
Inhalt der Vorlesung Physik A2 / B2

3. Wärmelehre

Druck und Temperatur: Das ideale Gas

Wärmemenge, spezifische Wärme

Die Hauptsätze der Wärmelehre

- SEMESTERENDE -

4. Elektrizitätslehre, Elektrodynamik

Die Ladung und elektrostatische Felder

Elektrischer Strom

Magnetische Felder und Magnetostatik

Zeitlich veränderliche Felder, Elektrodynamik

Wechselstromnetzwerke

Die Maxwellschen Gleichungen

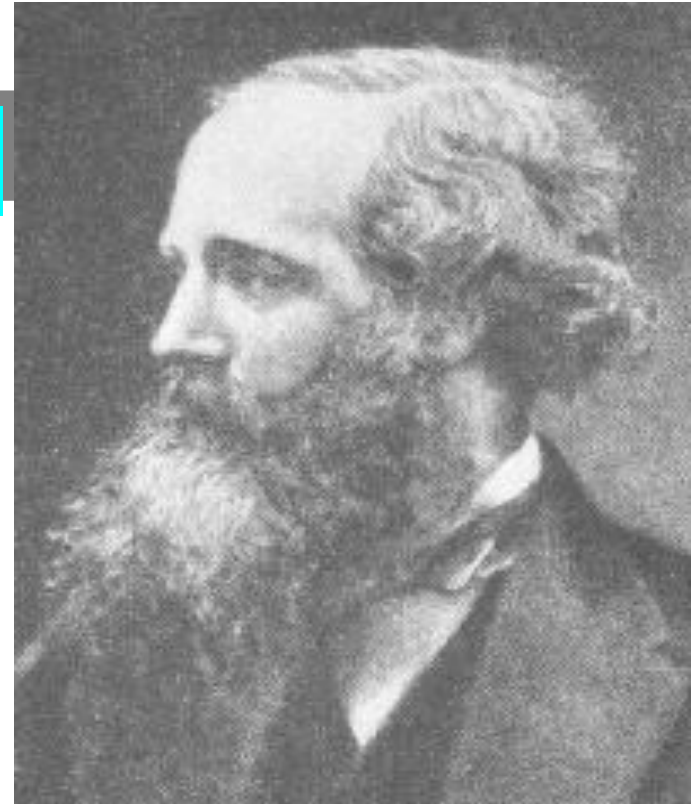
Elektromagnetische Wellen und Strahlung

Relativität der Felder – Relativitätstheorie

4. Elektrizitätslehre, Elektrodynamik

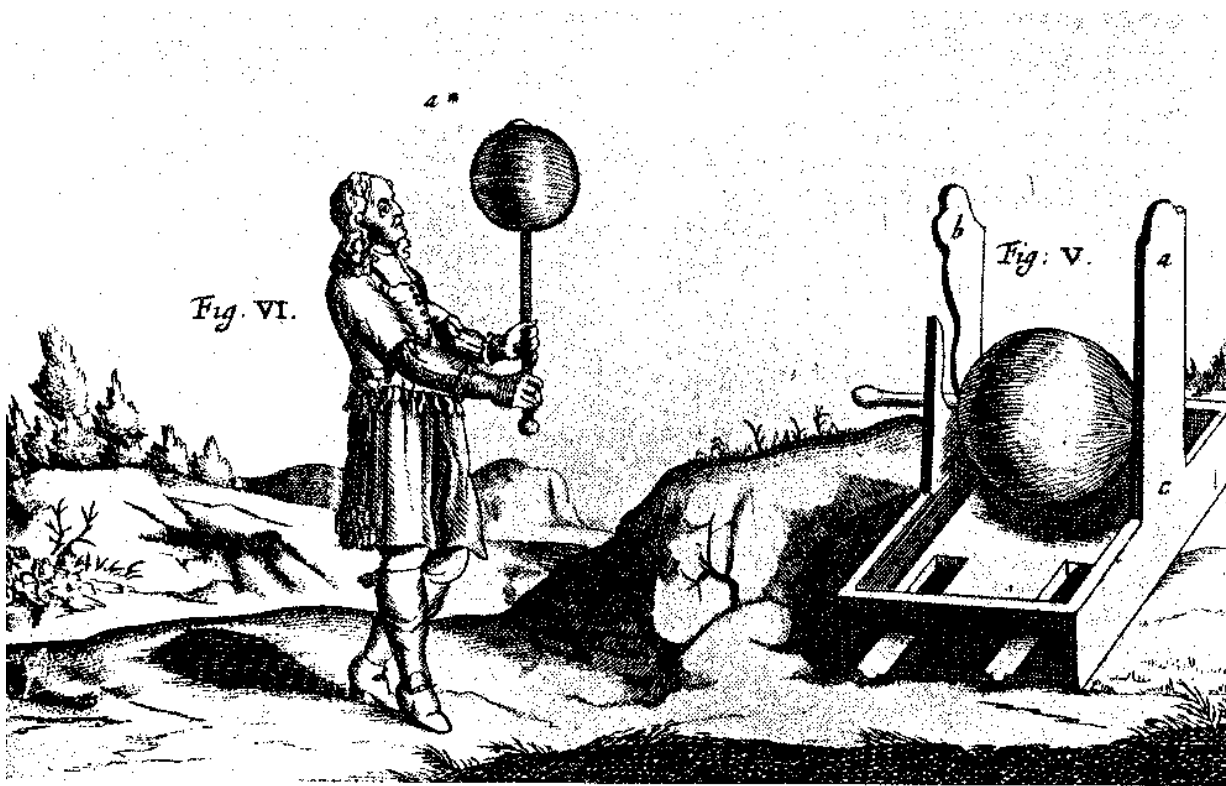


Personen

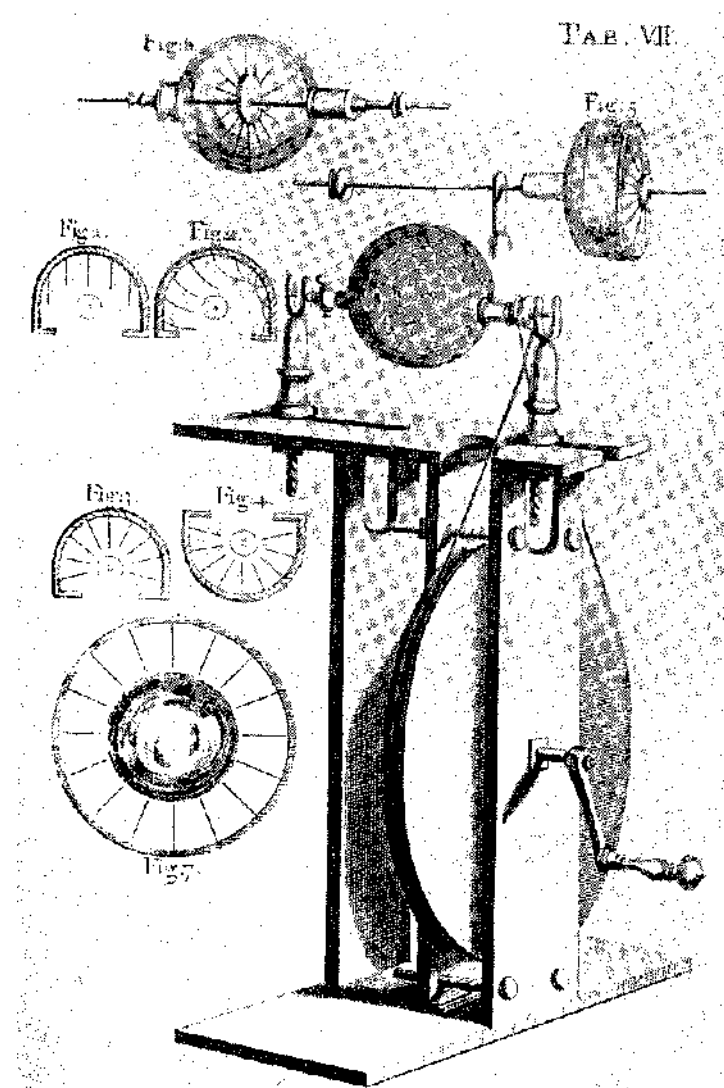


