Abitur - Leistungskurs Physik

Sachsen-Anhalt 2008

Thema V1 – Ablenkung von Elektronen

1 Elektrisches Feld

In einer Elektronenstrahlröhre, die in Oszilloskopen Verwendung findet, werden Elektronen auf eine Geschwindigkeit v_0 beschleunigt. Sie treten senkrecht zum elektrischen Feld genau in der Mitte der Ablenkplatten ein. Der Leuchtschirm befindet sich s = 250 mm hinter den Ablenkplatten (Bild 1).

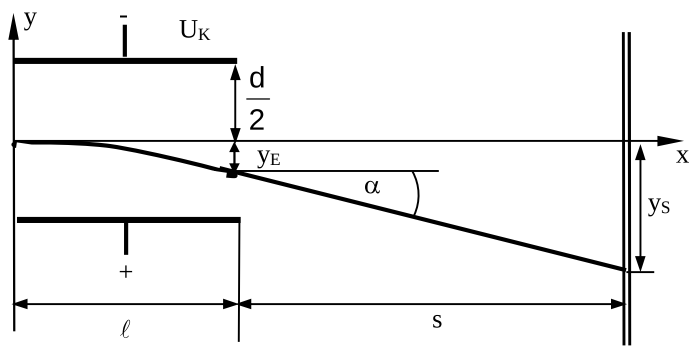
Daten:

$v_0 = 6{,}0 \cdot 10^{6}\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$

$\ell = 40\,\mathrm{mm}$

$d = 48\,\mathrm{mm}$

$U_K = 240\,\mathrm{V}$



Zeigen Sie, dass für die Ablenkung im Kondensator gilt:

$$y = -\frac{e \cdot U_K}{2\,d \cdot v_0^2 \cdot m_e}\,x^2 .$$

Berechnen Sie die Strecke y_E, um die der Elektronenstrahl zur Horizontalen abgelenkt wird, und den Austrittswinkel α.

(Ergebnis zur Kontrolle: y_E = -19,5 mm, α = - 44,3°)

2 **Magnetisches Feld**

Bei einer Elektronenstrahlröhre eines Fernsehgerätes erfolgt die Ablenkung des Elektronenstrahls in einem eng begrenzten homogenen Magnetfeld der magnetischen Flussdichte B.

In einem konkreten Fall werden Elektronen im elektrischen Feld zwischen Katode und Anode auf die Geschwindigkeit $v_0 = 6{,}0 \cdot 10^{6}\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$ beschleunigt. Sie treten anschließend genau senkrecht in das Magnetfeld der Breite b = 40 mm ein (Bild 2).

Berechnen Sie die Flussdichte B, die notwendig ist, damit der Elektronenstrahl mit der Geschwindigkeit v_0 um die Strecke $y_B = -19{,}5\,\mathrm{mm}$ abgelenkt wird.

Bestimmen Sie den Winkel β zur Horizontalen, unter dem der Elektronenstrahl das Magnetfeld verlässt. (Ergebnis zur Kontrolle: β = - 51,9°)

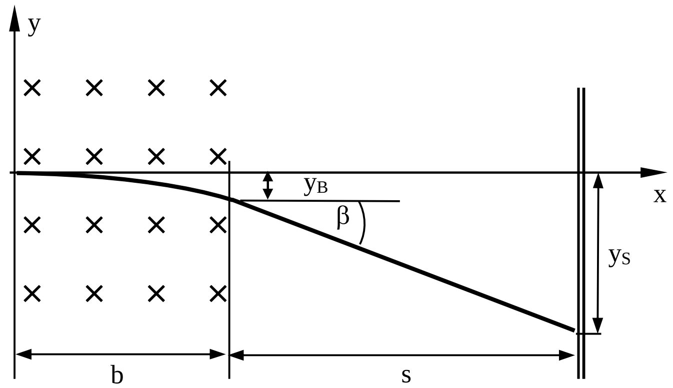


Bild 2

3 Vergleich

Diskutieren Sie für die Bedingung $y_E = y_B$ das Ablenkvermögen durch die elektrischen bzw. magnetischen Felder in Elektronenstrahlröhren unter Einbeziehung der Ergebnisse der Aufgaben 1 und 2 bezüglich der Größe der Bildschirme und der Röhrenlänge.

