

Physik-Abitur 2007 – Aufgabe I a

Ein Plattenkondensator besteht aus zwei quadratischen Metallplatten der Seitenlänge 12 cm. Der Plattenabstand beträgt 8,0 mm. Die Anordnung befindet sich in Luft ($\epsilon_r = 1,00$). Am Kondensator wird eine Spannung von 220 V angelegt.

- Berechnen Sie die Kapazität und die Ladung des Kondensators
- Bestimmen Sie die Feldstärke und die im Feld gespeicherte Energie.
- Wie ändern sich die berechneten Werte, wenn bei angeschlossener Quelle bzw. abgetrennter Quelle der Raum zwischen den Platten mit einem Dielektrikum ($\epsilon_r = 3,5$) vollständig gefüllt wird?

(7 VP)

Offizielle Lösungshinweise

Bestimmung der Kapazität und Ladung des Kondensators:

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d} = 1,0 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}}{\text{Vm}} \cdot \frac{(0,12\text{m})^2}{8 \cdot 10^{-3}\text{m}} = 16\text{pF}; \quad Q = C \cdot U = 15,9 \cdot 10^{-9}\text{F} \cdot 220\text{V} = \underline{\underline{3,5\text{nC}}}.$$

Bestimmung der el. Feldstärke und der el. Energie des el. Feldes:

$$E = \frac{U}{d} = \frac{220\text{V}}{0,008\text{m}} = \underline{\underline{2,8 \cdot 10^4 \frac{\text{V}}{\text{m}}}}; \quad W = \frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2} \cdot 15,9\text{pF} \cdot (220\text{V})^2 = \underline{\underline{3,9 \cdot 10^{-7} \text{J}}}.$$

Einführen des Dielektrikums mit angeschlossener Spannungsquelle:

$$U' = U; \quad E' = \frac{U'}{d'} = E; \quad C' = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A'}{d'} = 3,5 \cdot C$$
$$Q' = C' \cdot U' = 3,5 \cdot Q; \quad W' = \frac{1}{2} \cdot C' \cdot (U')^2 = 3,5 \cdot W$$

Einführen des Dielektrikums nach Abtrennen der Spannungsquelle:

$$Q' = Q; \quad C' = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A'}{d'} = 3,5 \cdot C; \quad U' = \frac{Q'}{C'} = \frac{Q}{3,5 \cdot C} = \frac{1}{3,5} \cdot U$$
$$E' = \frac{U'}{d'} = \frac{1}{3,5} E; \quad W' = \frac{1}{2} \cdot C' \cdot (U')^2 = \frac{1}{3,5} \cdot W$$

Operatorendefinitionen aus den EPA

berechnen / bestimmen: aus Größengleichungen physikalische Größen gewinnen

wie ändern: in EPA nicht definiert

Aufgabe I a – Schülerlösung 1*

Raum für Korrekturen

Kapazität:

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d} = 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot \frac{(0,12)^2}{8 \cdot 10^{-2}} F = 1,593 \cdot 10^{-11} F = 15,9 pF$$

Ladung:

$$Q = C \cdot U = 1,593 \cdot 10^{-11} F \cdot 220V = 3,5 \cdot 10^{-9} C = 3,5 nC$$

Feldstärke:

$$E = \frac{U}{d} = \frac{220V}{8 \cdot 10^{-3} m} = 27500 \frac{V}{m} = 27,5 \frac{kV}{m}$$

Energie:

$$W = \frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,593 \cdot 10^{-11} F \cdot (220V)^2 = 3,855 \cdot 10^{-7} J = 385,5 nJ$$

Die Kapazität steigt wegen $C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$ auf das 3,5fache $C_1 = C_2 = 55,8 pF$ (in beiden Fällen)

Die Ladung bleibt bei abgetrennter Quelle gleich ($Q = \text{konst.}$). Bei angeschlossener Spannungsquelle ist $U = \text{konst.}$ Wegen $Q = C \cdot U$ ist $Q \propto C$ und steigt daher um das 3,5fache auf $Q_1 = 1,225 \cdot 10^{-8} C$

Die el. Feldstärke bleibt wegen $E = \frac{U}{d}$ bei angeschlossener Quelle konstant. Bei abgetrennter Quelle sinkt sie wegen $\frac{Q}{A} = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot E$ auf 2/7 des vormaligen Wertes. $E_1 = 7857 V/m$.

