

An welche Stichwörter von der letzten Vorlesung können Sie sich noch erinnern?

Entropieänderung $\Delta S = S_f - S_i = \int_i^f \frac{dQ}{T}$

Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik: $\Delta S_{Ges} \geq 0$

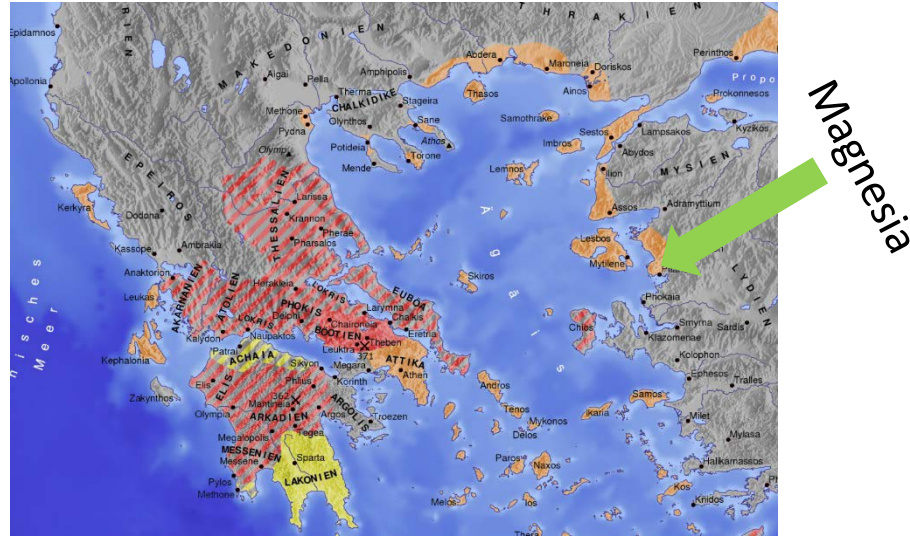
Carnot (ideale) Wärmemaschine $\eta_C = 1 - \frac{T_L}{T_H} < 1$

Carnot Kältemaschine $\varepsilon_C = \frac{T_L}{T_H - T_L} < > 1$

Jede andere Maschine ist weniger effektiv als die Carnot-Maschine

18 Elektrische Ladung

18.1 Elektromagnetismus

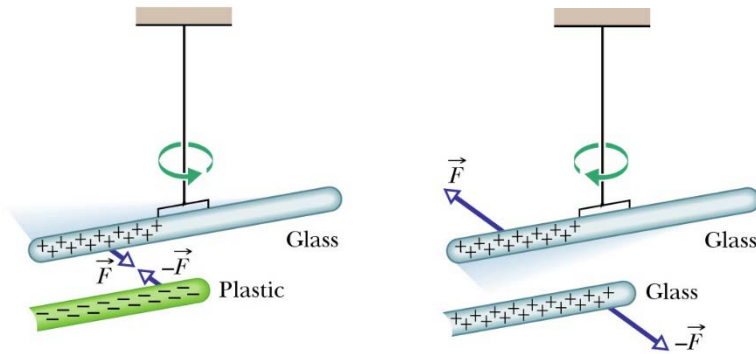


Der Wort Elektron ist die griechische Bezeichnung für Baumharz oder Bernstein. Die alten Griechen berichten ebenfalls, dass einige natürlich vorkommende Steine -man bezeichnet dieses Mineral heute als Magnetit - Eisen anzogen.

18. 2 Elektrische Ladung

Die **elektrische (positive und negative) Ladung** gehört zu den intrinsischen, mit den elementaren Bausteinen aller Gegenstände verbundenen Eigenschaften

In einem Körper sind normalerweise gleiche Mengen zweier unterschiedlicher Ladungsarten vorhanden, der positiven und der negativen Ladung. Sind die Mengen positiver und negativer Ladung in einem Körper einander gleich, so bezeichnet man diesen Körper als elektrisch neutral. Sind die beiden Ladungsarten dagegen nicht im Gleichgewicht, so trägt der Körper eine effektive Ladung – ein geladener Körper



Ladungen mit gleichen Vorzeichen stoßen einander ab, Ladungen mit unterschiedlichen Vorzeichen ziehen einander an.

18. 3 Leiter und Isolatoren

In einigen Stoffen, beispielsweise den Metallen, kann sich ein Teil der enthaltenen (negativen) Ladung mehr oder weniger frei bewegen. Solche Stoffe bezeichnet man als Leiter. In anderen Stoffen, wie beispielsweise in Glas, ist diese Bewegung Ladungen nicht möglich. Man bezeichnet solche Stoffe entsprechend als Nichtleiter oder Isolatoren.

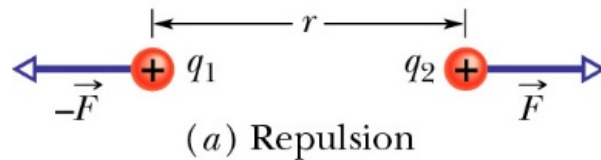
Die elektrischen Eigenschaften von Leitern und Isolatoren haben ihre Ursache in der Struktur und den elektrischen Eigenschaften der Atome. Atome sind aufgebaut aus positiv geladenen *Kern* und negativ geladenen *Elektronen*. Die negativ geladenen Elektronen bleiben in der Nähe des Kerns, da sie von den positiv geladenen Kern angezogen werden.

Bauen die Atome eines Leiters (Kupfer) einen Festkörper auf, so bleiben einige der äußeren und damit am schwächsten gebundenen Elektronen eines jeden Atoms nicht mehr an das Atom gebunden, sondern können sich frei innerhalb des Festkörpers bewegen, wobei sie positiv geladene Atome (positive Ionen) zurücklassen. Diese frei beweglichen Elektronen eines Festkörpers nennen wir die Leitungselektronen. In Nichtleitern dagegen gibt es keine oder nur sehr wenige frei bewegliche Elektronen.

Die sogenannten Halbleiter, beispielsweise die Elemente Silizium und Germanium, stehen in ihren elektrischen Eigenschaften zwischen den Leitern und den Isolatoren.

Schließlich kennt man die sogenannten Supraleiter, die der Bewegung elektrischer Ladung keinerlei Widerstand entgegensetzen. Gewöhnliche Materialien, selbst gute Leiter, setzen der Ladungsbewegung in ihnen einen Widerstand entgegen. In einem Supraleiter dagegen ist dieser Widerstand nicht einfach nur sehr klein - er ist exakt gleich null. Setzt man eine Ladungsbewegung in einem Supraleiter in Gang, so bleibt diese für unbegrenzte Zeit bestehen. Keine Batterie oder irgendeine äußere Energiequelle ist zur Erhaltung des Stroms erforderlich.

18.4 Das Coulombsche Gesetz



Zwei kleine, geladene Teilchen (Punktladungen) befinden sich im Abstand r voneinander und tragen die Ladungen q_1 und q_2 .

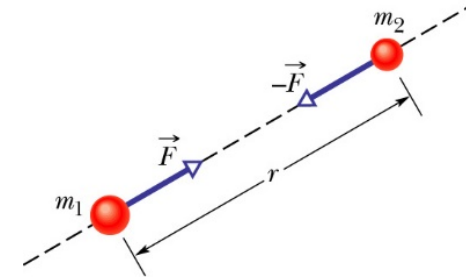
Die elektrostatische Kraft zwischen ihnen (Anziehung oder Abstoßung) hat den Betrag:

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

Zwei geladene Teilchen stoßen sich ab, falls ihre Ladungen (a) beide positiv oder (b) beide negativ sind. Sie ziehen sich dagegen an (c), wenn ihre Ladungen entgegengesetzte Vorzeichen haben.

Das Newtonsche Gravitationsgesetz
für die Gravitationskraft zwischen
zwei Teilchen

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$



Einheiten

Die SI-Einheit der Ladung ist das **Coulomb** (C): Ein Coulomb ist die Ladungsmenge, die durch den Querschnitt eines Drahts, in dem ein elektrischer Strom der Stärke 1 A fließt, innerhalb einer Sekunde transportiert wird.

elektrische Strom- stärke	Ampere	A	Das Ampere ist die Stärke eines konstanten elektrischen Stromes, der, durch zwei parallele, geradlinige, unendlich lange und im Vakuum im Abstand von einem Meter voneinander angeordnete Leiter von vernachlässigbar kleinem, kreisförmigem Querschnitt fließend, zwischen diesen Leitern je einem Meter Leiterlänge die Kraft $2 \cdot 10^{-7}$ Newton hervorrufen würde.
---------------------------------	--------	---	---

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

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,99 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$$

Die sogenannte Dielektrizitätskonstante:

$$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$$

Auch hier gilt das Superpositionsprinzip

$$\vec{F}_{ges} = \sum_i \vec{F}_i \quad \text{Vektorsumme!}$$

Kugelschalentheorem

Eine *homogen* über eine Kugelschale verteilte Ladung wirkt auf ein geladenes Teilchen außerhalb der Schale genau so, als sei die gesamte Ladung der Schale in deren Zentrum vereinigt.

Die resultierende elektrostatische Kraft auf ein geladenes Teilchen, das sich im Inneren einer *homogen* geladenen Kugelschale befindet, ist null.

Leitende Kugelschalen

Bringt man eine Überschussladung auf eine leitende Kugelschale, so verteilt sich diese Ladung gleichmäßig über die (äußere) Oberfläche der Schale. Überschüssige Elektronen stoßen einander ab und versuchen, sich voneinander zu entfernen. Dadurch verteilen sie sich über die gesamte zur Verfügung stehende Fläche, bis ihre Verteilung homogen ist.

Entfernt man umgekehrt negative Ladung von einer metallenen Kugelschale, so ist auch die zurückbleibende, unkompensierte positive Ladung homogen über die Schale verteilt.

Entfernt man beispielsweise n Elektronen, so sind die verbleibenden n Plätze von Atomen, denen jeweils ein Elektron fehlt, ebenfalls homogen über die Schalenoberfläche verteilt.

Nach dem ersten Kugelschalentheorem wirkt auch diese geladene Kugelschale auf eine äußere Probeladung genauso, als sei die gesamte Überschussladung der Schale in deren Zentrum konzentriert.

18.5 Quantisierung und Erhaltung der elektrischen Ladung

Jede Ladung ist ein ganzzahliges Vielfaches einer bestimmten Ladungseinheit. Man kann deshalb jede beliebige Ladung, positiv oder negativ, in der Form

$$q = ne \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

schreiben, wobei die Elementarladung $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ist.

Beobachtet man, dass eine physikalische Größe, beispielsweise die Ladung, nur bestimmte diskrete Werte annehmen kann - also nicht jeden beliebigen Wert so bezeichnet man diese Größe als *quantisiert*.

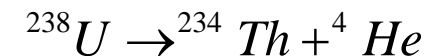
Ladungen dreier Elementarteilchen

Teilchen	Symbol	Ladung
Elektron	e oder e^-	$-e$
Proton	p	$+e$
Neutron	n	0

Im Fall der elektrischen Ladung beobachtet man experimentell beispielsweise Teilchen mit Ladungen von $0e$, $+10e$ oder $-6e$, niemals jedoch eine Ladung von $3,57e$.

Wenn das Glasstab positiv geladen wird, ist der Seidentuch negativ geladen - die Annahme der Ladungserhaltung

Auch in der Nanowelt. Der radioaktive Zerfall, bei dem sich ein Atomkern spontan in einen anderen umwandelt, bietet zahlreiche Möglichkeiten, die Ladungserhaltung auf subatomarem Niveau zu beobachten.



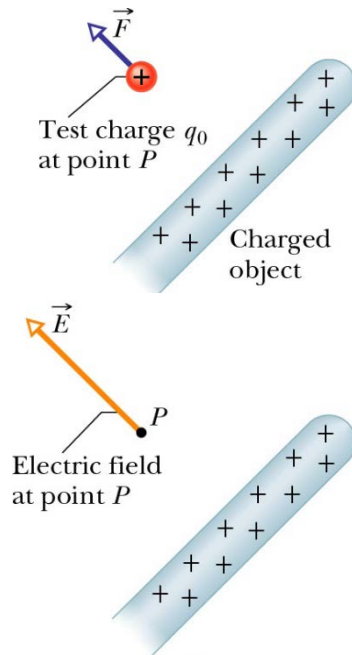
Ein weiteres Beispiel für die Ladungserhaltung ist der Prozess der Annihilation eines Elektrons mit der Ladung $-e$ und seines Antiteilchens, des Positrons mit der Ladung $+e$, bei dem sich die beiden Teilchen in zwei Gamma-Quanten (hochenergetische Lichtquanten) umwandeln

$$e^- + e^+ \rightarrow \gamma + \gamma$$

Bei der Erhaltung der Ladung müssen wir die Ladungen der beiden Teilchen algebraisch addieren, wobei die jeweiligen Vorzeichen zu berücksichtigen sind.

19 Elektrische Felder

19.1 Ladungen und Kräfte



Fixiert man eine Punktladung q_1 im Raum und bringt man dann eine zweite Punktladung q_0 in die Nähe der ersten Ladung, so übt, q_1 eine elektrostatische Kraft auf q_0 aus.

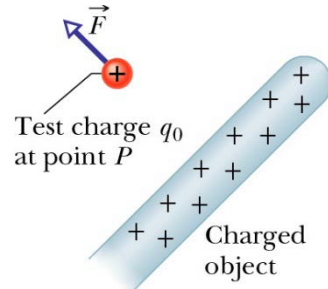
Frage: Wie „weiß“ q_1 vom Vorhandensein der Ladung q_0 ? Wie kann q_1 eine Kraft auf q_0 ausüben, obwohl sich die beiden Teilchen nicht berühren?

Der Begriff des elektrischen Felds: Die Ladung q_1 baut in dem sie umgebenden Raum ein elektrisches Feld auf. Der Feldbetrag in einem Punkt P des Raums hängt ab vom Betrag der Ladung q_1 sowie von der Entfernung zwischen q_1 und P , die Richtung ... Bringen wir die Ladung q_0 an den Punkt P , so wechselwirken die beiden Ladungen über das elektrische Feld im Punkt P miteinander. Betrag und Richtung des Felds bestimmen Betrag und Richtung der auf q_0 wirkenden Kraft.

Wie schnell ändert das Feld im Punkt P, wenn man die Ladung q_1 bewegt?
 Die Information, dass q_1 bewegt wurde, pflanzt sich von q_1 ausgehend als eine elektromagnetische Welle mit c , der Geschwindigkeit des Lichts, in alle Raumrichtungen fort. Die Änderung des elektrischen Felds im Punkt P und damit auch die Änderung der auf q_0 wirkenden Kraft findet statt, sobald die elektromagnetische Welle dort eintrifft.

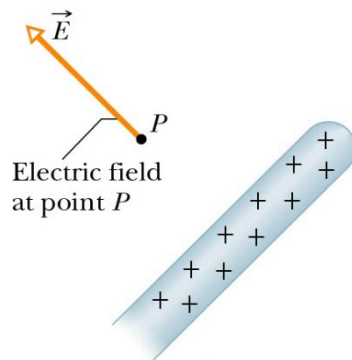
19.2 Das elektrische Feld

Felder in der Physik: Temperaturfeld, Druckfeld, Geschwindigkeitsfeld



Das elektrische Feld ist ein Vektorfeld: Jedem Punkt des Raums um einen geladenen Körper ist ein Vektor zugeordnet: Wir bringen eine positive Punktladung q_0 (Probeladung) an den Punkt P und messen die elektrostatische Kraft F auf die Probeladung. Das elektrische Feld E , welches durch den geladenen Körper im Punkt P erzeugt wird:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad \text{SI Einheiten: N/C}$$



Stärken einiger elektrischer Felder

Ort des Felds	Betrag (N/C)
An der Oberfläche eines Urankerns	$3 \cdot 10^{21}$
Innerhalb eines Wasserstoffatoms bei einem Radius von $5,29 \cdot 10^{-11} \text{ m}$	$5 \cdot 10^{11}$
Elektrischer Durchbruch in Luft	$3 \cdot 10^6$
An der Oberfläche der Trommel eines Fotokopierers	10^5
In der Nähe eines statisch geladenen Kamms	10^3
In der unteren Atmosphäre	10^2
In der Anschlussleitung eines Haushaltsgeräts	10^{-2}