Lösung:

1 Elektrisches Feld

Herleitung:

x-Richtung: gleichförmige Bewegung

$$x = v_0 \cdot t \qquad \Rightarrow \quad \left(^1\right)\ t = \frac{x}{v_0}$$

y-Richtung: gleichmäßig beschleunigte Bewegung

$$y = -\frac{a}{2} \cdot t^2 \qquad F = m \cdot a$$

$$a = \frac{F}{m} \qquad F = E \cdot Q = E \cdot e \qquad \text{mit } E = \frac{U}{d}$$

$$F = \frac{U \cdot e}{d}$$

$$a = \frac{U \cdot e}{m \cdot d}$$

$$y = -\frac{U \cdot e}{2 \cdot m \cdot d} \cdot t^2 \qquad \text{mit } \left(^1\right)$$

$$\underline{y = -\frac{U \cdot e}{2 \cdot m \cdot d \cdot {v_0}^2} \cdot x^2}$$

Berechnung der horizontalen Ablenkung:

$$y_E = -\frac{240\,\text{V} \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}\,\text{As}}{2 \cdot 9{,}109 \cdot 10^{-31}\,\text{kg} \cdot 4{,}8 \cdot 10^{-2}\,\text{m} \cdot \left(6{,}0 \cdot 10^6\right)^2\,\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}} \cdot \left(4{,}0 \cdot 10^{-2}\right)^2\,\text{m}^2$$

$$y_E = \underline{-0{,}0195\,\text{m} = -19{,}5\,\text{mm}}$$

$$\left[y\right] = \frac{\text{V} \cdot \text{As} \cdot \text{m}^2}{\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}} = \frac{\text{J} \cdot \text{m}^2}{\text{J} \cdot \text{m}} = \text{m}$$

Berechnung des Austrittswinkels:

$$\tan(\alpha) = \frac{dy}{dx} = y'(x)$$

$$= -\frac{e \cdot U \cdot x}{d \cdot m \cdot {v_0}^2}$$

$$= -\frac{240\,\text{V} \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}\,\text{As}}{2 \cdot 9{,}109 \cdot 10^{-31}\,\text{kg} \cdot 4{,}8 \cdot 10^{-2}\,\text{m} \cdot \left(6{,}0 \cdot 10^6\right)^2\,\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}} \cdot 4{,}0 \cdot 10^{-2}\,\text{m}$$

$$\underline{\alpha = -44{,}3°}$$

oder:

$$\tan(\alpha) = \frac{y_E}{\frac{\ell}{2}} = \frac{-19{,}5\,\text{mm}}{20\,\text{mm}} \Rightarrow \alpha = \underline{-44{,}3°}$$

2 Magnetisches Feld

<u>Berechnen der Flussdichte B:</u>

Berechnung des Radius:

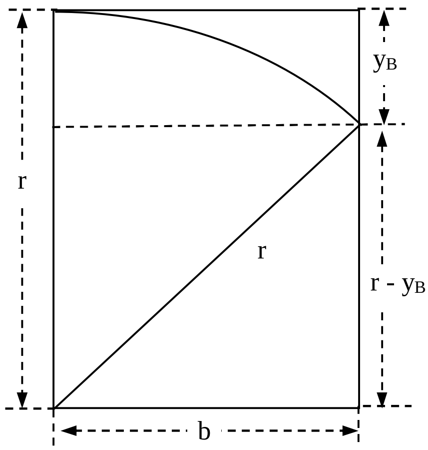
$$r^2 = b^2 + (r - y_B)^2$$

$$r^2 = b^2 + r^2 - 2 \cdot r \cdot y_B + y_B^2$$

$$0 = b^2 - 2 \cdot r \cdot y_B + y_B^2$$

$$(2): r = \frac{b^2 + y_B^2}{2 \cdot y_B} = \frac{b^2}{2 \cdot y_B} + \frac{y_B}{2}$$