Die Energie $W_{el} = \frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2} Q \cdot U$ steigt bei angeschlossener

Quelle wegen $Q \propto \epsilon_r$ und $U = \text{konst.}$ auf das 3,5fache. $W_1 = 1,35 \cdot 10^{-6} J$. Bei abgetrennter Quelle ist $Q = \text{konst.}$ und $U \propto 1/\epsilon_r$. Die Energie sinkt auf 2/7 des ursprünglichen Wertes: $W_2 = 1,10 \cdot 10^{-7} J$.

Zusammenfassung:

Angeschlossene Spannungsquelle ($U = \text{konst.}$): ...

Abgetrennte Spannungsquelle ($Q = \text{konst.}$): ...

Aufgabe I a – Schülerlösung 2

Raum für Korrekturen

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d} = 1 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{C}{Vm} \cdot \frac{(0,12m)^2}{8 \cdot 10^{-2} m} = 1,6 \cdot 10^{-11} F = 16 pF$$

$$Q = C \cdot U \Rightarrow Q = 1,6 \cdot 10^{-11} F \cdot 220V = 3,52 \cdot 10^{-9} C = 3,52 nC$$

$$E = \frac{U}{d} = \frac{220V}{0,008m} = 27500 \frac{V}{m}$$

Im Feld gespeicherte Energie:

$$W = eE = e \frac{U}{d} = 1,6 \cdot 10^{-19} C \cdot 27500 \frac{V}{m} = 4,4 \cdot 10^{-15} J$$

Veränderung der Werte bei Dielektrikum $\epsilon_r = 3,5$:

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d} = 3,5 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{C}{Vm} \cdot \frac{(0,12m)^2}{8 \cdot 10^{-2} m} = 5,57 \cdot 10^{-11} F$$

Erg.: Die Kapazität nimmt um den Faktor 3,5 zu. Somit nimmt die Ladung ebenfalls um den Faktor 3,5 zu.

Bei abgetrennter Quelle hat die Änderung des Dielektrikums keine Wirkung auf die Kapazität, da diese im Kondensator gespeichert ist.

* Vielen Dank an Monica Hettrich, die die fiktiven Schülerantworten zur Verfügung gestellt hat.

Physik-Abitur 2007 – Aufgabe I b

Abbildung 1 zeigt ein idealisiertes Experiment zur Bewegung eines geladenen Kügelchens im elektrischen Feld eines Plattenkondensators. Von Reibungseffekten wird ebenso abgesehen wie vom Einfluss der Gravitation.

Das dargestellte Kügelchen besitzt eine Masse von 3,0 mg. Durch Berühren der linken Kondensatorplatte nimmt es eine Ladung von 5,0 nC auf.

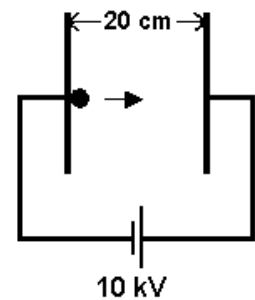


Abb. 1

- Mit welcher Geschwindigkeit erreicht das Kügelchen die rechte Platte?

Beim Aufprall auf der rechten Platte wird das Kügelchen ohne Energieverlust reflektiert. Dabei ändert sich das Vorzeichen der Ladung, nicht aber deren Betrag. Zur Beschreibung der ersten Hin- und Herbewegung des Kügelchens stehen vier Diagramme in Abbildung 2 zur Auswahl.

