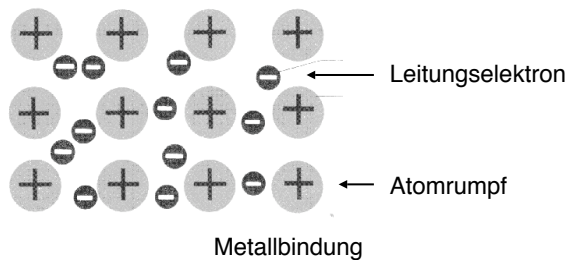


2. Elektrische Ladungen – eine kurze Einführung in die Elektrostatik

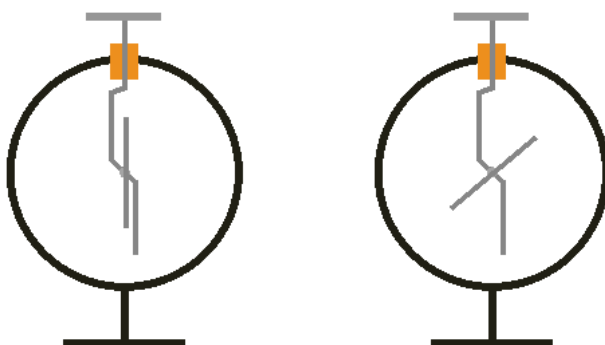
Grundbegriffe

- 3 **i** Die rechts aufgeführten Begriffe sind Ihnen aus dem **Chemieunterricht** bekannt. Sie werden im Unterricht – wenn nötig – kurz repetiert.

In einem **Praktikum** haben Sie Grundversuche zur Elektrostatik durchgeführt. Die dort gemachten Beobachtungen werden nun als bekannt vorausgesetzt.



- 4 **?** Halten Sie die **Begründungen** für die Sätze und Gesetze im zweiten Kasten fest.
- Welches sind fundamentale Gesetze der Natur und deshalb nicht weiter beweisbar?
 - Welcher Satz ist bei **Isolatoren** erklärbar durch Bildung **elektrischer Dipole**, resp. durch **elektrische Polarisation**?
 - Welcher Satz ist bei **Leitern** erklärbar durch **elektrische Influenz**?
- 5 **📖** Die Ausführungen zu **4** erlauben die Erklärung des **Elektroskops**, eines Messinstrumentes zum Nachweis elektrischer Ladungen.



- 6 **📖** Protokollieren Sie die Versuche zur Auf- und Entladung eines **metallischen Hohlkörpers**.

Halten Sie ebenso die Ausführungen fest, die zu den Anwendungen gemacht werden: **Faradaybecher**, **Faradaykäfig**, **Van-de-Graaf-Generator**.

Ziele dieses Kapitels

- Sie haben eine bildhafte (Modell-) Vorstellung von geladenen Körpern und den Prozessen bei elektrischer Polarisation und elektrischer Influenz.
- Sie können mit dem Elektroskop umgehen.
- Sie kennen das Coulombgesetz und können es in verschiedenen Situationen anwenden um Ladungen und Kräfte zu berechnen.

Atommodell: Ein elektrisch positiv geladener Atomkern ist umgeben von einer elektrisch negativ geladenen Elektronenhülle.

Isolator: Alle Elektronen sind an die Atomkerne gebunden.

Elektronen-Leiter: Die Valenzelektronen (Leitungselektronen) sind zwischen den festplatzierten Atomrümpfen frei beweglich und bilden das Elektronengas. (Metallbindung)

Ionen-Leiter: Positiv oder negativ geladene Ionen sind in einer Flüssigkeit oder in einem Gas frei beweglich.

Halbleiter: Einzelne Valenzelektronen werden erst bei genügend hoher Temperatur beweglich. Isolator bei tiefer Temperatur, Leiter bei hoher Temperatur.

neutraler Körper: Anzahl positive Ladungen = Anzahl negative Ladungen

positiv geladen: Mangel an Elektronen

negativ geladen: Überschuss an Elektronen

Reibungselektrizität (resp. "**Kontaktelektrizität**", gibt es nur bei Isolatoren): Reibt man z.B. einen Hartgummistab mit Wolle, so wird dieser positiv geladen.

