

Stundenziele

Hauptlernziel

Die Schülerinnen und Schüler beschreiben die Bahnkurve eines Elektronenstrahl im homogenen elektrischen Feld, definieren deren Form als Parabelbahn und erstellen und berechnen die zugehörige Gleichung um die Form zu verifizieren. Anhand der Gleichung können sie erläutern, inwiefern die Bahnkurve von der Anodenspannung und Kondensatorspannung (sowie dem Plattenabstand des Plattenkondensators) abhängt.

Teillernziele

Konzeptziele

- Die Schülerinnen und Schüler können Hypothesen aufstellen um diese auf einen anderen (ähnlichen) Sachverhalt übertragen, indem sie mit den bereits bekannten physikalischen Erkenntnissen für das neue Problem eine Lösung konstruieren (hier: Analogieschluss zwischen Wurfparabel und Elektronenstrahl im homogenen elektrischen Feld).
- Die Schülerinnen und Schüler können anhand/ mit Hilfe ihrer Vorkenntnisse die Gleichung für einzelnen Komponenten umformen und einsetzen.
- Die Schülerinnen und Schüler begründen ob, warum und inwiefern eine Verbindungen zur ersten Hypothese besteht und unterscheiden gleichzeitig verschiedene Phänomene.

Prozessziele

- Die Schülerinnen und Schüler sollen in der Beobachtung und Beschreibung experimenteller Abläufe sicherer werden, indem sie Veränderung an der Versuchsdurchführung und deren Wirkung erkennen und erklären können.
- Schülerinnen und Schüler sollen ihre Teamfähigkeit stärken, indem sie gemeinsam im geleiteten Unterrichtsgespräch Gleichungen herleiten und so ihre Stärken und Schwächen im Erkenntnisprozess herauskristallisieren.

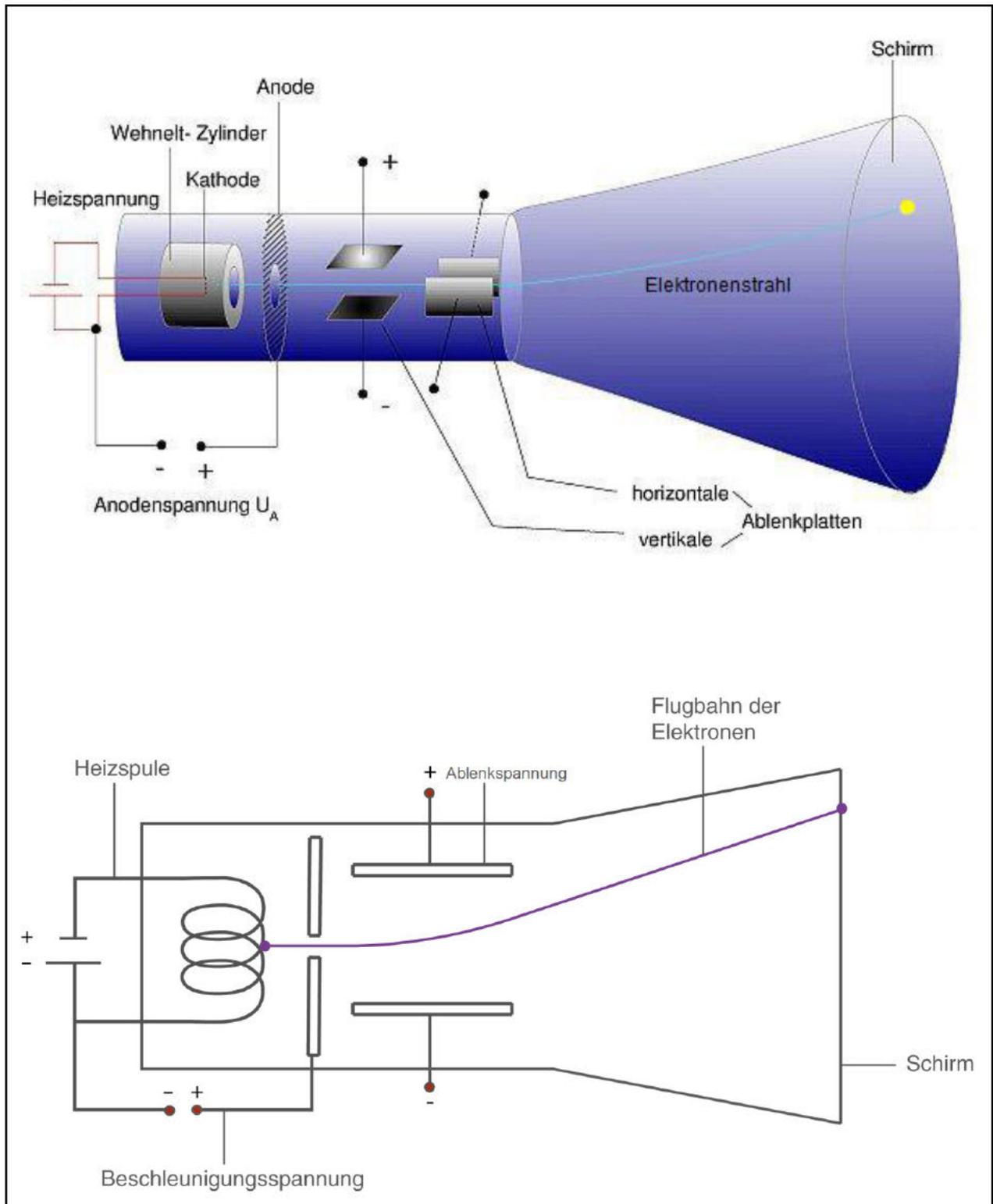
Tabellarischer Unterrichtsverlauf

Nr.	Zeit	Funktion der einzelnen Phasen	Unterrichtsgeschehen	Sozial / Interaktions-form	Material	Didaktisch-methodischer Kommentar
1	5 Min	Einstieg	<p>Begrüßung</p> <p>Lehrkräfte werfen sich gegenseitig einen kleinen Ball (2 Arten: Tennisball, Tischtennisball etc.) zu; die SuS können auch mit einbezogen werden.</p> <p>Die SuS beschreiben die Wurfbewegung und stellen Vermutungen über die Form der Wurfbewegung auf (Augenmerk legen auf das Überlagern zweier Bewegungen). Stummer Impuls beim Werfen des Balls.</p> <p>Übertragung auf elektrisches Feld: Was passiert, wenn ich Elektronen „werfe“?</p>	KU, gUG	Ball	<p>Demonstrationsexperiment/Schülerexperiment.</p> <p>Lebensweltlicher Bezug“ → Motivation</p> <p>Die SuS sollen sich an dieser Stelle angesprochen fühlen und versuchen das Problem vom physikalischen Standpunkt aus zu betrachten.</p>
2	5 Min	Sammlung von Hypothesen	<p>Die SuS sollen sich Gedanken zu der Situation machen, den Aufbau der Braunschen Röhre beschreiben und Theorien aufstellen zur Bahnkurve des Elektronenstrahls („Was überlagert sich hier?“ im Vergleich zum Wurf → bei beiden ggB in x-Richtung und ggB in y-Richtung, aber entscheidende Kraft hier el. Feldkraft \vec{F}_{el} statt Gravitationskraft \vec{F}_g, zumindest $\vec{F}_{el} \gg \vec{F}_g$).</p>	KU, gUG	Braun'sche Röhre, Stativ, Spannungsgeneratoren, Beamer/OHP, (Tafel)	<p>Die Beschreibung der Braunschen Röhre dient zur Wiederholung der bereits bekannten Idee/Funktionsweise der Röhre (aufgelegt auf OHP oder Nutzung des Beamers, <i>Folie 1</i>). Dabei liegt das Augenmerk auf dem bisher unbearbeiteten Problem der Form der Bahnkurve des Elektronenstrahls. Die Ideen werden mündlich zusammengetragen. (Eventuell auch in Stichpunkten an der Tafel festgehalten (Tafelbild1). Die Stichpunkte sollen aber nicht zwingend ins Heft übertragen werden, sondern dienen nur dazu, dass am Ende der Stunde noch einmal auf die Ideen zurückgegriffen werden kann).</p>