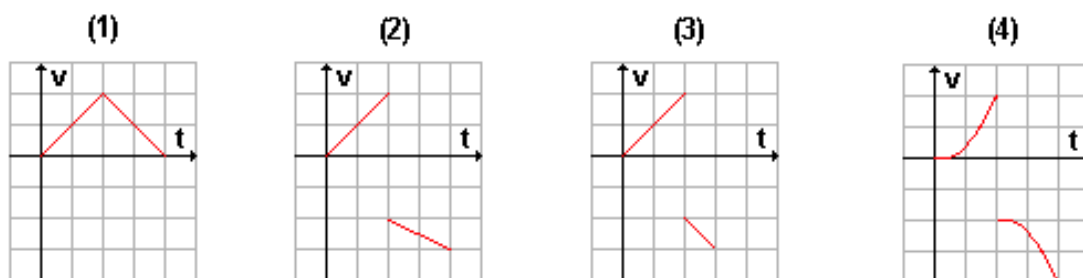


Abb. 2

- Diskutieren Sie die Brauchbarkeit der Diagramme zur Beschreibung des geschilderten Bewegungsvorgangs.

(8 VP)

Offizielle Lösungshinweise

Geschwindigkeit beim Erreichen der linken Platte:

$$\text{Nach dem EES gilt: } q \cdot U = \frac{1}{2} m v^2 \text{ also } v = \sqrt{\frac{2qU}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 5 \cdot 10^{-9} \text{ C} \cdot 10000 \text{ V}}{0,003 \text{ kg}}} = \underline{\underline{5,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

Bild 1 ist ungeeignet: Kein VZW der Geschwindigkeit; Absinken der Geschwindigkeit auf Null.

Bild 2 ist ungeeignet: Unterschiedlicher Betrag der Beschleunigung für Hin- und Rückweg.

Bild 3 scheint geeignet: Teilbewegungen mit konstanter Beschleunigung mit gleichem Betrag der Beschleunigung, Umkehr der Bewegungsrichtung, Zeitdauer für Rückweg ist kürzer.

Bild 4 ist ungeeignet: Es liegt keine Bewegung mit konstanter Beschleunigung vor.

Operatorendefinitionen aus den EPA

diskutieren / erörtern: in Zusammenhang mit Sachverhalten, Aussagen oder Thesen unterschiedliche Positionen bzw. Pro- und Contra-Argumente einander gegenüberstellen und abwägen

Aufgabe I b – Schülerlösung 1*

Raum für Korrekturen

$$W_{\text{el}} = W_{\text{kin}} \quad q \cdot U = \frac{1}{2} m v^2$$

$$v = \sqrt{2 \frac{q}{m} U} = \sqrt{2 \cdot \frac{5 \cdot 10^{-9}}{3 \cdot 10^{-6}} \cdot 1000 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 5,77 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Die Geschwindigkeit $v \propto \sqrt{U}$, d.h. $v^2 \propto U$. Die Spannung

$U = \frac{W}{q} = \frac{F \cdot s}{q}$ ist proportional zum Weg s .

Es handelt sich also um eine konstant beschleunigte Bewegung mit $v = a \cdot t$; $v \propto t$; $a = \text{konst.}$

Daher muss ein v-t-Diagramm eine konstante Steigung haben. Bild 4 ist falsch.

Da die Geschwindigkeit auf dem Rückweg der auf dem Hinweg entgegengerichtet ist, kommt Diagramm 1 nicht in Betracht.

Da die Geschwindigkeit kontinuierlich steigt, dauert die Hinbewegung länger als die Rückbewegung. Daher kommt Bild 2 und Bild 4 nicht in Betracht.

Bei Bild 3 ist der Rückweg kürzer als der Hinflug (aufgrund der höheren Geschwindigkeit). Das Vorzeichen beim Rückflug ist anders als beim Hinflug, sowie die Steigung stets konstant ($a = \text{konst.}$). Bild 3 ist als einziges brauchbar.

