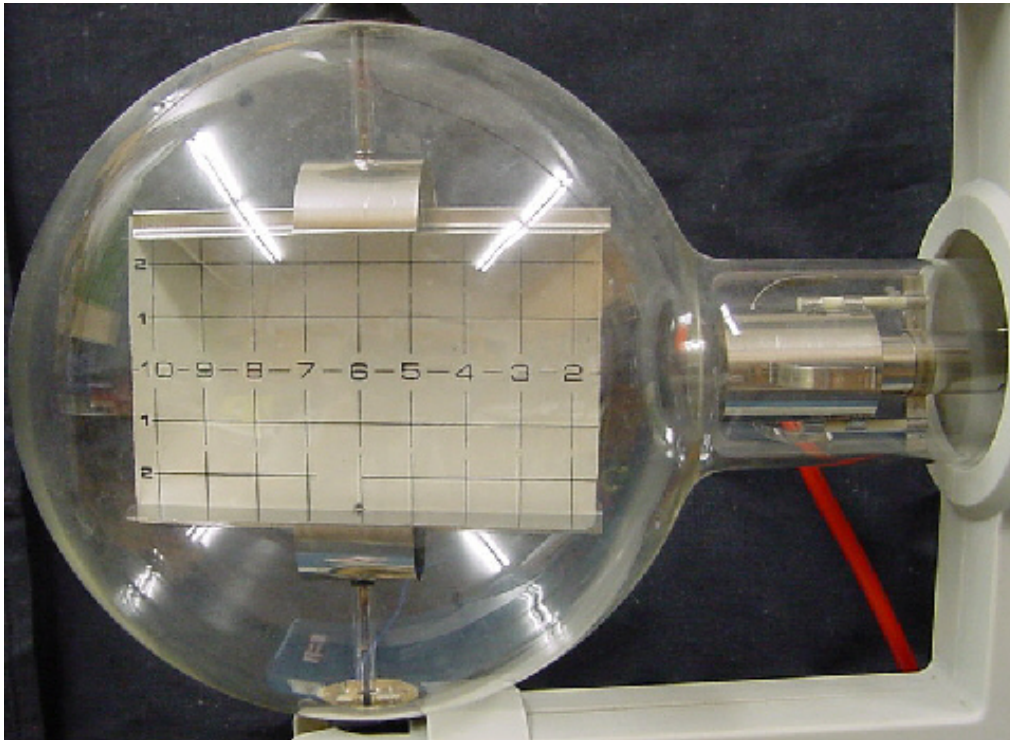


# Leistungsfach Physik 12/1 Klausur Nr. 2

## Aufgabe 1: Elektronenstrahlröhre



Ist die Kondensatorspannung  $U_K = 0V$ , so verläuft der Elektronenstrahl genau in der Mitte zwischen den Platten. Das ist die x-Richtung. Die Platten haben die Länge  $l = 9\text{ cm}$  und den Abstand  $d = 5,4\text{ cm}$  voneinander.  $U_A$  ist die Anodenspannung. Der Koordinatenursprung der angegebenen Werte  $s_x$  und  $s_y$  liegt im Eintrittspunkt des Strahls in das Kondensatorfeld.

Versuche ergeben folgende Werte:

$U_A / kV$	$U_K / kV$	$s_x / cm$	$s_y / cm$
2,0	0,5	9,0	1,1
3,0	1,5	9,0	2,0
5,0	1,5	8,0	1,0

- Erläutere Funktion und Wirkungsweise der Bauteile der Elektronenstrahlröhre!
- Leite einen allgemeinen Ausdruck für die Geschwindigkeit  $v$  der Elektronen her, wenn sie die Anode gerade verlassen haben! Berechne die Geschwindigkeit  $v_0$  für den Fall  $U_A = 2\text{ kV}$  in % der Lichtgeschwindigkeit!
- Für die Punkte  $(s_x / s_y)$  auf der Bahnkurve der Elektronen auf dem Leuchtschirm gilt die Gleichung:  $s_y = \frac{1}{4 \cdot d} \cdot \frac{U_K}{U_A} \cdot s_x^2$ . Wie ändert sich die Bahn bei Erhöhung der Spannung  $U_A$  oder bei Erhöhung der Spannung  $U_K$ ? Begründe deine Antworten auch physikalisch!

