Experimentalphysik für Biologie/Chemie II WS 10/11

Stoff dieses Vorlesungsteils:

Einführung und Elektrostatik (3 Vorlesungen)

Elektrischer Strom und Widerstand (1 Vorlesung)

Magnetismus (1 Vorlesung)

Elektrodynamik (2 Vorlesungen)

Wellenoptik (2-3 Vorlesungen)

Polarisationsoptik (1 Vorlesung)

Geometrische Optik (2 Vorlesungen)

• Grundlagen der Quantenmechanik (4 Vorlesungen)



Madame 100000 Volt

Elektrische Ladung und Feld

Warum Elektrizitätslehre?

Masse kann gesehen, gefühlt, ertastet, etc. werden. Für die elektrische Ladung existiert keine direkte Beobachtungsmöglichkeit, wir erkennen ihre Existenz nur indirekt durch die Wirkungen, die sie verursacht.

Diese Wirkungen sind essentiell für unser Leben

- Nervenleitung: kompliziertes Wechselstromnetzwerk (L.Galvani 1780)
- elektronische Geräte (PC, Laborgeräte...)
- Handy: drahtlose Nachrichtenübermittlung (elektromagnetische Wellen)
- ► Elektromotor: Beispiel für elektrische Maschinen
- Fische: Orientierung, Jagd (südamerikanische Zitteraal: 600V, 1A)
- ▶ Die Wirkung der elektrischen Ladung war bereits den Griechen bekannt (ohne dass von ihnen die Ursache dafür erkannt wurde).
 - Geriebener Bernstein (griechisch ελεκτρον=elektron)
 zieht kleine Gegenstände an
 (Thales von Milet, 625 v. Chr.-547 v.Chr.)



Warum Elektrizitätslehre?



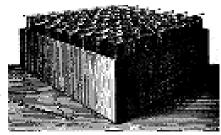
http://www.polarimage.fi/video/vidAuro.htm

Geschichte - Anfänge

- ► William Gilbert (1544-1603): Leibarzt der Königin Elisabeth I., sein Meisterwerk, *De Magnete* erschien im Jahre 1600 in London, in dem er die Erscheinungen des Magnetismus darlegt. In diesem Werk wird die Erde selbst als großer Magnet beschrieben.
- ▶ Otto von Guericke (1602-1686): Der Magdeburger Bürgermeister ist noch heute bekannt durch sein Buch Neue Magdeburger Versuche über den leeren Raum. Er sieht die an der Schwefelkugel beobachteten anziehenden (elektrischen) Kräfte auch als Ursache für die beschriebenen anziehenden Kräfte im Kosmos.
- ► Francis Hauksbee (gest. ca 1713): Im Jahre 1709 entdeckte der englische Instrumentenmacher Francis Hauksbee, ein Freund Newtons, dass, wenn man ein wenig Quecksilber in das Glas eines Von-Guericke-Generators tat und die Luft herauspumpte, das Glas zu glimmen anfing sobald man Ladung aufbrachte und die Hand darüber hielt. Das Glimmen war hell genug, um dabei zu lesen. Ohne es zu wissen, hatte er das Neonlicht erfunden.
- ► Ewald Jürgen von Kleist (1700-1748): Entdeckte 1745 die verstärkende Wirkung der Flasche, die kurz darauf von dem Leydener Professor der Experimentalphysik, Petrus von Musschenbroek ebenfalls gefunden wurde. Dieser erste elektrische Kondensator wurde als Leydener Flasche bekannt.





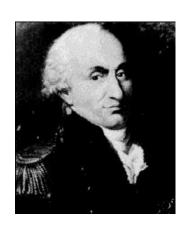


Geschichte - Coulombgesetz

- ▶ Johann Heinrich Winkler (1703-1770): Er ließ Glasröhren zu Buchstaben biegen, pumpte sie leer und erzeugte in ihnen elektrisches Licht: Leuchtreklamen zu Lebzeiten Johann Sebastian Bachs!
- ▶ Benjamin Franklin (1706-1790): Mitschöpfer der amerikanischen Verfassung. Seine Experimente mit Reibungselektrizität führen zur Entdeckung der Spitzenwirkung. Franklin wird als Erfinder des Blitzableiters (1747) berühmt.
 - Joseph Priestley (1733-1804): Verfasste 1767 eine Geschichte der Elektrizität. Priestley formulierte die Vermutung, dass die elektrischen Kräfte ebenso wie die Gravitation einem inversen Quadratgesetz gehorchen müssten.
- Charles Augustin de Coulomb (1736-1806): Der französische Ingenieur veröffentlichte 1784 das Gesetz für die Torsion eines dünnen Drahtes, dass der Auslenkungswinkel proportinal zum wirkenden Drehmoment und umgekehrt proportinal zur vierten Potenz des Drahtdurchmessers ist und konstruierte eine empfindliche Drehwaage. Mit diesem Gerät gelang ihm 1785 der Nachweis des "quadratischen Abstandsgesetzes" für die Abstoßungskraft von Ladungen.







Geschichte 3

- Luigi Galvani (1737-1798): Der Professor der Anatomie in Bologna entdeckte 1780, dass die Schenkel eines sezierten Frosches zu zucken begannen, wenn eine Elektrisiermaschine in der Nähe betätigt wurde.
- ► Georg Christoph Lichtenberg (1742-1799):
 Lichtenberg baute den mit nahezu 2m Durchmesser
 größten bekannten Elektrophor. Mit diesem Instrument
 ließen sich Funken von 40cm Länge erzeugen. 1777
 entdeckt er in dem feinen Staub auf dem "Kuchen"
 seines Elektrophors sternförmige Muster, die nach ihm
 benannten Lichtenbergfiguren. Er war es, der für die
 beiden Arten von Elektrizität die mathematischen
 Symbole "Plus" und "Minus" einführte.
- Physik in Pavia, hörte 1792 von Galvanis Experimenten und stellte eigene Versuche mit der von verschiedenen Metallen ausgehenden Elektrizität an. Anhand der Intensität der Geschmacksempfindung, die verschiedene Metallkombinationen an seiner Zunge hervorrufen, kann er die Metalle in eine Spannungsreihe einordnen. 1799 stellt er seine bedeutendste Erfindung, die Voltasäule, den Urtyp aller elektrischen Batterien, vor.







Grundaussagen der Elektrostatik

- (1) Es gibt <u>zwei Arten von elektrischen Ladungen</u> (bezeichnet als "positiv" und "negativ", da sie einander neutralisieren können)
- (2) Gleichnamige Ladungen stoßen einander ab, ungleichnamige ziehen einander an.
- (3) Ladung bleibt im abgeschlossenen System erhalten.

Leiter - Isolator

Stoffe unterscheiden sich in ihrer Fähigkeit elektrische Ladungen zu transportieren

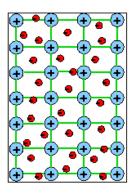
hier: zunächst im wesentlichen Festkörper

- Elektrische Leiter:
 - ► In Leitern sind die Elektronen (fast) frei beweglich.
 - ▶ Beispiele
 - alle Metalle wie Cu, Fe, Al, Au
 - Metalllegierungen wie Konstantan, Nickelin



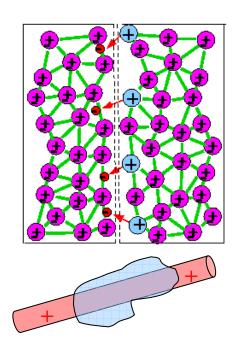


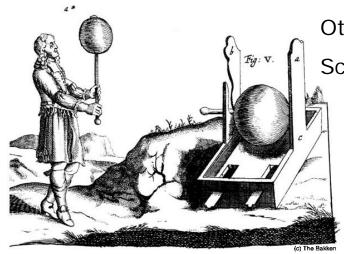
- ▶ Beispiele: viele komplizierte chemische Verbindungen wie
 - Keramiken
 - Bernstein
 - Plexiglas
 - Katzenfell
 - Papier
- Die Erde selbst ist ein relativ guter Leiter!



Erzeugung elektrischer Ladungen

- Erzeugung von elektrischer Ladung
 - ▶ Durch enge Berührung (Reibung) von zwei Nichtleitern werden Elektronen von den Atomen des einen gelöst (diese Atome werden also ionisiert) und haften, weil energetisch günstiger, an Plätzen zwischen den Atomen des anderen. Man erhält zwei Isolatoren mit einem Überschuss an Elektronen auf der Oberfläche des einen, und einem Defizit an Elektronen, d.h. einem Überschuss an positiven Ionen, auf der Oberfläche des anderen.

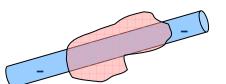




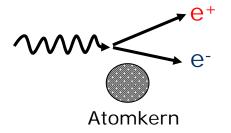
Otto von Guericke (1663) Schwefelkugel auf Tuch

Ladungsvorzeichen

- Es gibt zwei Ladungstypen
 - positive Ladung auf dem Stab wird z.B. durch folgende Kombinationen erzeugt
 - ▶ Plexiglas + Baumwolle
 - ▶ Plexiglas + Papier
 - ▶ Glas+Baumwolle
 - negative Ladungen auf dem Stab ergeben sich bei
 - ▶ Plexiglas + Katzenfell
 - ▶ Bernstein + Baumwolle
 - ▶ Teflon + Baumwolle



- Es gibt zwei unterschiedliche Arten von Ladungen:
 - positive (+) und negative (-)
 - positive und negative Ladungen können sich neutralisieren
 - Die Gesamtladung in einem abgeschlossenen System bleibt erhalten
 - ▷ neutrales Atom → positives Ion & Elektron
 - Paarbildung: Photon → Elektron & Positron
 - ▷ 2 neutrale Moleküle → pos. Ion & neg. Ion



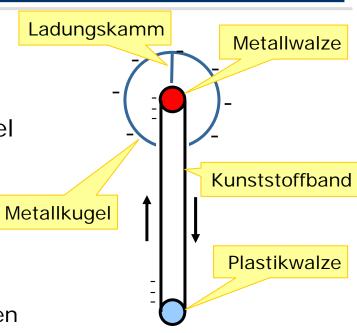
Van de Graaff Generator

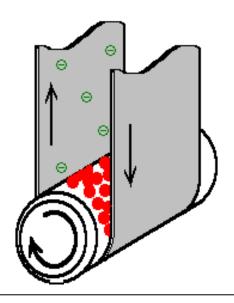
Durch Reibung an der Erregerwalze (Isolator) wird auf dem Band (meist) negative Ladung erzeugt

Metallkamm im Inneren der Metallkugel streicht (negative) Ladung vom Band auf Innenseite

- Typischer Labor-Generator
 - Maximale Spannung 130 kV
 - Maximaler Strom 10μA
 - Für Mensch gefährliche Stromstärken>25 mA