In einem abgeschlossenen System ist die Gesamtladung konstant.


Gleichnamige Ladungen stoßen sich ab.

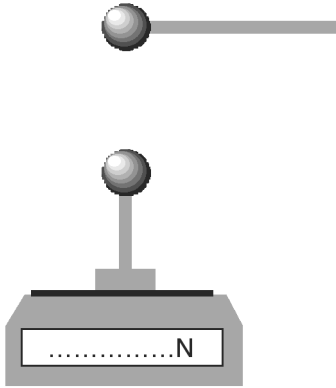
Ungleichnamige Ladungen ziehen sich an.

Geladene Körper ziehen neutrale an.

Für elektrisch geladene Leiter gilt:

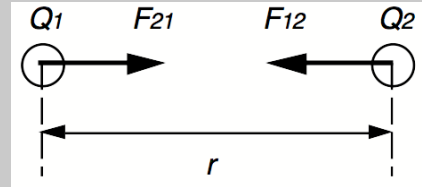
Das Coulombgesetz

7  Beschreiben Sie kurz das Experiment, mit welchem wir die Gültigkeit des **Coulombgesetzes** plausibel machen wollen.



Das Coulombgesetz

$$F_C = konst \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$




konst =


Wechselwirkungsgesetz: $F_C = F_{12} = F_{21}$

Im gezeichneten Beispiel sind zwei ungleichnamige Ladungen gewählt worden.


Die Einheit der elektrischen Ladung

8  Mit Hilfe des Coulombgesetzes hat man eine Möglichkeit zur Definition der Einheit für die elektrische Ladung gewonnen. (Siehe Kasten)


Bestimmen Sie auf Grund dieser Definition den Wert der Konstanten *konst* im Coulombgesetz und ergänzen Sie den oberen Kasten mit dem Ergebnis.

9  Wie gross schätzen Sie die Ladungsmengen ein, welche in den Versuchen zur **Reibungselektrizität** im Spiel sind?

Mit der Versuchsanordnung zu **7** und dem Coulombgesetz lässt sich die Größenordnung dieser Ladungsmengen ausrechnen. Protokollieren Sie.

10  Diese Aufgabe macht Ihnen bewusst, dass eine Ladungsänderung immer auch eine Massenänderung bedeutet.

- b) Wie und um wie viel ändert sich die Masse eines Körpers, wenn dessen elektrische Ladung um eine **Elementarladung** $+e$ vergrößert wird? (Die Antwort ist leicht zu finden, wenn Sie sich vorstellen können, wie man die elektrische Aufladung des Körpers im Prinzip vornehmen muss.)
- c) Um welchen Betrag ändert sich die **Masse** eines Körpers, wenn die Ladung um $-2 \mu\text{C}$ verändert wird?

11  Eine Ladung $Q_1 = 1 \text{ C}$ hat den (Mittelpunkts-) Abstand $r = 1 \text{ m}$ von der Ladung $Q_2 = 10^{-10} \text{ C}$.

- a) Wie gross ist die Kraft auf die Ladung Q_2 ?
- b) Wie gross ist die Kraft auf Q_1 ?

Die Einheit der physikalischen Grösse elektrische Ladung heisst Coulomb (C).

Zwei Ladungen von je 1 C in 1 m Entfernung üben aufeinander eine Kraft von $9 \cdot 10^9 \text{ N}$ aus.



Beispiele von elektrischen Ladungen:

Elementarladung	$e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Laborversuche zur Reibungselektrizität	$Q \approx \dots\dots\dots$
Blitz	$Q \approx 1 \text{ C} \dots 10 \text{ C}$









Coulomb fand das nach ihm benannte Gesetz 1785

Eine Analogie

- 12**  Wir stellen die Analogien zwischen dem **Coulombgesetz** und dem **Gravitationsgesetz** (und vielleicht auch zur **Lichtausbreitung**) zusammen.
- 13**  Der Abstand zweier Protonen im **Atomkern** beträgt ca. 10^{-15} m. Ein Proton trägt die positive Elementarladung von $1.6 \cdot 10^{-19}$ C und hat die Masse $1.67 \cdot 10^{-27}$ kg. Vergleichen Sie die abstossende Coulombkraft mit der anziehenden Gravitationskraft. Welche Schlüsse ziehen Sie aus dem Vergleich?