# Leistungsfach Physik 12/1 Klausur Nr. 2

- d) Berechne aus der oben angegebenen Messreihe jeweils den Wert für  $s_y$  und bestimme die prozentuale Abweichung von den Werten der Tabelle! Nenne zwei wesentliche Ursachen für die auftretenden Abweichungen!

## Aufgabe 2:

## Oszilloskop

In einem Oszilloskop werden die Elektronen mit der Anodenspannung  $U_A = 2\text{ kV}$  beschleunigt und durch den Ablenkkondensator geschickt. Die Platten haben die Länge  $l = 9\text{ cm}$  und den Abstand  $d = 5,4\text{ cm}$  voneinander. Die Ablenkspannung von  $U_K = 0,5\text{ kV}$  sorgt für eine Ablenkung aus der Mitte des Oszilloskopschirms um die Strecke  $y_1$  nach oben. Der ebene Schirm des Oszilloskops hat vom Ablenkkondensator den Abstand  $a = 20\text{ cm}$ .

- a) Zeige, dass für die Ablenkung  $y_1$  gilt:  $y_1 = \frac{U_K}{2 \cdot d \cdot U_A} \cdot l \cdot \left(a + \frac{l}{2}\right)$  !

Die Gleichung der Bahnkurve  $y = \frac{1}{4 \cdot d} \cdot \frac{U_K}{U_A} \cdot x^2$  für die Elektronenbahn im Kondensatorfeld kann ohne Herleitung benutzt werden.

- b) Berechne aus den angegebenen Daten die Ablenkung  $y_1$  !
- c) Berechne den Winkel, unter dem die Elektronen auf dem Schirm aufschlagen, und die Aufschlaggeschwindigkeit!
- d) Bestimme die Spannung  $U_K^*$ , die höchstens zwischen den Kondensatorplatten anliegen darf, damit der Elektronenstrahl nicht auf die obere Platte auftrifft!

# Leistungsfach Physik 12/1 Klausur Nr. 2

## Lösungen

### Aufgabe 1

- a) Elektronen werden durch den glühelektrischen Effekt in der Glühwendel freigesetzt und bilden eine Elektronenwolke um die Glühwendel herum. Vor der Glühwendel befindet sich eine Anode mit waagerechtem Schlitz, so dass zwischen der Glühwendel (Katode) und der Anode ein elektrisches Kondensatorfeld die Elektronen zur Anode hin beschleunigt. Ein Zylinder ohne Boden und Deckel ist so um die Glühwendel gelegt, dass seine Achse genau waagrecht durch die Anodenöffnung führt. Er befindet sich ebenfalls auf negativem Potential, so dass die Elektronen auf ihrem Weg zur Anodenöffnung zu einem Strahl (koaxial) gebündelt werden. Auf Grund ihrer Trägheit verlassen die Elektronen die Anode und fliegen durch einen Ablenkondensator, der waagrecht so eingebaut ist, dass die Elektronen ohne Ablenkspannung genau in der Mitte zwischen den Platten durchfliegen können. Zwischen den Platten befindet sich noch ein fluoreszierender Schirm, der leicht schräg gestellt einen streifenden Vorbeiflug der Elektronen ermöglicht. Diese hinterlassen auf dem Schirm eine Leuchtspur. Die Röhre ist evakuiert.
- b) Im Beschleunigungsfeld zwischen Glühwendel (Katode) und Anode nimmt ein Elektron die elektrische Energie  $W_{el} = e \cdot U_A$  auf und erreicht damit die kinetische Energie

$$W_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v^2. \text{ Aus } W_{kin} = W_{el} \text{ folgt: } v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U_A}{m_e}}. \text{ Mit } U_A = 2kV \text{ folgt:}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot 2000V}{m_e}} \approx 26524126,43 \frac{m}{s} \approx 0,088 \cdot c = 8,8\% \text{ der Lichtgeschwindigkeit.}$$

- c) Für die Bahnkurve gilt  $s_y = \frac{1}{4 \cdot d} \cdot \frac{U_K}{U_A} \cdot s_x^2$ . Da  $U_A$  im Nenner steht, verkleinert sich die Ablenkung  $s_y$ , wenn sich  $U_A$  vergrößert. Die Elektronen sind dann schneller (siehe Formel für  $v$ ) und lassen sich weniger stark ablenken.

