1. Bewegte Ladung im elektrischen Feld

a. Beschreibe den Aufbau der in Abb.1 dargestellten Braunschen Röhre und erläutere die Funktion der einzelnen Bauteile und die Bahn der Elektronen von der Glühwendel bis zum Auftreffen auf dem Schirm! Zeichne eine geeignete Vorrichtung zur Bündelung des Elektronenstrahls in die vorliegende Abbildung ein!

b. Leite begründet her: Für die Geschwindigkeit der Elektronen beim Austritt aus dem Anodenloch gilt: $v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U_a}{m_e}}$! Zwischen der Glühwendel und der Anode werden die Elektronen mit $a = \frac{e \cdot U_a}{m_e \cdot z}$ beschleunigt! Für den Weg von der Glühwendel zur Anode benötigen die Elektronen die Zeit $t = z \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m_e}{e \cdot U_a}}$! Berechne $v, a\ und\ t$ aus den Messwerten des Versuchs!

c. Im Punkt P verlassen die Elektronen das Kondensatorfeld. Berechne die angelegte Kondensatorspannung U !

d. Am Kondensator liegt die Spannung $U = 5{,}7778 kV$. Berechne die Steigung und den Steigungswinkel der Elektronenbahn im Punkt P und den Auftreffpunkt der Elektronen auf dem Schirm!

2. Entladen eines Kondensators

a. Zeichne das Bild einer Schaltung, mit der man den Spannungsverlauf $U_C(t)$ eines Kondensators beim Entladen messen kann und skizziere den zu erwartenden Messgraphen!

b. Zeige, dass auch $U_C(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{\ln(2)}{t_H} \cdot t}$ eine geeignete Funktion zur Berechnung der Kondensatorspannung ist! t_H ist die Halbwertzeit der Entladung.

c. Die Kapazität eines Kondensators beträgt $C = 8\mu F$. Er wird mit einer Spannung von $12V$ aufgeladen. Berechne den erforderlichen Entladewiderstand, wenn die Halbwertzeit $55s$ betragen soll!

d. Für den Entladestrom gilt bei einer Halbwertzeit von $t_H = 55s$ und einem Entladewiderstand von $R = 9{,}9185\ M\Omega$: $I_C(t) = I_0 \cdot e^{-\frac{\ln(2)}{t_H} \cdot t}$. Bestimme $I_C(t)$! Skizziere in dem $I_C - t$ –Diagramm die in $55s$ abgeflossene Ladungsmenge und berechne sie!

