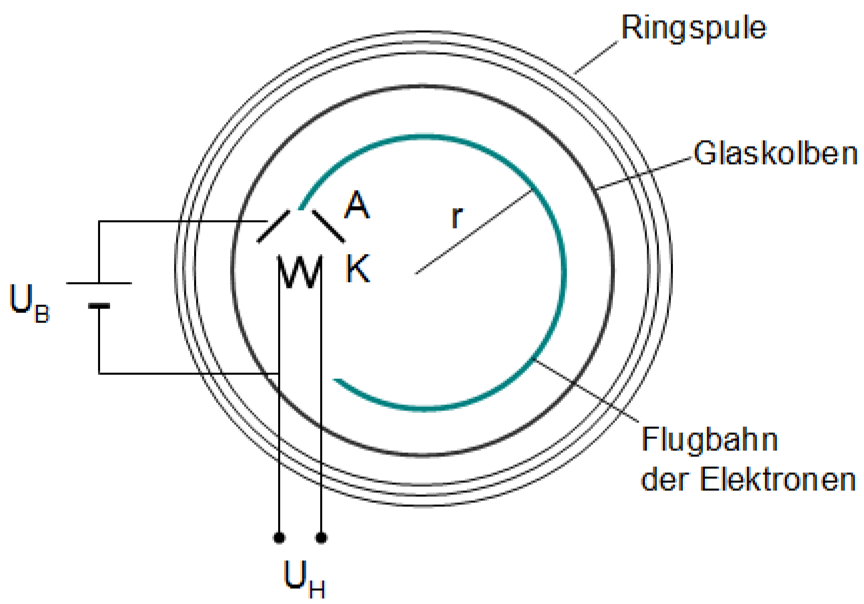
Abschlussprüfung Berufliche Oberschule 2013

- **Physik 12 Technik - Aufgabe III - Lösung**

Teilaufgabe 1.0
In der unten stehenden Skizze ist ein Fadenstrahlrohr dargestellt, mit dem der Betrag der spezifischen Ladung von Ektronen bestimmt werden kann. Die Elektronen treten aus der Glühkathode K mit vernachlässigbar kleiner Geschwindigkeit aus, durchlaufen die Beschleunigungsspannung U_B und fliegen durch das kleine Loch in der Anode A mit der Geschwindigkeit $\vec{v_0}$.

Dann werden die Elektronen in einem Magnetfeld auf eine Kreisbahn mit dem Radius r gelenkt.



Teilaufgabe 1.1 **(2 BE)**
Geben Sie die Bedingungen an, die das Magnetfeld erfüllen muss, damit sich die Eektronen in diesem Magnetfeld auf einer Kreisbahn bewegen.

- Das Magnetfeld muss **homogen** und **zeitlich konstant** sein,
- die Elektronen treten senkrecht in das Magnetfeld ein: $\vec{v_0} \perp \vec{B}$

Teilaufgabe 1.2 **(3 BE)**
Das Magnetfeld wird mithilfe eines Helmholtzspulenpaares erzeugt. In der oben stehenden Skizze ist eine der Ringspulen des Helmholtzspulenpaares erkennbar.
Geben Sie den technischen Umlaufsinn des Stromes durch die Ringspule an.
Begründen Sie Ihre Antwort.

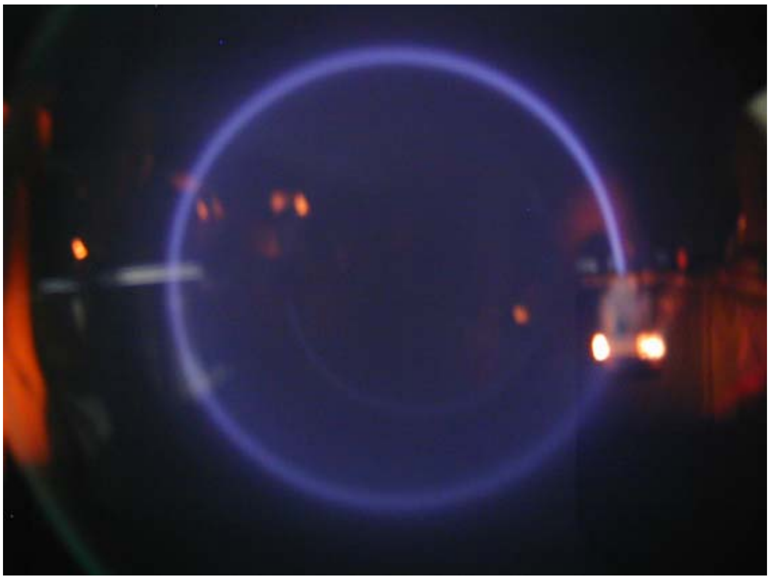
Beim Austritt der Elektronen durch die Anode gilt:
$\vec{v_0}$ nach oben, $\vec{F_L}$ nach rehts (zum Mittelpunkt der Kreisbahn),

