Q1PhG1 2016/17

vgl. S.16

Flächenladungsdichte und elektrische Feldstärke

$$\sigma = \frac{Q}{A}$$

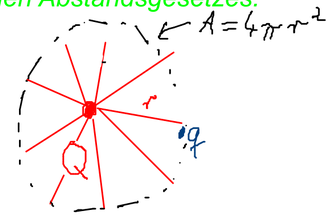
Experimente: $\sigma \sim E$

Proportionalitätsfaktor: $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$

$$\Rightarrow \boxed{\sigma = \varepsilon_0 \cdot E} \Leftrightarrow E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} = \frac{Q}{\varepsilon_0 \cdot A}$$

Anwendung z.B. beim Coulombschen Gesetz

Theoretische Herleitung mit Hilfe des quadratischen Abstandsgesetzes:



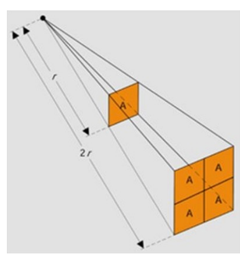
$$E \sim \frac{Q}{r^2} \Rightarrow E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

$$\Rightarrow \boxed{F_c = q \cdot E} = \frac{qQ}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = \boxed{\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{qQ}{r^2}}$$

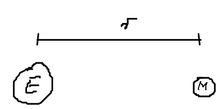
Coulombsches Gesetz

$$\sigma = \frac{Q_1}{A_1} = \frac{Q_2}{A_2} = \frac{Q_{ges}}{A_{ges}} = \frac{Q}{A} = \varepsilon_0 \cdot E$$ (s. S. 18)

$$\Leftrightarrow E = \frac{Q}{4\pi r^2 \varepsilon_0}$$



vgl.: Newtonsches Grav.-Ges.



$$F_G = \gamma \frac{m \cdot M}{r^2}$$

HA/Klausurvorbereitung: S.19 A1, A2 a), A3

$m_p = 1{,}67 \cdot 10^{-27}\,kg$

$q = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,C$

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

2 Protonen in Heliumatomkern

$r \approx 10^{-15}\,m$

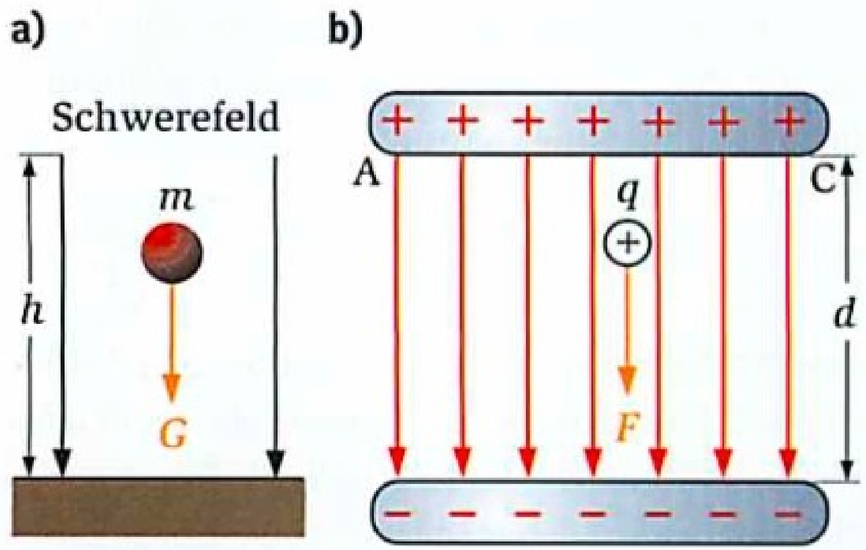
Berechne F_c u. F_G, bilde $\frac{F_c}{F_G}$ $(= n)$

$F_c \approx 230\,N$

$F_G \approx 2 \cdot 10^{-34}\,N$

F_c ist $\approx 10^{36}$ mal größer als F_G !!!