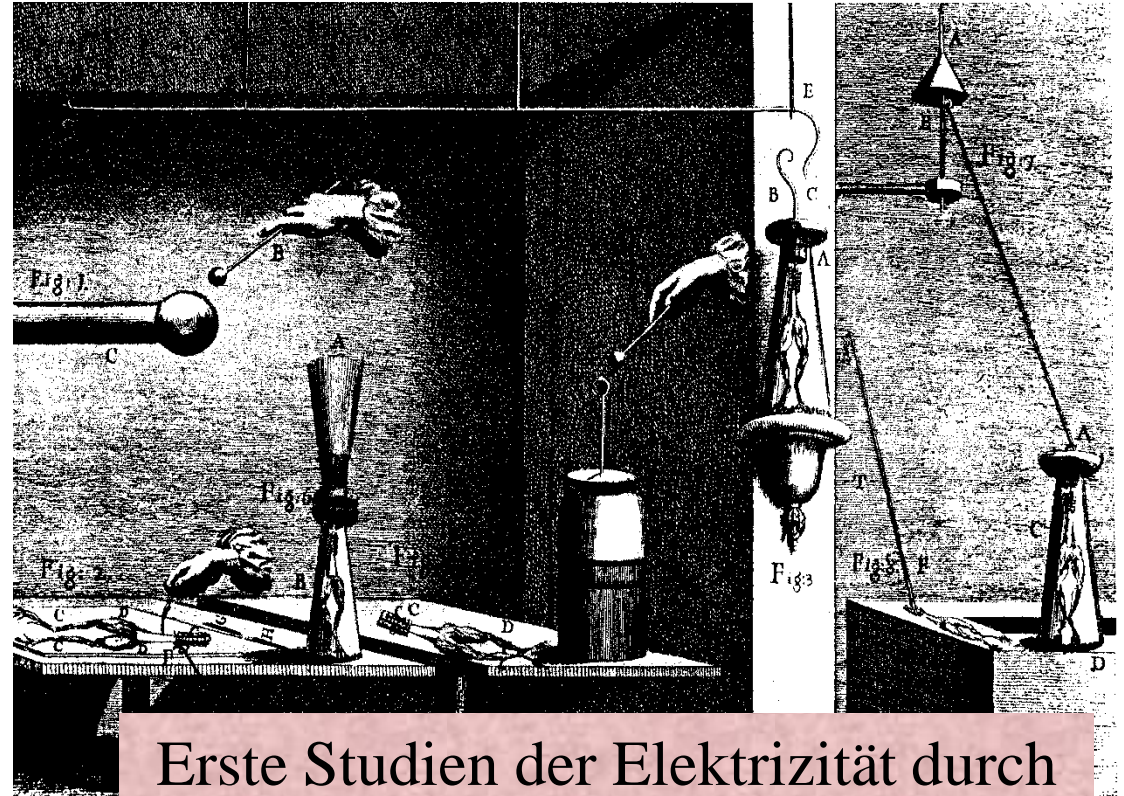
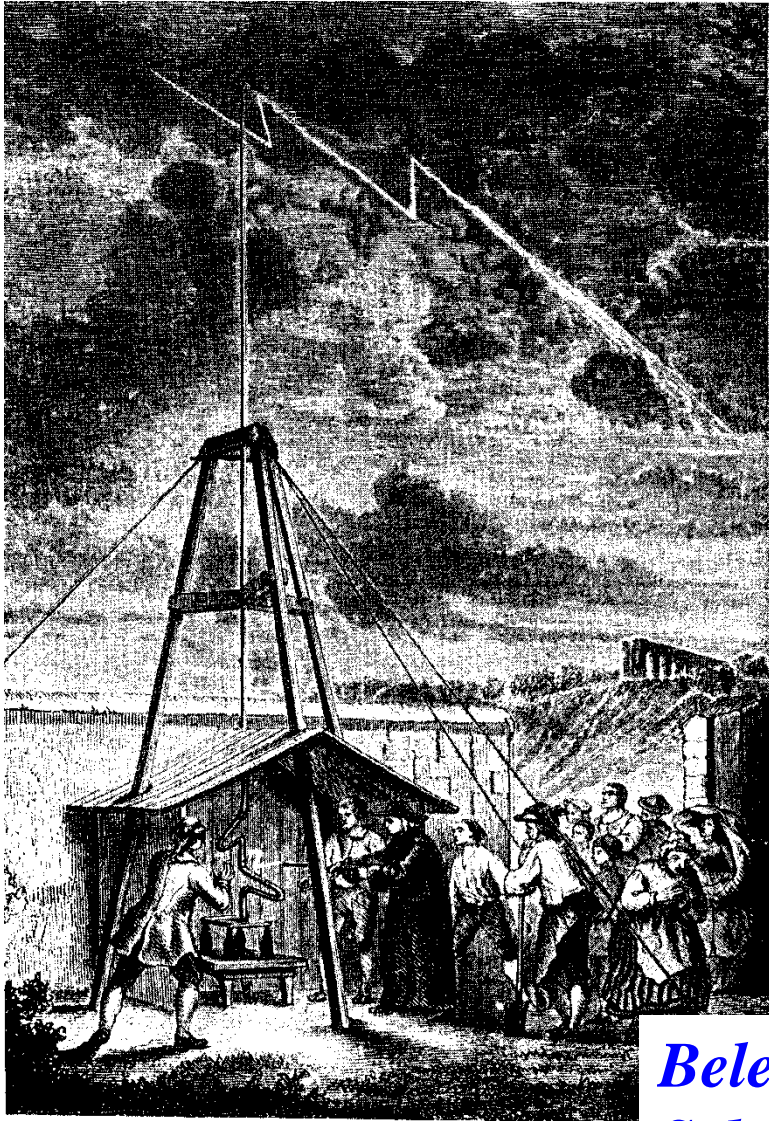
Mechanik / Physik A2
Newton (1643-1727)

Elektrodynamik / Physik B2
Maxwell (1831-1879)



Im 18. Jahrhundert wurden erste Versuche mit Reibungselektrizität gemacht, indem man z.B. Schwefel- und Glaskugeln gerieben hat.