Materialseite

Zur 1. Aufgabe

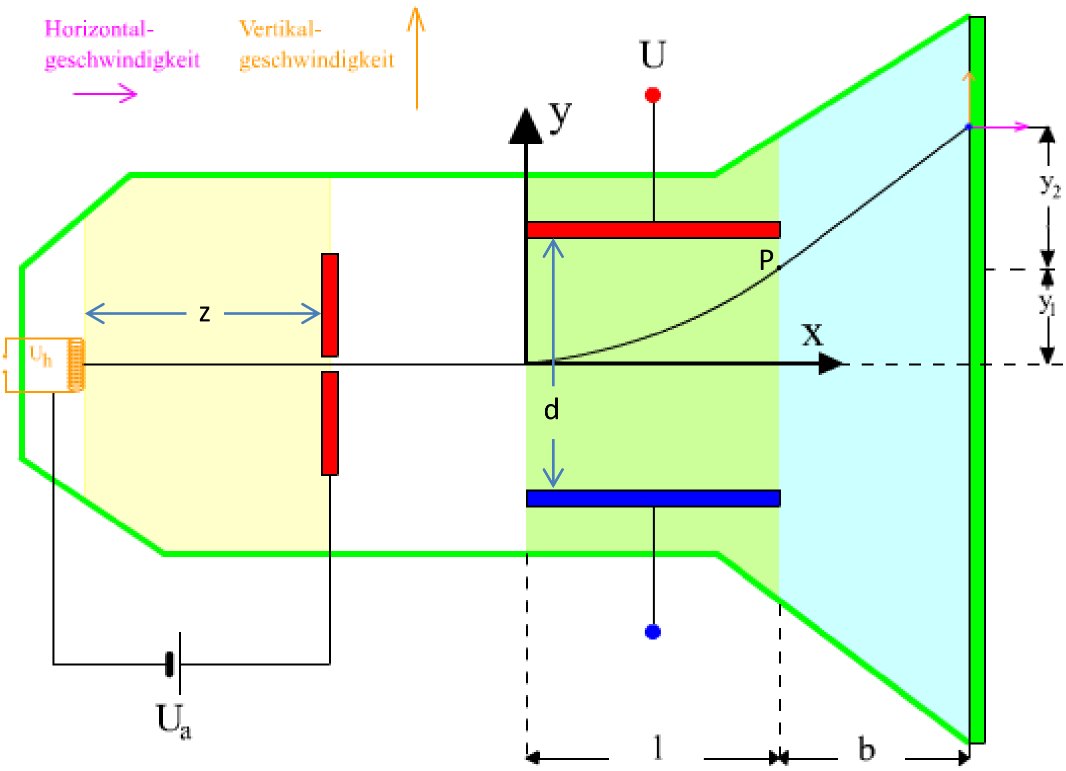


Abb.1 Braunsche Röhre mit Ablenkkondensator und ebenem Schirm
Quelle: ***http://www.leifiphysik.de/web_ph12/grundwissen/01querfeld/querfeld.htm***

Messwerte:

$z = 5cm$; $U_a = 4kV$; $l = 6cm$; $d = 6{,}5cm$; $b = 4cm$; $P(6cm/2cm)$

Lösungen

1a) <u>Aufbau beschreiben:</u> (von links nach rechts)

An einer Glühwendel liegt die Heizspannung U_H. In der Entfernung z befindet sich eine Lochanode vor der Glühwendel. Rechts davon ist ein Ablenkkondensator angebracht, der ein vertikales el. Feld (oben plus, unten minus) erzeugt. Die Röhre wird rechts durch ihren ebenen Schirm abgeschlossen.

<u>Funktion erläutern:</u>

In der Glühwendel wird durch Zufuhr elektr. Energie die thermische Bewegung der Elektronen so groß, dass sie austreten (glühelektr. Effekt). Im el. Feld zw. Glühwendel und Anode werden sie durch U_a horizontal beschleunigt und fliegen auf Grund ihrer Trägheit mit der im Anodenloch erreichten waagr. Geschw. v zum Ablenkkondensator. In seinem el. Feld werden sie nach oben beschleunigt und verlassen es im Punkt P. Da sich eine gleichf. Bewegung (waagr.) und eine beschl. Bew. (senkrecht) überlagern, kommt es zur Parabelbahn im Kondensator. Vom Punkt P bis zum Schirm fliegen die El. gerade mit der zuletzt erreichten Geschw. weiter.

<u>Vorrichtung zur Bündelung einzeichnen:</u>

Wehneltzylinder um das el. Feld zw. Glühwendel und ~~Kath~~ Anode einbetten und an den Minuspol anschließen.

b) Zu zeigen: $v = \sqrt{\frac{2 e U_a}{m_e}}$ ②

Bew.: Im Beschl.feld zw. Glühdraht und Lochanode nehmen die Elektronen die Energie $e \cdot U_a$ des el. Feldes zur Beschleunigung (das Feld beschleunigt!) und erreichen an der Anode die kin. Energie $\frac{1}{2} m_e v^2$. Die Energie wird also umgeformt, und es gilt:

$$e \cdot U_a = \frac{1}{2} m_e v^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 e U_a}{m_e}}.$$

Zu zeigen: $a = \frac{e \cdot U_a}{m_e z}$

Bew.: Die el. Kraft $F_{el} = m_e \cdot a$ beschleunigt die Elektronen. Für F_{el} gilt: $F_{el} = e \cdot E$ und für E: $E = \frac{U_a}{z}$. $\Rightarrow$ $\underline{\underline{a}} = \frac{F_{el}}{m_e} = \frac{e \cdot E}{m_e} = \underline{\underline{\frac{e U_a}{m_e z}}}$

Zu zeigen: $t = z \cdot \sqrt{\frac{2 m_e}{e U_a}}$

Bew.: Für die beschl. Bew. gilt: $v = a \cdot t$. $\Rightarrow$

$t = \frac{v}{a}$. Mit v und a aus Teil b) gilt:

$$\underline{\underline{t}} = \frac{\sqrt{\frac{2 e U_a}{m_e}}}{\frac{e U_a}{m_e z}} = \sqrt{\frac{2 e U_a m_e^2 z^2}{m_e e^2 U_a^2}} = \underline{\underline{z \sqrt{\frac{2 m_e}{e U_a}}}}$$

$$\underline{\underline{v}} = \sqrt{\frac{2 e \cdot 4000\,V}{m_e}} \approx \underline{\underline{3{,}7511 \cdot 10^7 \frac{m}{s}}} \approx 12{,}5\% \cdot c$$

$$\underline{\underline{a}} = \frac{e \cdot 4000\,V}{m_e \cdot 0{,}05\,m} \approx \underline{\underline{1{,}4071 \cdot 10^{16} \frac{m}{s^2}}}$$

$$\underline{\underline{t}} = \frac{v}{a} \approx \underline{\underline{2{,}6658\,ns}}$$

Probe: $0{,}05\,m \cdot \sqrt{\frac{2 m_e}{e \cdot 4000\,V}} \approx$

$\underline{\underline{t \approx 2{,}6659\,ns}}$

c) $P(\underset{=x}{6\,\text{cm}} \mid \underset{=y}{2\,\text{cm}})$

$$y = \frac{U}{4dU_a}\cdot x^2 \Rightarrow U = \frac{y\cdot 4\cdot d\cdot U_a}{x^2}$$

$$\underline{\underline{U}} = \frac{2\,\text{cm}\cdot 4\cdot 6{,}5\,\text{cm}\cdot 4000\,\text{V}}{(6\,\text{cm})^2} = \underline{\underline{5{,}7778\,\text{kV}}}$$

d) $y = \dfrac{U}{4dU_a}x^2$ (Bahngl.)

$y' = \dfrac{2U}{4dU_a}x$ (Steigung)

$x = 6$ cm einsetzen!

$$\underline{\underline{y'}} = \frac{2\cdot 5{,}7778\cdot 10^3}{4\cdot 0{,}065\cdot 4000}\cdot 0{,}06 = \underline{\underline{0{,}66667}}$$

$(\underline{\underline{\alpha \approx 33{,}69°}})$

Von P zum Schirm:

$y = mx + b^*$

$y = 0{,}66667\cdot x + b^*$ $\quad P(6\,\text{cm} \mid 2\,\text{cm})$

$2\,\text{cm} = 0{,}66667\cdot 6\,\text{cm} + b^* \Rightarrow$

$b^* = 2\,\text{cm} - 0{,}66667\cdot 6\,\text{cm} \Rightarrow \underline{\underline{b^* \approx -2{,}00\,\text{cm}}}$

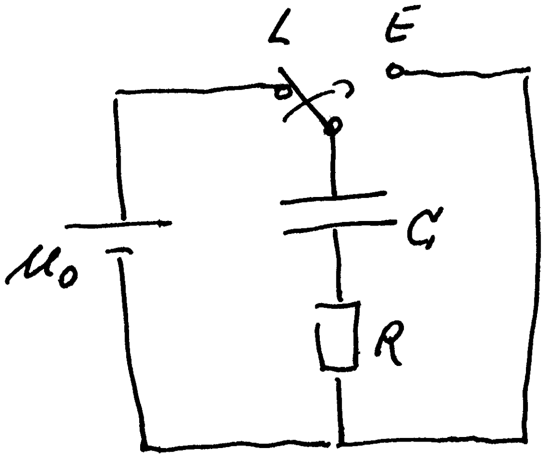
$\Rightarrow y = 0{,}66667\cdot x - 2{,}00\,\text{cm}$

Sie schneidet den Schirm bei $x_s = l + b = 10\,\text{cm}$.

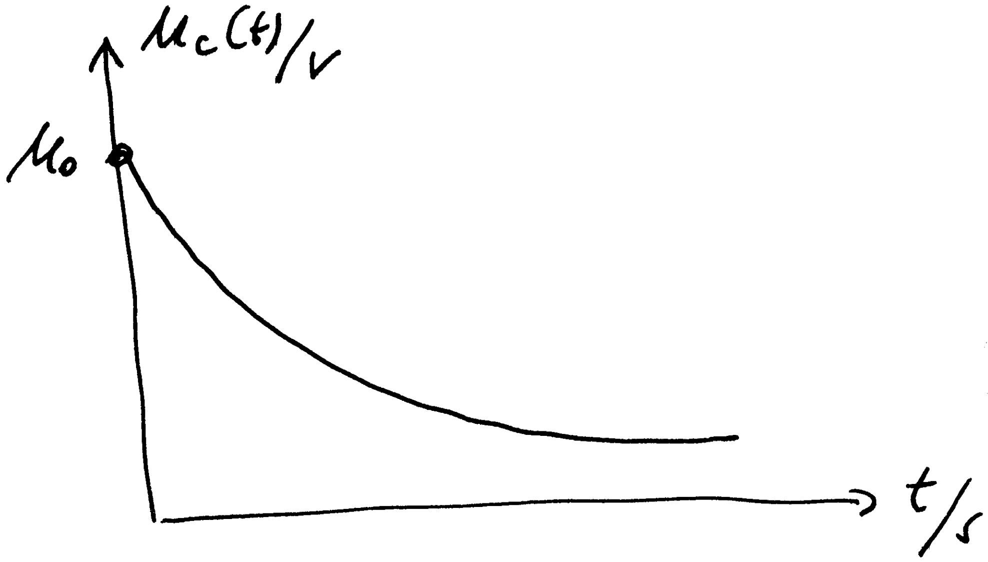
$\Rightarrow y_s = 0{,}66667\cdot 10\,\text{cm} - 2{,}00\,\text{cm} \Rightarrow y_s = 4{,}6667\,\text{cm}$

Die El. treffen in $(10\,\text{cm} \mid 4{,}67\,\text{cm})$ auf den Schirm.

