

Aufgabe 1 (Elektrisches Gewitter und magnetisches Erdfeld)

Zur Beschreibung der elektrischen Vorgänge bei einem Gewitter soll eine geladene Gewitterwolke in $1,5\text{ km}$ Höhe zusammen mit dem Boden stark vereinfacht als „Naturplattenkondensator“ mit der Fläche 15 km^2 betrachtet werden. Die Wolkenunterseite besitzt gegenüber dem Boden das elektrische Potential $\varphi = -3,0 \cdot 10^7\text{ V}$. Wegen der zunächst noch trockenen Luft kann die Kapazität wie bei einem Kondensator im Vakuum berechnet werden.



- Ermitteln Sie die Kapazität und die Ladung dieses Kondensators sowie die elektrische Feldstärke E .
[Zur Kontrolle: $E = 2,0 \cdot 10^4\text{ V/m}$]
- Berechnen Sie den Geldbetrag, den man erhalten würde, wenn man die im elektrischen Feld dieses Kondensators gespeicherte Energie nach dem „Gesetz für erneuerbare Energien“ für $0,36\text{ €}$ pro kWh ins Stromnetz einspeisen könnte.

Im gesamten Gewitterfeld kommt es nun zu einem Hagelschauer. Dabei fallen kugelförmige Hagelkörnchen mit $0,5\text{ cm}$ Radius und $0,48\text{ g}$ Masse senkrecht nach unten.

- Berechnen sie die maximale Geschwindigkeit eines Hagelkörnchens beim Herunterfallen. Berücksichtigen Sie dabei zunächst nur die Gewichtskraft F_G und die durch den Luftwiderstand

$$\text{verursachte Kraft } F_L = \frac{1}{2} \cdot c_w \cdot \rho_L \cdot A \cdot v^2.$$

A bezeichnet hierbei die Querschnittsfläche des Hagelkorns und v seine Geschwindigkeit. Für die Konstante c_w ist der Wert $0,45$ zu verwenden, für die Dichte der Luft $\rho_L = 1,3\text{ kg/m}^3$.

Negative Ladungen, die im unteren Teil der Gewitterwolke auf den Hagelkörnchen sitzen, werden im Wesentlichen durch Blitze zur Erde abgeleitet. Doch auch die fallenden Hagelkörnchen selbst transportieren Ladung von der Wolke zum Boden.

- Die während eines Wolkenbruchs herabfallenden Hagelkörner entsprechen einer Wassermenge von 50 l/m^2 ; sie transportieren dabei insgesamt die Ladung $Q = 10\text{ mC}$. Schätzen Sie daraus die mittlere Ladungsmenge eines Hagelkörnchens ab und beurteilen Sie, ob sich daraus eine spürbare Änderung seiner Fallgeschwindigkeit ergibt.

Mit Hilfe eines Fadenstrahlrohrs soll die Stärke des Erdmagnetfelds ermittelt werden.

- Erläutern Sie anhand einer beschrifteten Skizze den Aufbau und das Funktionsprinzip eines Fadenstrahlrohrs in einem Helmholtzspulenpaar.
- Leiten Sie die Formel für den Durchmesser d der kreisförmigen Elektronenbahn in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung U_B und der magnetischen Feldstärke B des ablenkenden Magnetfeldes

$$\text{her. } d = \sqrt{\frac{8 \cdot U_B \cdot m_e}{e}} \cdot \frac{1}{B}$$

Berechnen sie den Durchmesser der Elektronenbahn für $U_B = 137\text{ V}$ und $B = 0,66\text{ mT}$.

Nun wird die Anordnung so ausgerichtet, dass die Magnetfeldlinien des Helmholtzspulenpaars parallel zu denen des Erdmagnetfelds orientiert sind. Für dieses Magnetfeld $B_{\text{Spule}} + B_{\text{Erde}}$ wird der Durchmesser d_1 der Elektronenbahn gemessen. Nach Drehung der Anordnung um 180° (Spulenmagnetfeld nun antiparallel zum Erdmagnetfeld, d. h. $B_{\text{Spule}} - B_{\text{Erde}}$) ergibt eine weitere Messung für den Bahndurchmesser den Wert d_2 .

g.) Leiten Sie die Beziehung $B_{Erde} = \sqrt{\frac{2 \cdot U_B \cdot m_e}{e}} \cdot \left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} \right)$ her und berechnen Sie B_{Erde} für