Übungen

- 14**  Erklären Sie die Festigkeit eines **Ionenkristalls** (z.B. NaCl) mit Hilfe des Coulombgesetzes. (Beachten Sie die Skizze rechts.)
- 15**  58.5 g Kochsalz (1 mol NaCl) enthalten je $6 \cdot 10^{23}$ Na⁺- und Cl⁻-Ionen. Wir nehmen nun an, dass man die Na⁺- und Cl⁻-Ionen **von 1 mol Kochsalz** trennen und separat anhäufen könne. Wie gross wäre dann die Kraft, welche das Na⁺-Ionen-Häufchen auf das Cl⁻-Ionen-Häufchen ausüben würde, wenn die Häufchen 10 km weit voneinander entfernt sind? Kommentar zum Resultat?
- 16**  Zwei **gleich grosse Kügelchen** sind mit 30 nC und -20 nC aufgeladen.
- Wie gross ist die Anziehungskraft bei 10 cm Mittelpunktsabstand?
 - Die Kügelchen werden in Berührung gebracht. Danach sind beide Kügelchen gleich geladen. Welche Ladung tragen die Kügelchen?
 - Welche Kraft üben die Kügelchen nun bei wiederum 10 cm Mittelpunktsabstand aufeinander aus?
 - Wie viele Elektronen gelangen bei der Berührung von einem Kügelchen auf das andere?
- 17**  Man habe zwei elektrisch geladene Körper und ein Elektroskop. Wie kann man mit Hilfe dieses **Elektroskops** herausfinden, ob die Körper gleichnamig oder ungleichnamig geladen sind? Geben Sie (stichwortartig) die notwendigen Handlungen an.
- 18**  Beachten Sie zuerst das Zitat im Kasten aus Wikipedia.
- Berechnen Sie aus der Beschleunigung der Sauerstoffionen die ungefähre **Gesamtladung** der Erde.
 - Bestimmen Sie die **Gesamtmasse** jener Elektronen, die der Erdoberfläche ihre elektrische Ladung geben.
- 19**  Der Durchmesser eines **Wasserstoffatoms** beträgt $0.6 \cdot 10^{-10}$ m. Mit welcher Kraft wird das Elektron am Atomkern gehalten?

Das Gravitationsgesetz

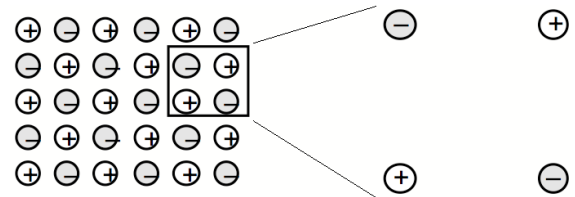
$$F_G = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

mit der Gravitationskonstanten

$$G = 6.67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$$

Folgerung aus der Aufgabe 13


Zu Aufgabe 14

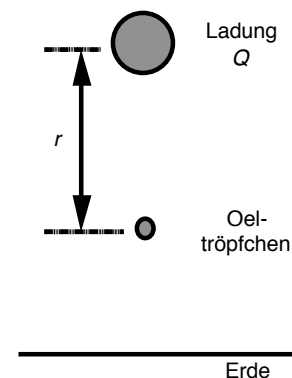


Die Erdoberfläche weist eine negative elektrische Überschussladung auf. Diese Überschussladung entsteht durch ionisierende Strahlung aus dem Weltraum (kosmische Strahlung, Sonnenwind). Dabei werden positiv ionisierte Teilchen in Richtung der Erde beschleunigt. Die negativ geladenen Teilchen werden von der Erde weg beschleunigt. In der Nähe der Erdoberfläche kann man etwa 10^3 Ionen je cm^3 feststellen. Die Atmosphäre enthält sowohl positive als auch negative Ionen, wobei jedoch die Anzahl der positiven Ionen überwiegt. Die Ionendichte nimmt mit der Höhe zu und hat ihr Maximum in der Ionosphäre.