2a) Schaltung zeichnen



Skizze des Messgraphen



b) Zu zeigen: $u_c(t) = u_0 \cdot e^{-\frac{\ln(2)}{t_H} \cdot t}$ (5)

Bew: $u_c(t) = u_0 e^{-\frac{1}{RC} \cdot t} \Rightarrow$

$\frac{1}{2} u_0 = u_0 e^{-\frac{1}{RC} \cdot t_H} \Rightarrow$

$-\ln(2) = -\frac{1}{RC} \cdot t_H \Rightarrow$

$\frac{-\ln(2)}{t_H} = -\frac{1}{RC} \Rightarrow$

$$\underline{\underline{u_c(t) = u_0 e^{-\frac{\ln(2)}{t_H} \cdot t}}}$$

c) $C = 8 \mu F$ $\quad u_0 = 12 V$ $\quad R = ?$

$t_H = 55 s$

s.o. $\frac{-\ln(2)}{t_H} = -\frac{1}{RC}$

$$\frac{\ln(2)}{55 s} = \frac{1}{R \cdot 8 \cdot 10^{-6} F}$$

$$R = \frac{55 s}{8 \cdot 10^{-6} F \cdot \ln(2)}$$

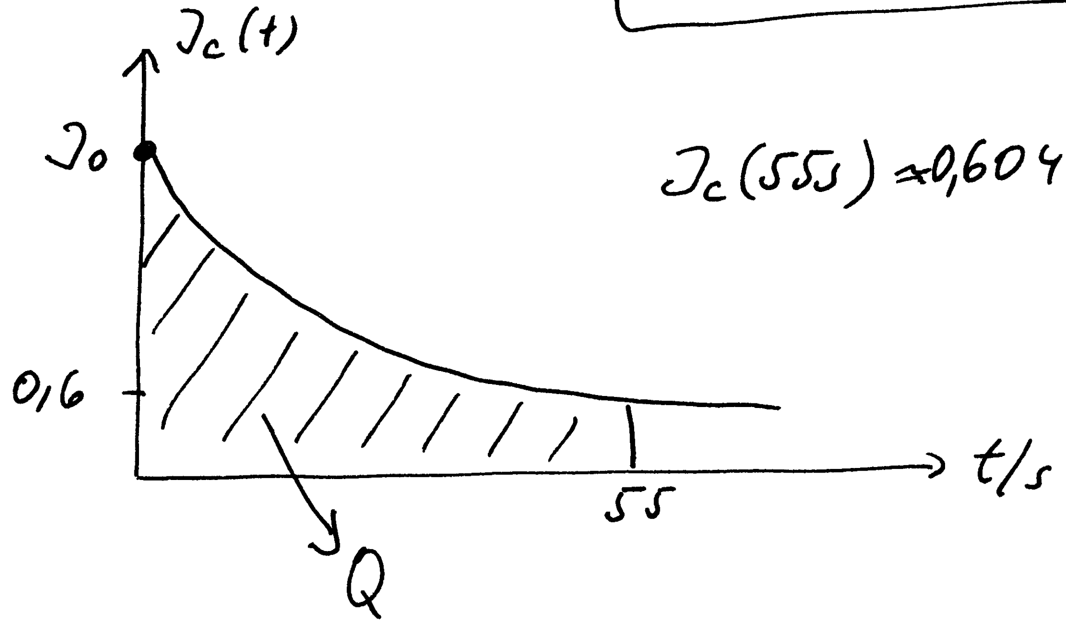
$$\underline{\underline{R \approx 9{,}9185 \, M\Omega}}$$

d) $J_C(t) = J_0 \, e^{-\frac{\ln(2)}{t_H}\cdot t}$

$J_0 = \frac{U_0}{R} = \frac{12\,V}{9{,}9185\,M\Omega}$

$\underline{J_0 \approx 1{,}2099\,\mu A}$

$\boxed{J_C(t) = 1{,}2099\,\mu A \cdot e^{-0{,}012603\,s^{-1}\cdot t}}$



$J_c(55s) \approx 0{,}60493\,mA$

$J = \frac{Q}{t} \rightarrow J = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \rightarrow \Delta Q = J \cdot \Delta t$

$$Q_{0,55} = \int_{0s}^{55s} J_c(t)\,dt$$

Mit dem ∫TR: $y = \dots J_c(t)$ | ODER

2ND Trace (CALC) | MATH

fnInt(Y1,X,0,55)

$\underline{Q_{0,55}} = 4{,}8001 \cdot 10^{-5}\,C$

$= \underline{48{,}001\,\mu C}$