wenn berechnet: $r = 0,05077\,\text{m}$



$$F_Z = F_L$$

$$m \cdot \frac{v^2}{r} = e \cdot v \cdot B$$

$$B = \frac{m \cdot v}{e \cdot r} \qquad \text{mit } (2) \quad \frac{b^2 + y_B^2}{2 \cdot y_B}$$

$$B = \frac{2 \cdot m \cdot v \cdot y_B}{e \cdot (b^2 + y_B^2)}$$

$$B = \frac{2 \cdot 9,109 \cdot 10^{-31}\,\text{kg} \cdot 6,0 \cdot 10^6\,\text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 1,95 \cdot 10^{-2}\,\text{m}}{1,602 \cdot 10^{-19}\,\text{As} \cdot \left((4 \cdot 10^{-2})^2\,\text{m}^2 + (1,95 \cdot 10^{-2})^2\,\text{m}^2\right)} = \underline{6,72 \cdot 10^{-4}\,\text{T}} \ (\text{oder r eingesetzt})$$

$$[B] = \frac{\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}}{\text{As} \cdot \text{m}^2} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}}{\text{A} \cdot \text{m}^2} = \frac{\text{J}}{\text{A} \cdot \text{m}^2} = \frac{\text{V A s}}{\text{A} \cdot \text{m}^2} = \frac{\text{V s}}{\text{m}^2} = \text{T}$$

<u>Bestimmung des Ablenkwinkels:</u>

$$r^2 = b^2 + (r - y_B)^2$$

$$(r - y_B)^2 = r^2 - b^2$$

$$y_B(b) = r - \sqrt{r^2 - b^2}$$

$$\tan(\beta) = \frac{d\,y_B}{d\,b} = -\frac{-2\,b}{2 \cdot \sqrt{r^2 - b^2}} = -\frac{b}{\sqrt{r^2 - b^2}}$$

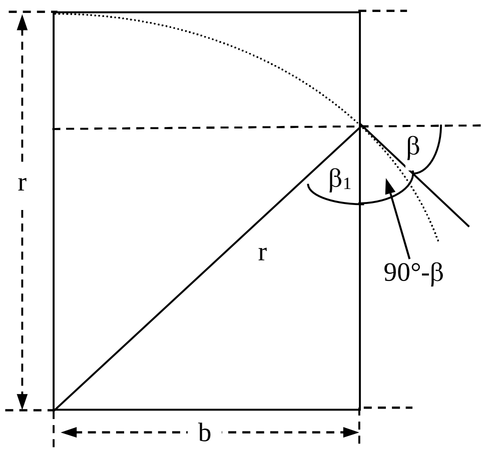
$$= -\frac{4 \cdot 10^{-2}\,\text{m}}{\sqrt{(0,05077)^2\,\text{m}^2 - (4 \cdot 10^{-2})^2\,\text{m}^2}}$$

$$\underline{\beta = -51,9°}$$

oder:

$$\sin(\beta_1) = \frac{b}{r} = \frac{40\,\text{mm}}{50,8\,\text{mm}} \Rightarrow \beta_1 = 51,9°$$

$\Rightarrow \beta = -51,9°$ (aus Winkelrichtung)



3 Vergleich

Bedingung: $y_E = y_B$ - Diskussion:

- Austrittswinkel β im B-Feld ist größer als Austrittswinkel α im E-Feld
- Bei festem Abstand Feld-Bildschirm wird der Elektronenstrahl bei magnetischer Ablenkung weiter abgelenkt
  $\Rightarrow$ größerer Bildschirm möglich
- Bei fester Bildschirmgröße kann die Röhre mit magnetischer Ablenkung kürzer sein.