

# Elektrisches Feld

GK Physik 11/2

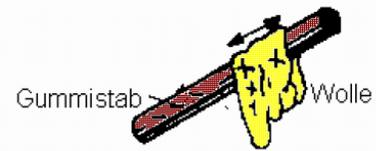
Stephie Schmidt

# Elektrische Ladungen

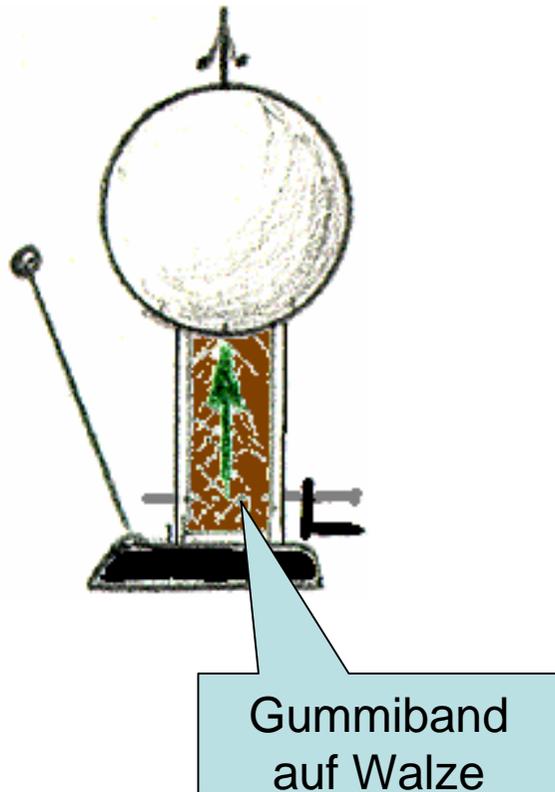
Altertum: geriebenes Stück Bernstein übte auf  
Wollfasern, Staubteilchen Anziehungskraft  
aus.

Auch andere Nichtleiter, wie Glas und Porzellan  
durch Reiben mit trockenem Papier;

Hartgummi und Kunstharze durch Reiben mit  
einem Wolllappen lassen sich elektrisch  
laden.



# Bandgenerator



**Beschreibung:** Durch die Reibung mit der Walze wird der Gummi positiv aufgeladen und wird durch eine zweite Walze auf die große Kugel geleitet.

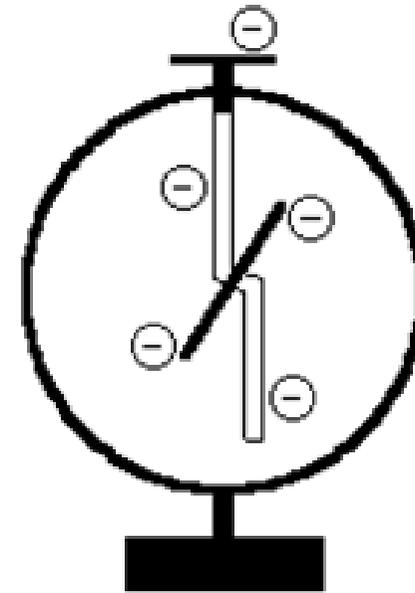
Die reibende Walze ist mit der kleinen Kugel verbunden und wird negativ geladen.

**Ladungen werden also in positive und negative Ladungen getrennt.**

# Nachweis von Ladungen

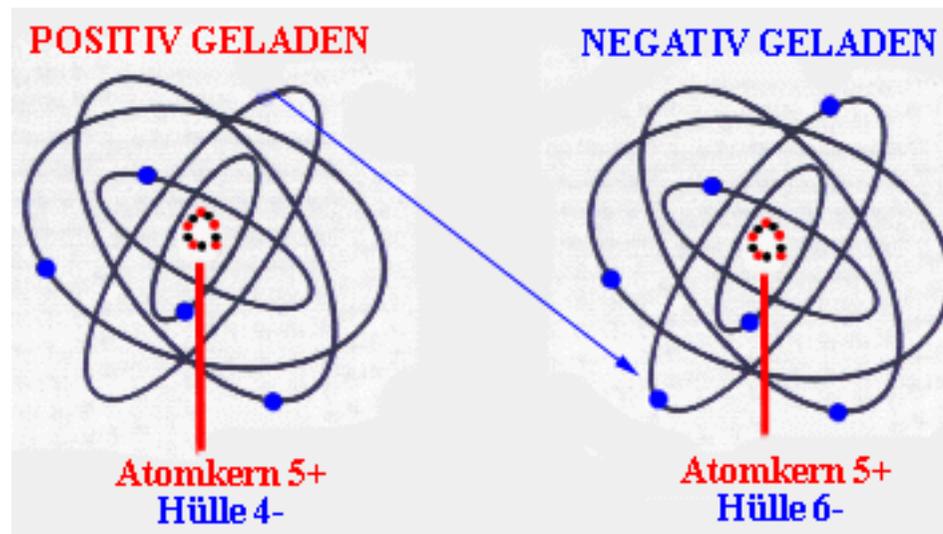
Zum Nachweis der elektrischen Ladung dient das **Elektroskop**. In einem geerdeten Gehäuse befindet sich eine vertikale Metallstange, an der ein beweglicher Zeiger befestigt ist. Wird die obere Platte mit einem negativen Ladungen in Verbindung gebracht, so verteilen sich die fließenden Elektronen auf dem Stab und Zeiger.

Da sich **gleichartige Ladungen abstoßen**, tritt der Zeigerausschlag ein. Je stärker die Ladung ist, desto stärker tritt der Zeigerausschlag auf.

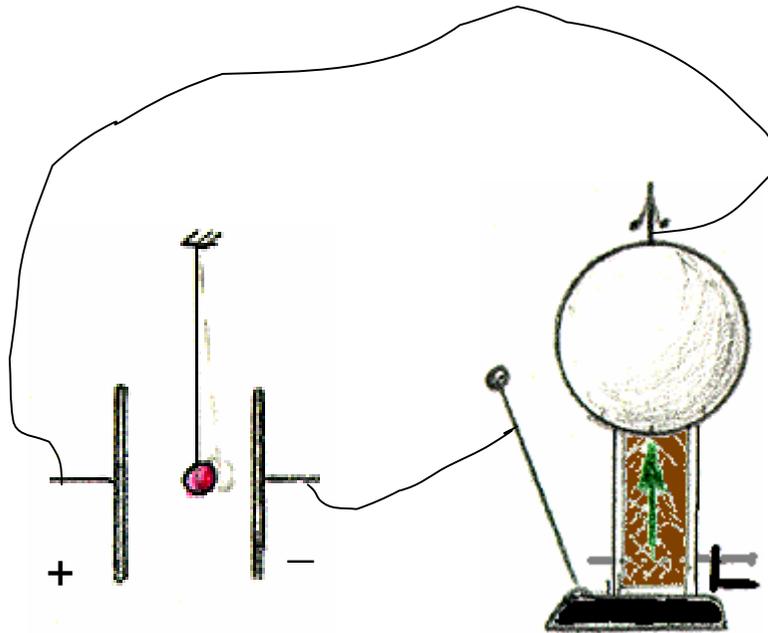


# Merke

- Positive Ladungen = Elektronenmangel
- Negative Ladungen = Elektronenüberschuss



# Ladungsbewegung



Kugel schwingt  
zwischen den 2 Platten.

Erklärung:

Gleiche Ladungen  
stoßen sich ab,  
ungleiche Ladungen  
ziehen sich an.

# Elektrische Ladungen

$$Q = N * e; e = \text{Elektron}$$

$$e = \text{Elementarladung} = 1,6 * 10^{-19} \text{ C}$$

$$Q = I * t; I = \text{Stromstärke}; t = \text{Zeit}$$

Die elektrische Ladung gibt an, wie groß sein Elektronenüberschuss bzw. Elektronenmangel ist.

# Coulomb'sches Gesetz

$$F = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{4\pi\epsilon_0 \epsilon_{rel} \cdot r^2}$$

$Q_1$  und  $Q_2$  zwei Punktladungen (in Coulomb),  
 $r$  den Abstand der als punktförmig angehenden Ladungen  $Q_1$   
und  $Q_2$  (in Metern),

$\epsilon_0$  die Dielektrizitätskonstante

$$\epsilon_0 = 8,854187817 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}} \quad (\text{As/Vm})$$

$\epsilon_{rel}$  ist die relative Permittivität

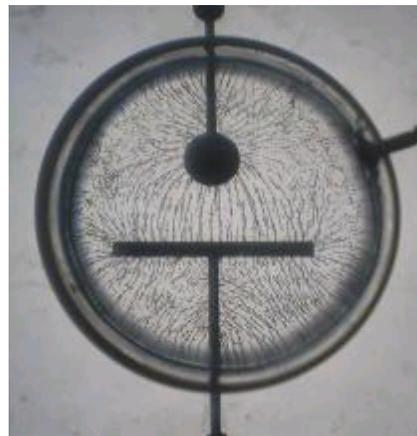
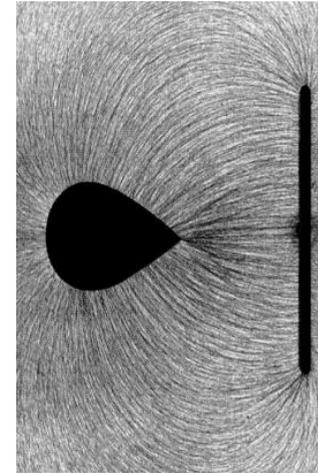
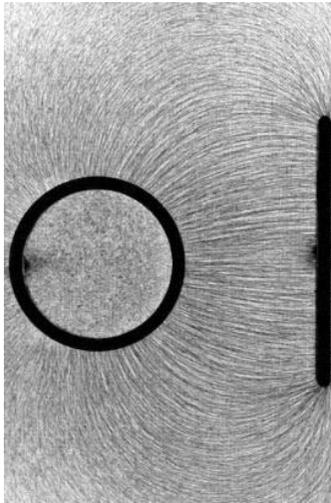
$F$  die Coulomb-Kraft, die zwischen  $Q_1$  und  $Q_2$  wirkt, wobei ein positiver Wert einer Abstoßung entspricht.(in Newton)

# Permittivität

- Die **Permittivität** (v. [lat.](#): *permittere* = erlauben, überlassen, durchlassen), auch **dielektrische Leitfähigkeit** genannt
- Relative Permittivität einiger Stoffe bei 18°C

Vakuum	1,0	Porzellan	2-6
Luft	1,00059	Paraffin	2,2
Glas	6 – 8	Papier	1-4
Glycerin	4	Wasser	80,1
Gummi	2,5 - 3		

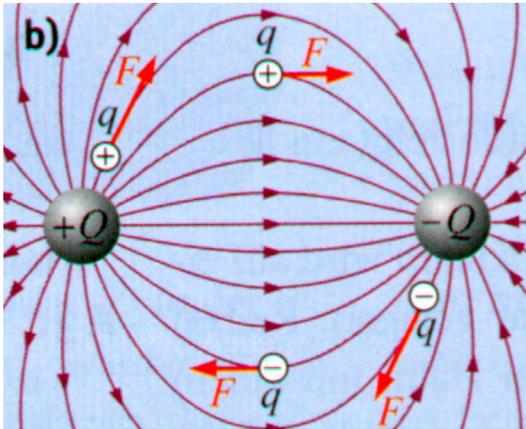
# Elektrische Feld



# Das elektrische Feld

- **Den Raum um eine Ladung bezeichnet man als elektrische Feld. Es kann durch Kräfte auf Probeladungen oder Influenz nachgewiesen werden.**
- **Nachweis der der nichtsichtbaren Feldlinien:**
  - **Gries auf Rizinusöl**

# Feldlinienbilder

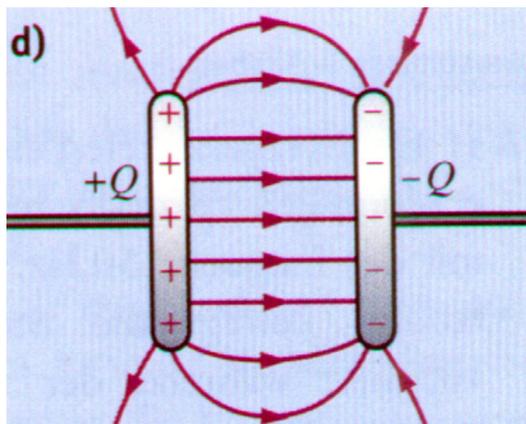


§ Die Feldlinien beginnen an der positiven Ladung  $Q^+$  und enden an der negativen Ladung  $Q^-$ .

§ Die Feldlinien enden senkrecht an der Oberfläche an einer Ladung.

§ Die Kräfte sind immer tangential zu den Feldlinien gerichtet.

§ Bei positiven Probeladungen zeigt die Kraft in Feldrichtung, bei negativer entgegengesetzt



§ Verlaufen die Feldlinien parallel, handelt es sich um ein homogenes Feld.

§ Im Randbereich liegt ein inhomogenes Feld vor.

§ Da die Feldlinien an einer Ladung beginnen und enden, müssen diese Ladungen fast ausschließlich an den Innenflächen gebunden sein.

# Elektrische Feldstärke

Um ein Maß für die Stärke des elektrischen Feldes zu finden, geht man zunächst von der Kraftwirkung aus, die das elektrische Feld auf einen darin befindlichen Körper ausübt. (z. B. schwingender Ladungskörper zwischen zwei unterschiedlich geladenen Platten).

Als Maßzahl für die elektrische Feldstärke  $E$  kann somit die auf die Ladung befindliche Kraft dienen

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q}$$

Die elektrische Feldstärke ist das Verhältnis der auf den Ladung wirkenden Kraft zum Betrag dieser Ladung.

(Vor.: Ladung sehr klein, sonst verändert sie das elektrische Feld)

# Elektrische Feldstärke

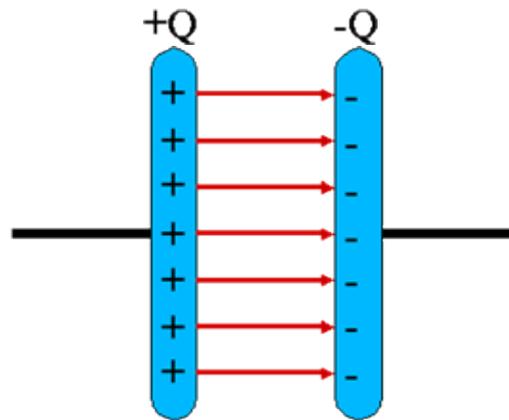
Wenn der Probekörper hin und herschwingt, so legt dieser einen Weg  $d$  zurück. Er verrichtet Arbeit.

$$W = F \cdot d = Q \cdot U$$

$$\rightarrow F / Q = U / d = E$$

Vor.: Homogenes Feld, da hier die Feldstärke überall gleich groß ist.

Einheit der elektrischen Feldstärke:  $1\text{V} / \text{m}$



Nennen und erläutern Sie Beispiele für Vorgänge aus Natur, Technik und Alltag, bei denen Ladungstrennung auftritt! Welche Effekte können damit verbunden sein?

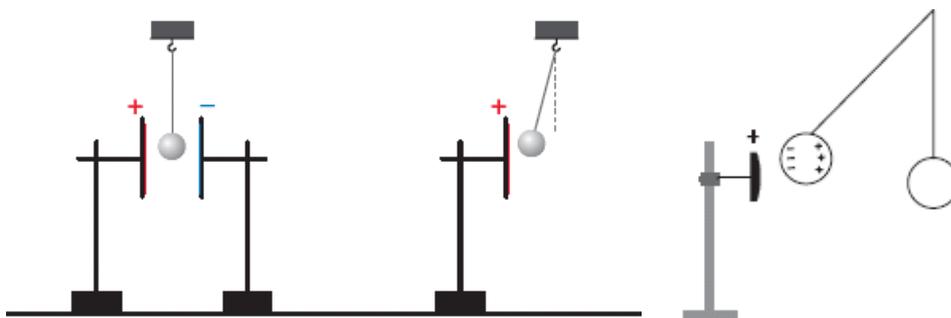
#### Beispiele für Ladungstrennung

- Eine Ladungstrennung erfolgt z.B. innerhalb einer Gewitterwolke. Der zugrundeliegende Mechanismus ist bis heute zwar noch nicht vollständig verstanden, man geht jedoch davon aus, dass das Zusammenspiel unterschiedlicher Vorgänge die Ursache der Ladungstrennung darstellt.
- Aufgrund der einfallenden UV-Strahlung, der radioaktiven sowie der kosmischen Strahlung erfolgt eine teilweise Ionisation der Luftmoleküle in der oberen Atmosphäre. Es entsteht so eine leitende Schicht, welche in einer Höhe von 60 km beginnt, positiv geladen ist und Ionosphäre genannt wird. Infolge der Influenz trägt die Erdoberfläche eine negative Ladung.
- Eine Ladungstrennung kann z.B. mit einem Bandgenerator erreicht werden. Das Funktionsprinzip beruht auf der Reibungselektrizität, die auf seiner großen Kugel eine positive Ladung hervorruft.
- Bei galvanischen Elementen erfolgt durch elektrochemische Vorgänge an den Elektroden eine Ladungstrennung. Auf diesem Prinzip beruht die Wirkungsweise von Monozellen, von Batterien und auch von Brennstoffzellen.
- Häufig bekommt man beim Anfassen der Autotür einen elektrischen Schlag. Der Grund dafür ist die Ladungstrennung infolge des Kontakts und insbesondere der Reibung zwischen Kleidung und Autositz.
- Beim Kämmen der Haare werden diese manchmal vom Kamm angezogen. Auch diese Beobachtung geht auf die Reibungselektrizität zurück. Sie führt zu einer entgegengesetzten Aufladung von Kamm und Haar und dadurch zur beschriebenen Anziehung.

#### Verbundene Effekte:

- Ladungstrennung durch Influenz
- Ladungstrennung durch Kontakt und Reibung
- Ladungstrennung durch dielektrische Polarisierung
- Ladungstrennung durch Dissoziation
- Ladungstrennung durch elektrochemische Vorgänge
- Ladungstrennung durch elektromagnetische Induktion

Bringt man eine sehr leichte, ungeladene leitende Kugel zwischen zwei unterschiedlich geladene Platten, dann passiert nichts. Bringt man sie dagegen in die Nähe eines geladenen Körpers, so wird sie ausgelenkt. Wie kommt das?



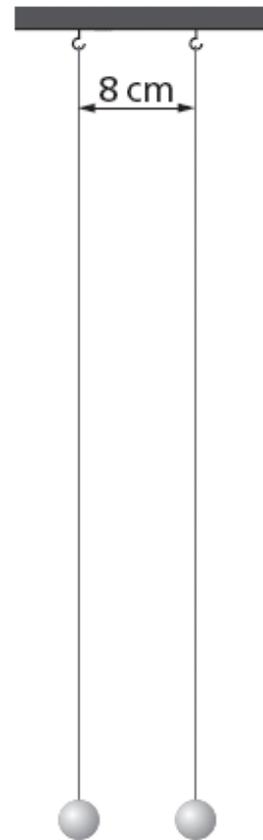
Nach dem Einbringen der ungeladenen Kugel zwischen die unterschiedlich geladenen Platten kommt es zu einer Ladungstrennung durch Influenz.

Der positiv geladene Teil der Kugel wird von der negativen Platte angezogen, die negativ geladene Kugelhälfte von der positiv geladenen Platte. Da die resultierende Kraft dadurch null ist, kann keine Auslenkung beobachtet werden. Bringt man eine ungeladene Kugel in die Nähe eines geladenen Körpers, so erfolgt ebenfalls durch Influenz eine Ladungsverschiebung, was eine anziehende Kraft zur Folge hat. Nun ist nämlich die resultierende Kraft in Richtung des Körpers gerichtet.

Zwei leitende Kugeln mit einer Gewichtskraft von je 0,3 N hängen an 80 cm langen Fäden. Ihre Aufhängepunkte sind 8 cm voneinander entfernt.

**a)** Bringt man auf beide Kugeln die gleiche Ladung gleichen Vorzeichens, so entfernen sie sich bis auf 12 cm. Wie groß ist der Betrag der Ladungen?

**b)** Bringt man auf beide Kugeln die gleiche Ladung ungleichen Vorzeichens, so nähern sie sich bis auf 3 cm. Wie groß ist in diesem Fall der Betrag der Ladungen?



Die Rückstellkraft  $F_R$  eines ausgelenkten Pendels muss im Gleichgewicht sein mit der Coulombkraft  $F_C$ , die zwischen den beiden Ladungen wirkt. Bei einem mathematischen Pendel beträgt die Rückstellkraft

$$F_R = \frac{F_G}{l} \cdot y$$

Gesucht:  $Q, Q'$

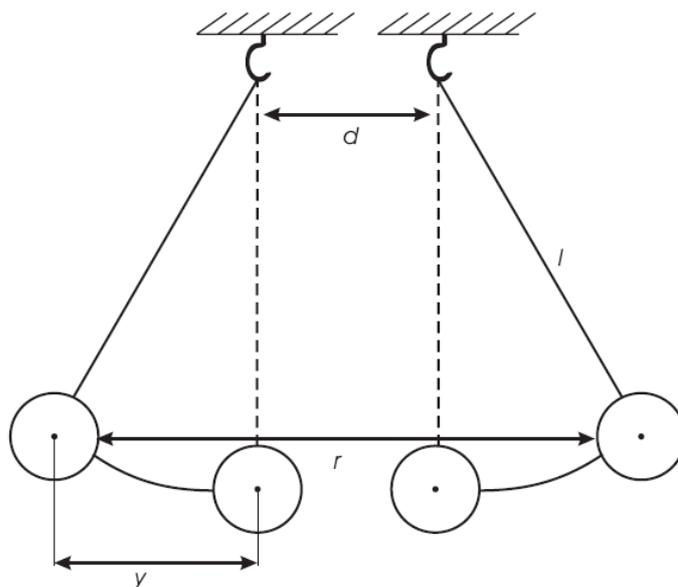
Gegeben:  $F_G = 0,3 \text{ N}$

$l = 80 \text{ cm} = 0,8 \text{ m}$

$d = 8 \text{ cm} = 0,08 \text{ m}$

$r = 12 \text{ cm} = 0,12 \text{ m}$

$r' = 3 \text{ cm} = 0,03 \text{ m}$

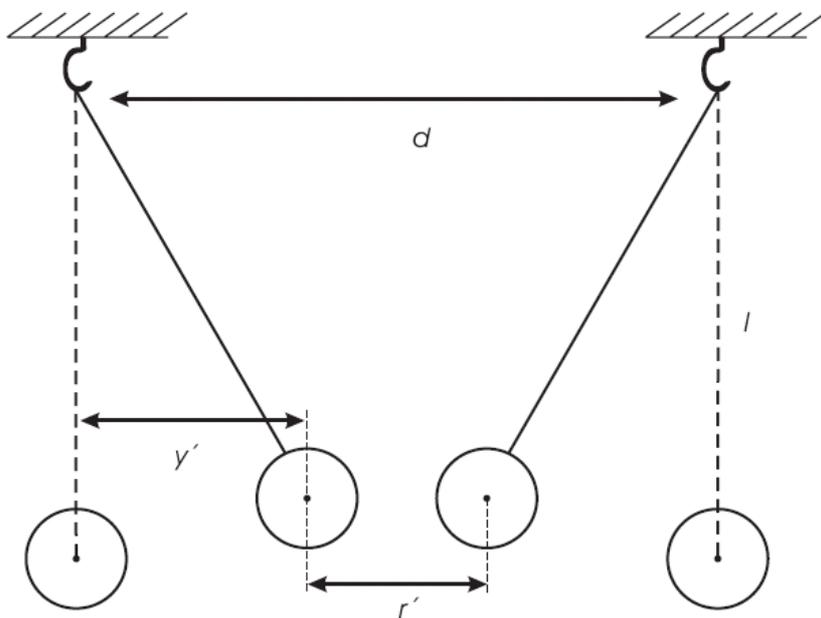


$$F_R = \frac{F_G}{l} \cdot y = \frac{Q^2}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot r^2} = F_c$$

$$Q = \sqrt{\frac{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot F_G \cdot y}{l}} \cdot r$$

$$Q = \sqrt{\frac{4\pi \cdot 8,854 \cdot 10^{-12} \cdot \text{As} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 0,3\text{N} \cdot 0,02\text{m}}{0,8\text{m}}} \cdot 0,12\text{m}$$

$$\underline{Q = 1,1 \cdot 10^{-7} \text{C}}$$



$$Q' = \sqrt{\frac{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot F_G \cdot y'}{l} \cdot r'}$$

$$Q' = \sqrt{\frac{4\pi \cdot 8,854 \cdot 10^{-12} \cdot \text{As} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 0,3 \text{ N} \cdot 0,025 \text{ m}}{0,8 \text{ m}}} \cdot 0,03 \text{ m}$$

$$\underline{Q' = 3,1 \cdot 10^{-8} \text{ C}}$$

Die gesuchten Werte der Ladungen betragen  $Q = 1,1 \cdot 10^{-7} \text{ C}$  und  $Q' = 3,1 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ .

Berechnen Sie die Kraft, die zwischen Kern und dem Elektron eines Wasserstoffatoms wirkt.

Ladung Elektron = Ladung Proton =  $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  (As)

Radius =  $5,291772108 \cdot 10^{-11} \text{ m}$

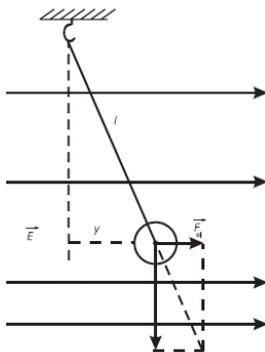
$\epsilon_0 = 8,854188 \cdot 10^{-12} \text{ As / Vm}$

à  $F = 8,2 \cdot 10^{-8} \text{ N}$

Am Ende eines 1,5 m langen Fadens ist eine geladene kleine Kugel mit einer Masse von 0,5 g angebracht. Bringt man diese Kugel in ein homogenes elektrisches Feld, so wird sie um 5 cm ausgelenkt.

**a)** Skizzieren Sie eine solche Anordnung und tragen Sie in die Skizze alle wirkenden Kräfte ein!

**b)** Wie groß ist die auf die Kugel wirkende elektrische Feldkraft?



Die elektrische Feldkraft  $F_{el}$ , die auf die geladene Kugel wirkt, ist im Gleichgewicht mit der Rückstellkraft  $F_R$  des Pendels. Bei den vorliegenden Abmessungen ist die elektrische Feldkraft in guter Näherung antiparallel zur Rückstellkraft.

Gesucht:  $F_{el}$

Gegeben:  $m = 0,5 \text{ g} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$   
 $l = 1,5 \text{ m}$   
 $y = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m}$

Lösung:

$$F_{el} = \frac{m \cdot g}{l} \cdot y$$

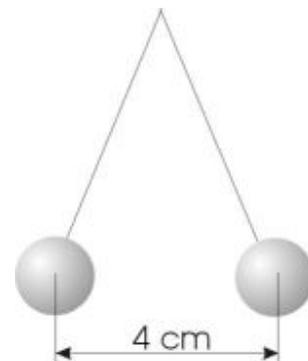
$$F_{el} = \frac{0,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}}{1,5 \text{ m}} \cdot 0,05 \text{ m}$$

$$\underline{F_{el} = 0,16 \cdot 10^{-3} \text{ N}}$$

Die auf die Kugel wirkende elektrische Feldkraft beträgt etwa  $0,16 \cdot 10^{-3} \text{ N}$ .

Zwei gleich geladene kleine Kugeln sind im selben Punkt an zwei 1m langen Isolierfäden aufgehängt. Die Masse einer Kugel beträgt 1 g. Wegen ihrer gleichen Ladung stoßen sie sich auf einen Mittelpunktabstand von 4 cm ab. Wie groß ist die Ladung einer Kugel?

Gegeben:  $l = 1 \text{ m}$   
 $m_1 = m_2 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$   
 $r = 4 \cdot 10^{-2} \text{ m}$



Die Kugeln stoßen sich auf Grund der Coulombschen Kraft zwischen geladenen Körpern ab. Es gilt das Coulombsche Gesetz:

$$F = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

Um die Ladungen  $Q$  berechnen zu können, muss die Kraft  $F$  bekannt sein.

1. Wie groß ist die Kraft  $F_E$  ?

Aus der Zeichnung ergibt sich:

$$\tan \alpha = \frac{F_E}{F_G} \text{ und } \sin \alpha = \frac{r/2}{l}$$

Für kleine Winkel gilt

$$\tan \alpha = \sin \alpha$$

so dass

$$\frac{F_E}{F_G} = \frac{r/2}{l}$$

$$F_E = \frac{r \cdot F_G}{2 \cdot l}$$

$$F_E = \frac{r \cdot m \cdot g}{2 \cdot l}$$

2. Diese Kraft wird durch die abstoßende Wirkung der gleichen Ladungen hervorgerufen = Coulombsche Kraft.

$$F = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \text{ da } Q_1 = Q_2$$

$$F_E = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q^2}{r^2}$$

$$Q = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot m \cdot g \cdot r^3}{l}}$$

$$Q = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ A} \cdot \text{s} \cdot 1 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m} \cdot (4 \cdot 10^{-2})^3 \cdot \text{m}^3}{1 \text{ m} \cdot \text{V} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2}}$$

$$Q = 5,91 \cdot 10^{-9} \text{ C}$$

Die Ladung beträgt  $5,91 \times 10^{-9} \text{ C}$ .

