

Elektrostatik

1. Ladungen Phänomenologie
2. Eigenschaften von Ladungen
 - i. Arten
 - ii. Quantisierung
 - iii. Ladungserhaltung
 - iv. Ladungstrennung
 - v. Ladungstransport
3. Kräfte zwischen Ladungen, quantitativ
4. Elektrisches Feld
5. Der Satz von Gauß

Elektrische Ladung



Reiben von verschiedenen Materialien:
Kräfte treten auf, die auf Umgebung wirken

Thales von Milet (626 - 547 v. Chr.) war bekannt, dass ein mit einem Wolltuch geriebener Bernstein (griech.: electron) leichte Gegenstände wie Watte o.ä. anzieht electros Bernstein

Eigenschaften der Ladungen

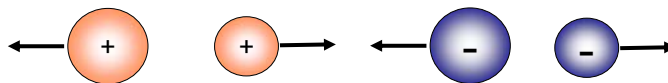
Charles Dufay (1698 - 1739): Es gibt zwei Arten von Elektrizität gibt:

Glas-Elektrizität (électricité vitreuse) und die Harz-Elektrizität (électricité résineuse).

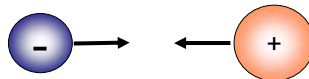
Später führte Franklin die Begriffe "Positive Elektrizität" und "Negative Elektrizität" ein.

Elektrische Kräfte

Materie hat noch eine Eigenschaft: Ladung
Es gibt zwei Arten von Ladungen: + und -
Zwischen Ladungen bestehen Kräfte



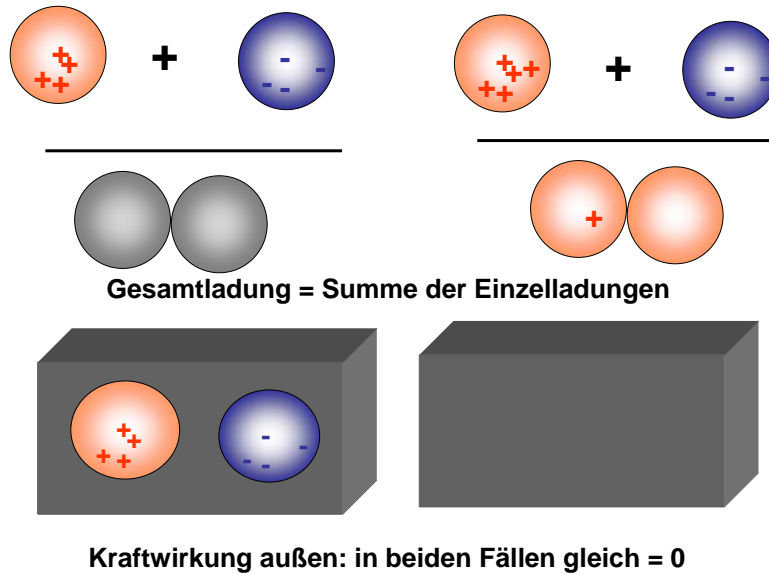
Gleichnamig geladene Körper stoßen sich ab



Ungleichnamig geladene Körper ziehen sich an.

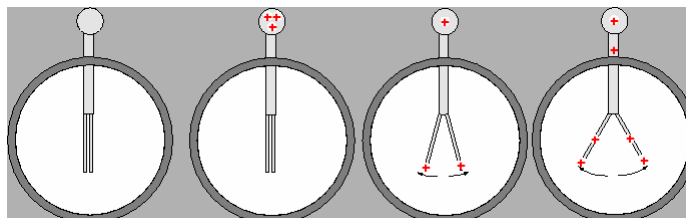
Kraft zwischen Ladungen: Coulombkraft verhält sich wie Gravitation

Ladungsausgleich Neutralität



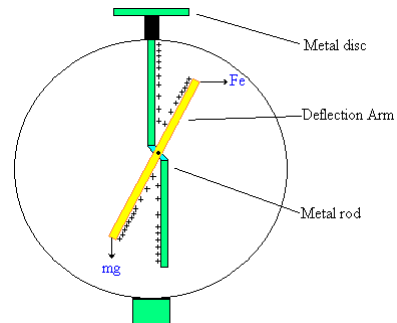
Nachweis der Ladung: Elektroskop

Mensch fehlt Nachweisorgan für den elektrischen Zustand:
technische Nachweisgeräte nötig; zB Elektroskop