Die elektrische Spannung

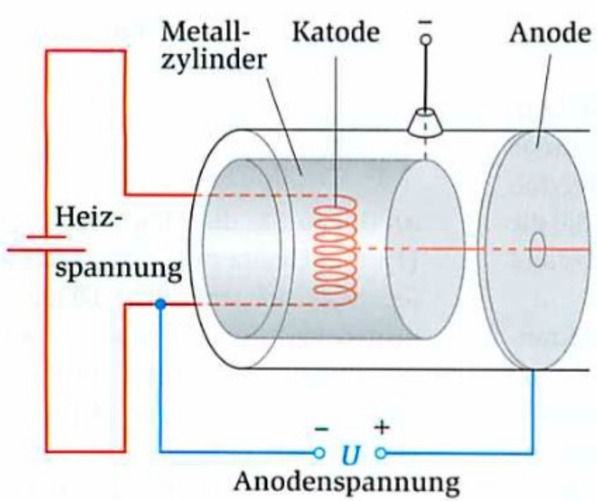


B1 Energieumsetzungen **a)** im Schwerefeld **b)** im elektrischen Feld

Erinnern wir uns: Im Schwerefeld der Erde treibt die Gewichtskraft $G = m \cdot g$ einen Körper nach unten → **B1a**. Dort erhält der fallende Körper die Bewegungsenergie $m \cdot g \cdot h$. Nach → **B1b** transportiert in einem Kondensator die konstante Feldkraft $F = q \cdot E$ die Ladung q von der oberen zur unteren Platte. Der Transportweg ist der Plattenabstand d. Mittels der Feldkraft $F = q \cdot E$ wird den Ladungsträgern die Energie $W = F \cdot d = q \cdot E \cdot d$ zugeführt. Der Quotient

$$U = \frac{W}{q} = \frac{q \cdot E \cdot d}{q} = E \cdot d \qquad (1)$$

hängt von der überführten Ladung q nicht mehr ab. Er wird **Spannung** U genannt. Die Einheit der Spannung ist 1 Volt (1 V = 1 J/C).



B2 Eine Elektronenkanone

Ein Teilchen mit Masse m und Ladung q durchläuft in einer evakuierten Röhre die Spannung U. Dabei erhält es die Energie qU, auch in einem nicht homogenen Feld. Das Teilchen erhält die

kinetische Energie $W = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = q \cdot U$,

Geschwindigkeit $v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$.

1. Bsp. Röhrenfernseher:
U = 20 kV
Berechne v, mit der die Elektronen auf dem Schirm auftreffen.

kinetische Energie $W = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = q \cdot U$,

Geschwindigkeit $v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$.

$v = 84 \cdot 10^6 \, m/s = 84000 \, km/s$

2. Bsp. LHC am CERN =
Teilchenbeschleuniger für Protonen
U = 3,5 TV = 3500000000000 V $= 3{,}5 \cdot 10^{12} \, V$

$v = 2{,}6 \cdot 10^{10} \, \frac{m}{s} = 2{,}6 \cdot 10^7 \, km/s = 26 \text{ Mio } km/s$

$\approx 100 \cdot c$

($c = 300000 \, km/s$ = Lichtgeschwindigkeit)

ti-nspire cx

$E = m c^2$ $\quad m$ = dynamische Masse $= \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$

Ruheenergie: $E_0 = m_0 c^2$ $\quad m_0$ = Ruhemasse

Aus $\frac{E}{E_0}$ folgt v.

