

| Name, Vorname | Testat | |
|---------------|--------|--|
| | | |

Aufgabe 1: Prinzip eines Tintenstrahldruckers

Bei der in **Fig. 1** dargestellten Variante des Tintenstrahlverfahrens erzeugt ein Tröpfchengenerator 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 eine Spannung $U_L = 200 \text{ V}$. Beim Ablösen von der Düse erhalten die elektrisch leitenden Tröpfchen eine positive Ladung $q = 4.5 \cdot 10^{-13} \text{ C}$.

Nach der Ringelektrode treten die Tröpfchen in das elektrische Feld \vec{E}_A eines Ablenkkondensators (Plattenabstand $d = 8.0 \text{ mm}$, Länge $s = 2.0 \text{ cm}$) ein, welcher das Tintentröpfchen in Richtung der y-Achse (s. Koordinatensystem in **Fig. 1**) auslenkt; an den Platten liegt eine zwischen 0 und 3 kV einstellbare Spannung U_A an. Vereinfachend soll das Feld \vec{E}_A als homogen und auf den Innenraum des Kondensators beschränkt angenommen werden.

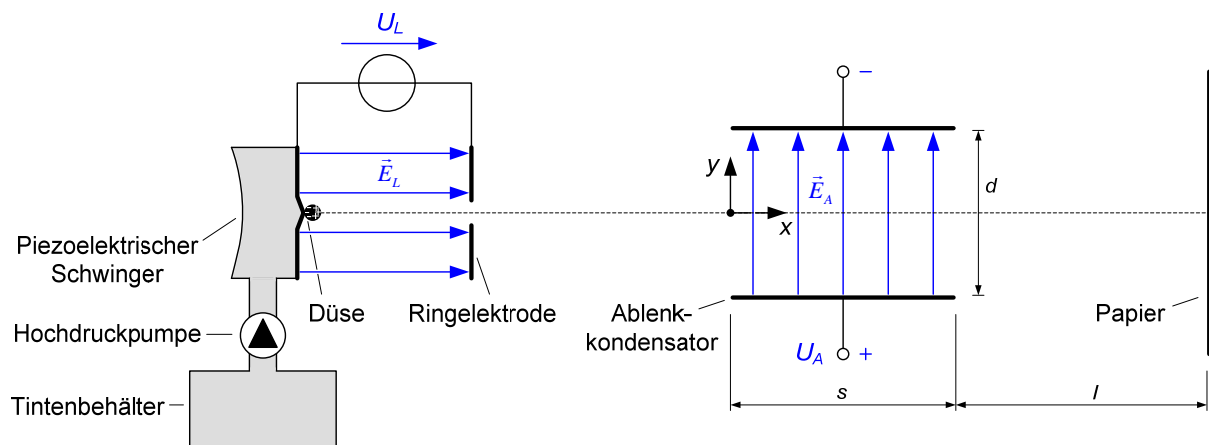


Fig. 1: Anordnung des Tröpfchengenerators und Ablenkkondensators

In den Teilaufgaben a) und b) wird zunächst der im linken Teil von Fig. 1 abgebildete Tröpfchengenerator und die Ringelektrode betrachtet.

- Erklären Sie, warum die Tröpfchenladung von U_L abhängt.
- Zeigen Sie, dass sich die kinetische Energie der Tröpfchen durch die Beschleunigung (verursacht durch U_L) zwischen Düse und Ringelektrode nur unwesentlich ändert. Berechnen Sie dazu die relative Änderung der kinetischen Energie.

Nachdem das Tintentröpfchen die Ringelektrode durchlaufen hat, erreicht es den Ablenkkondensator um letztendlich auf dem Papier aufzutreffen. Gravitation und Luftwiderstand können für die Teilaufgaben c), d) und e) vernachlässigt werden. Verwenden Sie im Folgenden das in **Fig. 1** eingezeichnete Koordinatensystem und nehmen Sie an, das Tintentröpfchen hätte im eingezeichneten Ursprung des Koordinatensystems die horizontale Geschwindigkeit $v_x = v_0$ und die vertikale Geschwindigkeit $v_y = 0$.