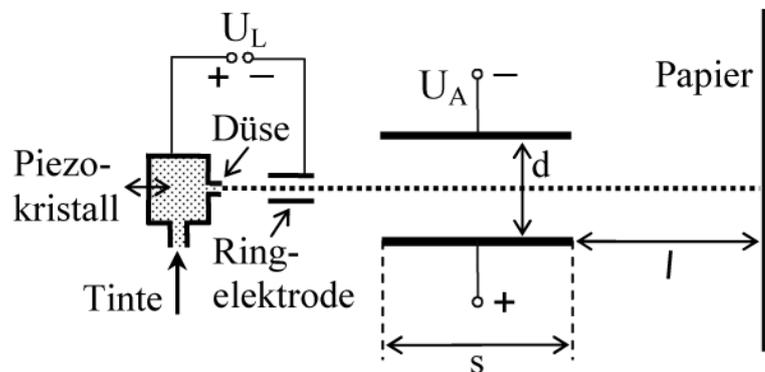
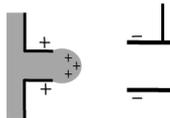
$U_B = 100 \text{ V}$ und die Bahndurchmesser 9,5 cm bzw. 10,9 cm.

Aufgabe 2 (Prinzip eines Tintenstrahldruckers)

Bei einer Variante des Tintenstrahldruckverfahrens erzeugt ein Tröpfchengenerator mit einem Piezoelement kugelförmige Tintentröpfchen mit der Dichte $\rho = 1,1 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, dem Radius $r = 20 \text{ }\mu\text{m}$ und der Geschwindigkeit $v_0 = 17 \text{ m/s}$. Zwischen Düse und Ringelektrode liegt die Spannung $U_L = 200 \text{ V}$. Beim Ablösen von der Düse erhalten die elektrisch leitenden Tröpfchen die positive Ladung $q = 4,5 \cdot 10^{-13} \text{ C}$. Die Tröpfchenladung entsteht durch einen Influenzeffekt und hängt von U_L ab.



Detailskizze:



- Erläutern Sie ganz kurz, was man unter dem Begriff *Influenz* versteht.
- Zeigen Sie, dass sich die kinetische Energie der Tröpfchen durch die Beschleunigung zwischen Düse und Ringelektroden nur unwesentlich erhöht. Vergleichen Sie hierzu die relative Zunahme der kinetischen Energie in Prozent. [Zur Kontrolle: $m = 3,69 \cdot 10^{-11} \text{ kg}$, relative Energiezunahme 1,7 %]

Nach der Ringelektrode treten die Tröpfchen in das homogene Querfeld eines Ablenkkondensators (Plattenabstand $d = 8,0 \text{ mm}$, Länge $s = 2,0 \text{ cm}$) ein, an dessen Platten eine zwischen 0 und 3,0 kV einstellbare Spannung U_A liegt. Für die Flugbahnbestimmung wird ein Koordinatensystem eingeführt: Die x -Achse zeige in Richtung der unabgelenkten Tröpfchen, die y -Achse vertikal nach oben, der Ursprung liege beim Eintritt in das Ablenkkondensatorfeld. Vereinfachend soll dessen Feld als homogen und auf den Innenraum beschränkt angesehen werden.

- Berechnen Sie zunächst die maximale Querschleunigung a_y für ein Tintentröpfchen im Ablenkkondensator. [Zur Kontrolle: $a_y = 4,6 \cdot 10^3 \text{ m/s}^2$]
- Beschreiben und skizzieren Sie qualitativ die Bahn der Tröpfchen vom Koordinatenursprung bis zum Auftreffpunkt P auf dem Papier.

Wenn $t_1 = \frac{s}{v_0}$ die Flugzeit im Kondensator, $t_2 = \frac{l}{v_0}$ die Flugzeit nach dem Kondensator und $v_y = a_y \cdot \frac{s}{v_0}$

ist, dann gilt für die y -Koordinate von P : $y_P = \frac{1}{2} a_y \cdot t_1^2 + v_y \cdot t_2$.

- Berechnen Sie den erforderlichen Abstand l des Ablenkkondensators vom Papier, damit die maximale Buchstabengröße 9,0 mm beträgt.
- Beurteilen und begründen Sie durch Vergleich der vertikalen Beschleunigungen, ob eine vertikale Ablenkung der Tröpfchen durch Gravitation vernachlässigbar ist oder nicht.