Geschw. Erde um Sonne $\approx 30 \, km/s$

" Sonnensystem um galakt. Zentrum:

$r = 25000$ Lj $\approx 2{,}37 \cdot 10^{17}$ km
$T = 230$ Mio a $\approx 7{,}25 \cdot 10^{15}$ s
$\Rightarrow v = \frac{2\pi r}{T} = 205 \, km/s$

Feldlinien, elektrische Feldstärke und die Bestimmung der Elementarladung *Die Kraft F, die vom Feld einer Ladung Q auf eine (kleine) Probeladung q ausgeübt wird, ist der Probeladung proportional: F ~ q . Man definiert als elektrische Feldstärke den Quotienten aus Kraft und Probeladung:* $E=\frac{F}{q}$ *. Diese Größe hängt nicht mehr von der Ladung q ab und ist daher eine Eigenschaft des Raumes.*

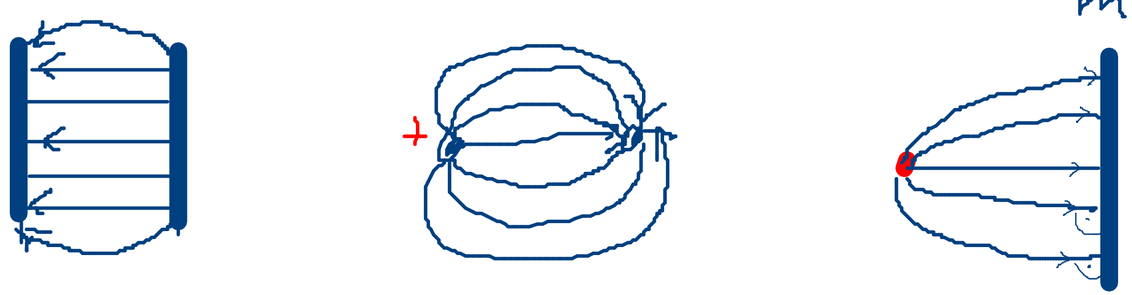
1.1. Welche physikalische Maßeinheit hat E ? Kennen Sie eine zu E analoge Größe („*Quotient aus Kraft auf Probegröße und Probegröße*") aus der Mechanik?

1.2. Skizzieren Sie die Feldlinien zwischen zwei ungleichnamig geladenen Kondensatorplatten, zwischen zwei ungleichnamigen Punktladungen und zwischen einer positiven Punktladung, die sich im Abstand r vor einer negativ geladenen Platte befindet.

1.3. Berechnen Sie die elektrische Feldstärke an einem Ort, an dem auf einen Körper der Ladung $q=26\,nC$ die Kraft $F=37\,\mu N$ wirkt.

1.1. $[E] = 1\,\frac{N}{C}$, $g = \frac{F_G}{m}$

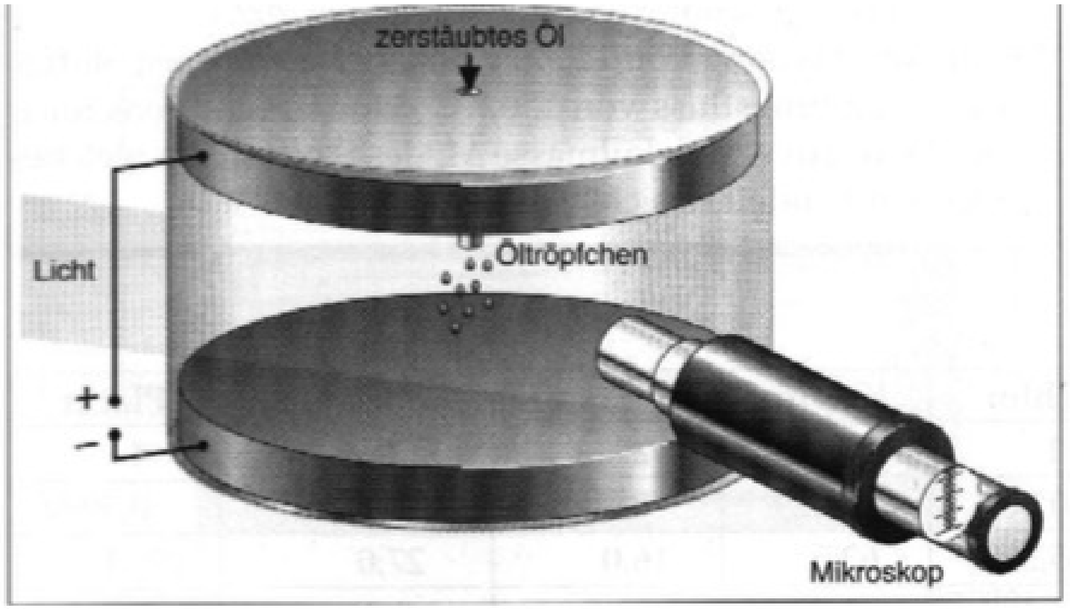
1.2.