$\Rightarrow$ $\vec{B}$ in die Zeichenebene hinein (UVW-Regel)

$\Rightarrow$ technische Stomrichtung im Spulenpaar **im Uhrzeigersinn** (Rechte-Hand-Regel).

Teilaufgabe 1.3 (3 BE)
Erkläutern Sie, wie es dazu kommt, dass die Kreisbahn der Elektronen im Fadenstrahlrohr sichtbar wird.

Der Glaskolben ist mit geringem Druck mit Edelgas gefüllt. Elektronen stoßen mit den Gasatomen zusammen und regen diese zum Leuchten an. Da nur die Gasatome leuchten, die sich in der Flugbahn der Elektronen befinden, wird die Kreisbahn sichtbar.



Die Elektronen werden hier rechts erzeugt.

Teilaufgabe 1.4 (4 BE)
Leiten Sie eine Gleichung her, die aufzeigt, wie der Betrag v_0 der Geschwindigkeit $\vec{v_0}$ von der Beschleunigungsspannung U_B abhängt.
Erläutern Sie dabei Ihren Lösungsansatz.

Beim Durchlaufen der Potentialdifferenz U_B verlieren die Elektronen potentielle Energie und gewinnen kinetische Energie.

Energieerhaltungssatz: $E_{kin} = E_{pot}$

$$\Leftrightarrow \quad \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v_0^2 = q_e \cdot U_B$$

$$\Leftrightarrow \quad v_0 = \sqrt{2 \cdot \frac{q_e}{m_e} \cdot U_B}$$

Teilaufgabe 1.5 (5 BE)

Zeigen Sie, dass für den Radius r der Kreisbahn gilt: $r = \sqrt{\frac{2 \cdot m_e \cdot U_B}{e}} \cdot \frac{1}{B}$

Dabei ist m_e die Masse eines Elektrons, e die Elementarladung und B der Betrag der magnetischen Flussdichte $\vec{B}$

Kreisbahn: $F_Z = F_L \quad \Leftrightarrow \quad \frac{m_e \cdot v_0^2}{r} = e \cdot v_0 \cdot B$

$$\Leftrightarrow \quad r = \frac{m_e \cdot v_0}{e \cdot B}$$

Mit 1.4 folgt: $\Leftrightarrow \quad r = \frac{m_e}{e} \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{e}{m_e} \cdot U_B} \cdot \frac{1}{B}$

vereinfachen: $r = \sqrt{2 \cdot \frac{m_e}{e} \cdot U_B} \cdot \frac{1}{B}$

Teilaufgabe 1.6.0

Die Beschleunigungsspannung beträgt $U_B = 150\ \mathrm{V}$. Die Stärke des Stroms durch das Helmholtzspulenpaar ist so hoch eingestellt, dass die Flussdichte $\vec{B}$ des magnetischen Feldes den Betrag $B = 0.75\ \mathrm{mT}$ hat. In diesem Magnetfeld bewegen sich die Elektronen auf einer Kreisbahn mit dem Radius $r = 5.5 \cdot \mathrm{cm}$.

Teilaufgabe 1.6.1 (5 BE)

Berechnen Sie aus den unter 1.6.0 gegebenen Größen den Betrag der spezifischen Ladung eines Elektrons. Führen Sie dabei eine Einheitenumrechnung durch.