3	10 Min	Durchführung eines Demonstrationsexperiments	Der Versuch wird mehrfach durchgeführt mit unterschiedlich starker Kondensatorspannung. SuS sollen überlegen, was die Flugbahn ändern könnte (Beschleunigungsspannung? Heizspannung?) und die Unterschiede in der Flugbahn beschreiben.	LB, gUG, LV	Braun'sche Röhre, Stativ, Spannungsgeneratoren	Demonstrationsexperiment. Die SuS sehen ihre Vermutungen vom Anfang bestätigt oder widerlegt und tauchen intensiver in die Problematik ein. Es soll erkannt werden, dass die Ablenkspannung am Kondensator (und die Beschleunigungsspannung) die Bahn der Elektronen beeinflusst.
4	20 (25) Min	Erarbeitungsphase/ Abstraktion des Problems	SuS leiten mit Hilfe des Tafelbildes (Tafelbild 1,2) und mit Unterstützung der Lehrkräfte die Bahnkurve des Elektronenstrahls her (geleitetes Unterrichtsgespräch) und betrachten Abhängigkeiten der Formeln von den unterschiedlichen Spannung ($a \sim U_y$, $v \sim \sqrt{U_A} \rightarrow y \sim x^2$, $y \sim U_y$, $y \sim U_A^{-1}$). SuS übertragen Erarbeitetes (inklusive Herleitung) sowie das Tafelbild ins Heft.	gUG	Tafel/ OHP/ Beamer/ Whiteboard	Die SuS sollen aufgrund ihrer Vorkenntnisse mit der Braun'schen Röhre und – falls notwendig – mit Denkanstößen bzw. gezielten Fragen, ihr Augenmerk auf die Form (Parabel) der Bahnkurve legen und diese mit Hilfe ihrer mathematischen Kenntnissen berechnen. Dabei auf den Terminus „Superpositionsprinzip“ hinweisen. Das Tafelbild wird während der Erarbeitung (zur Sicherung) ins Heft übertragen.
5	15 (10) Min	Sicherung	SuS wiederholen mündlich das Erlernete/ die Gedankengänge (ca. 2 Schüler). Nochmalige Bezugnahme auf das Experiment und Demonstration der Spannungsabhängigkeiten. Was passiert wenn die Pole umgedreht werden? Vergleich zur Folie. Bearbeitung einer Aufgabe (mit mehreren Teilaufgaben; auf die zweite Aufgabe kann ggf. aus Zeitgründen auch verzichtet werden).	EA, AB	Tafel/ OHP/ Beamer/ Whiteboard	Sollten noch Schritte unklar sein, können die SuS nachfragen. Durch die Bearbeitung der Aufgabe kann überprüft werden, ob die SuS der Erarbeitung folgen konnten und gleichzeitig wird die Anwendung des Gelernten schon geübt. Zusätzlich (weiterführende) Aufgabe für leistungsstarke SuS ermöglicht innere Differenzierung (auf diese kann ggf. aus Zeitgründen auch verzichtet werden).
6	5 Min	Reflexion	Die Lehrkräfte vollführen einen kurzen Rückbezug zu den Hypothesen vom Anfang (Um welche Bahn handelt es sich? Wie können wir diese beeinflussen?). Die Aufgabe wird im Klassenverband besprochen und verglichen.	gUG	Tafel	Falsche Vorstellungen werden revidiert. Diese Phase dient dazu, zu überprüfen, ob die SuS die Problematik der Ablenkung des Elektronenstrahls im elektrischen Feld verstanden haben und in der Lage sind, die Bahnkurve eben dieses Strahls in seiner Form (Parabel) zu bestimmen und zu berechnen sowie Abhängigkeiten bzw. Variablen der Bahnkurve zu benennen.

Tafelbild/Folien

Folie¹:



Quellen: https://www.abiweb.de/assets/courses/img/ladungen-felder/Braunsche_Rohre_verbessert.jpg [20.05.15]
https://www.schullv.de/resources/06_physiklv/01_basiswissen/bilder/ablauf_braunsche_roehre.png [20.05.15]

Tafelbild 1

Die Braun'sche Röhre	
	<p>(Hypothesenbereich)</p> <p>Um was für eine Bahn(kurve) handelt es sich?</p> <ul style="list-style-type: none"> - A - B - C - <p>Was beeinflusst den Verlauf der Bahnkurve?</p> <ul style="list-style-type: none"> - U_y - U_A - ...

Tafelbild 2

Ablenkung im elektrischen Feld des Kondensators	
<p>ggB in x-Richtung: $x(t) = v_x \cdot t \quad \rightarrow t = \frac{x}{v_x}$</p> <p>ggB in y-Richtung: $y(t) = \frac{1}{2} a_y \cdot t^2$</p> <p>Bewegungen in x- und y-Richtung überlagern sich ungestört. Das nennt man Superposition</p> <p>t in y(t) einsetzen: $\rightarrow y(x) = \frac{1}{2} a_y \cdot \left(\frac{x}{v_x}\right)^2 = \frac{1}{2} \frac{a_y}{v_x^2} \cdot x^2$ „Parabelform“</p> <p><u>a_y ersetzen:</u></p> <p>a_y ist Folge der el. Feldkraft: $a_y = \frac{F_{el}}{m_e}$</p> <p>F_{el} mit Feldstärke E ausdrücken: $E = \frac{F_{el}}{e} \Rightarrow F_{el} = E \cdot e$</p> <p>Beim Plattenkondensator gilt für E: $E = \frac{U_y}{d} \Rightarrow F_{el} = \frac{U_y \cdot e}{d}$</p> <p>Einsetzen von F_{el} in a_y liefert: $a_y = \frac{U_y \cdot e}{m_e \cdot d}$</p> <p>In y(x) einsetzen:</p> $y(x) = \frac{U_y \cdot e}{2 \cdot m_e \cdot d \cdot v_x^2} \cdot x^2$	<p><u>v_x^2 ersetzen:</u></p> <p>Bei der Beschleunigung in der Elektronenkanone gilt Energieerhaltung:</p> $E_{el} = E_{kin}$ $\Leftrightarrow e \cdot U_A = \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v_x^2$ $\Rightarrow v_x = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U_A}{m_e}}$ <p>In y(x) einsetzen:</p> $y(x) = \frac{U_y \cdot e}{2 \cdot m_e \cdot d} \cdot \frac{m_e}{2 \cdot e \cdot U_A} \cdot x^2$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $y(x) = \frac{1}{4} \cdot \frac{U_y}{d \cdot U_A} \cdot x^2$ </div> <p>→ Die Bahnkurve wird durch eine Parabelgleichung beschrieben! Sie hängt von:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Beschleunigungs- bzw. Anodenspannung U_A - Kondensator- bzw. Ablenkspannung U_y - Plattenabstand d des Kondensators

Aufgabenstellung/Arbeitsblatt

1. Der Elektronenstrahl in einer Braun'schen Röhre soll genau um 50% in +y-Richtung abgelenkt werden. Der Abstand der Kondensatorplatten beträgt 2,4cm bei einer Länge des Kondensators von 2cm. Nach dem Verlassen der Kondensatorplatten bewegt sich der Elektronenstrahl gradlinig weiter (diese Strecke soll nicht berücksichtigt werden).

Zeichne ein 2-dimensionales Bild der Anordnung (für die y-Komponente) und berechne die Spannung, die am Kondensator anliegen muss. Die Beschleunigungsspannung beträgt 1200V.

2. (*für leistungsstarke SuS*)

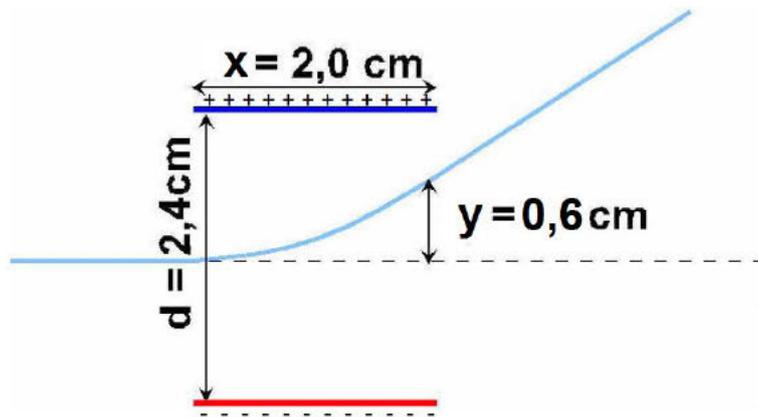
Spätere Fernschröhren besaßen zur Ablenkung anstatt von Plattenkondensatoren zwei sternförmig gekreuzte Spulen. Welche Kräfte könnten im Unterschied zur Braun'schen Röhre hier als ablenkende Kräfte wirken?

Lösungen²:

1. Gegeben: $x = 2\text{cm}$, $U_A = 1200\text{V}$, $d = 2,4\text{cm}$

Gesucht: U_y

Skizze (Vorschlag):



Ablenkung von 50% $\rightarrow y(x = 2\text{cm}) = \frac{1}{4}d$

$$y(x) = \frac{U_y}{4dU_A} \cdot x^2$$

$$\Rightarrow U_y = \frac{4dU_A y(x)}{x^2}$$

Mit $y(x = 2\text{cm}) = \frac{1}{4}d$: $U_y = \frac{d^2 U_A}{x^2}$

Einsetzen liefert:

$$\Rightarrow U_y = \frac{(2,4\text{cm})^2 \cdot 1200\text{V}}{(2\text{cm})^2}$$

2. Das elektrische Feld der Plattenkondensatoren wird durch das Magnetfeld der Spulen ersetzt. In diesem erfahren bewegte Ladungen (hier: Elektronen) senkrecht zum Magnetfeld die Lorentzkraft. Je nach Magnetfeldrichtung kann die Ablenkrichtung durch die linke-Hand-Regel bestimmt werden.

² Quelle: http://physik-am-gymnasium.de/SekII/Klausuren/PDF/Aufgabe_zur_Braunschen-Roehre_12.pdf
[20.05.15]