Da  $U_K$  im Zähler steht, vergrößert sich die Ablenkung  $s_y$ , wenn sich  $U_K$  vergrößert. Die Elektronen erfahren dann eine stärkere Kraft in y-Richtung:  $F_{el} = e \cdot E = e \cdot \frac{U_K}{d}$ .

d)

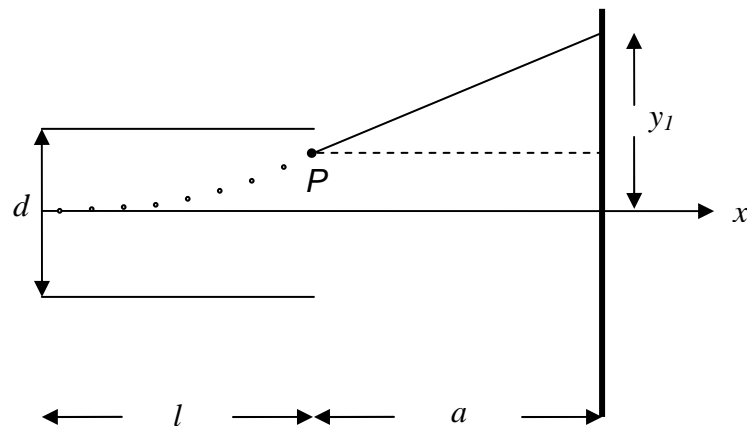
$U_A / kV$	$U_K / kV$	$s_x / cm$	$s_y / cm$	$s_y^* / cm$	Abw. / %
2,0	0,5	9,0	1,1	0,9375	-14,7
3,0	1,5	9,0	2,0	1,875	-6,25
5,0	1,5	8,0	1,0	0,8889	-11,11

$$s_y = \frac{1}{4 \cdot 5,4 \cdot 10^{-2} m} \cdot \frac{U_K}{U_A} \cdot s_x^2.$$

Alle Werte sind zu klein. Dies kann daran liegen, dass die Geschwindigkeit der Elektronen größer ist als die durch  $U_A$  berechenbare. Eine zweite Ursache liegt in der Randinhomogenität des Ablenkfeldes. Hier ist die Ablenkung schwächer als sie in der Theorie angenommen wird.

# Leistungsfach Physik 12/1 Klausur Nr. 2

## Aufgabe 2



a)

Für die Parabelbahn gilt:  $y = \frac{1}{4 \cdot d} \cdot \frac{U_K}{U_A} \cdot x^2$ .

Der Punkt P hat die Koordinaten  $x_P = l$  und  $y_P = \frac{1}{4 \cdot d} \cdot \frac{U_K}{U_A} \cdot l^2$ .

Die Steigung im Punkt P beträgt  $m = \frac{1}{2 \cdot d} \cdot \frac{U_K}{U_A} \cdot l$  (Ableitung der Parabelfunktion im Punkt P).

Für die Gerade durch P gilt:  $f(x) = mx + b$ .

Setzt man die Koordinaten des Punktes P und die Steigung m ein, so erhält man:

$$\frac{1}{4 \cdot d} \cdot \frac{U_K}{U_A} \cdot l^2 = \frac{1}{2 \cdot d} \cdot \frac{U_K}{U_A} \cdot l \cdot l + b, \text{ also:}$$

$$\frac{1}{4 \cdot d} \cdot \frac{U_K}{U_A} \cdot l^2 - \frac{2}{4 \cdot d} \cdot \frac{U_K}{U_A} \cdot l^2 = b \Leftrightarrow b = -\frac{1}{4 \cdot d} \cdot \frac{U_K}{U_A} \cdot l^2.$$

Für die Geradengleichung gilt also:  $f(x) = \frac{1}{2 \cdot d} \cdot \frac{U_K}{U_A} \cdot l \cdot x - \frac{1}{4 \cdot d} \cdot \frac{U_K}{U_A} \cdot l^2$ .

