

# Das Coulombsche Gesetz

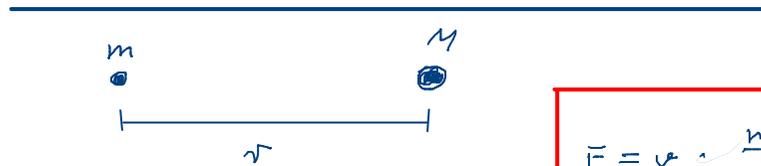
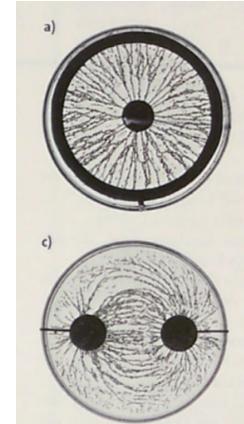
Welche Kraft herrscht zwischen zwei Punktladungen?



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

(„epsilon Null“)

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm}$$



$$\vec{F} = \gamma \cdot \frac{mM}{r^2}$$

$$\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{Nm^2}{kg^2}$$

## Newton'sches Gravitationsgesetz

Mensch 70kg



$$F = mg \approx 700 N$$

$$\left. \begin{aligned} r &= 6400 \text{ km}, M_E = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg} \\ \Rightarrow F &\approx 700 N \end{aligned} \right\}$$



$$r = 1738 \text{ km}, M = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg}, m = 70 \text{ kg}$$

$$\Rightarrow F = 175 N = F_M$$

$$\frac{F_M}{F_E} = \frac{1}{6}$$

S. 197/1,2

$$1) F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \begin{cases} \frac{(35\mu\text{C})^2}{(0,12\text{m})^2} = 764\text{N} & \text{a)} \\ \frac{(1\text{C})^2}{(1\text{m})^2} = 9 \cdot 10^9\text{N} & \text{b)} \end{cases}$$

$$2) \text{ a) } F = -2,3 \cdot 10^{-8}\text{N} = F_{el}$$

$$\text{ b) } F_G = 1 \cdot 10^{-47}\text{N}$$

$$\text{ c) } \frac{F_{el}}{F_G} = 2,3 \cdot 10^{39}$$

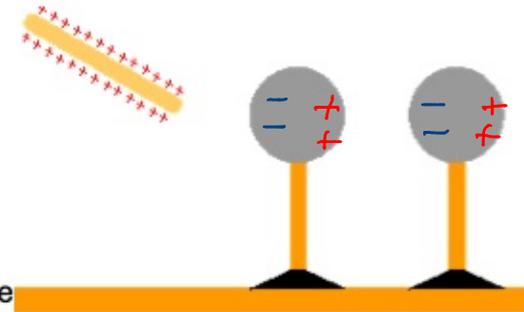
**1** Berechnen Sie die Kraft, mit der sich zwei gleich geladene Körper mit der Ladung **a)**  $Q = 35 \mu\text{C}$  im Abstand  $r = 12 \text{ cm}$ , **b)**  $Q = 1 \text{ C}$  im Abstand  $r = 1 \text{ m}$  abstoßen.

**2** Der Abstand zwischen Proton und Elektron im Wasserstoffatom sei  $d = 10^{-10} \text{ m}$ . Das Proton trägt die Ladung  $Q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ , das Elektron eine gleich große negative.

- Wie groß ist die Coulomb-Kraft, mit der sich die beiden Teilchen anziehen?
- Wie groß ist die Gravitationskraft zwischen den beiden Teilchen? ( $m_p = 1,7 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ,  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ )
- In welchem Verhältnis stehen elektrostatische Anziehungskraft und Gravitationskraft? Hängt das Verhältnis vom Abstand der Teilchen ab?

**Elektrostatik** Schon im Altertum sind elektrische Phänomene aufgrund von Reibung zwischen verschiedenen Materialien beobachtet worden. Das griechische Wort „elektron“ bedeutet übersetzt „Bernstein“, ein Stoff, der sich sehr gut eignet für Experimente zur Reibungselektrizität. Die Elektrostatik, die das Verhalten von ruhenden Ladungsansammlungen beschreibt, erklärt so unterschiedliche Phänomene wie die Entstehung von Blitzen, die schmerzhaften Funken beim Verlassen eines PKW und das Aufbringen von Toner in einem Laserdrucker.

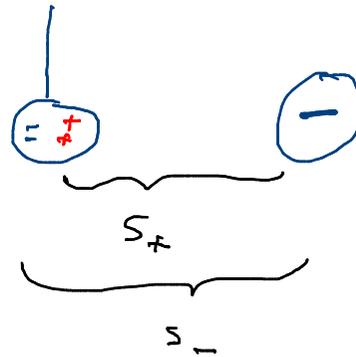
- 1.1. Zur Verfügung steht ein durch Reibung positiv geladener Glasstab und zwei bewegliche Metallkugeln, welche isoliert aufgestellt sind.
- Nennen Sie **zwei** Methoden, wie mit nebenstehendem Aufbau eine Metallkugel negativ aufgeladen werden kann.
  - Erklären Sie, wie sich mit dem Aufbau eine Kugel positiv aufladen lässt.
- 1.2. Einem isoliert aufgehängten, leitenden neutralen Kügelchen wird eine



- a) 1. Influenz, Finger an stab abgewandter Seite  $\Rightarrow e^-$  fließen auf Kugel
2. wie oben, mit 2. Kugel statt Finger  $\Rightarrow$  li. neg, re. K. pos.
- b) s. a) (oder mit Stab berühren)

- 1.2. Einem isoliert aufgehängten, leitenden neutralen Kügelchen wird eine negativ geladene Kugel genähert. Das Kügelchen wird angezogen, berührt die Kugel und wird dann abgestoßen. Erklären Sie dieses Verhalten.
- 1.3. Ein positiv geladener Stab wird in die Nähe des Tellers eines Elektroskops gehalten, zusätzlich berührt man den Teller mit einem Finger. Danach entfernt man den Finger und anschließend den Stab.
- a) Beschreiben Sie detailliert, was man in den vier Phasen des Experimentes beobachten kann und erklären Sie die Beobachtungen mit Hilfe physikalischer Fachbegriffe.
- b) Welche Ladungssorte befindet sich nach dem Experiment auf dem Elektroskop und wie lässt sich das ohne weitere Hilfsmittel zeigen? Begründen sie Ihre Antwort physikalisch.

1.2.



$$S_+ < S_-$$

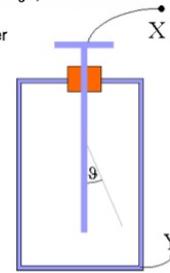
$$\Rightarrow F_{\text{Anz.}} > F_{\text{Abst.}}$$

Bei Berührung fließen  $e^-$  auf die neutrale Kugel  
 $\Rightarrow$  beide K. sind neg. geladen  $\Rightarrow$  Abst.

**Messungen am Elektroskop** Das Elektroskop kann als Nachweisgerät für elektrische Ladungen dienen. Da das Elektroskop jedoch auch einen Kondensator darstellt (zwei voneinander isolierte Elektroden) und  $Q = C \cdot U$  gilt, kann man das Elektroskop auch als Spannungsmesser verwenden.

2.1. Zwischen den Punkten X und Y werden verschiedene Spannungen angelegt und der Winkel des beweglichen Aluminiumplättchens registriert.

U in V	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
$\vartheta$ in °	11	14	18	23	30	37	45	53	62	69	74	78



Zeichnen Sie ein  $U-\vartheta$ -Diagramm.

2.2. Es wird vermutet, dass zwischen 300V und 700V die Spannung linear mit  $\sin \vartheta$  steigt. Wie könnte man dies überprüfen?

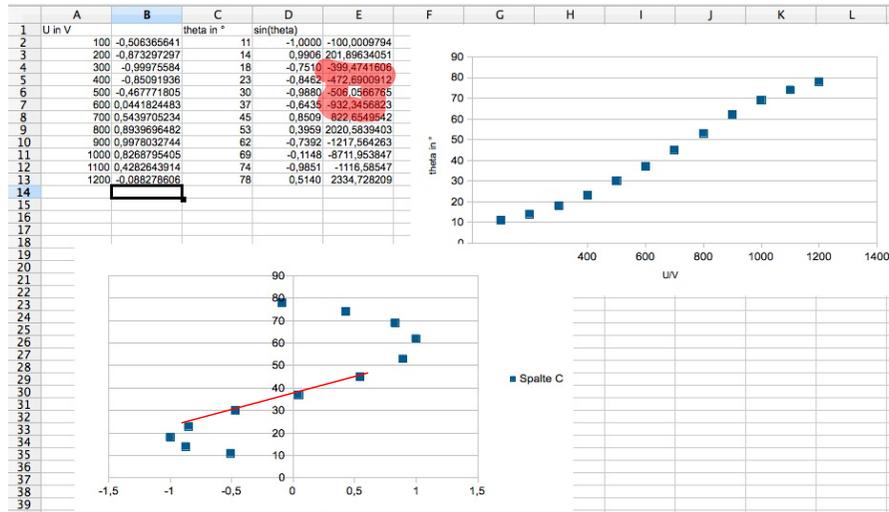
2.2.  $U \sim \sin \vartheta \quad \alpha$

$\Leftrightarrow$  es gibt eine Konst.  $k$ , sodass

$$U = k \cdot \sin \vartheta$$

$\Leftrightarrow \frac{U}{\sin \vartheta} = k \quad \Leftrightarrow U - \sin \vartheta$ -Graph ist eine Gerade mit Steigung  $k$

( $y = m \cdot x + b_{pm} = \text{Steigung}$ )



$\Rightarrow$  es sieht nicht  $U \sim \sin \vartheta$ ,  
sondern  $\vartheta \sim \sin U$

Eine Pendelkugel sei mit der Ladung  $Q=90\text{ nC}$  geladen und habe die Masse  $m=0,8\text{ g}$ . Sie hänge an einem Faden der Länge  $l=2\text{ m}$  in einem horizontal gerichteten homogenen elektrischen Feld. Durch die Kraft des Feldes wird sie um  $d=32\text{ mm}$  ausgelenkt.

3.1. Bestimmen Sie mit Hilfe einer geometrischen Betrachtung die elektrische Kraft auf die Kugel.

3.2. Berechnen Sie die Feldstärke.

wie 185/12

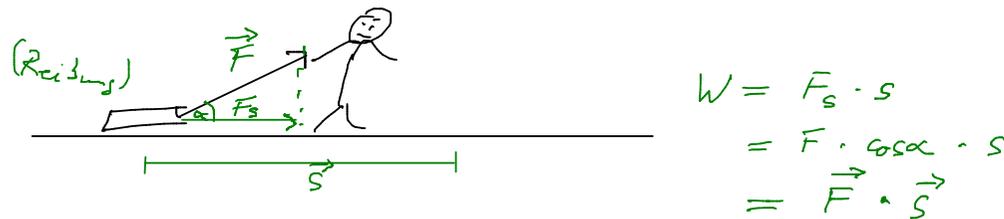
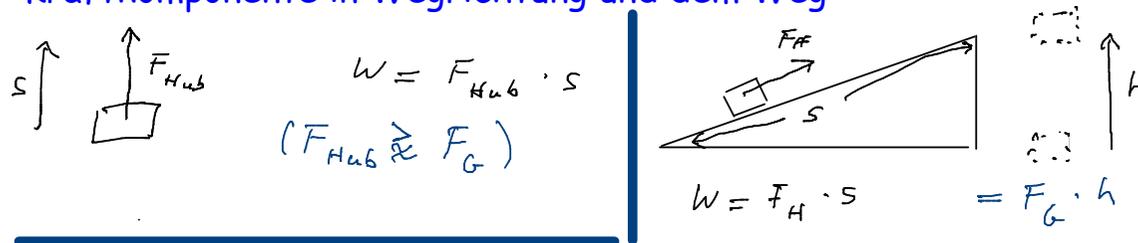
Ergebnisse: 3.1.  $F_{el} = 1,26 \cdot 10^{-4}\text{ N}$

3.2.  $E = \frac{F_{el}}{Q} = 1395\text{ N/C}$

# Potentielle Energie im elektrischen Feld

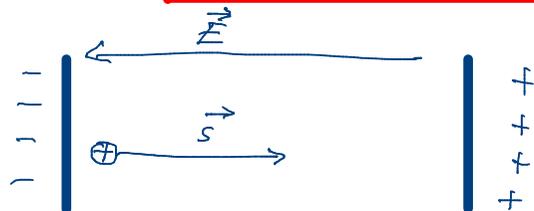
Erinnerung:

Um die potentielle Energie eines Körpers zu erhöhen, muss Hubarbeit verrichtet werden. Arbeit ist definiert als (Skalar-) Produkt aus Kraft und Weg, also Produkt aus Kraftkomponente in Wegrichtung und dem Weg:



Analog dazu ist die Arbeit im elektr. Feld beim Verschieben einer Ldg.

$$W = -q \cdot E \cdot s \cdot \cos \alpha (\vec{E}, \vec{s})$$



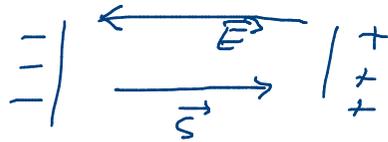
1) ges.:  $W$

geg.:  $d, E, q$

$$W = -q E d \cdot \cos(180^\circ)$$

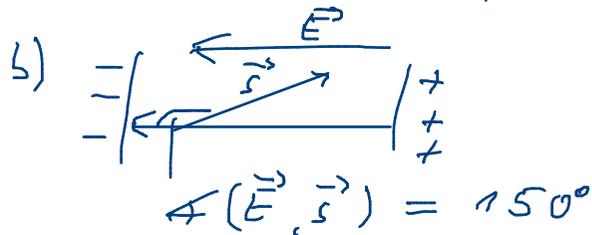
$$= +2,6 \mu\text{J}$$

2) a)  $\angle(\vec{E}, \vec{s}) = 180^\circ$



$$W = -q E s \cdot \cos 180^\circ$$

$$= q E s = 26 \mu\text{J}$$



$$\Rightarrow W = -q \cdot E \cdot s \cdot \cos 150^\circ$$

$$= 22 \mu\text{J}$$

1 Zwischen zwei parallelen Leiterplatten mit dem Abstand  $d = 5 \text{ cm}$ , einem so genannten Plattenkondensator, besteht ein elektrisches Feld der Stärke  $E = 9,4 \text{ kN/C}$ . Welche Energie ist erforderlich, um die Ladung  $q = 5,5 \text{ pC}$  von der einen Platte zur anderen zu transportieren?

2 Im homogenen Feld der Feldstärke  $E = 85 \text{ kN/C}$  wird ein geladenes Teilchen ( $q = 25 \text{ nC}$ ) a) parallel zu den Feldlinien und b) unter einem Winkel von  $30^\circ$  zu den Feldlinien  $1,2 \text{ cm}$  weit gegen das Feld transportiert. Berechnen Sie die dafür erforderliche Energie.

ges.:  $E, q, s, m$

ges.:  $v$  nach  $s = 4 \text{ cm}$

---

$$F = qE = ma \quad \Rightarrow \quad v = at$$

$$\Leftrightarrow a = \frac{qE}{m}$$

$$s = \frac{1}{2} at^2 \Leftrightarrow t = \sqrt{\frac{2s}{a}}$$

$$\Rightarrow v = a \cdot \sqrt{\frac{2s}{a}} = \sqrt{\frac{a^2 2s}{a}} = \sqrt{2sa} = \sqrt{2s \frac{qE}{m}}$$

---

2. Mögl.

$$E_{\text{pot. vorher}} = E_{\text{kin. nachher}}$$

$$\Leftrightarrow q \cdot E \cdot s = \frac{1}{2} m v^2$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{2qEs}{m}} = 6191 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 6 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

\*6 Ein Proton werde in ein homogenes elektrisches Feld mit der Feldstärke  $E = 5 \text{ N/C}$  gebracht und losgelassen. Mit welcher Geschwindigkeit bewegt es sich, nachdem es  $4 \text{ cm}$  zurückgelegt hat ( $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ,  $q_p = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ )?

## Elektrisches Potential und elektr. Spannung

Das elektr. Potential  $\varphi_{0i}$  eines Punktes  $P_i$  in Bezug auf einen festgelegten Nullpunkt  $P_0$  ist definiert als:

$$\varphi_{0i} = \frac{W_{0i}}{q} = \frac{q \cdot E \cdot a}{q} = E \cdot a$$

$a = \text{Abstand von } P_0$

(in inhomogenem Feld:  $\varphi_{0i} = - \int_{P_0}^{P_i} E ds$ )

Die Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten nennt man elektr. Spannung:

$$U_{21} = \varphi_{02} - \varphi_{01} = \frac{W_{02} - W_{01}}{q} = E \Delta a$$

$$\begin{aligned} W_{12} &= q U_{21} \\ &= q \cdot E \cdot \Delta a \end{aligned}$$

}  $\Rightarrow$  von einer Platte zur anderen:

$$E \cdot d = U \Leftrightarrow E = \frac{U}{d}$$

<--24.11.11