- Berechnen Sie zuerst die Querbeschleunigung a_y für ein Tröpfchen im Ablenkkondensator bei der Maximalspannung $U_A = 3 \text{ kV}$.

- d) Beschreiben und skizzieren Sie die Bahn der Tröpfchen vom Koordinatenursprung bis zum Auftreffpunkt P auf dem Papier und zeigen Sie, dass bei maximaler Spannung U_A für die y -Koordinate von P gilt:

$$y_P = \frac{a_y \cdot s}{v_0^2} \cdot \left(\frac{s}{2} + l \right)$$

- e) Wie gross muss der Abstand l sein, damit die maximale Höhe des druckbaren Bereichs 9.0 mm beträgt?

Hinweis: Die Tröpfchen können nur in eine Richtung abgelenkt werden.

- f) Berechnen Sie die vertikale Ablenkung der Tröpfchen durch Gravitation bei einer horizontalen Flugweite von 6.0 cm (ohne Ablenkkondensator und unter der Annahme konstanter Geschwindigkeit in Richtung der x -Achse, $v_x \approx \text{konst.} = v_0$). Erläutern Sie, ob und gegebenenfalls wie sich diese Ablenkung auf die Schriftqualität auswirkt.

Aufgabe 2: Feld und Potential eines Kugelkondensators

Bei einem Kugelkondensator aus zwei leitfähigen konzentrischen Kugelschalen sind die elektrischen Potentiale in verschiedenen Punkten zu bestimmen. Der Radius der inneren Kugelschale sei $r_i = 1\text{ cm}$, der Radius der Äusseren $r_a = 10\text{ cm}$: **Fig. 2 a)** zeigt einen Schnitt durch den Mittelpunkt des Kondensators mit den Abmessungen und den angelegten Spannungen. Das elektrische Feld und somit auch das Potential im Kugelkondensator ($r_i < r < r_a$) lässt sich durch eine Ersatzanordnung (siehe **Fig. 2 b)**) mit einer Punktladung Q im Mittelpunkt darstellen.

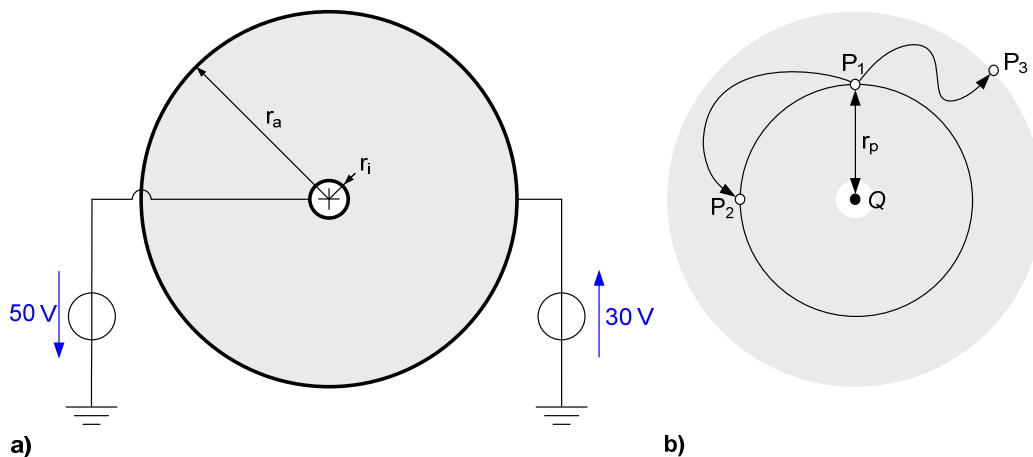


Fig. 2: a) Kugelkondensator **b)** Ersatzanordnung mit Punktladung; Punkte P_1, P_2, P_3

- a)** Berechnen Sie den Betrag und das Vorzeichen der Punktladung Q so, dass die Ersatzanordnung gültig ist.

Im Folgenden seien die 3 Punkte P_1, P_2, P_3 im Kondensator gegeben. P_1 und P_2 liegen auf einem konzentrischen Kreis mit Radius r_p , P_3 liege auf dem äusseren Rand des Kondensators.