Ausschlag proportional zur Ladungsmenge:
Quantitative Messung
Keine Unterschied zwischen positiven und negativen Ladungen

Elektrometer



Besser geeignet für exakte quantitative Messung

Quantisierung von Ladungen

Ladungen können nicht beliebig klein werden

Ladung eines Körpers ist immer ein ganzzahliges Vielfaches einer Elementarladung

Elementarladung e experimentell bestimmt mit Millikan-versuch (Erklärung später)

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \dots \text{Coulomb}$$

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

SI System Basiseinheiten

Mechanik: Länge (m), Masse (kg), Zeit (s)

Elektrizität: Stromstärke (Ampere A) Definition über Magnetismus

Ladungszustände von Elementarteilchen

Elektron	-e	m_0
Positron	+e	m_0
Proton	+e	$1836 m_0$
Neutron	0	$1839 m_0$
Photon	0	0
Neutrino	0	0

Elementarteilchen nehmen trotz Unterschiedlichkeit nur folgende

Ladungszustände an: +e, -e und 0

$e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ 1 C = 1 Coulomb = 1 As = 1 Amperesekunde

Masselose Teilchen können keine Ladung haben

Ladung Proton und Elektron sind gleich

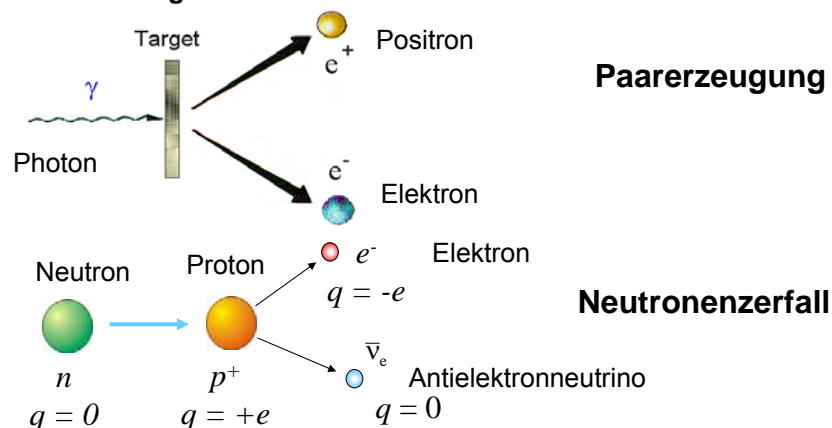
$$q(\text{proton}) - q(\text{elektron}) < 10^{-20} e$$

Ladungserhaltung

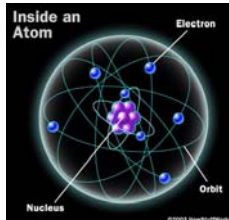
Abgeschlossenes System: Summe der Ladungen $q_i = \text{konstant}$

$$\sum_N q_i = \text{konst}$$

Ladungen können nicht erzeugt oder vernichtet werden, sondern nur getrennt



Ladungszustände von Elementarteilchen



Atome bestehen aus Elektronen und einem Kern, wobei Ladung aller Elektronen gleich Ladung des Kerns ist

Kerne bestehen aus Protonen und Neutronen

Protonen und Neutronen bestehen aus Quarks

Quarks tragen Ladungen, die kein ganzzahliges Vielfaches der Elementarladung sind :

up (u), charm (c), top (t) Quarks $q_i = 2/3 e$

bzw

down (d), strange (s), bottom (b) Quark $q_i = -1/3 e$

Kommen allerdings nie allein vor, sondern nur in Kombination, dass gilt

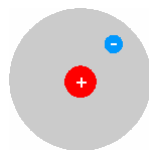
$$\Sigma q_{\text{quark}} = n e \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

$$\text{Proton: } 2 u + 1 d \Rightarrow q_p = (2 * 2/3 e - 1/3 e) = e$$

$$\text{Neutron: } 1 u + 2 d \Rightarrow q_n = (2/3 e - 2 * 1/3 e) = 0$$

Reibungselektrizität

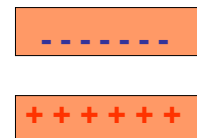
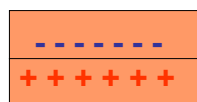
Modellvorstellung zur Reibungselektrizität