Erste Studien der Elektrizität durch
Blitze und zuckende Froschschenkel

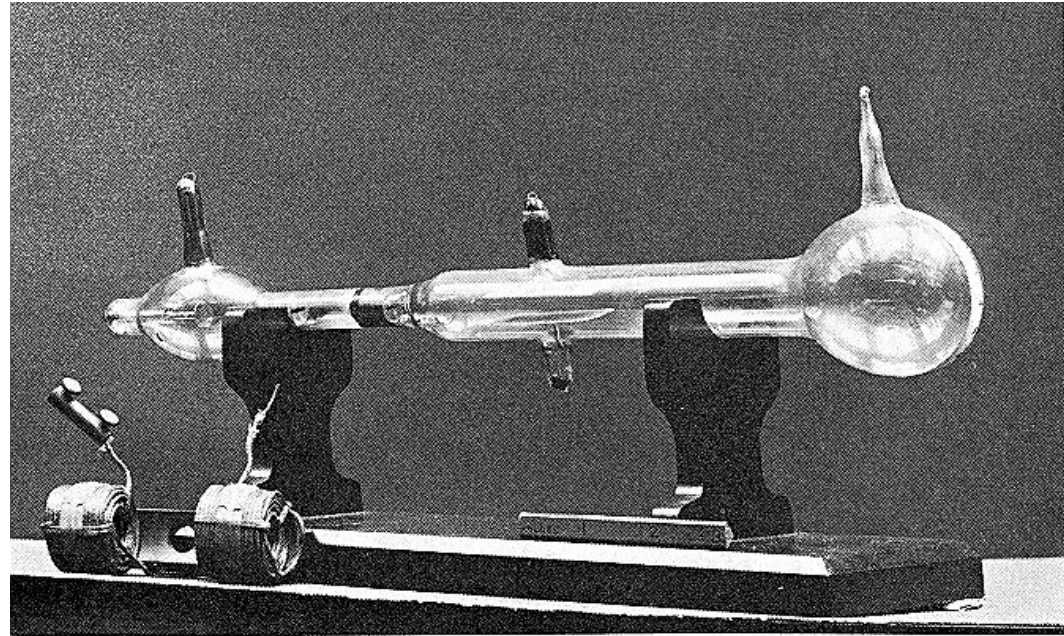
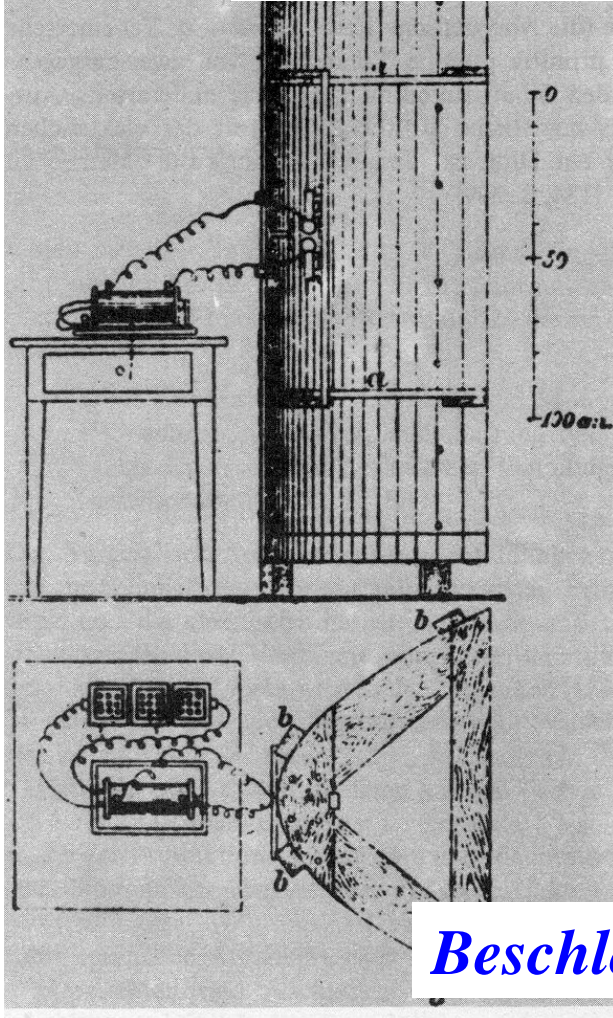


*Beleuchtung, Generatoren, Elektroantriebe,
Schub in der industriellen Revolution 19. Jh*

