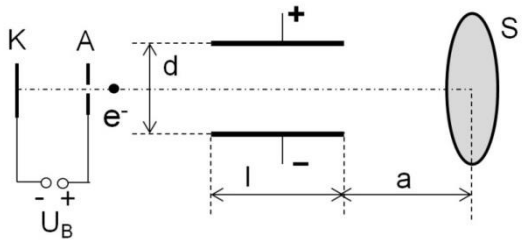
Ladungsträger (Elektronen) im elektrischen Querfeld

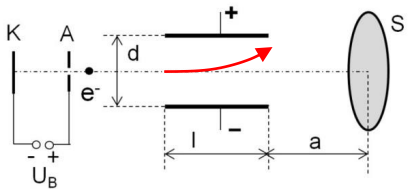
In einer Elektronenstrahlröhre werden Elektronen zwischen Kathode und Anode durch eine Beschleunigungsspannung U_B=400V beschleunigt und durchlaufen nachfolgend die Mitte eines Ablenkkondensators mit dem Plattenabstand d=2cm und der Länge l=3cm an dem eine Ablenkspannung U_A mit der angegebenen Polarität angeschlossen ist.



a) Mit welcher Bewegungsenergie und Geschwindigkeit treten die Elektronen in das elektrische Feld des Ablenkkondensators ein?
b) Beschreiben und skizzieren Sie den Verlauf der Elektronen durch den Ablenkkondensator.
Erklären Sie die entstehende Bahnform bei der Ablenkung.
c) Berechnen Sie die vertikale Ablenkung y des Elektronenstrahls hinter dem Ablenkkondensator, wenn die Ablenkspannung U_A=100V beträgt.
d*) Leiten Sie eine allgemeine Gleichung zur Berechnung der vertikalen Ablenkung y des Elektronenstrahls von der Eintrittsgeschwindigkeit v_0, der Ablenkspannung U_A und der Größen d und l des Ablenkkondensators $y=f(v_0,U_A,d,l)$ her.
e*) Ersetzen Sie in der Gleichung von d) die Eintrittsgeschwindigkeit v_0 durch die Beschleunigungsspannung U_B.
f) Wie verändert sich die Bahn der Elektronen im Ablenkkondensator, wenn:
(1) die Beschleunigungsspannung U_B vergrößert wird?
(2) die Ablenkspannung U_A vergrößert wird?
(3) die Länge l der Ablenkplatten kürzer ist?
(4) der Plattenabstand der Ablenkplatten verkleinert wird?
g) Treffen Sie eine Aussage zur Geschwindigkeit und Energie der Elektronen beim Verlassen des Ablenkkondensators. Ermitteln Sie die Austrittsgeschwindigkeit und –energie.
h) Wie groß ist der Ablenkwinkel des Elektronenstrahls zur Horizontalen beim Austritt aus dem Ablenkkondensator?
i) In welchem Abstand zum Mittelpunkt des Schirmes treffen die Elektronen auf, wenn a=12cm beträgt?
k) Bestimmen Sie maximale Spannung U_A, damit die Elektronen noch auf den Schirm S auftreffen können.

<u>Lösungen:</u>

1. a) $E = 400eV = 6{,}41 \cdot 10^{-17}J$ $\quad v = \sqrt{\frac{2 \cdot E}{m_e}} = 1{,}19 \cdot \frac{10^7 m}{s}$



b) Elektronen werden durch die konstante elektrische Feldkraft im Plattenkondensator nach oben abgelenkt.
Es entsteht eine Parabelbahn. Es überlagern sich die gleichförmige Bewegung in horizontaler mit der gleichmäßig beschleunigten Bewegung in senkrechter Richtung.

c) Zeit für horizontale Bewegung: $t_h = \frac{l}{v} = 2{,}53 \cdot 10^{-9}s$

senkrechte Beschleunigung: $a = \frac{F}{m} = \frac{E \cdot e}{m} = \frac{U \cdot e}{d \cdot m} = 8{,}79 \cdot 10^{14} \frac{m}{s^2}$

Überlagerung beider Bewegungen: $t_h = t_v$ $\quad y = \frac{a}{2}t^2 = 2{,}81mm$

d*) siehe Präsentation: $y = \frac{1}{2} \cdot \frac{e}{e_e} \cdot \frac{U_A}{d} \cdot \frac{1}{{v_0}^2} \cdot l^2$ $\quad$ e*) siehe Präsentation: $y = \frac{1}{4d} \cdot \frac{U_A}{U_B} \cdot l^2$

f) (1) kleinere Ablenkung, da y ~ $1/U_B$
(2) größere Ablenkung, da y ~ U_A
(3) kleinere Ablenkung, da y ~ l^2
(4) größere Ablenkung, da y ~ 1/d

g) Die Geschwindigkeit und die Energie der Elektronen nimmt zu, da sie im elektrischen Feld beschleunigt werden.
$v_y = \frac{U_B \cdot e \cdot l}{m_e \cdot v_0 \cdot d} = 8{,}87 \cdot 10^6 \frac{m}{s}$ $\quad v = \sqrt{{v_x}^2 + {v_y}^2} = 1{,}48 \cdot 10^7 \frac{m}{s}$

h) $\tan(\alpha) = \frac{v_y}{v_x} = 36{,}7°$

i) $y = a \cdot \sin(\alpha) = 7{,}17cm$

j) Die vertikale Ablenkung y darf maximal 1cm betragen, damit die Elektronen das Querfeld noch verlassen.
aus e* ergibt sich: $U_A = \frac{4 \cdot y \cdot d \cdot U_B}{l^2} = 355{,}5V$