MINT Lernstudio Kamm

PHYSIK | IN DEPTH | KURSSTUFE · ELEKTRISCHES FELD & KONDENSATOR

Die Braun'sche Röhre

Elektronen beschleunigen und ablenken: Aufbau und Abi-Rechnung

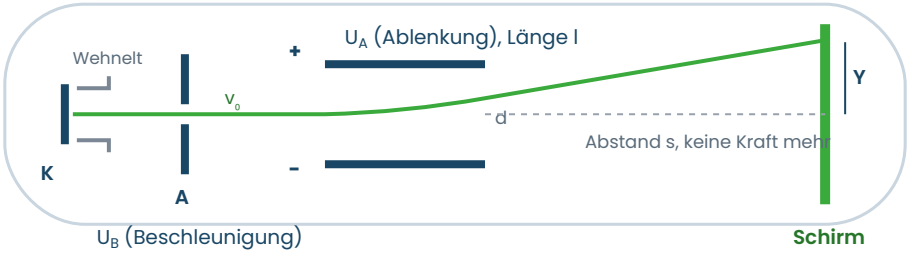
Video auf YouTube

Spickzettel · S. 1 | **Aufgaben · S. 2** | **Lösungen · S. 5** | Zum Austeilen ohne Lösungen: vor Seite 5 aufhören.

Bildungsplan Baden-Württemberg: 3.6.2.1 Elektrisches Feld (Leistungsfach) · 3.4.2 Elektromagnetische Felder (Basisfach)

Spickzettel: Braun'sche Röhre

Die Aufgabe zerfällt in zwei Teile, die man getrennt rechnet



Im Kondensator Parabel wie beim waagerechten Wurf, danach geradlinig weiter

1 Aufbau

Video 0:53

- **Glühkathode K:** wird geheizt, Elektronen treten aus (glühelektrischer Effekt).
- **Wehnelt-Zylinder:** bündelt die Elektronen zum Strahl.
- **Anode A:** beschleunigt die Elektronen mit U_B. Durch ein Loch fliegen sie weiter.
- **Ablenkplatten:** lenken den Strahl mit U_A ab. Ein zweites, um 90° gedrehtes Paar lenkt nach oben und unten. Video 2:18
- **Leuchtschirm:** macht den Auftreffpunkt sichtbar. So funktionierten alte Röhrenfernseher. Video 3:43

2 Teil 1: Beschleunigung (Energieansatz)

MERKE

$e \cdot U_B = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2 \rightarrow v_0 = \sqrt{(2 \cdot e \cdot U_B / m)}$

v_0 zeigt in Flugrichtung und bleibt danach unverändert.

© Felix Kamm · mint-lernstudio.de · Lizenz CC BY-NC-SA 4.0: frei für Unterricht und Lernen, nicht kommerziell

3 Teil 2: Ablenkung (wie der waagerechte Wurf)

Richtung	Bewegung	Formel
längs (x)	gleichförmig	$t = l / v_0$
quer (y)	gleichmäßig beschleunigt	$a = e \cdot U_A / (m \cdot d)$, $y = ½ \cdot a \cdot t^2$

ERGEBNIS AM PLATTENENDE

$y = U_A \cdot l^2 / (4 \cdot U_B \cdot d)$ · Austrittswinkel: $\tan \varphi = U_A \cdot l / (2 \cdot U_B \cdot d)$

Auf dem Schirm im Abstand s hinter den Platten: $Y = y + s \cdot \tan \varphi$

4 Brücke zum Abi: Impuls und Wellenlänge

Zusatz zum Video

Aus der Beschleunigungsspannung folgt im Abitur oft der **Impuls** und damit die **de-Broglie-Wellenlänge** der Elektronen (Elektronenbeugung):

MERKE

$p = m \cdot v_0 = \sqrt{(2 \cdot m \cdot e \cdot U_B)}$ · $\lambda = h / p$ mit $h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}$ J·s

Größere Beschleunigungsspannung → größerer Impuls → **kleinere** Wellenlänge ($\lambda \sim 1/\sqrt{U_B}$).

Parabelbahn begründen: Längs der Platten gleichförmige Bewegung ($x = v_0 \cdot t$), quer gleichmäßig beschleunigte Bewegung ($y = ½ \cdot a \cdot t^2$). Einsetzen von t liefert $y \sim x^2$, also eine Parabel.

WO PUNKTE VERLOREN GEHEN

- ✗ „Die Bahn ist eine Parabel" nur behauptet, nicht mit der Überlagerung von gleichförmiger und gleichmäßig beschleunigter Bewegung begründet.
- ✗ Beschleunigungsspannung U_B und Ablenkspannung U_A verwechselt.
- ✗ Hinter den Platten weiter mit Parabel gerechnet. Dort wirkt keine Kraft mehr, das Elektron fliegt geradlinig.
- ✗ Die Gewichtskraft stillschweigend weggelassen. Besser kurz begründen, warum sie vernachlässigbar ist.

Übungsaufgaben: Braun'sche Röhre

Fünf Aufgaben, drei Anforderungsbereiche · $e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C, $m_e = 9{,}109 \cdot 10^{-31}$ kg

AFB I wiedergeben · AFB II anwenden · AFB III übertragen und beurteilen. Erst selbst lösen, dann nachsehen.

Aufgabe 1 AFB I

Beschreibe den Aufbau einer Braun'schen Röhre und die Aufgabe der einzelnen Bauteile.

© Felix Kamm · mint-lernstudio.de · Lizenz CC BY-NC-SA 4.0: frei für Unterricht und Lernen, nicht kommerziell

Aufgabe 2 AFB II

Die Elektronen werden mit U_B = 2000 V beschleunigt. Berechne ihre Geschwindigkeit v_0.