1.3. $E = \frac{F}{q} = \frac{37 \cdot 10^{-6}}{26 \cdot 10^{-9}}\,\frac{N}{C} = 1423\,\frac{N}{C}$

1.5. Die Feldlinien eines Kondensators verlaufen vertikal von oben nach unten. Ein in den Plattenraum eingebrachtes negativ geladenes Öltröpfchen, dessen Masse $m = 4{,}7 \cdot 10^{-14}\,kg$ ist, schwebt gerade. Messungen ergeben eine Feldstärke von $E = 7{,}2 \cdot 10^{5}\,N/C$. Berechnen Sie die Ladung des Öltröpfchens. Geben Sie zusätzlich die Ladung als Vielfaches der Elementarladung an.

Mit diesem Aufbau hat Robert Andrews Millikan (1868-1953) die Quantelung der elektrischen Ladung nachgewiesen und die Elementarladung e bestimmt. Er erhielt dafür 1923 den Nobelpreis.



Kräftegleichgewicht: $F_G = F_{el}$

$$\Leftrightarrow m \cdot g = q \cdot E \Leftrightarrow q = \frac{m \cdot g}{E} = 6{,}4 \cdot 10^{-19}\,C$$

$$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,C \Rightarrow \quad = 4 \cdot e$$

Gewitterphysik und andere Anwendungen der Flächenladungsdichte

Mit den elementaren Gesetzmäßigkeiten, die man am Plattenkondensator gefunden hat, lassen sich in guter Näherung komplexe Phänomene in der Natur beschreiben.

Wir nehmen eine normale Gewitterlage an, sagen wir, die Wolke überdecke eine Grundfläche von $A = 750000\,m^2$. Die Wolkenunterseite sei kurz vor der Entstehung des Blitzes mit $Q = 15\,C$ elektrisch geladen. Es sei angenommen, dass das elektrische Feld zwischen Wolke und Erdboden näherungsweise homogen ist.

2.1. Der gesamte Vorgang der Ladungstrennung - bekanntlich durch starke vertikale Strömungen in der Wolke hervorgerufen - dauere $t = 2\text{min}$. Berechnen Sie die elektrische Stromstärke I in der Wolke während der Aufladung.

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{15\,C}{120\,s} = 0{,}125\,A$$

2.2. Berechnen Sie die elektrische Feldstärke im Raum zwischen Wolke und Erdboden, wenn die Wolke auf der Unterseite die maximale Ladungsmenge trägt.

$$\frac{Q}{A} = \sigma = \varepsilon_0 E \Rightarrow E = \frac{Q}{\varepsilon_0 A} = 2{,}3 \cdot 10^6 \frac{N}{C}$$

2.3.

a) Der in 1.5. benutzte Kondensator habe eine Fläche von 100 cm². Berechne die Ladung einer Platte mit Hilfe der oben angegebenen Feldstärke und vergleichen Sie sie mit der Ladung der Gewitterwolke.