Um  $y_1$  zu erhalten, muss jetzt für  $x$  der Ausdruck  $l + a$  eingesetzt werden.

$$y_1 = \frac{1}{2 \cdot d} \cdot \frac{U_K}{U_A} \cdot l \cdot (l + a) - \frac{1}{4 \cdot d} \cdot \frac{U_K}{U_A} \cdot l^2 \Leftrightarrow y_1 = \frac{U_K}{2 \cdot d \cdot U_A} \cdot (l^2 + l \cdot a) - \frac{U_K}{2 \cdot d \cdot U_A} \cdot \frac{l^2}{2}$$

$$\Leftrightarrow y_1 = \frac{U_K}{2 \cdot d \cdot U_A} \cdot \left( l \cdot a + \frac{l^2}{2} \right) \Leftrightarrow y_1 = \frac{U_K}{2 \cdot d \cdot U_A} \cdot l \cdot \left( a + \frac{l}{2} \right).$$

b)

$$y_1 = \frac{500V}{2 \cdot 0,054m \cdot 2000V} \cdot 0,09m \cdot \left( 0,2m + \frac{0,09m}{2} \right) \approx 0,051m = 5,1cm.$$

Der Strahl wird also um ca. 5,1 cm nach oben abgelenkt.

# Leistungsfach Physik 12/1 Klausur Nr. 2

c)

Für die y-Koordinate des Punkts P gilt:

$$y_P = \frac{1}{4 \cdot d} \cdot \frac{U_K}{U_A} \cdot l^2 \approx \frac{1}{4 \cdot 0,054m} \cdot \frac{500V}{2000V} \cdot (0,09m)^2 \approx 0,009375m = 0,9375cm . \text{ Liegt bei P}$$

der Winkel  $\alpha$ , so gilt:

$$\tan(\alpha) = \frac{y_1 - y_P}{a} \Leftrightarrow \alpha = \arctan\left(\frac{5,1 - 0,9375}{20}\right) \approx 11,76^\circ .$$

Der Aufschlagwinkel beträgt  $90^\circ - \alpha \approx 78,24^\circ$ .

Alternativ kann der Winkel  $\alpha$  auch über den Wert der Ableitung im Punkt P berechnet werden.

Die Ableitung wurde in Aufgabe 2a) bestimmt; für x ist l einzusetzen:  $m = \frac{1}{2 \cdot d} \cdot \frac{U_K}{U_A} \cdot l$ . Da

$$\tan(\alpha) = m, \text{ gilt: } \alpha = \arctan\left(\frac{1}{2 \cdot d} \cdot \frac{U_K}{U_A} \cdot l\right) = \arctan\left(\frac{500 \cdot 9}{2 \cdot 5,4 \cdot 2000}\right) \approx 11,77^\circ . \text{ Unter diesem}$$

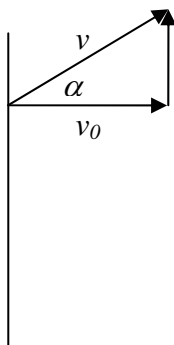
Winkel liegt der Geschwindigkeitsvektor tangential an der Bahnkurve und ändert danach seine Richtung nicht mehr.

Die waagerechte Komponente der Geschwindigkeit ist

$$v_0 = \sqrt{\frac{2eU_A}{m_e}} = \sqrt{\frac{2e2000V}{m_e}} \approx 26524126,43 \frac{m}{s} \text{ (siehe Aufgabe 1b).}$$

In der vektoriellen Zerlegung von  $v$  gilt:

$$\cos(\alpha) = \frac{v_0}{v} \Leftrightarrow v = \frac{v_0}{\cos(\alpha)} \approx 27092806,73 \frac{m}{s} \approx 0,09c .$$



d)

Hierzu wird die Gleichung der Bahnkurve benötigt:  $y = \frac{1}{4 \cdot d} \cdot \frac{U_K}{U_A} \cdot x^2$ . Setzt man  $y = \frac{d}{2}$  und

$$x = l \text{ ein, so ergibt sich mit den anderen Daten: } 0,027m = \frac{1}{4 \cdot 0,054m} \cdot \frac{U_K}{2000V} \cdot (0,09m)^2 .$$

Hieraus folgt:  $U_K = 1440V$ . Erst wenn diese Spannung überschritten wird, schlagen die Elektronen auf die obere Platte auf.