Aufgabe 3 AFB II

Die Elektronen aus Aufgabe 2 fliegen mittig in einen Ablenkkondensator (l = 4 cm, d = 1 cm, U_A = 100 V). Berechne die Ablenkung y am Plattenende. Prüfe, ob der Strahl die Platten trifft.

Aufgabe 4 AFB III

a) Der Schirm steht s = 20 cm hinter dem Plattenende. Berechne die Auslenkung Y auf dem Schirm. b) Zeige, dass Gewichtskraft und elektrische Kraft sich um viele Größenordnungen unterscheiden. c) Begründe mit der Formel für y, warum die Ablenkung nicht von Masse und Ladung der Teilchen abhängt, solange alle mit derselben Spannung beschleunigt wurden.

Aufgabe 5 AFB III

Elektronen werden mit U_B = 2000 V beschleunigt. a) Berechne ihren Impuls und ihre de-Broglie-Wellenlänge (h = 6,626 · 10^{-34} J·s). b) Begründe, dass die Bahn im Ablenkkondensator eine Parabel ist. c) Die Beschleunigungsspannung wird vervierfacht. Wie ändern sich Wellenlänge und Breite eines Beugungsbildes?

© Felix Kamm · mint-lernstudio.de · Lizenz CC BY-NC-SA 4.0: frei für Unterricht und Lernen, nicht kommerziell

SELBSTCHECK: ICH KANN …

- ☐ die Bauteile der Röhre benennen und ihre Funktion erklären.
- ☐ v_0 mit dem Energieansatz berechnen.
- ☐ die Ablenkung als waagerechten Wurf behandeln.
- ☐ den Auftreffpunkt auf dem Schirm bestimmen.

© Felix Kamm · mint-lernstudio.de · Lizenz CC BY-NC-SA 4.0: frei für Unterricht und Lernen, nicht kommerziell

Lösungen

Vollständige Rechenwege

Aufgabe 1: Die geheizte Glühkathode setzt Elektronen frei. Der Wehnelt-Zylinder bündelt sie, die Anode beschleunigt sie mit U_B, durch ein Loch in der Anode treten sie als Strahl aus. Die Ablenkplatten erzeugen ein Querfeld und lenken den Strahl ab, der Leuchtschirm zeigt den Auftreffpunkt.

Aufgabe 2: $v_0 = \sqrt{(2 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}\ \text{C} \cdot 2000\ \text{V} / 9{,}109 \cdot 10^{-31}\ \text{kg})} \approx$ **$2{,}65 \cdot 10^{7}$ m/s** (knapp 9 % der Lichtgeschwindigkeit, klassische Rechnung ist noch in Ordnung).

Aufgabe 3: $y = U_A \cdot l^2 / (4 \cdot U_B \cdot d) = 100\ \text{V} \cdot (0{,}04\ \text{m})^2 / (4 \cdot 2000\ \text{V} \cdot 0{,}01\ \text{m}) =$ **2,0 mm**. Der Strahl startet mittig, bis zur Platte sind es $d/2 = 5$ mm. Er trifft die Platten nicht.

Aufgabe 4: a) $\tan\varphi = U_A \cdot l / (2 \cdot U_B \cdot d) = 100 \cdot 0{,}04 / (2 \cdot 2000 \cdot 0{,}01) = 0{,}1$. $Y = y + s \cdot \tan\varphi = 0{,}002\ \text{m} + 0{,}2\ \text{m} \cdot 0{,}1 =$ **2,2 cm**.
b) $F_G = m \cdot g \approx 9 \cdot 10^{-30}$ N, $F_{el} = e \cdot U_A / d = 1{,}602 \cdot 10^{-19}\ \text{C} \cdot 100\ \text{V} / 0{,}01\ \text{m} \approx 1{,}6 \cdot 10^{-15}$ N. Die elektrische Kraft ist rund 10^{14}-mal größer.
c) In $y = U_A \cdot l^2 / (4 \cdot U_B \cdot d)$ kommen weder e noch m vor. Ladung und Masse kürzen sich heraus, weil beide sowohl in v_0 als auch in a stecken.

Aufgabe 5: a) $p = \sqrt{(2 \cdot 9{,}109 \cdot 10^{-31}\ \text{kg} \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}\ \text{C} \cdot 2000\ \text{V})} \approx$ **$2{,}42 \cdot 10^{-23}$ kg·m/s**; $\lambda = h / p = 6{,}626 \cdot 10^{-34}$ J·s / $2{,}42 \cdot 10^{-23}$ kg·m/s ≈ **$2{,}7 \cdot 10^{-11}$ m (27 pm)**. b) Längs der Platten ist die Bewegung gleichförmig, $x = v_0 \cdot t$. Quer wirkt die konstante Kraft $e \cdot U_A / d$, also $y = \tfrac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$. Einsetzen von $t = x / v_0$ ergibt $y = (a / (2 \cdot v_0^2)) \cdot x^2$: eine Parabel. c) $\lambda \sim 1/\sqrt{U_B}$: Bei vierfachem U_B halbiert sich λ. Wegen $\sin\alpha = \lambda / d$ (Spaltmittenabstand d) rücken die Maxima zusammen, das Beugungsbild wird etwa halb so breit.

Grundlagen dazu: Feldstärke, Potential und Spannung stehen im Blatt „Das elektrische Feld".

Mehr dazu, alle Videos und alle Blätter: mint-lernstudio.de/beitraege/braunsche-roehre

© Felix Kamm · mint-lernstudio.de · Lizenz CC BY-NC-SA 4.0: frei für Unterricht und Lernen, nicht kommerziell