Gegeben: $U_B := 150 \cdot \mathrm{V}$ $\quad B := 0.75 \cdot 10^{-3} \cdot \mathrm{T}$ $\quad r := 5.5 \cdot \mathrm{cm}$

Aus 1.5. $\quad r^2 \cdot B^2 = 2 \cdot \frac{m_e}{e} \cdot U_B$

Auflösen: $\quad \frac{e}{m_e} = \frac{2 \cdot U_B}{r^2 \cdot B^2} \qquad \frac{e}{m_e} = \frac{2 \cdot 150 \cdot \mathrm{V}}{\left(5.5 \cdot 10^{-2} \cdot \mathrm{m}\right)^2 \cdot \left(0.75 \cdot 10^{-3} \cdot \mathrm{T}\right)^2}$

$$spez_{Ladung} := \frac{2 \cdot U_B}{r^2 \cdot B^2} \qquad spez_{Ladung} = 1.8 \times 10^{11} \frac{\mathrm{A} \cdot \mathrm{s}}{\mathrm{kg}}$$

Einheitenkontrolle.

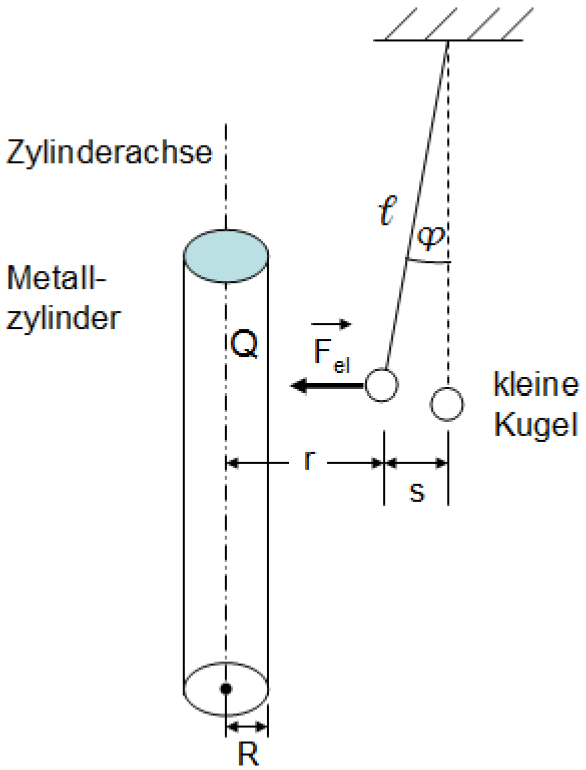
$$\frac{V}{m^2 \cdot T^2} = \frac{V}{m^2 \cdot \frac{V^2 \cdot s^2}{m^4}} = \frac{m^2}{V \cdot s^2} = \frac{m^2 \cdot A}{V \cdot s^2 \cdot A} = \frac{m^2 \cdot A}{J \cdot s} = \frac{m^2 \cdot A}{N \cdot m \cdot s} = \frac{m^2 \cdot A}{\frac{kg \cdot m}{s^2} \cdot m \cdot s} = \frac{A \cdot s}{kg}$$

Teilaufgabe 1.6.2 (4 BE)
Erläutern Sie zwei Möglichkeiten, wie der Radius r der Kreisbahn vergrößert werden kann.

Aus 1.5 folgt: $r = \sqrt{2 \cdot \frac{m_e}{e} \cdot U_B \cdot \frac{1}{B}}$ r wird größer, wenn B kleiner wird.

$r \sim \sqrt{2 \cdot \frac{m_e}{e} \cdot \frac{1}{B}} \cdot \sqrt{U_B}$ r wird größer, wenn U_B größer wird.

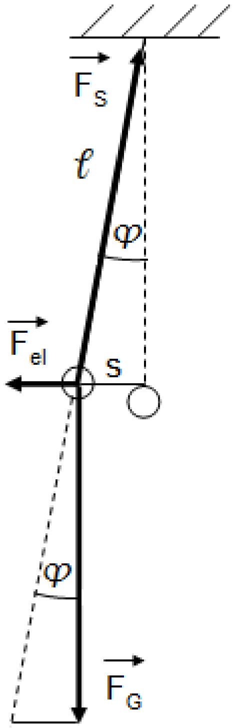
Teilaufgabe 2.0
Ein vertikal aufgestellter Metallzylinder mit dem Radius $\mathbf{R = 6.0\ cm}$ trägt die positive Ladung Q. Diese Ladung Q erzeugt in der Umgebung des Metallzylinders ein elektrisches Feld. Eine kleine Kugel mit der Masse $\mathbf{m_0 = 0.50\ g}$, die an einem Faden mit der Länge $\mathbf{l = 1.36\ m}$ hängt, wird elektrisch geladen. Das Kügelchen trägt dann die Ladung $\mathbf{q = -4.0 \cdot 10^{-9}\ C}$ und wird daher vom positiv geladenen Metallzylinder angezogen. Bei der Auslenkung s stellt sich für die kleine Kugel eine neue Gleichgewichtslage ein. Hier befindet sich die Kugel im Abstand r von der Zylinderachse. Ausgelenkt wird die kleine Kugel durch die elektrische Kraft $\overrightarrow{F_{el}}$, die horizontal und zur Zylinderachse hin gerichtet ist. Siehe nebenstehende, nicht maßstabsgetreue Skizze. Die Masse des Fadens ist vernachlässigbar klein.



Teilaufgabe 2.1 (9 BE)
Bei der Durchführung des unter 2.0 beschriebenen Versuches werden die Auslenkung s der kleinen Kugel und ihr Abstand r zur Zylinderachse gemessen.
Bei einem bestimmten Abstand r erhält man für die Auslenkung den Wert $\mathbf{s_0 = 1.0 \cdot cm}$.

Berechnen Sie mithilfe eines Kräfteplans den Betrag F_{el} der Kraft $\overrightarrow{F_{el}}$ und den Betrag E der Feldstärke $\vec{E}$, die von der Ladung Q am Ort des ausgelenkten Kügelchens erzeugt wird.

[Teilergebnis: $F_{el} = 3.6\ 10^{-5} \cdot N$]



$\sin(\varphi) = \frac{s}{l}$ $\qquad$ $\tan(\varphi) = \frac{F_{el}}{F_G}$

$\Rightarrow$ $\quad F_{el} = F_G \cdot \tan(\varphi) = F_G \cdot \tan\left(\arcsin\left(\frac{s}{l}\right)\right)$

$F_{el} = m_0 \cdot g \cdot \tan\left(\arcsin\left(\frac{s}{l}\right)\right)$

$F_{el} := 0.5 \cdot 10^{-3} \cdot kg \cdot 9.81 \cdot \frac{m}{s^2} \cdot \tan\left(asin\left(\frac{0.01}{1.36}\right)\right)$

$F_{el} = 3.6 \times 10^{-5} N$

$E = \frac{F_{el}}{|q|}$ $\qquad$ $E := \frac{3.6 \cdot 10^{-5} \cdot N}{4 \cdot 10^{-9} \cdot A \cdot s}$ $\qquad$ $E = 9 \times 10^3 \frac{V}{m}$

Teilaufgabe 2.2.0
Der Versuch aus 2.0 wird nun für verschiedene Abstände r durchgeführt. und dabei die Abhängigkeit des Betrags E der elektrische Feldstärke $\vec{E}$ vom Abstand r untersucht.

Man erhält folgende Ergebnisse:

"Messung Nr."	1	2	3	4
$\frac{r}{cm}$	7.0	8.0	10.0	14.0
$\frac{E}{\frac{kV}{m}}$	10.3	9.0	7.2	5.1

Teilaufgabe 2.2.1 (5 BE)
Bestätigen Sie durch eine graphische Auswertung der Messreihe, dass gilt:

$E = k \cdot \frac{1}{r}$, wobei k konstant, d. h. unabhängig von r ist.

MW :=

Messung	r in cm	E in $\frac{kV}{m}$
1	7	10.3
2	8	9
3	10	7.2
4	14	5.1

Auslesen der Messwerte.

$r := MW^{\langle 2 \rangle} \cdot cm$ $\qquad E := MW^{\langle 3 \rangle} \cdot \frac{10^3 \cdot V}{m}$