Diese positive Raumladung bewirkt durch Influenz eine Konzentration negativer Ladung an der Erdoberfläche. Ionen werden durch die Erdladung – zusätzlich zur Schwerebeschleunigung – beschleunigt. Beispielsweise ist die Beschleunigung eines einfach positiv geladenen Sauerstoffions wegen der Erdladung etwa 80 Millionen mal so groß wie die lokale Schwerebeschleunigung.

Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Elektrostatisches_Feld_der_Erde

- 20 R** Ein kleiner **geladener Körper** mit der Ladung $Q_1 = 10^{-8}$ C ist an einem isolierenden Faden aufgehängt. Nun wird ein **zweiter Körper** mit der Ladung $Q_2 = -2.7 \cdot 10^{-7}$ C und der Masse $m = 2$ g genau unter den ersten Körper gehalten und freigegeben. Körper 2 wird dann entweder zum Körper 1 hin beschleunigt, oder er fällt auf die Erde. Bestimmen Sie die möglichen Abstände der beiden Körper, für welche der erste Fall zutrifft.
- 21 R** Nehmen wir frei erfunden an, die **Erde** inklusive Atmosphäre sei nicht elektrisch neutral, sondern habe **1000 kg Elektronen zu wenig**. Ebenso habe auch der **Mond** Elektronen zu wenig, sagen wir ebenfalls 1000 kg. Bleibt der Mond noch auf Umlaufbahn um die Erde?
- 22 R** Man habe zwei elektrisch geladene Körper und ein Elektroskop. Wie kann man mit Hilfe dieses **Elektroskops** (eindeutig!) herausfinden, ob die Körper gleichnamig oder ungleichnamig geladen sind? Geben Sie (stichwortartig) die notwendigen Handlungen an.
- 23 R** Zwei Punktladungen ($+5 \mu\text{C}$ und $-2.5 \mu\text{C}$) sind in einer Distanz von $r = 4$ m voneinander fest angebracht.
- Berechnen Sie die Coulombkräfte, die die beiden Ladungen aufeinander ausüben und zeichnen Sie die Kraftvektoren in der Skizze ein.
 - Nun kommt eine dritte positive Ladung ins Spiel. Gibt es in der Umgebung von Q_1 und Q_2 einen oder mehrere Punkte, an dem oder an denen sich die Kräfte von Q_1 und Q_2 auf diese positive Ladung aufheben? Zeichnen Sie die ungefähre Lage dieses Punktes oder dieser Punkte in der Skizze ein.
- 24 R** Sie haben sich bestimmt schon gefragt, wie man die Ladung der Elektronen bestimmen konnte. Eine berühmte Methode wurde von Herrn **Millikan** erfunden: Er beobachtete geladene Öltröpfchen zwischen horizontalen geladenen Platten. Trugen die Tröpfchen gerade die richtige Ladungsmenge, so schwebten sie zwischen den Platten, weil die Coulombkräfte die Gewichtskraft kompensierten. Das Grundprinzip dieses Versuches kann man an der rechts im Bild dargestellten, stark vereinfachten (und instabilen) Variante studieren. Zeichnen Sie beim schwebenden Tröpfchen alle Kräfte ein.
- Wenn das Tröpfchen den Durchmesser 0.072 mm und das Öl die Dichte 850 kg/m^3 hat, so beträgt die Tröpfchenmasse $1.527 \cdot 10^{10}$ kg. Bestimmen Sie die erforderliche **Tröpfchenladung** Q_T , um dieses bei $Q = 1.0 \cdot 10^7$ C und $r = 3.0$ cm in Schwebelage zu halten. Wie viele Elektronen sitzen in dann Beispiel auf dem Tröpfchen?
- 25**  Halten Sie unter dieser Nummer die Ergänzungen fest, die wir im Unterricht zu diesem Kapitel (vielleicht) gemacht haben.



Millikan fand durch sehr genaue Messung an sehr kleinen schwebenden Öl-Tröpfchen heraus, dass die Tröpfchenladung immer ein ganzzahliges Vielfaches einer bestimmten Ladung, nämlich $1.6 \cdot 10^{19}$ C, ist!

- Keine Ergänzungen
- Es gibt Ergänzungen, nämlich: