Lernaido

ABITUR · PHYSIK · TEILCHEN IN FELDERN

Teilchen im elektrischen Feld

Übungsblatt · erhöhtes Anforderungsniveau (eA)

Punkte: Teil A **20 BE** · Teil B **20 BE** · zusammen **40 BE**

Name _____ Datum _____

So arbeitest du

1. **Teil A** besteht aus fünf kurzen Aufgaben. Taschenrechner und Formelsammlung sind erlaubt. Fang damit an.
2. **Teil B** ist eine zusammenhängende Aufgabe zu einem Gerät oder Versuch, mit Abbildung.
3. Schreibe in das Karofeld jeder Aufgabe: Ansatz, Rechenweg und einen Antwortsatz. Skizzen zeichnest du ebenfalls dort. Reicht der Platz nicht, nimm Karopapier. Die BE zeigen, wie viele Punkte ein Teil wert ist.
4. Vergleiche danach mit dem Lösungsbogen. Pro BE gibt es einen Punkt. Wo du Punkte verloren hast, lies den Lösungsweg.

Das brauchst du: Bleistift, Füller, Lineal, Taschenrechner und Formelsammlung, bei Bedarf Karopapier

HINWEIS

PDF-Seite 1 bis 8: Deckblatt und Aufgaben. **Ab PDF-Seite 9:** Lösungsbogen mit Lösungswegen.

Diese Aufgaben hat Lernaido für die Abiturvorbereitung neu erstellt. Es sind keine Originalaufgaben. Lernaido ist nicht mit einem Kultusministerium oder dem IQB verbunden.

PHYSIK · ÜBUNGSBLATT

Abitur Physik: Teilchen im elektrischen Feld

6 Aufgaben

Aufgabe 1

Teil A (Kurzaufgaben) · eA · 4 BE

Protonen werden in einer Ionenquelle aus der Ruhe zwischen zwei Gitterelektroden im Abstand $d = 3{,}0\,\mathrm{cm}$ beschleunigt. Zwischen den Gittern liegt die Spannung $U = 1{,}5\,\mathrm{kV}$. Das elektrische Feld sei homogen und auf den Raum zwischen den Gittern beschränkt. Verwende die Werte der Formelsammlung für Elementarladung und Protonenmasse.

a) Berechne die elektrische Feldstärke zwischen den Gittern und den Betrag der Kraft auf ein Proton. (2 BE)

b) Berechne die Geschwindigkeit, mit der ein Proton das zweite Gitter erreicht. (2 BE)

Aufgabe 2

Teil A (Kurzaufgaben) · eA · 4 BE

Ein Elektron befindet sich im homogenen elektrischen Feld eines Plattenkondensators. Die Platten haben den Abstand $d = 4{,}0\,\mathrm{cm}$, zwischen ihnen liegt die Spannung $U = 90\,\mathrm{V}$. Verwende die Werte der Formelsammlung.

a) Berechne den Betrag der Beschleunigung, die das Elektron durch die elektrische Kraft erfährt. (2 BE)

b) Vergleiche den Betrag der elektrischen Kraft mit dem Betrag der Gewichtskraft auf das Elektron und begründe, warum man die Gewichtskraft bei solchen Aufgaben vernachlässigen darf. (2 BE)

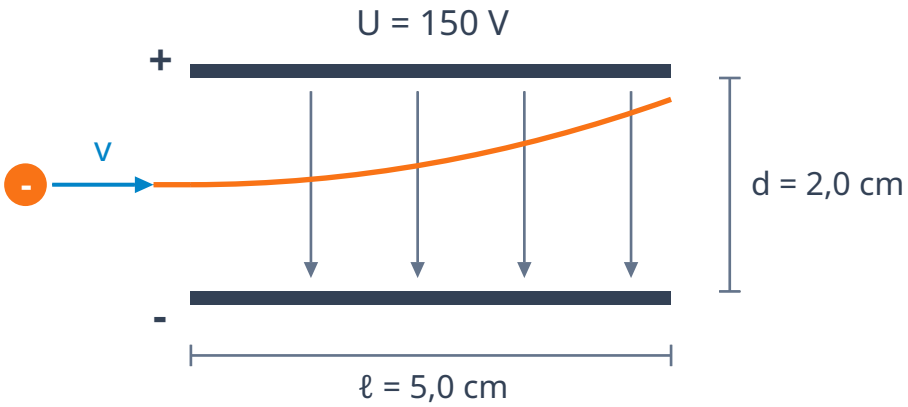
Aufgabe 3

Teil A (Kurzaufgaben) · eA · 4 BE

Elektronen fliegen mit der Geschwindigkeit $v_0 = 2{,}0 \cdot 10^7\,\mathrm{m/s}$ waagerecht in einen Plattenkondensator ein (siehe Abbildung). Die Platten haben die Länge $\ell = 5{,}0\,\mathrm{cm}$ und den Abstand $d = 2{,}0\,\mathrm{cm}$. Zwischen ihnen liegt die Spannung $U = 150\,\mathrm{V}$, die obere Platte ist positiv, die untere negativ geladen. Das Feld ist homogen und auf das Innere des Kondensators beschränkt, die Gewichtskraft ist zu vernachlässigen. Verwende die Werte der Formelsammlung.

a) Begründe, dass die Elektronen zur oberen Platte hin abgelenkt werden. (2 BE)

b) Berechne den Betrag der Beschleunigung, die ein Elektron im Kondensator erfährt, und die Zeit, die es zum Durchfliegen des Kondensators benötigt. Die Geschwindigkeit parallel zu den Platten bleibt dabei konstant. (2 BE)



Aufgabe 4

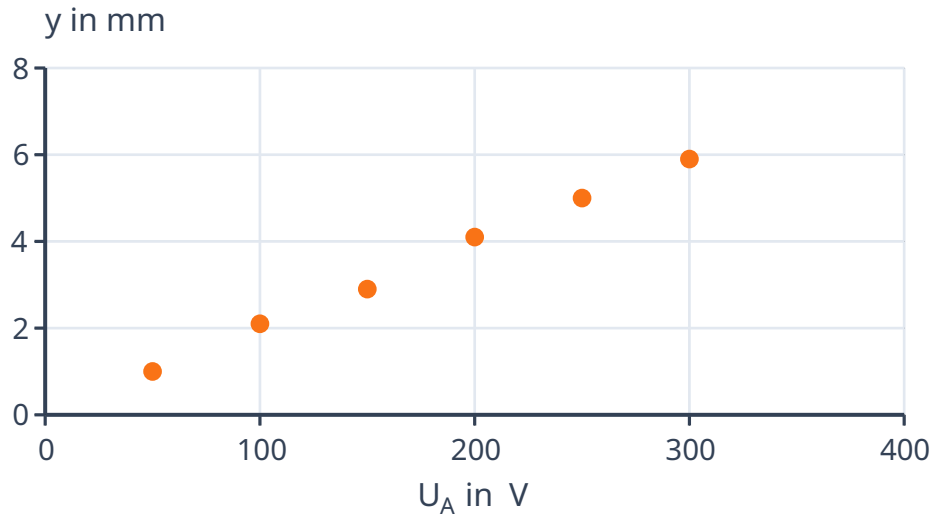
Teil A (Kurzaufgaben) · eA · 4 BE

In einem Schulversuch durchlaufen Elektronen mit fest eingestellter Beschleunigungsspannung einen Ablenkkondensator. Gemessen wird die vertikale Ablenkung y am Ende der Platten in Abhängigkeit von der Ablenkspannung U_A (siehe Abbildung).

U_A **in V**	**50**	**100**	**150**	**200**	**250**	**300**
y in mm	1,0	2,1	2,9	4,1	5,0	5,9

a) Schließe aus den Messwerten auf den mathematischen Zusammenhang zwischen y und U_A und begründe deine Aussage. (2 BE)

b) Schätze mithilfe einer Ausgleichsgeraden durch den Ursprung die Ablenkung y ab, die sich bei $U_A = 420\,\mathrm{V}$ ergibt. (2 BE)



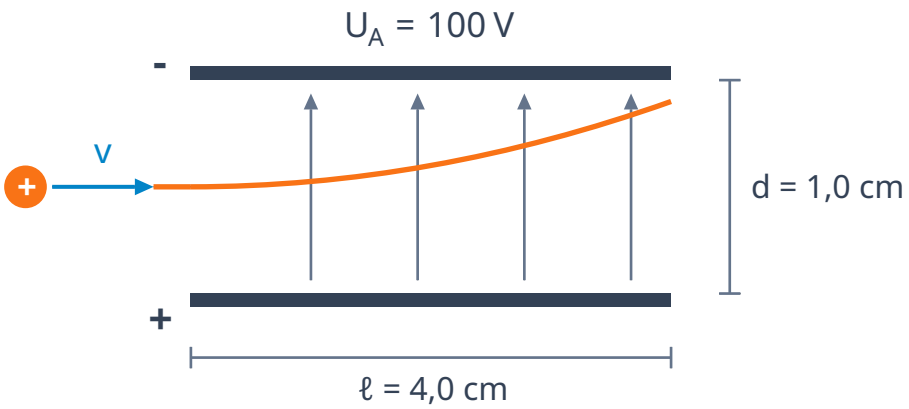
Aufgabe 5

Teil A (Kurzaufgaben) · eA · 4 BE

Protonen werden aus der Ruhe mit der Spannung $U_B = 2{,}0\,\mathrm{kV}$ beschleunigt und fliegen dann mittig und waagerecht in einen Plattenkondensator (siehe Abbildung). Die Platten haben die Länge $\ell = 4{,}0\,\mathrm{cm}$ und den Abstand $d = 1{,}0\,\mathrm{cm}$, zwischen ihnen liegt die Spannung $U_A = 100\,\mathrm{V}$. Die obere Platte ist negativ geladen. Für die Bahn der Protonen im Kondensator gilt $y(x) = \frac{U_A}{4dU_B}\,x^2$, dabei ist x der Abstand vom Plattenanfang und y die Ablenkung aus der Mittellinie.

a) Berechne die Ablenkung $y(\ell)$ am Ende der Platten und prüfe, ob die Protonen den Kondensator verlassen. (2 BE)

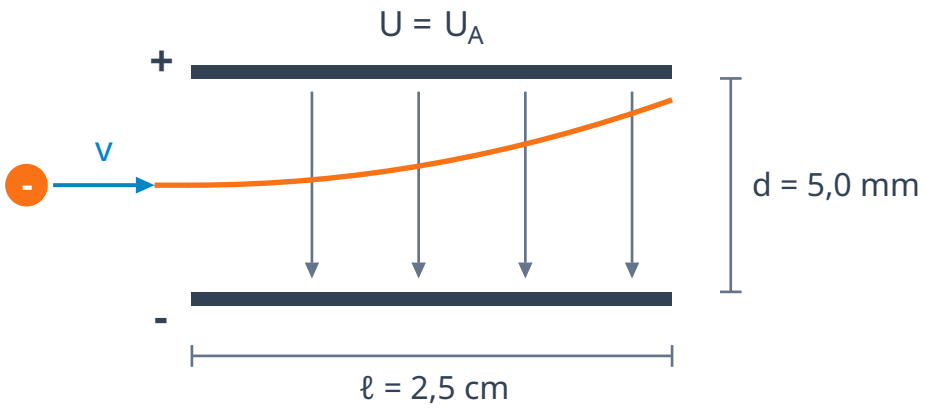
b) Ein Schüler behauptet: „Ersetzt man die Protonen bei gleichen Spannungen durch Elektronen, ist die Ablenkung wegen der viel kleineren Masse deutlich größer.“ Beurteile diese Aussage. (2 BE)



Aufgabe 6

Teil B (Kontextaufgabe) · eA · 20 BE

Ein Niederspannungs-Rasterelektronenmikroskop untersucht empfindliche Proben mit vergleichsweise langsamen Elektronen. Eine Elektronenkanone beschleunigt die Elektronen aus der Ruhe mit der Beschleunigungsspannung $U_B = 1{,}2\,\mathrm{kV}$. Danach durchlaufen die Elektronen mittig und waagerecht eine Ablenkeinheit aus zwei parallelen, waagerechten Platten mit der Länge $\ell = 2{,}5\,\mathrm{cm}$ und dem Abstand $d = 5{,}0\,\mathrm{mm}$ (siehe Abbildung). Die obere Platte ist positiv, die untere negativ geladen, zwischen den Platten liegt die Ablenkspannung U_A. Das elektrische Feld ist homogen und auf das Innere des Kondensators beschränkt, die Gewichtskraft ist zu vernachlässigen. Verwende die Werte der Formelsammlung.



a) Berechne die Geschwindigkeit v_0, mit der die Elektronen in die Ablenkeinheit eintreten. (3 BE)

b) Weise nach, dass relativistische Effekte bei der Bewegung der Elektronen vernachlässigt werden dürfen. (3 BE)

c) Erkläre, warum die Bahn der Elektronen zwischen den Platten parabelförmig ist, und begründe mithilfe der Polung, zu welcher Platte die Elektronen abgelenkt werden. (4 BE)

d) Leite für die Bahn der Elektronen im Kondensator die Gleichung $y(x) = \frac{U_A}{4dU_B}\,x^2$ her. Dabei ist x der Abstand vom Plattenanfang und y die Ablenkung aus der Mittellinie. (5 BE)

e) Die Elektronen sollen den Kondensator unter dem Winkel $\alpha = 8{,}0°$ zur Waagerechten verlassen. Berechne dafür die erforderliche Ablenkspannung U_A und prüfe, ob die Elektronen dabei den Kondensator verlassen können. (5 BE)

PHYSIK · LÖSUNGSBOGEN

Abitur Physik: Teilchen im elektrischen Feld

6 Aufgaben

Aufgabe 1

Teil A (Kurzaufgaben) · eA · 4 BE

Protonen werden in einer Ionenquelle aus der Ruhe zwischen zwei Gitterelektroden im Abstand $d = 3{,}0\,\text{cm}$ beschleunigt. Zwischen den Gittern liegt die Spannung $U = 1{,}5\,\text{kV}$. Das elektrische Feld sei homogen und auf den Raum zwischen den Gittern beschränkt. Verwende die Werte der Formelsammlung für Elementarladung und Protonenmasse.

a) Berechne die elektrische Feldstärke zwischen den Gittern und den Betrag der Kraft auf ein Proton. (2 BE)

b) Berechne die Geschwindigkeit, mit der ein Proton das zweite Gitter erreicht. (2 BE)

ERGEBNIS

a) $E = 5{,}00 \cdot 10^{4}\,\text{V/m}$, $F = 8{,}01 \cdot 10^{-15}\,\text{N}$; **b)** $v = 5{,}36 \cdot 10^{5}\,\text{m/s}$

LÖSUNGSWEG

1. Konstanten: $e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}\,\text{C}$, $m_p = 1{,}673 \cdot 10^{-27}\,\text{kg}$.
2. a) Feldstärke: $E = \frac{U}{d} = \frac{1500\,\text{V}}{0{,}030\,\text{m}} = 5{,}00 \cdot 10^{4}\,\text{V/m}$ (1 BE)
3. a) Kraft: $F = eE = 1{,}602 \cdot 10^{-19}\,\text{C} \cdot 5{,}00 \cdot 10^{4}\,\text{V/m} = 8{,}01 \cdot 10^{-15}\,\text{N}$ (1 BE)
4. b) Energiebilanz: $eU = \frac{1}{2} m_p v^2$, also $v = \sqrt{\frac{2eU}{m_p}}$ (1 BE)
5. b) $v = \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}\,\text{C} \cdot 1500\,\text{V}}{1{,}673 \cdot 10^{-27}\,\text{kg}}} = 5{,}36 \cdot 10^{5}\,\text{m/s}$ (1 BE)

TYPISCHE FEHLER

Der Plattenabstand wird in Zentimetern statt in Metern eingesetzt, dadurch ist E um den Faktor 100 falsch. Außerdem wird bei der Geschwindigkeit der Faktor 2 in $v = \sqrt{2eU/m}$ vergessen.

Aufgabe 2

Teil A (Kurzaufgaben) · eA · 4 BE

Ein Elektron befindet sich im homogenen elektrischen Feld eines Plattenkondensators. Die Platten haben den Abstand $d = 4{,}0\,\text{cm}$, zwischen ihnen liegt die Spannung $U = 90\,\text{V}$. Verwende die Werte der Formelsammlung.

a) Berechne den Betrag der Beschleunigung, die das Elektron durch die elektrische Kraft erfährt. (2 BE)

b) Vergleiche den Betrag der elektrischen Kraft mit dem Betrag der Gewichtskraft auf das Elektron und begründe, warum man die Gewichtskraft bei solchen Aufgaben vernachlässigen darf. (2 BE)

ERGEBNIS

a) $a = 3{,}96 \cdot 10^{14}\,\text{m/s}^2$**; b)** $F_\text{el} = 3{,}60 \cdot 10^{-16}\,\text{N}$ **und** $F_\text{G} = 8{,}94 \cdot 10^{-30}\,\text{N}$**, die elektrische Kraft ist etwa** $4 \cdot 10^{13}$**-mal so groß, die Gewichtskraft darf vernachlässigt werden**

LÖSUNGSWEG

1. Konstanten: $e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}\,\text{C}$, $m_e = 9{,}109 \cdot 10^{-31}\,\text{kg}$, $g = 9{,}81\,\text{m/s}^2$.
2. a) Feldstärke: $E = \frac{U}{d} = \frac{90\,\text{V}}{0{,}040\,\text{m}} = 2250\,\text{V/m}$ (1 BE)
3. a) Beschleunigung: $a = \frac{F}{m_e} = \frac{eE}{m_e} = \frac{1{,}602 \cdot 10^{-19}\,\text{C} \cdot 2250\,\text{V/m}}{9{,}109 \cdot 10^{-31}\,\text{kg}} = 3{,}96 \cdot 10^{14}\,\text{m/s}^2$ (1 BE)
4. b) Elektrische Kraft: $F_\text{el} = eE = 3{,}60 \cdot 10^{-16}\,\text{N}$; Gewichtskraft: $F_\text{G} = m_e g = 9{,}109 \cdot 10^{-31}\,\text{kg} \cdot 9{,}81\,\text{m/s}^2 = 8{,}94 \cdot 10^{-30}\,\text{N}$ (1 BE)
5. b) Verhältnis: $\frac{F_\text{el}}{F_\text{G}} = \frac{3{,}60 \cdot 10^{-16}\,\text{N}}{8{,}94 \cdot 10^{-30}\,\text{N}} \approx 4 \cdot 10^{13}$. Die Gewichtskraft ist um etwa 13 Zehnerpotenzen kleiner und hat keinen merklichen Einfluss auf die Bahn, sie darf vernachlässigt werden. (1 BE)

TYPISCHE FEHLER

Der Plattenabstand $d = 4{,}0\,\text{cm}$ wird nicht in Meter umgerechnet, dadurch ist die Beschleunigung um den Faktor 100 zu klein. Außerdem wird die Gewichtskraft mit der Beschleunigung statt mit der elektrischen Kraft verglichen, obwohl nur Kräfte miteinander verglichen werden dürfen.

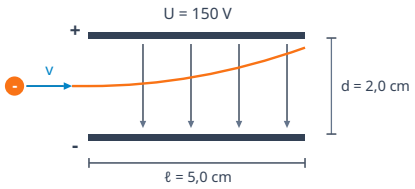
Aufgabe 3

Teil A (Kurzaufgaben) · eA · 4 BE

Elektronen fliegen mit der Geschwindigkeit $v_0 = 2{,}0 \cdot 10^7\,\mathrm{m/s}$ waagerecht in einen Plattenkondensator ein (siehe Abbildung). Die Platten haben die Länge $\ell = 5{,}0\,\mathrm{cm}$ und den Abstand $d = 2{,}0\,\mathrm{cm}$. Zwischen ihnen liegt die Spannung $U = 150\,\mathrm{V}$, die obere Platte ist positiv, die untere negativ geladen. Das Feld ist homogen und auf das Innere des Kondensators beschränkt, die Gewichtskraft ist zu vernachlässigen. Verwende die Werte der Formelsammlung.

a) Begründe, dass die Elektronen zur oberen Platte hin abgelenkt werden. (2 BE)

b) Berechne den Betrag der Beschleunigung, die ein Elektron im Kondensator erfährt, und die Zeit, die es zum Durchfliegen des Kondensators benötigt. Die Geschwindigkeit parallel zu den Platten bleibt dabei konstant. (2 BE)



ERGEBNIS

a) Die Kraft auf die Elektronen zeigt nach oben, sie werden zur oberen (positiven) Platte abgelenkt; b) $a = 1{,}32 \cdot 10^{15}\,\mathrm{m/s^2}$, $t = 2{,}50 \cdot 10^{-9}\,\mathrm{s}$

LÖSUNGSWEG

1. Konstanten: $e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C}$, $m_e = 9{,}109 \cdot 10^{-31}\,\mathrm{kg}$.

2. a) Die obere Platte ist positiv, die untere negativ: Das elektrische Feld zeigt von der positiven zur negativen Platte, also nach unten. (1 BE)

3. a) Auf ein Elektron (negative Ladung) wirkt die Kraft entgegen der Feldrichtung, also nach oben. Die Elektronen werden daher zur oberen (positiven) Platte abgelenkt. (1 BE)

4. b) $a = \frac{F}{m_e} = \frac{eU}{m_e d} = \frac{1{,}602 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C} \cdot 150\,\mathrm{V}}{9{,}109 \cdot 10^{-31}\,\mathrm{kg} \cdot 0{,}020\,\mathrm{m}} = 1{,}32 \cdot 10^{15}\,\mathrm{m/s^2}$ (1 BE)

5. b) $t = \frac{\ell}{v_0} = \frac{0{,}050\,\mathrm{m}}{2{,}0 \cdot 10^7\,\mathrm{m/s}} = 2{,}50 \cdot 10^{-9}\,\mathrm{s}$ (1 BE)

TYPISCHE FEHLER

Die Kraftrichtung wird für das negative Teilchen in Feldrichtung angegeben, die Elektronen würden dann zur negativen Platte abgelenkt. Außerdem wird der Plattenabstand $d = 2{,}0\,\mathrm{cm}$ nicht in Meter umgerechnet.

Aufgabe 4

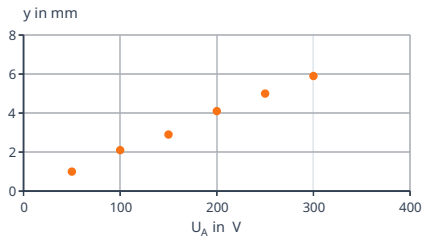
Teil A (Kurzaufgaben) · eA · 4 BE

In einem Schulversuch durchlaufen Elektronen mit fest eingestellter Beschleunigungsspannung einen Ablenkkondensator. Gemessen wird die vertikale Ablenkung y am Ende der Platten in Abhängigkeit von der Ablenkspannung U_A (siehe Abbildung).

U_A in V	50	100	150	200	250	300
y in mm	1,0	2,1	2,9	4,1	5,0	5,9

a) Schließe aus den Messwerten auf den mathematischen Zusammenhang zwischen y und U_A und begründe deine Aussage. (2 BE)

b) Schätze mithilfe einer Ausgleichsgeraden durch den Ursprung die Ablenkung y ab, die sich bei $U_A = 420\,\mathrm{V}$ ergibt. (2 BE)



ERGEBNIS

a) y ist direkt proportional zu U_A; b) $y \approx 8{,}4\,\mathrm{mm}$ (Toleranz: $8{,}2$ bis $8{,}5\,\mathrm{mm}$)

LÖSUNGSWEG

1. a) Quotienten $\frac{y}{U_A}$ in mm/V: $0{,}0200$; $0{,}0210$; $0{,}0193$; $0{,}0205$; $0{,}0200$; $0{,}0197$. Die Quotienten sind im Rahmen der Messunsicherheit konstant. (1 BE)
2. a) Die Messpunkte liegen auf einer Ursprungsgeraden, daher gilt $y \sim U_A$: y ist direkt proportional zu U_A. (1 BE)
3. b) Steigung der Ausgleichsgeraden durch den Ursprung: $k \approx 0{,}0199\,\mathrm{mm/V}$ (1 BE)
4. b) $y = k \cdot U_A = 0{,}0199\,\mathrm{mm/V} \cdot 420\,\mathrm{V} \approx 8{,}4\,\mathrm{mm}$ (Toleranz: $8{,}2$ bis $8{,}5\,\mathrm{mm}$) (1 BE)

TYPISCHE FEHLER

Die Messpunkte werden zu einem Streckenzug verbunden statt eine Ausgleichsgerade durch den Ursprung zu legen. Außerdem wird aus der einen steigenden Messreihe vorschnell auf einen quadratischen Zusammenhang geschlossen, ohne die Quotienten y/U_A zu prüfen.

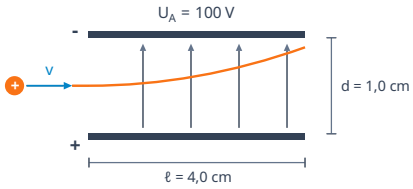
Aufgabe 5

Teil A (Kurzaufgaben) · eA · 4 BE

Protonen werden aus der Ruhe mit der Spannung $U_B = 2{,}0\,\mathrm{kV}$ beschleunigt und fliegen dann mittig und waagerecht in einen Plattenkondensator (siehe Abbildung). Die Platten haben die Länge $\ell = 4{,}0\,\mathrm{cm}$ und den Abstand $d = 1{,}0\,\mathrm{cm}$, zwischen ihnen liegt die Spannung $U_A = 100\,\mathrm{V}$. Die obere Platte ist negativ geladen. Für die Bahn der Protonen im Kondensator gilt $y(x) = \frac{U_A}{4dU_B}\,x^2$, dabei ist x der Abstand vom Plattenanfang und y die Ablenkung aus der Mittellinie.

a) Berechne die Ablenkung $y(\ell)$ am Ende der Platten und prüfe, ob die Protonen den Kondensator verlassen. (2 BE)

b) Ein Schüler behauptet: „Ersetzt man die Protonen bei gleichen Spannungen durch Elektronen, ist die Ablenkung wegen der viel kleineren Masse deutlich größer." Beurteile diese Aussage. (2 BE)



ERGEBNIS

a) $y(\ell) = 2{,}00\,\mathrm{mm}$, kleiner als $d/2 = 5{,}0\,\mathrm{mm}$, die Protonen verlassen den Kondensator; b) Die Aussage ist falsch, die Ablenkung beträgt auch für Elektronen $2{,}00\,\mathrm{mm}$, nur in entgegengesetzter Richtung

LÖSUNGSWEG

1. a) $y(\ell) = \frac{U_A\,\ell^2}{4dU_B} = \frac{100\,\mathrm{V}\cdot(0{,}040\,\mathrm{m})^2}{4\cdot 0{,}010\,\mathrm{m}\cdot 2000\,\mathrm{V}} = 2{,}00\,\mathrm{mm}$ (1 BE)

2. a) Die Protonen starten mittig, der Plattenrand liegt bei $d/2 = 5{,}0\,\mathrm{mm}$. Wegen $2{,}00\,\mathrm{mm} < 5{,}0\,\mathrm{mm}$ verlassen die Protonen den Kondensator. (1 BE)

3. b) In $y(x) = \frac{U_A}{4dU_B}\,x^2$ kommen weder die Masse noch die Ladung des Teilchens vor. (1 BE)

4. b) Elektronen erfahren zwar eine größere Beschleunigung im Querfeld, treten aber auch mit größerer Geschwindigkeit ein und brauchen daher weniger Zeit. Beides gleicht sich aus: Die Ablenkung beträgt auch für Elektronen $2{,}00\,\mathrm{mm}$, nur in entgegengesetzter Richtung (zur unteren, positiven Platte). Die Aussage ist falsch. (1 BE)

TYPISCHE FEHLER

Es wird nur die größere Beschleunigung der leichten Elektronen betrachtet und die kürzere Flugzeit übersehen. Außerdem wird das Ergebnis in Metern angegeben, ohne zu $d/2$ in derselben Einheit zu vergleichen.

Aufgabe 6

Teil B (Kontextaufgabe) · eA · 20 BE

Ein Niederspannungs-Rasterelektronenmikroskop untersucht empfindliche Proben mit vergleichsweise langsamen Elektronen. Eine Elektronenkanone beschleunigt die Elektronen aus der Ruhe mit der Beschleunigungsspannung $U_B = 1{,}2\,\mathrm{kV}$. Danach durchlaufen die Elektronen mittig und waagerecht eine Ablenkeinheit aus zwei parallelen, waagerechten Platten mit der Länge $\ell = 2{,}5\,\mathrm{cm}$ und dem Abstand $d = 5{,}0\,\mathrm{mm}$ (siehe Abbildung). Die obere Platte ist positiv, die untere negativ geladen, zwischen den Platten liegt die Ablenkspannung U_A. Das elektrische Feld ist homogen und auf das Innere des Kondensators beschränkt, die Gewichtskraft ist zu vernachlässigen. Verwende die Werte der Formelsammlung.

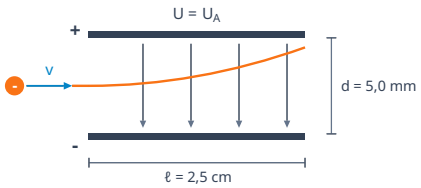
a) Berechne die Geschwindigkeit v_0, mit der die Elektronen in die Ablenkeinheit eintreten. (3 BE)

b) Weise nach, dass relativistische Effekte bei der Bewegung der Elektronen vernachlässigt werden dürfen. (3 BE)

c) Erkläre, warum die Bahn der Elektronen zwischen den Platten parabelförmig ist, und begründe mithilfe der Polung, zu welcher Platte die Elektronen abgelenkt werden. (4 BE)

d) Leite für die Bahn der Elektronen im Kondensator die Gleichung $y(x) = \frac{U_A}{4dU_B}\,x^2$ her. Dabei ist x der Abstand vom Plattenanfang und y die Ablenkung aus der Mittellinie. (5 BE)

e) Die Elektronen sollen den Kondensator unter dem Winkel $\alpha = 8{,}0°$ zur Waagerechten verlassen. Berechne dafür die erforderliche Ablenkspannung U_A und prüfe, ob die Elektronen dabei den Kondensator verlassen können. (5 BE)



ERGEBNIS

a) $v_0 = 2{,}05 \cdot 10^7\,\mathrm{m/s}$; b) $\beta = 0{,}0685$ und $\gamma = 1{,}0024$ (relativistische Korrektur etwa $0{,}2\,\%$), relativistische Effekte sind vernachlässigbar; c) Die Kraft auf die Elektronen ist konstant und zeigt nach oben, die Elektronen werden zur oberen (positiven) Platte abgelenkt und bewegen sich auf einer Parabel; d) $y(x) = \frac{U_A}{4dU_B}\,x^2$; e) $U_A = 67{,}5\,\mathrm{V}$; $y(\ell) = 1{,}76\,\mathrm{mm} < d/2 = 2{,}50\,\mathrm{mm}$, die Elektronen verlassen den Kondensator

LÖSUNGSWEG

1. Konstanten: $e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C}$, $m_e = 9{,}109 \cdot 10^{-31}\,\mathrm{kg}$, $c = 2{,}998 \cdot 10^8\,\mathrm{m/s}$.
2. a) Energiebilanz: $eU_B = \frac{1}{2}m_e v_0^2$ (1 BE)
3. a) Umstellen: $v_0 = \sqrt{\frac{2eU_B}{m_e}}$ (1 BE)
4. a) $v_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C} \cdot 1200\,\mathrm{V}}{9{,}109 \cdot 10^{-31}\,\mathrm{kg}}} = 2{,}05 \cdot 10^7\,\mathrm{m/s}$ (1 BE)
5. b) $\beta = \frac{v_0}{c} = \frac{2{,}05 \cdot 10^7\,\mathrm{m/s}}{2{,}998 \cdot 10^8\,\mathrm{m/s}} = 0{,}0685$, das ist deutlich weniger als $0{,}1$. (1 BE)
6. b) $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} = 1{,}0024$, die relativistische Korrektur beträgt also etwa $0{,}2\,\%$ (1 BE)
7. b) Die Korrektur liegt deutlich unter $1\,\%$, relativistische Effekte sind vernachlässigbar. (1 BE)
8. c) Das Feld im Kondensator ist homogen, daher ist die Kraft $F = eE$ auf ein Elektron konstant und senkrecht zu den Platten gerichtet. (1 BE)
9. c) Die obere Platte ist positiv, die untere negativ: Das Feld zeigt von oben nach unten. (1 BE)
10. c) Auf die negativ geladenen Elektronen wirkt die Kraft entgegen der Feldrichtung, also nach oben. Die Elektronen werden zur oberen (positiven) Platte abgelenkt. (1 BE)
11. c) Parallel zu den Platten wirkt keine Kraft, die Bewegung dort ist gleichförmig. Senkrecht dazu ist sie gleichmäßig beschleunigt aus der Ruhe. Die Überlagerung ergibt eine Parabel. (1 BE)
12. d) Waagerecht gilt $x = v_0 t$, also $t = \frac{x}{v_0}$. Senkrecht gilt $y = \frac{1}{2}at^2$. (1 BE)
13. d) Beschleunigung: $a = \frac{F}{m_e} = \frac{eE}{m_e} = \frac{eU_A}{m_e d}$ (1 BE)
14. d) Einsetzen von a und t: $y = \frac{1}{2} \cdot \frac{eU_A}{m_e d} \cdot \frac{x^2}{v_0^2}$ (1 BE)
15. d) Aus der Energiebilanz folgt $v_0^2 = \frac{2eU_B}{m_e}$ (1 BE)
16. d) Einsetzen und Kürzen von e und m_e: $y(x) = \frac{U_A}{4dU_B}\,x^2$ (1 BE)
17. e) Die Bahn ist die Parabel $y(x) = \frac{U_A}{4dU_B}\,x^2$. Die Steigung am Plattenende ist $\tan\alpha = y'(\ell) = \frac{U_A \ell}{2dU_B}$ (1 BE)
18. e) Umstellen nach der Spannung: $U_A = \frac{2dU_B \tan\alpha}{\ell}$ (1 BE)
19. e) $U_A = \frac{2 \cdot 5{,}0 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{m} \cdot 1200\,\mathrm{V} \cdot \tan 8{,}0°}{2{,}5 \cdot 10^{-2}\,\mathrm{m}} = 67{,}5\,\mathrm{V}$ (1 BE)
20. e) Ablenkung am Plattenende: $y(\ell) = \frac{U_A \ell^2}{4dU_B} = \frac{\ell \tan\alpha}{2} = 1{,}76\,\mathrm{mm}$ (1 BE)
21. e) Der Plattenrand liegt bei $\frac{d}{2} = 2{,}50\,\mathrm{mm}$. Wegen $1{,}76\,\mathrm{mm} < 2{,}50\,\mathrm{mm}$ verlassen die Elektronen den Kondensator unter dem gegebenen Winkel. (1 BE)

TYPISCHE FEHLER

In Teilaufgabe e wird $\tan\alpha = y(\ell)/\ell$ statt der Steigung der Parabel $2\,y(\ell)/\ell$ angesetzt, dadurch kommt eine doppelt so große Spannung heraus ($135\,\mathrm{V}$ statt $67{,}5\,\mathrm{V}$). Außerdem wird bei der Herleitung v_0^2 ohne den Faktor 2 aus der Energiebilanz eingesetzt.