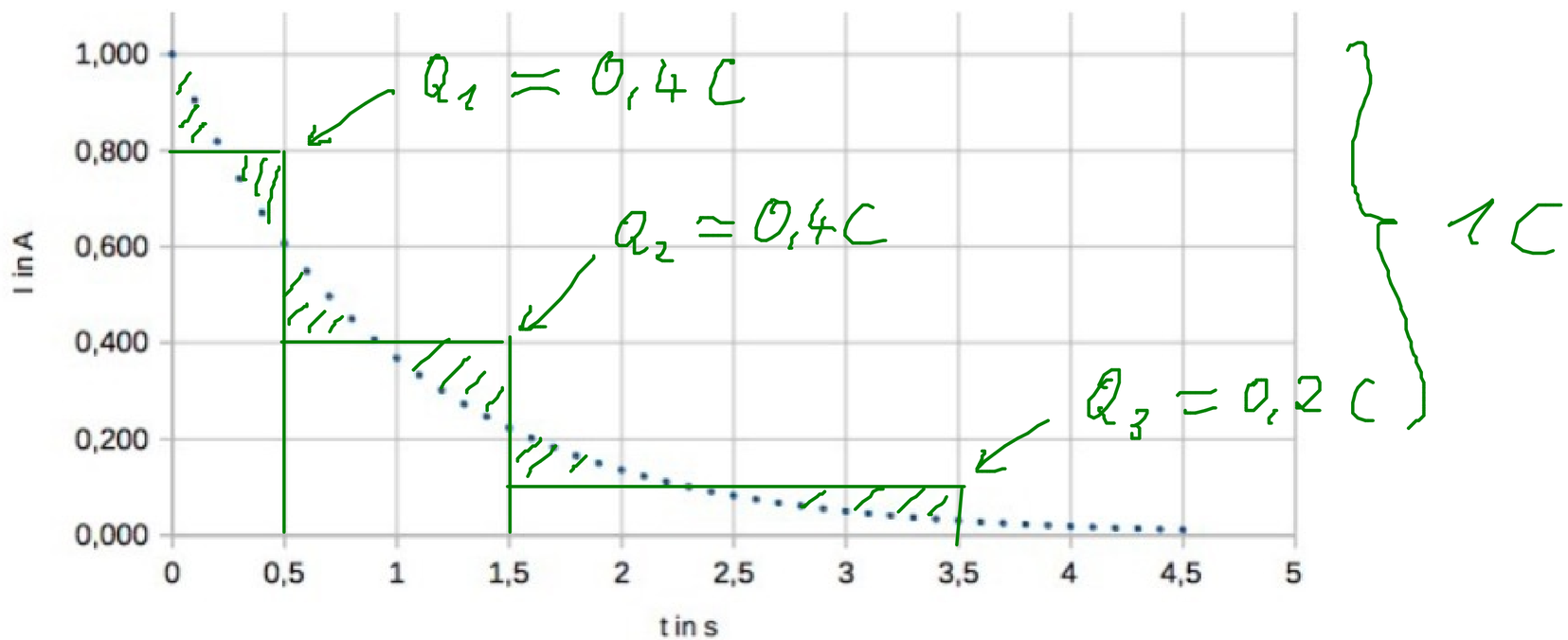
$1\,m = 100\,cm$

$1\,m^2 = 100\,cm \cdot 100\,cm = 10^4\,cm^2 \Rightarrow 100\,cm^2 = 0{,}01\,m^2$

$$\frac{Q}{A} = \sigma = \varepsilon_0 E$$

$$\Rightarrow Q = \varepsilon_0 E A = 6{,}4 \cdot 10^{-8}\,C$$

$$\approx \frac{1}{2{,}35 \cdot 10^6} \cdot Q_{Wolke}$$

b) *Handelsübliche Kondensatoren können ebenfalls große Ladungsmengen speichern, ihre Kapazität liegt in der Größenordnung Farad, sog. Super-Caps haben sogar einige 1000 Farad Kapazität. (Diese Angaben benötigen Sie nicht für die Lösung der Aufgabe).*

Bestimmen Sie aus der Entladekurve eines Kondensators *(nur zur Info: C ≈ 0,1 F)* näherungsweise die gesamte abgeflossene Ladung: