

Kraft zwischen zwei Ladungen Q_1 und Q_2 / Coulomb'sches Gesetz

- das **Coulombsche Gesetz** beschreibt die Kraft zwischen zwei Punktladungen Q_1 und Q_2 im Abstand r voneinander. Für den Betrag gilt

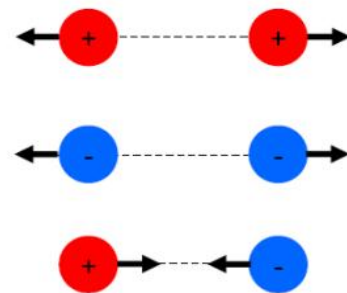
$$F = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

$$\epsilon_0 = 8,8542 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

Dielektrizitätskonstante des Vakuums

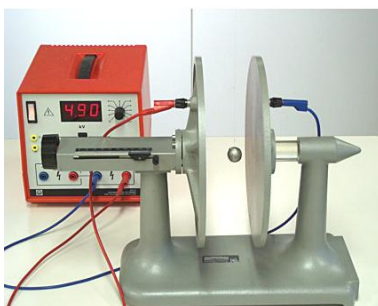
(gleiche Struktur wie Gravitationsgesetz !!)

- Kraftrichtung entlang der Verbindungslinie der Ladungen:
 - gleichnamige Ladungen stoßen sich ab
 - ungleichnamige Ladungen ziehen sich an
- actio = reactio: gleicher Betrag der Kräfte auf Q_1 und Q_2

Charles Augustin Coulomb
1736 - 1806

$\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm}$
elektrische Feldkonstante oder
Vakuum Dielektrizitätskonstante

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8.988 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2 \approx 9 \times 10^9 \text{ leicht zu merken!!!!}$$

Kraft auf eine Probeladung q im elektrischen Feld (homogen, Plattenkondensator)

Um zu untersuchen, wie man die Stärke des elektrischen Feldes zwischen zwei Kondensatorplatten definieren kann, wird eine kleine Kugel an einem Nylonfaden isoliert aufgehängt. Sie trägt eine positive Probeladung q .

Wird eine Spannung an die Kondensatorplatten angelegt, entsteht zwischen den Platten ein homogenes, elektrisches Feld. Die Kugel wird durch die elektrische Kraft F_{e1} nach rechts ausgelenkt. Eine Teilkomponente der Gewichtskraft (die Rückstellkraft F_R) wirkt dieser auslenkenden Kraft entgegen.

Die Probeladung erfährt im elektrischen Feld eine Kraft $F \sim q$

$$F = k * q$$

$$k = \frac{F}{q}$$

k heißt **Feldstärke E**

$$\text{Einheit: } [E] = \frac{[F]}{[q]} = \frac{N}{As}$$

Def.: $E = \frac{F}{q}$ Unter der Feldstärke E in einem Feldpunkt versteht man den von der

Probeladung q abhängigen Quotienten $\frac{F}{q}$.

Exakt handelt es sich um eine vektorielle Größe (OS)

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

Die angelegte Spannung bestimmt die Feldstärke.

Hält man die Ladung auf der Pendelkugel konstant und verändert die Spannung U an den Kondensatorplatten, so ändert sich die Auslenkung der Pendelkugel.

Bei doppelter Spannung U ergibt sich auch die doppelte Auslenkung s. Also ist auch die elektrische Kraft F_{el} der Spannung U proportional. Weil die Ladungsmenge q konstant ist, ergibt sich damit auch die doppelte elektrische Feldstärke E.

Doppelte Spannung U -> doppelte Auslenkung s -> doppelte el. Kraft F_{el} -> doppelte Feldstärke E.

Die Feldstärke E ist der angelegten Spannung U proportional.

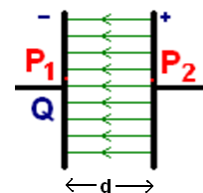
Bewegen wir nun eine Probeladung q in einem elektrischen Feld gegen die Feldrichtung von P_1 nach P_2 , so müssen wir die mechanische Arbeit $W = F * s$ aufwenden.

Definieren wir den Abstand der Platten mit d, so folgt:

$$W = F * d$$

$$W = E * q * d$$

$$\frac{W}{q} = E * d$$



Aus der Einheitenbetrachtung bereits bekannter physikalischer Größen erkennen wir:

$$\frac{[W]}{[q]} = \frac{Nm}{As} = \frac{Ws}{As} = \frac{VA}{A} = V$$

Wir folgern die Formel: $U = E * d$ oder auch

$$\vec{E} = \frac{\vec{U}}{d}$$

Die Feldstärke E ist bei $U = \text{const.}$ dem Plattenabstand d umgekehrt proportional

Aufgaben:

1. Aufgabe: Berechnen Sie die Kraft, mit der sich zwei gleichartige Körper mit der Ladung $Q = 3,5 \cdot 10^{-5} \text{ C}$ im Abstand von $r = 12 \text{ cm}$ abstoßen. 5/29

2. Aufgabe: Der Abstand zwischen Proton und Elektron im H-Atom beträgt $d = 10^{-10} \text{ m}$. das Proton trägt die Ladung $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

a) Berechne die Coulombkraft, mit der sich die Teilchen anziehen.

b) Berechne die Gravitationskraft zwischen den Teilchen. ($m_p = 1,7 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$;

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

(Falls Sie das Gravitationsgesetz nicht kennen, befragen Sie z.B. das Internet)

c) In welchem Verhältnis stehen die Kräfte $\frac{F_{el}}{F_G}$? 5/31

3. Aufgabe: In einem Kondensator mit dem Plattenabstand $d = 5 \text{ cm}$ besteht ein elektrisches Feld von $E = 9,4 \cdot 10^3 \text{ N/C}$.