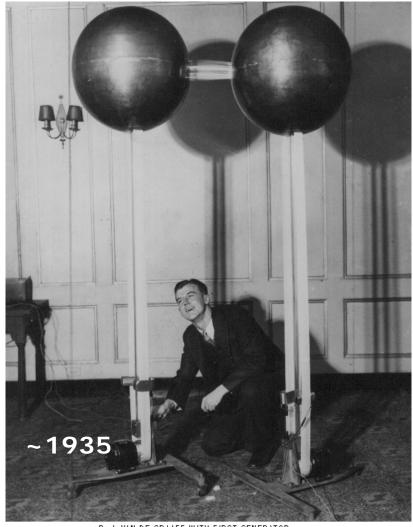






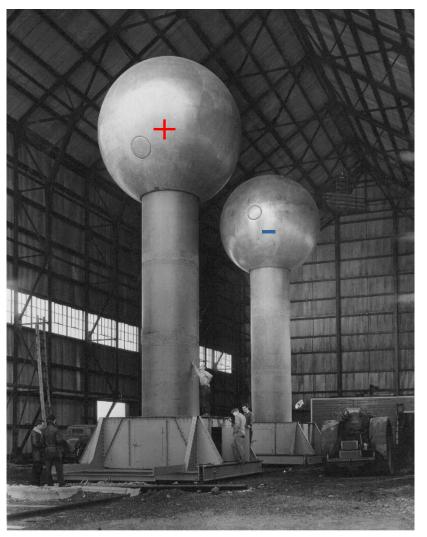
Van de Graaff Generator

► Robert J. van de Graaff (1931)





MIT Museum all rights reserved

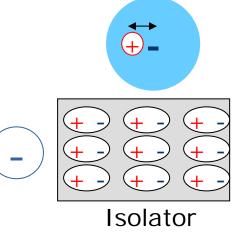


AT ROUND HILL, FINAL STAGE OF CONSTRUCTION

@MIT Museum All rights reserved

Nachweis von Ladungen

- Der Nachweis der Ladung erfolgt durch ihre Wirkung
 - Wirkung ergibt sich aus den Kräften, die von Ladungen ausgehen und auf andere Ladungen wirken.
 - Man unterschiedet zwei Typen
 - ▶ elektrische Kräfte werden von allen Ladungen erzeugt, unabhängig davon, ob sie ruhen oder sich bewegen.
 - magnetische Kräfte werden durch bewegliche Ladungen erzeugt
- Nachweis der Kraftwirkung
 - Ein geriebener Plexiglasstab zieht Papierschnitzel an.
 - Papier ist ein Nichtleiter, die Kraftwirkung wird verursacht durch die Ladungen auf dem Plexiglas, die die Atome in dem Papier polarisieren.
 - Das Atom ist polarisiert, wenn der Ladungsschwerpunkt der Elektronenhülle nicht mehr mit dem des Atomkerns übereinstimmt. Bei Isolatoren werden Elektronen nur innerhalb des Atoms verschoben. Bei Leitern sind Elektronen frei verschiebbar (Influenz).
 - Kraftwirkung ohne Rücksicht des Vorzeichens

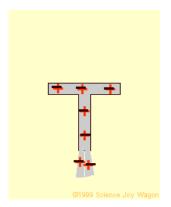




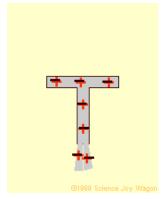
Leiter

Messung von Ladungen

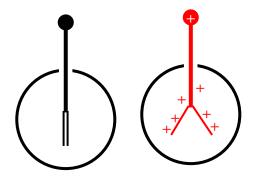
- Messung der Ladung
 - Blatt-Elektrometer (Elektroskop)
 - Ladung auf die schwarze, neutrale Kugel gebracht
 - ⇒ die leitend mit der Kugel verbundenen beweglichen Blätter spreizen
 - Gewichtskraft wirkt abstoßenden Kraft gleicher Ladungen entgegen.



vor Berühren: Influenz, Gesamtladung auf Elektroskop 0



nach Berühren: Ladung geht auf Metall über





Ladung ist nachweisbar und messbar!

Grundaussagen der Elektrostatik

(4) Ladung ist gequantelt. Dass heißt sie existiert (in der direkt beobachtbaren Natur) nur als ganzzahliges Vielfaches der Elementarladung

$$e = 1.602 \ 176 \ 462(63) \cdot 10^{-19} \ C \ (Coulomb)$$
 bzw. $e = 4.77...$ $\cdot \ 10^{-10} \ elektrostatische Einheiten$

- → Klassischer Nachweis mittels Millikan Versuch
- → Die wichtigen Elementarteilchen Elektron und Proton tragen jeweils eine positive, bzw. negative Elementarladung.
- → Dem Absolutbetrag nach sind die Ladungen von Elektron und Proton "exakt" gleich (nachgwiesen mit einer Genauigkeit von besser als Teilen in 10²0).

Milikan Versuch (Nobelpreis 1923)

