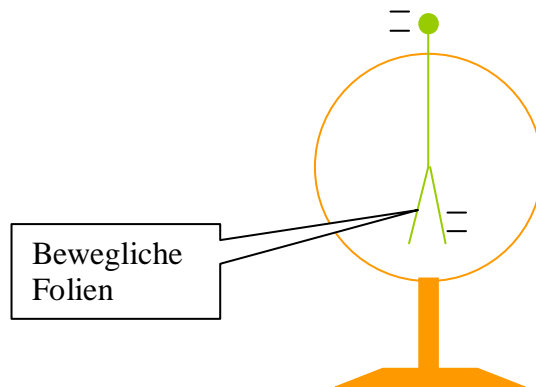


Abbildung 2 Blättchenelektroskop. Grün: Metallisch leitende Teile, rot: Teile aus nichtleitendem Material. Beide Blättchen stoßen sich ab, wenn das Elektroskop aufgeladen ist.

Das Elektroskop kann durch direkte Berührung mit einem Leiter aufgeladen werden oder durch Influenz. Als Influenz bezeichnet man die Ladungstrennung auf einem Leiter bei Annäherung eines geladenen Körpers. Dabei bleibt die Summe der Ladung auf dem Leiter null.

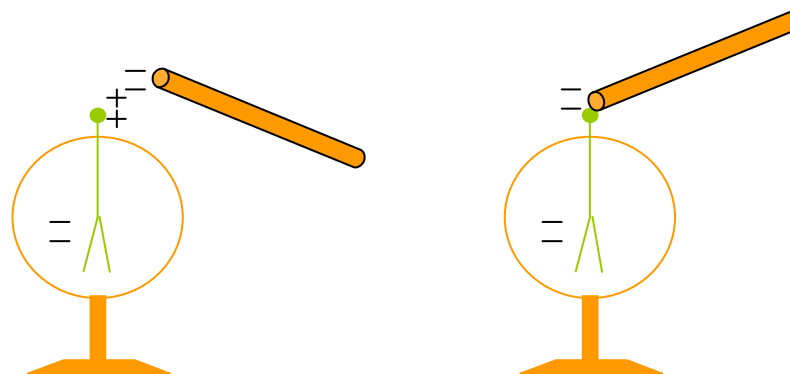


Abbildung 3 Aufladung eines Elektroskops durch Influenz (links) und direkten Kontakt (rechts)

Die folgenden Versuche zeigen den Unterschied zwischen Influenz und Aufladung im direkten Kontakt.

Versuch 7 Zwei mit Elektroskopen versehene Metallzylinder werden durch Kontakt (Abb. oben) und durch Influenz (Abb. unten) aufgeladen. Bis zu Beginn der Trennung der Zylinder muß im Influenzversuch der Stab in der Nähe des Zylinders bleiben, anschließend wird er entfernt. Die Elektroskope auf den getrennten Zylindern zeigen ihre Ladungen an. Bis dahin verlaufen die Versuche gleich. Beim Zusammenführen der Zylinder zeigt sich, daß die Ladungen der mit Influenz geladenen Zylinder unterschiedlichen Vorzeichens sind: Das gesamte System ist ungeladen.

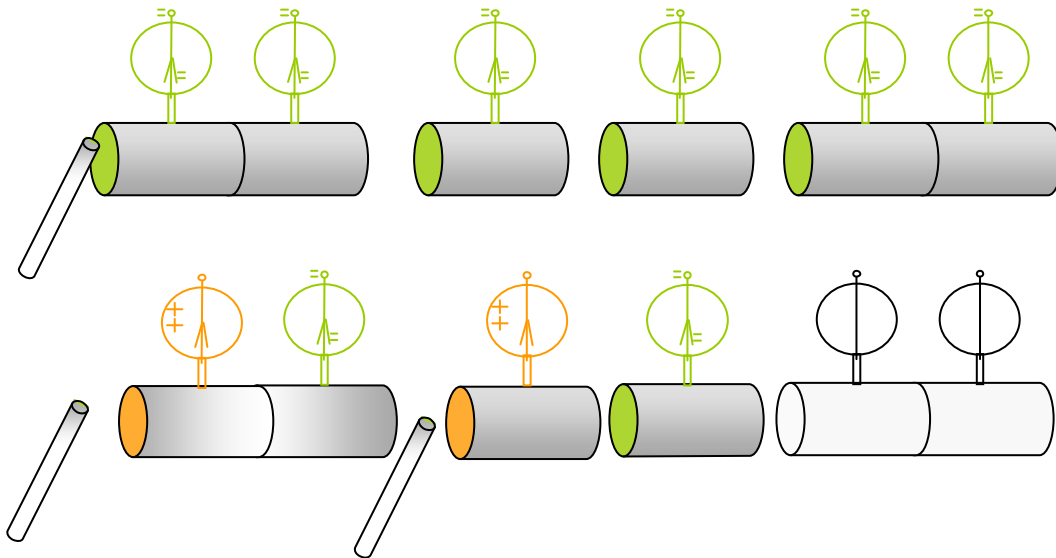


Abbildung 4 Aufladung und Ladungstrennung durch Influenz. Die Zylinder werden unter dem Einfluss des geladenen Stabes auseinandergezogen, danach wird der Stab entfernt. Rot: Positiv geladene, Grün: Negativ geladene Körper

Versuch 8 Ein geladener Ball wird von einer in seine Nähe gebrachten Metallplatte angezogen: Die induzierte Ladung mit entgegengesetztem Vorzeichen zieht ihn an.

6.1.1.3 Ladungsbewegung im Nichtleiter: Polarisation

Bei Annäherung einer Ladung können sich die Ladungsträger in Isolatoren nicht wie im Leiter frei bewegen. In machen Materialien verschieben sich aber lokal die Schwerpunkte der Ladungsträger so, daß auch eine Kraftwirkung zwischen Isolator und äußerer Ladung meßbar wird. Diese Verschiebung der Ladungsschwerpunkte heißt Polarisation.

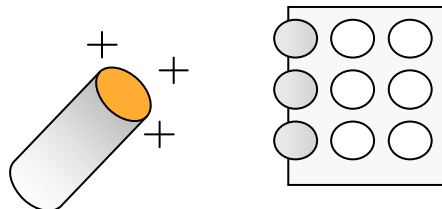


Abbildung 5 Polarisation: Verschiebung der Ladungen an den atomaren Bausteinen der Oberfläche von Nichtleitern

Versuch 9 Im Versuch mit dem geladenen Ball wird die Metallplatte durch eine Paraffinplatte ersetzt. Auch jetzt wirkt auf den Ball eine Kraft, die allerdings schwächer als die mit der Metallplatte ist.