$r =$

0.07
0.08
0.1
0.14

m

$E =$

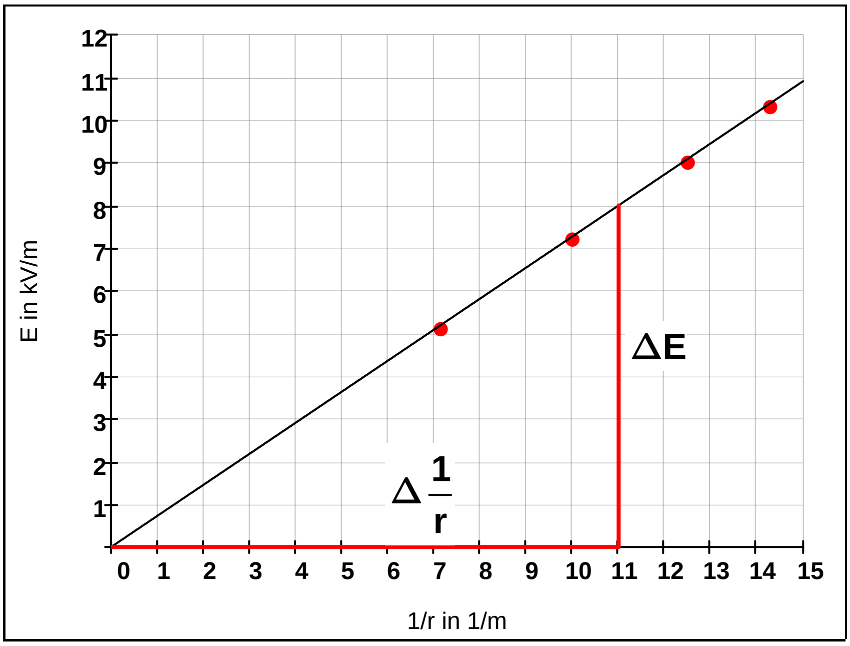
10.3
9
7.2
5.1

$\cdot 10^3 \cdot \frac{V}{m}$

$\frac{1}{r} =$

14.286
12.5
10
7.143

$\frac{1}{m}$



Die Messwerte liegen im Rahmen der Messgenauigkeit auf einer Ursprungsgeraden

$\Rightarrow \quad E \sim \frac{1}{r} \quad \Leftrightarrow \quad E = k \cdot \frac{1}{r}$

Teilaufgabe 2.2.2 (2 BE)
Bestimmen Sie die Konstante k aus dem Diagramm von 2.2.1.
[Mögliches Ergebnis: $k = 7.2 \cdot 10^2 \cdot V$]

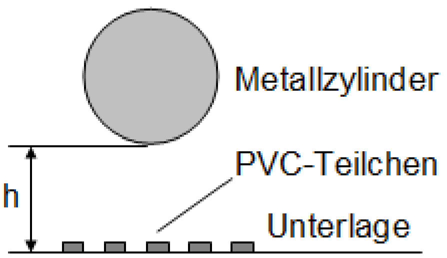
$$k = \frac{\Delta E}{\Delta \frac{1}{r}} \qquad k := \frac{8 \cdot 10^3 \cdot \frac{V}{m}}{11 \cdot \frac{1}{m}} \qquad k = 0.73\,kV$$

Teilaufgabe 2.2.3 (2 BE)
Der Punkt P_0 liegt auf der Oberfläche des Metallzylinders.

Berechnen Sie den Betrag E_0 der im Punkt P_0 auftretenden elektrischen Feldstärke $\vec{E_0}$.

$E_0 = k \cdot \frac{1}{R}$ $\qquad E_0 := 0.72 \cdot kV \cdot \frac{1}{0.06 \cdot m}$ $\qquad E_0 = 12 \frac{kV}{m}$

Teilaufgabe 2.3 (6 BE)
Der Metallzylinder (Radius $R = 6.0\ cm$), der immer noch die Ladung Q trägt, ist nun in der Höhe $h = 1.8 \cdot cm$ über einer Unterlage horizontal angeordnet. Er kann von der ungeladenen Unterlage negativ geladene PVC-Teilchen nach oben ziehen. Diese Teilchen bleiben dann an dem Metallzylinder haften. Die Kräfte zwischen den geladenen PVC-teilchen sind zu vernachlässigen. Ermitteln Sie mithilfe des Ergebnisses von 2.2.2, wie groß der Betrag der spezifischen Ladung $\frac{q}{m}$ eines negativ geladenen PVC-Teilchens mindestens sein muss, damit es vom elektrisch geladenen Metallzylinder angehoben und aufgenommen werden kann.



$F_{el} > F_G$

$\Leftrightarrow \quad q \cdot E_0 > m \cdot g \quad \Leftrightarrow \quad \frac{q}{m} > \frac{g}{E_0}$

$\frac{g}{E_0} = \frac{g}{k} \cdot r = \frac{g}{k} \cdot (R + h)$

$$spez_{Ladung} := \frac{9.81 \cdot \frac{m}{s^2}}{0.72 \cdot \frac{kV}{m}} \cdot (0.06 \cdot m + 0.018 \cdot m) \qquad spez_{Ladung} = 1.1 \times 10^{-3} \frac{A \cdot m \cdot s}{kg}$$