*Erste Erzeugung elektromagnetischer
Wellen durch Heinrich Hertz 1888*



Kommunikation

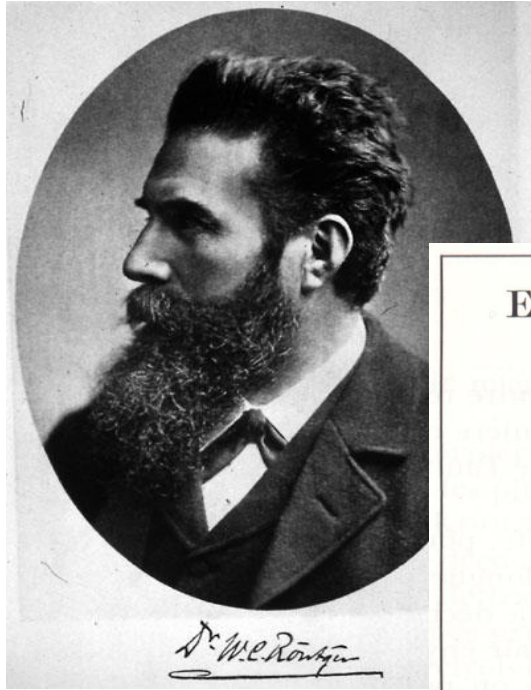


Vakuumpipeline zum erstmaligen Nachweis
der Elektronen durch J.J. Thompson 1897

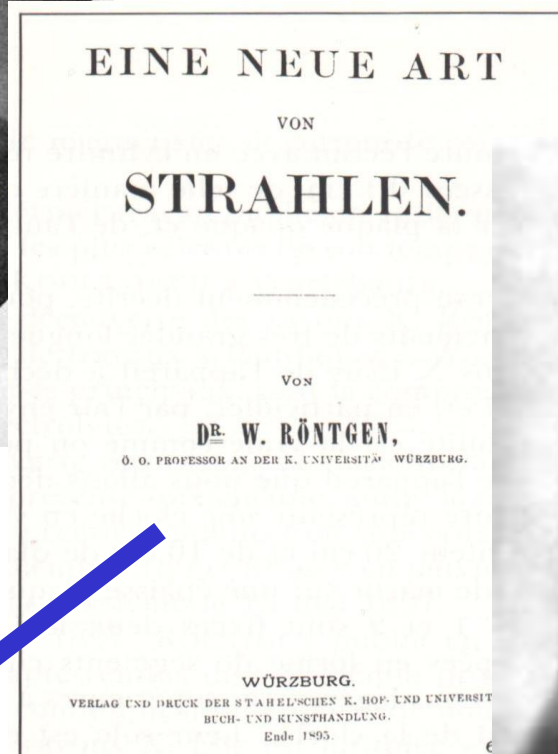
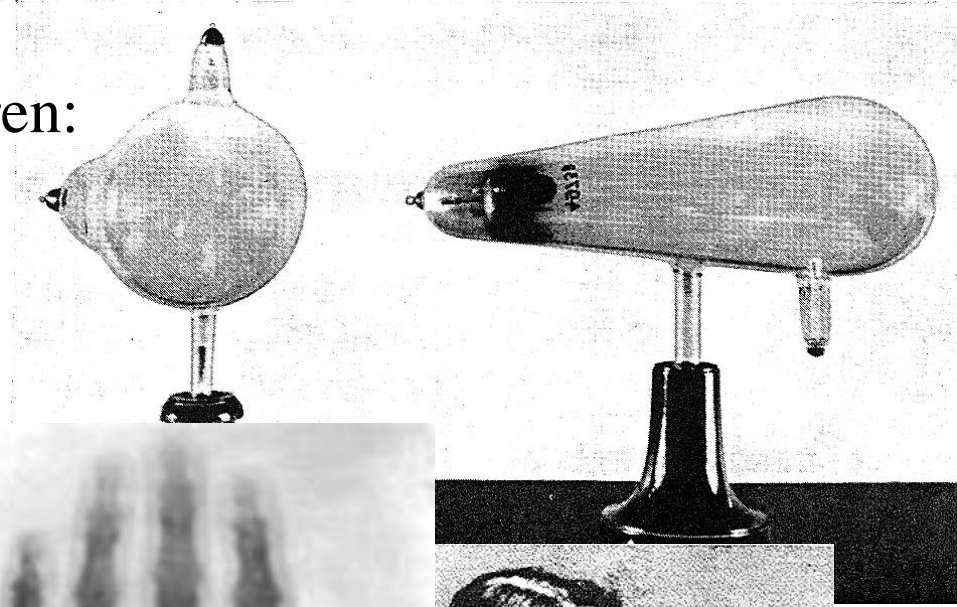


Beschleuniger, Kern- und Elementarteilchenphysik

Unsichtbare, durchdringende Strahlen:



Erste Röntgenröhren:



1895



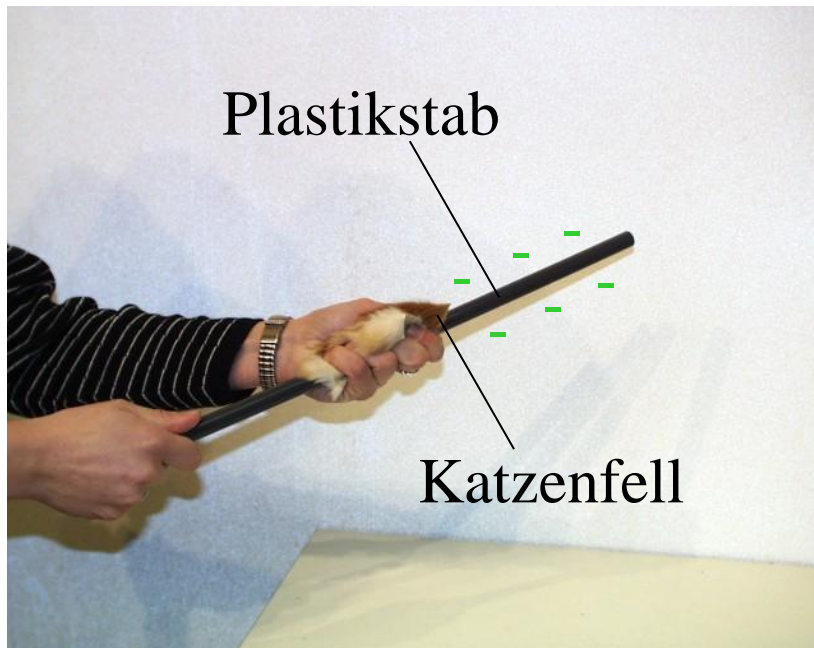
Medizin, Festkörperphysik, Materialwissenschaften

Experimente zur Elektrostatik

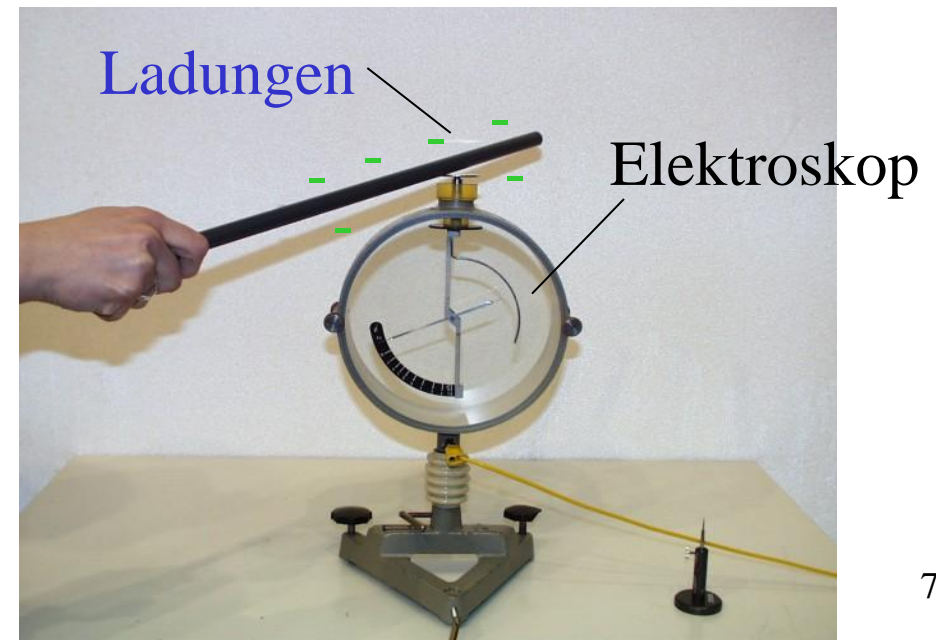
Üblicherweise sind Gegenstände elektrisch neutral. Durch mechanische Reibung können sich neutralisierende Ladungen getrennt werden:

Reibungselektrizität

etwa: Katzenfell (+) / PVC-Stab (-)
Leder (-) / Glasstab (+)



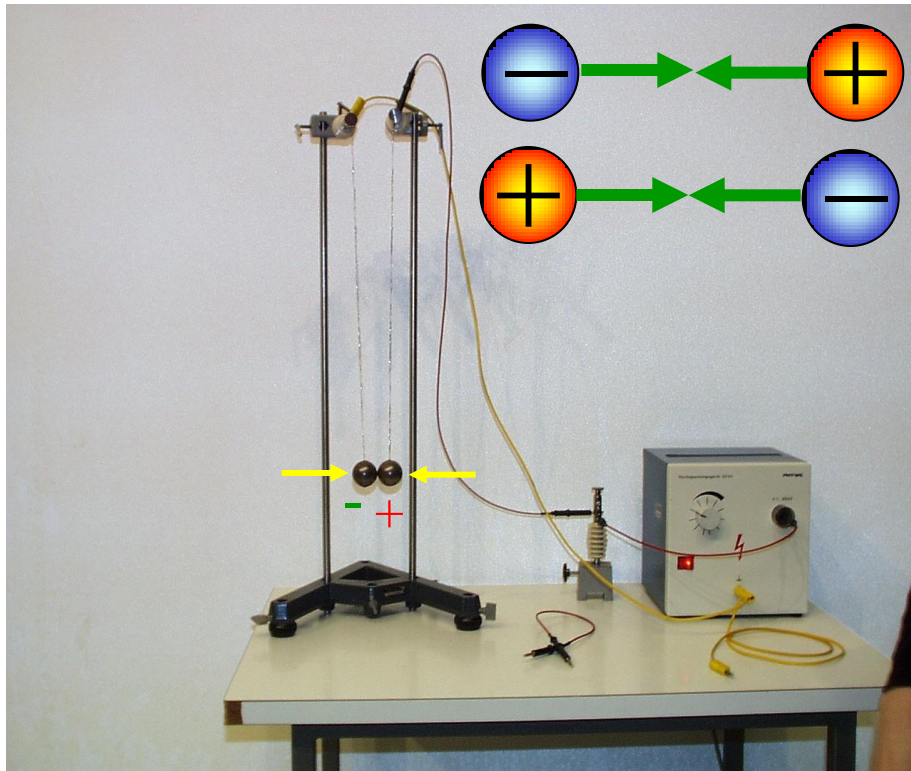
Der Nachweis von Ladungen findet über ihre Kraftwirkung statt. Berührt man mit dem Stab ein Metall (Leiter elektrischer Ladung) fließen die Ladungen vom Stab in das Metall und laden es auf (Nachweis z.B. durch Elektrometer). Den Vorgang kann man wiederholen und dadurch die Ladungen akkumulieren.



q_1, q_2 können beide Vorzeichen haben !

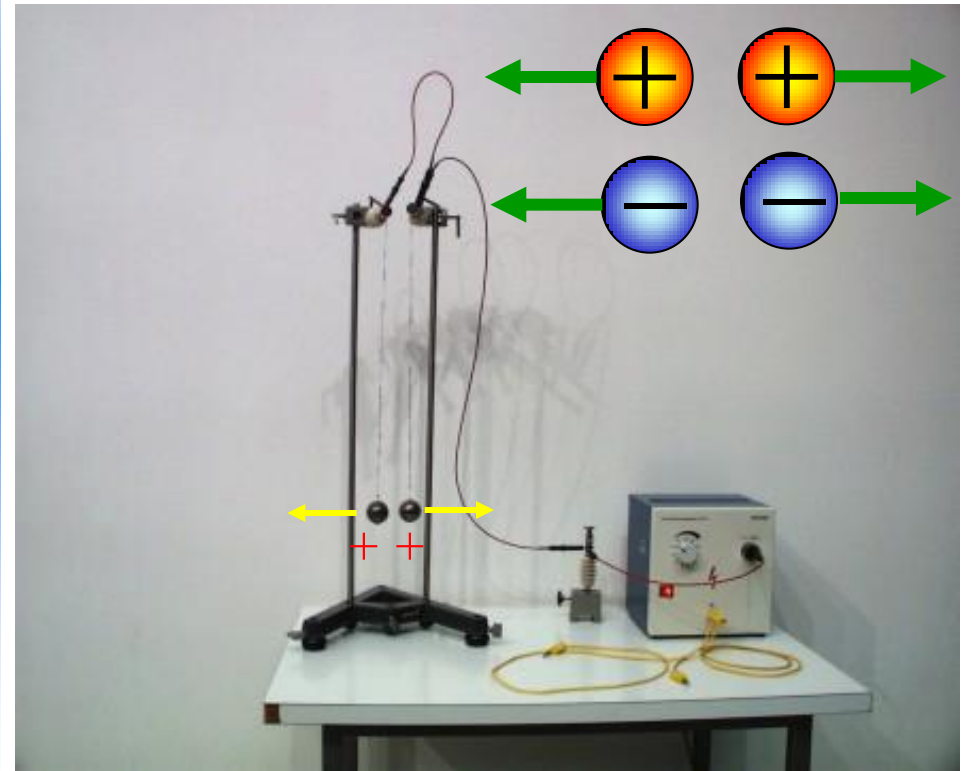
$q_1 \cdot q_2 > 0$ abstoßende Wirkung

$q_1 \cdot q_2 < 0$ anziehende Wirkung



Anziehung ungleicher Ladungen

Ladungen üben aufeinander Kräfte aus. Je nach Art der Ladungen ziehen sie sich an oder stoßen sich ab. Es gibt also zwei Arten von Ladungen.



Abstoßung gleicher Ladungen

Ladung und elektrostatische Felder

Existenz der Ladung:

1747 Benjamin Franklin: 2 Vorzeichen

1778 Lichtenberg: +/- für Eigenschaft der Materie, die

- additiv ist (also stofflich)
- im abgeschlossenen System erhalten ist

In makroskopischer Welt und für freie Elementarteilchen ist die Ladung quantisiert:

$$Q = n \cdot e \quad \text{oder} \quad q = n \cdot e$$

$$\text{mit} \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

$$e = 1.602189 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Elementarladung

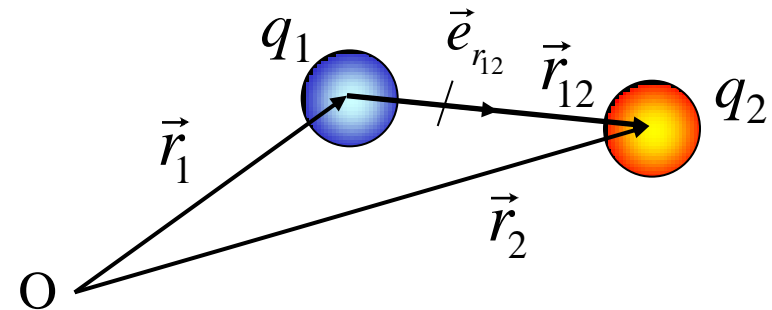
SI-Einheit der Ladung:

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

$$1 \text{ Amperesekunde} = 1 \text{ As} \quad (\text{siehe unten})$$

Coulomb-Gesetz

Zwei geladene Teilchen üben Kräfte aufeinander aus. In Analogie zur Gravitation gilt das **Coulombsche Gesetz**



$$\vec{F}_2(\vec{r}_2) = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{\vec{r}_{12}^2} \cdot \vec{e}_{r_{12}} \quad \text{mit} \quad |\vec{e}_{r_{12}}| = 1$$

$$\vec{F}_1(\vec{r}_1) = -\vec{F}_2(\vec{r}_2) \quad k = \text{Konstante} > 0$$

a) $k=1$ und dimensionslos

$$\vec{F} = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \cdot \vec{e}_r \quad \text{mit} \quad |\vec{e}_r| = 1$$

Gaußsches Maßsystem !

Verbreitet im Bereich der Theoretischen Physik

b) SI-System, Ladung hat eigene Dimension

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

Die Konstante k ist dann nicht mehr dimensionslos. Es gilt

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8.9876 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$$

mit der **Dielektrizitätskonstanten** des Vakuums

$$\epsilon_0 = 8,854188 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}$$

und damit gilt:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \cdot \vec{e}_r \quad \text{mit} \quad |\vec{e}_r| = 1$$

Vergleicht man die Kräfte von zwei Einheitsladungen ($q = 1 \text{ C}$) und von zwei Einheitsmassen ($m = 1 \text{ kg}$) aufeinander, so folgt:

$$\frac{F_C}{F_G} = \frac{\gamma}{4\pi\epsilon_0} = 1,35 \cdot 10^{20}$$

und im Atom (Elektron um Proton im Abstand r)

$$\frac{F_{\text{Coulomb}}}{F_{\text{Gravitation}}} = \frac{F_C}{F_G} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \gamma m_e m_p} \sim 10^{40}$$

Elektrostatisches Feld:

Wie bei der Gravitation können wir auch hier den Begriff eines Feldes einführen. Eine Ladung Q erzeugt in ihrer Umgebung ein elektrisches Feld E . Eine Probeladung q erfährt dann in diesem Feld die Kraft F .

$$\vec{F}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q \cdot Q}{r^2} \vec{e}_r$$

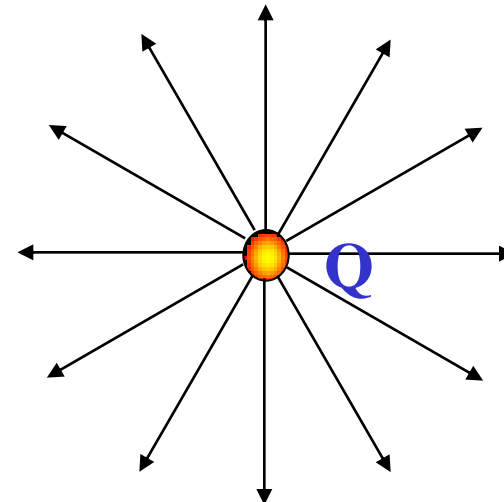
$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \vec{e}_r$$

$$\vec{F}(\vec{r}) = q \cdot \vec{E}(\vec{r})$$

Auch das elektrische Feld E ist also ein Vektorfeld.

Beispiel: E-Feld einer Punktladung Q
im Ursprung

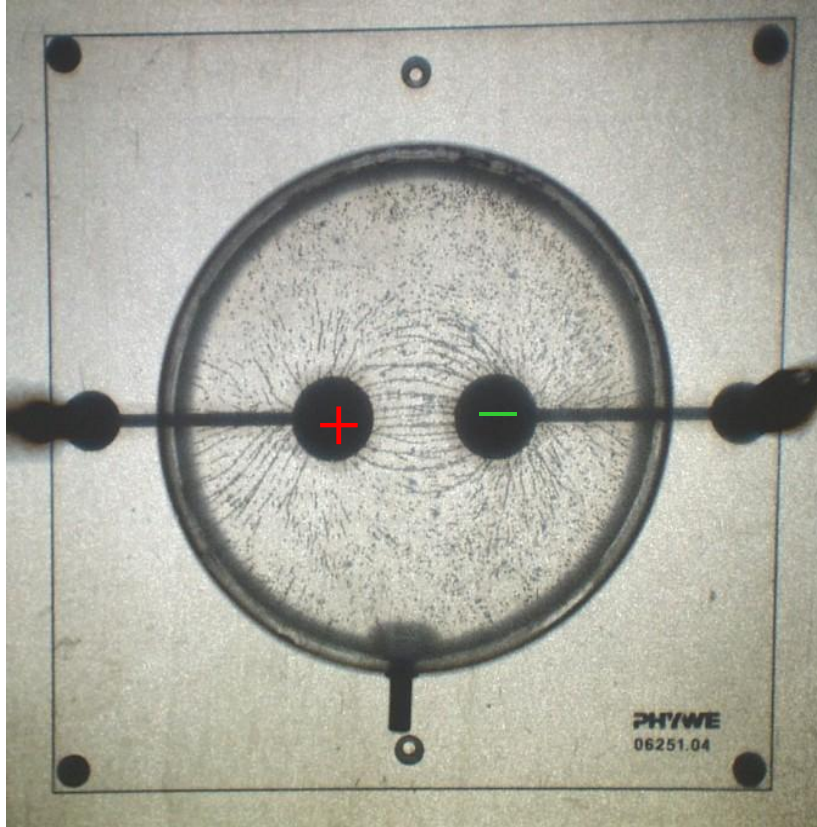
$$E(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2} \cdot \vec{e}_r \sim \frac{1}{r^2}$$



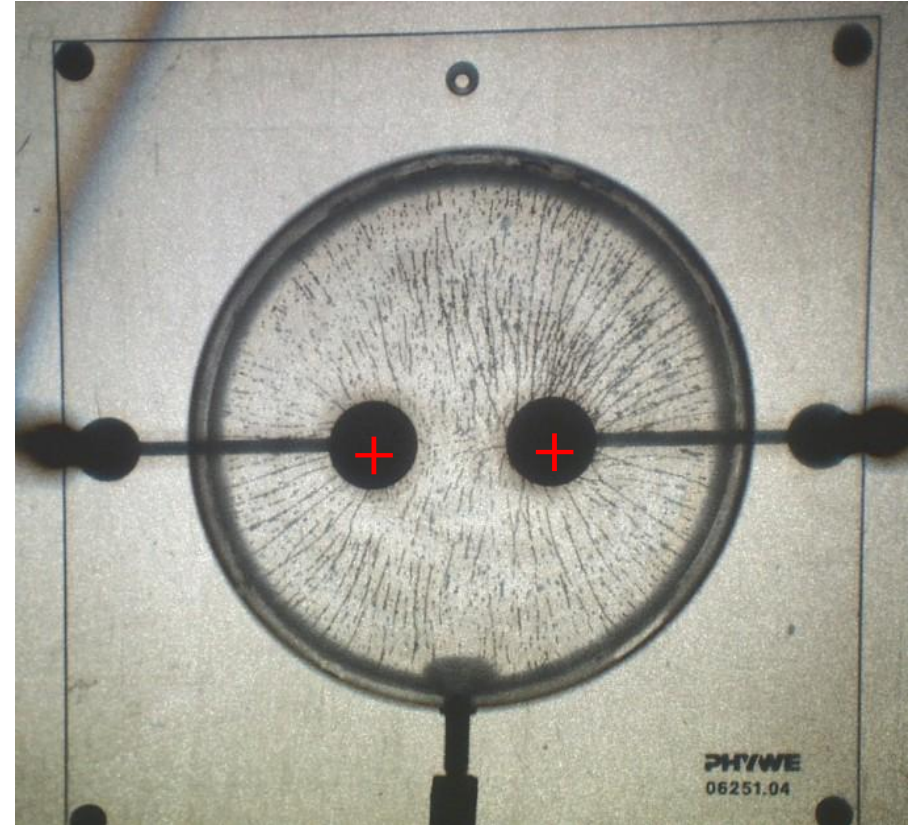
Einheit E
 $1 \text{ N/C} = 1 \text{ V/m}$

„Quellen und Senken des elektrostatischen Feldes E sind die Ladungen. Quellen des Feldes (der Feldlinien) sind die positiven, Senken des Feldes (der Feldlinien) die negativen Ladungen“

Experimente: elektrische Feldlinien



ungleichnamige Ladungen



gleichnamige Ladungen

Gries in Rizinusöl: Durch Polarisierung der Ladungen im E-Feld ordnen sich die Teilchen entlang der Richtung der Kraft (d.h. entlang des E-Feldes). Abstand der E-Feldlinien zueinander als Maß für Stärke des Feldes.