- b)** Berechnen Sie den Radius r_p , wenn das Potential von P_2 auf 0 V festgelegt wird. Welches Potential hat dann P_3 ? Was bedeutet das Vorzeichen des Potentials im Punkt P_3 hinsichtlich der aufzuwendenden Energie bei Verschiebung einer gegebenen Ladung vom Referenzpotential 0 V zum Potential im Punkt P_3 ?
- c)** Berechnen Sie die Feldarbeit (Betrag und Vorzeichen), wenn eine Probeladung $q = 2.0 \cdot 10^{-11}\text{ C}$ von P_1 nach P_2 bewegt wird.
- d)** Beantworten Sie die Frage aus Teilaufgabe **c)** für den Fall, dass q von P_1 nach P_3 bewegt wird. Was bedeutet das Vorzeichen?

Aufgabe 3: Feldlinien und Potentialflächen

- 3.1.** Der elektrisch leitfähige Körper aus **Fig. 3.1** wird durch kurzzeitigen Kontakt mit einer Spannungsquelle gegenüber Erde elektrisch aufgeladen und anschliessend in eine elektrisch leitfähige, ungeladene und von der Umgebung isolierte Hülle gebracht.

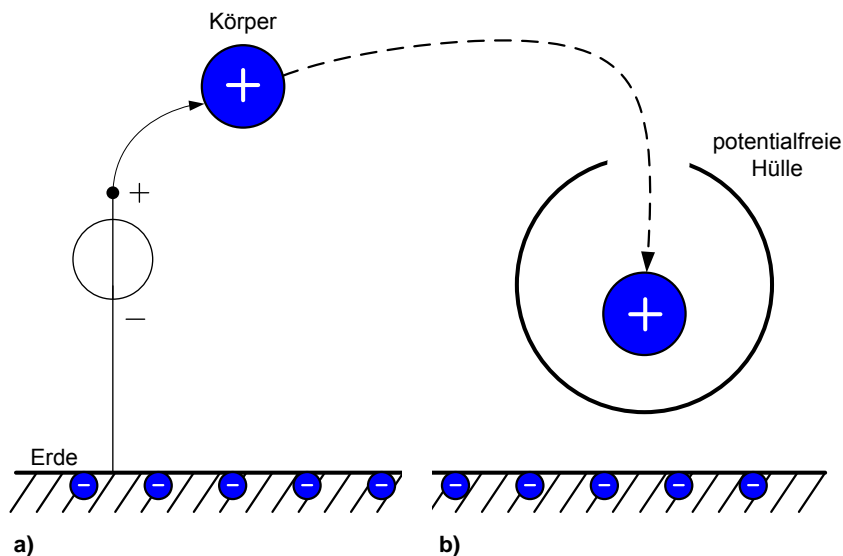


Fig. 3.1: a) Elektrostatische Aufladung eines elektrisch leitfähigen Körpers b) Körper mit Hülle

- a) Skizzieren Sie, qualitativ richtig, Potentialflächen und Feldlinien innerhalb und ausserhalb der Hülle.
- b) Die Hülle wird nun über einen Draht mit Erde verbunden. Wie ändert sich das elektrische Feld?
- 3.2.** Ein Paar entgegengesetzt gleich gross geladener Körper befindet sich entweder ausserhalb (**Fig. 3.2 a**) oder innerhalb (**Fig. 3.2 b**) einer metallenen Hülle (vgl. Faraday-Käfig). Skizzieren Sie, qualitativ richtig, das elektrische Feld (Potentialflächen und Feldlinien) für beide Fälle.