a) Berechne die Arbeit die erforderlich ist, um eine Ladung Q von $Q = 5,5 \cdot 10^{-12} \text{ C}$ von einer Platte zur anderen zu transportieren.

b) Berechne die am Kondensator anliegende Spannung. 5/49

4. Aufgabe: Im homogenen Feld eines Plattenkondensators mit der Feldstärke

$$E = 8,5 \cdot 10^4 \text{ N/C}$$
 wird eine Ladung $Q = 2,5 \cdot 10^{-8} \text{ C}$

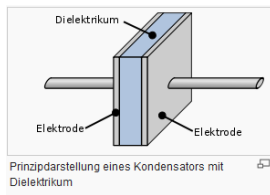
a) parallel zu den Feldlinien

b) unter einem Winkel von 30° zu den Feldlinien $1,2 \text{ cm}$ weit gegen das Feld transportiert.

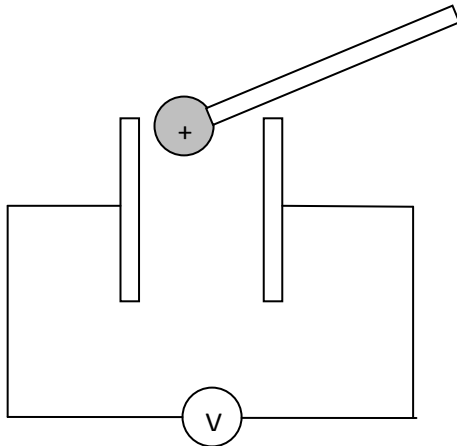
Berechne die aufzubringende Arbeit. 5/50

Der Kondensator und seine Kapazität

Aufbau:



2 Platten, dazwischen ein Isolierstoff, das Dielektrikum (kann auch Luft sein)



Zusammenhang zwischen Ladung und Spannung

Je mehr Ladungen auf die Platten transportiert wird, desto höher steigt die Spannung

$$Q \sim U$$

$$Q = k * U$$

$$k = \frac{Q}{U}$$

Die Einheitenbetrachtung liefert $[k] = \frac{As}{V}$; $1 \frac{As}{V} = 1 \text{ F}$ (Farad)

Wir nennen $k = \text{Kapazität } C$,

$$C = \frac{Q}{U} \text{ in F}$$

Die Kapazität gibt an, welche Ladungsmenge Q bei einer Spannung von 1 V gespeichert werden kann

Zusammenhang zwischen Kapazität und Fläche

Auf einer kleinen Platte haben weniger Ladungen Platz als auf einer großen Platte
Die größere Platte kann mehr Ladungen speichern, hat also die größere Kapazität

$$C \sim A$$

Versuch: Wir beobachten im obigen Versuchsaufbau:

Wenn wir bei const. Ladung (Kondensator aufladen und dann von der Spannungsquelle abklemmen) die Platten weiter auseinanderschieben, steigt die Spannung.

wenn aber $Q = C * U = \text{const.}$ folgt daraus,

dass die Kapazität sinken muss ($C \downarrow$) wenn die Spannung steigt ($U \uparrow$)

Zusammenfassung: $C \sim A \text{ und } \frac{1}{d}$

$C = k * \frac{A}{d}$ k heißt Dielektrizitätskonstante ϵ_0 (im Vakuum)

$$C = \epsilon_0 * \frac{A}{d}$$

Bringt man zwischen die Kondensatorplatten einen anderen Isolierstoff als das Vakuum, so nimmt das Speichervermögen des Kondensators zu.

Dieser Faktor heißt Dielektrizitätszahl ϵ_r (das r steht für relativ)

Die Dielektrizitätszahl gibt an, um welchen Faktor sich die Kapazität eines Kondensators durch ein bestimmtes Dielektrikum gegenüber dem Vakuum erhöht.

Dielektrizitätszahlen: Luft $\epsilon_r = 1,0006$

Glas $\epsilon_r = 4 - 10$

Eis $\epsilon_r = 10$

Wasser $\epsilon_r = 80$

$$C = \epsilon_0 * \epsilon_r * \frac{A}{d}$$

Kapazität eines Kondensators mit Dielektrikum

Aufgabe 5:

Der oben abgebildete Plattenkondensator nimmt bei einer Spannung von 3 KV die Ladung $Q = 2,4 * 10^{-8}$ C auf. Berechne seine Kapazität. 5/65

Aufgabe 6: Berechnen Sie die Ladung die ein Kondensator mit $C = 2 * 10^{-6}$ F bei einer Spannung von 230 V aufnimmt. 5/66

Aufgabe 7: Ein Plattenkondensator wird von der Spannungsquelle aufgeladen und dann abgeklemmt. Wie verändern sich Feldstärke und Spannung, wenn man den Plattenabstand halbiert? 5/67

Aufgabe 8: Ein Plattenkondensator ($d = 2\text{mm}$, $A = 314\text{ cm}^2$) wird bei konstanter Spannung $U = 180\text{ V}$ mit Glimmer $\epsilon_r = 7$ gefüllt.

Welche Auswirkungen hat das auf E und Q?

Was ändert sich, wenn die Ladung Q des Kondensators konstant gehalten wird? 5/68

Aufgabe 9: Auf einem Plattenkondensator ($d = 4\text{ mm}$; $A = 400\text{ cm}^2$) wird bei einer Spannung von $U = 200\text{ V}$ ohne Glasfüllung ein $Q_0 = 2 * 10^{-8}$ C und mit Gasfüllung $Q_1 = 11 * 10^{-8}$ C gemessen. Berechne die Dielektrizitätszahl für dieses Glas. 5/69