Atome sind neutral



Entferntes Elektron
Atome wird positiv



Positive Ladung Restatom ist ortsfest
negative Ladung abtrennbar geht auf anderen Körper über

Übergang von Elektronen



Glasstab Seidentuch:
Elektronen gehen von Glas auf Seide
Glasstab positiv geladen
Seidentuch negativ geladen



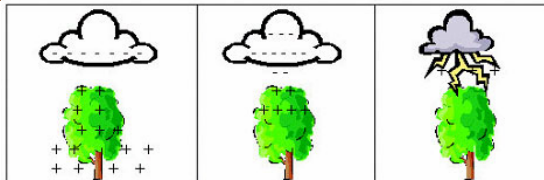
Kunststoff Wolle:
Elektronen gehen von Wolle auf Stab
Stab negativ geladen
Wolltuch positiv geladen

Triboelektrische Reihe

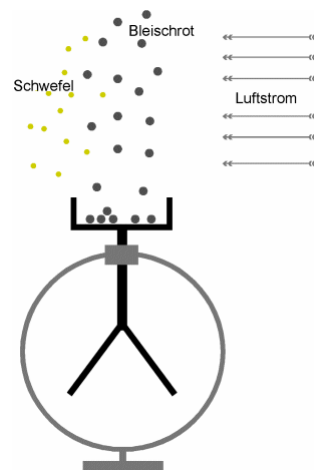
Die **triboelektrische Reihe** (*tribos*, griechisch: "eine Reibung") gibt die Affinität für Elektronen eines Materials an. Je weiter oben ein Material in der Reihe steht, desto mehr Elektronen wird es bei Berührung an ein tiefer stehendes Material abgeben. Die tatsächliche Quantität der Ladungstrennung hängt jedoch von weiteren Faktoren wie Temperatur, Oberflächenbeschaffenheit usw. ab.

Asbest	Positives Ende Geben Elektronen ab
Glas	
Wolle	
Blei	
Seide	
Aluminium	
Papier	
Baumwolle	
Stahl	
Hartgummi	
Nickel und Kupfer	Nehmen Elektronen auf Negatives Ende
Synthetischer Gummi	
Polyethylen	
Teflon	
Silikon	

Gewitter: Ladungstrennung



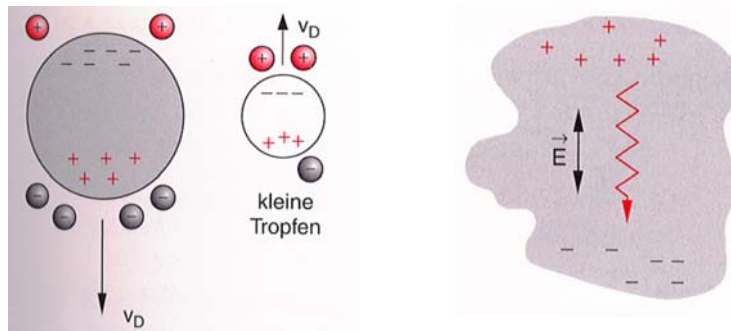
Ladungstrennung



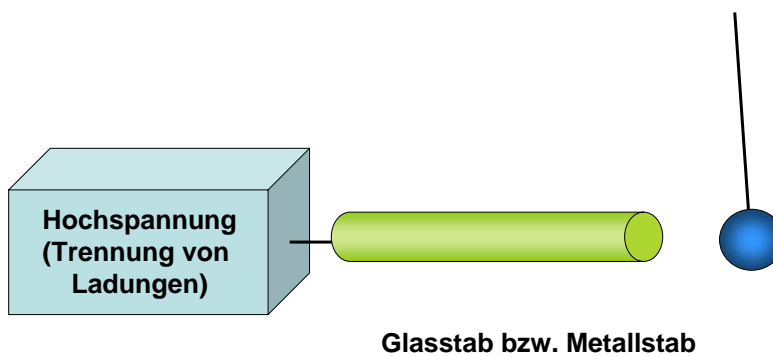
Trennung zweier zuvor innig berührter verschiedener Stoffe führt zum Ladungsraub. Einer der Stoffe behält an der Oberfläche einen positiven Ladungsüberschuss, der andere einen negativen. Es entsteht Ladungstrennung

Ladungstrennung

Gewitterwolke: Mitte Aufwind, am Rand fällt Luft ab
Aufwind: Hagelkörner bzw. kleine Tropfen werden nach oben transportiert
vorwiegend positiv Ladungen lagern sich an
Fallwind: große Wassertropfen fallen nach unten
vorwiegend negative Ladungen lagern sich an

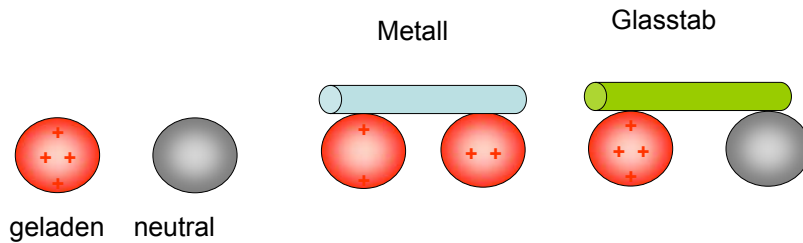


Transport von Ladungen



Was ist der Unterschied zwischen dem
Glasstab und dem Metallstab ?

Übertragung von Ladungen



Metalle übertragen Ladungen, bzw. Ladungen sind frei beweglich und werden durch elektrostatische Kräfte bewegt:

Leiter

Glasstab überträgt Ladung nicht, bzw. Ladungen sind ortsfest obwohl elektrostatische Kräfte zwischen ihnen wirken:

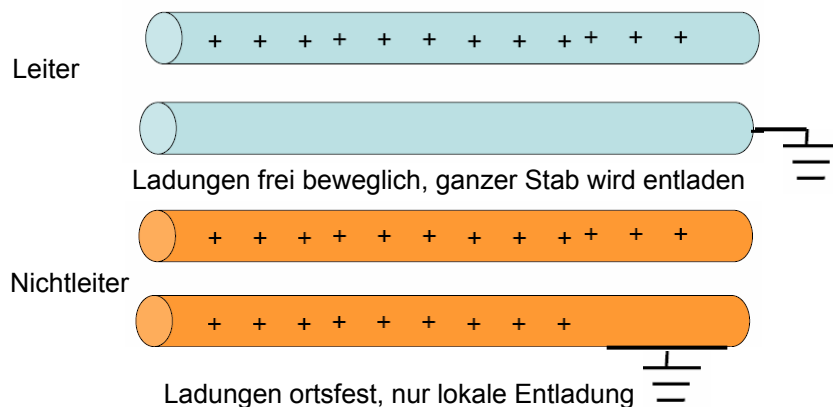
Nichtleiter oder Isolator

Entladen

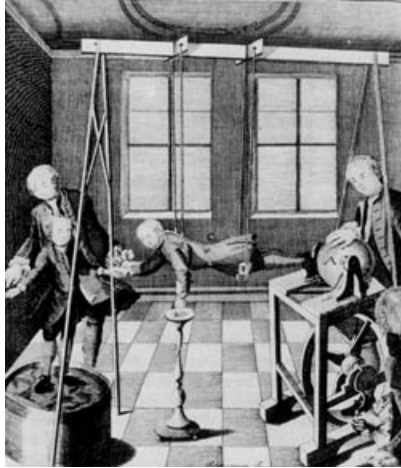
Ladungen können ausgeglichen werden, wenn Ladungen mit anderem Vorzeichen aus einem Reservoir dazu gebracht werden

Größtes Reservoir: Erde

Ladungsausgleich = erden leitende Verbindung mit Erde



Ladungstransport



Stephen Gray (1666-1736):
Es gibt Leiter und Nichtleiter;
der menschliche Körper ist ein
Leiter

Eigenschaften der Ladung

Ladungsmenge wird in Coulomb gemessen

Ladungen können positiv oder negativ sein

Negative und positive Ladungen können sich kompensieren

Ladungszustand kann übertragen werden

Ladung ist an Masse gekoppelt

Gesamtmenge aller Ladungen ist konstant d.h. Ladung kann nicht erzeugt oder vernichtet werden

Ladung ist portioniert gequantelt

Ladungen üben aufeinander Kräfte aus