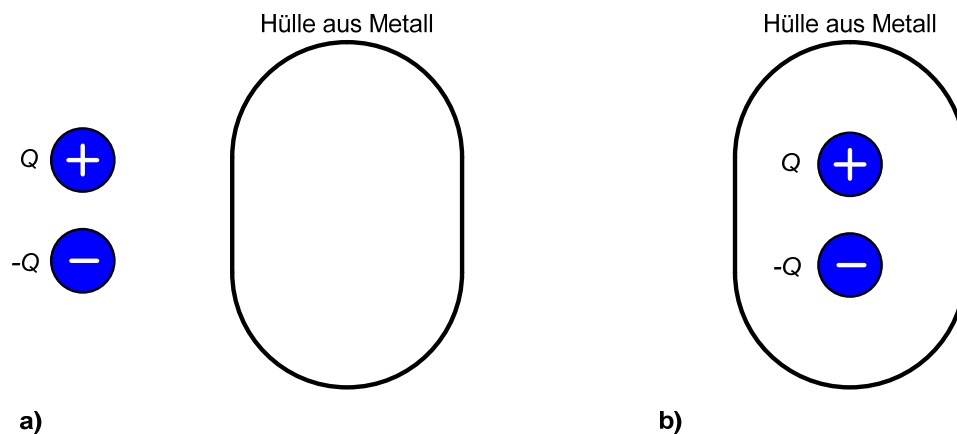


Fig. 3.2: a) Punktladungen ausserhalb einer Metallhülle b) Punktladungen in einer Metallhülle

Aufgabe 4: Elektronen im Längsfeld

(NICHT TESTATPFLICHTIG)

Durch Aufheizen einer Heizwendel treten Elektronen mit vernachlässigbarer Geschwindigkeit aus der Heizwendel H (**Fig. 4**). Die austretenden Elektronen werden im elektrischen Feld zwischen Heizwendel H und der Platte P beschleunigt und gelangen zum Teil durch ein Loch in der Platte P, wo sie in das zwischen P und Q herrschende Gegenfeld eintreten. Die zwischen H und P sowie zwischen P und Q vorliegenden elektrischen Felder \vec{E}_1 und \vec{E}_2 werden als homogen angenommen.

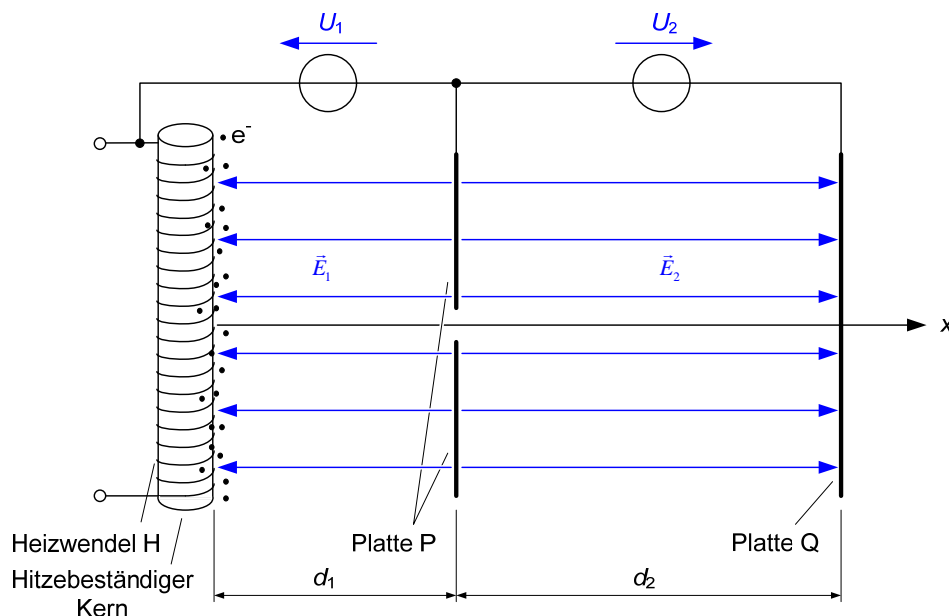


Fig. 4: Heizwendel H mit Platten P und Q

- Welche Beschleunigung erfährt ein Elektron zwischen H und P, wenn $U_1 = 1 \text{ kV}$ und $d_1 = 5.0 \text{ cm}$ ist? Drücken Sie diese Beschleunigung als ein Vielfaches der Erdbeschleunigung aus.
- Wie lange braucht ein Elektron, um die Strecke d_1 zurückzulegen, und welche Geschwindigkeit hat es bei P? Geben Sie die Energie des Elektrons bei P in Elektronvolt (eV) an.
- Nehmen Sie nun an, ein Elektron würde durch das in **Fig. 4** eingezeichnete Loch in der Platte P gelangen. In welcher Entfernung von P kehrt das Elektron um, wenn die Spannung $U_2 = 1.2 \text{ kV}$ und $d_2 = 8.0 \text{ cm}$ beträgt?