Aufgabe I b – Schülerlösung 2

Raum für Korrekturen

$$\frac{1}{2} m v^2 = e U$$

$$v^2 = 2 \frac{e}{m} U$$

$$v = \sqrt{2 \frac{q}{m} U} = \sqrt{2 \cdot \frac{5 \cdot 10^{-9} \text{ C}}{3 \cdot 10^{-3} \text{ kg}} \cdot 10000 \text{ V}} = 0,18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Da es sich hier um eine gleichförmige Bewegung handelt, scheidet Diagramm (4) aus, da hier eine beschleunigte Bewegung dargestellt wird.

Diagramm (2) und (3) scheiden ebenfalls aus. Da sich das VZ der Ladung ändert, der Betrag aber gleich bleibt, verändert sich auch das VZ der Geschwindigkeit, der Betrag bleibt aber ebenfalls gleich.

Somit stellt Diagramm (1) den Bewegungsvorgang dar. Das Kügelchen wird beschleunigt, bis es auf die gegenüberliegende Platte aufkommt, dort erfolgt ein VZW des Betrags der Ladung sowie der Geschwindigkeit.

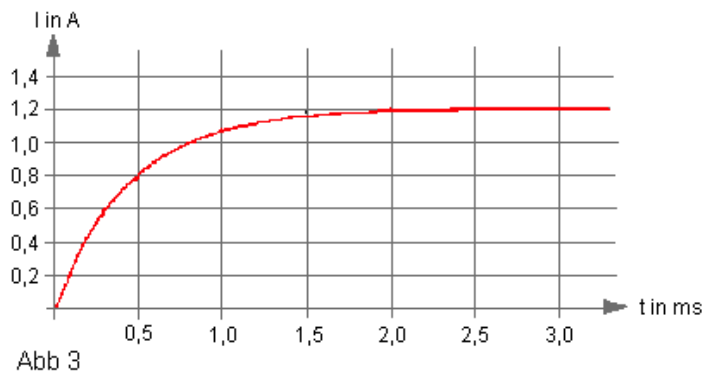
Da der Geschwindigkeitsbetrag gleich ist, hat die Herbewegung die negative Steigung des v-t-Diagrammes der Hin-Bewegung.

* Vielen Dank an Monica Hettrich, die die fiktiven Schülerantworten zur Verfügung gestellt hat.

Physik-Abitur 2007 – Aufgabe I c

Eine Spule wird über einen Schalter an ein Netzgerät mit der konstanten Spannung 12 V angeschlossen. Beim Einschalten misst man den Stromverlauf und erhält das Diagramm in Abbildung 3.

- Erklären Sie das Zustandekommen des Kurvenverlaufs.
- Bestimmen Sie den ohmschen Widerstand und die Eigeninduktivität der Spule.



(7 VP)

Offizielle Lösungshinweise

Erklärung des Kurvenverlaufs der Stromstärke:

Solange sich die Stromstärke ändert, wirken im Stromkreis zwei Spannungen: Die von außen angelegte Spannung U und die Induktionsspannung U_{ind} . Die Induktionsspannung wirkt nach Lenz ihrer Ursache entgegen und hemmt daher den Stromanstieg.

Das Schaubild von I nähert sich einer waagrechten Tangente an, da der Strom nach einiger Zeit nur noch durch den Widerstand gehemmt wird und sich nicht mehr ändert ($U_{\text{ind}} = 0 \text{ V}$).

Bestimmung des Widerstands R und der Eigeninduktivität L der Spule:

$$\text{Für die Momentanstromstärke gilt: } I(t) = \frac{U(t)}{R} = \frac{U_0 + U_{\text{ind}}(t)}{R} = \frac{U_0 - L \cdot \dot{I}(t)}{R} \quad (*)$$

Für großes t nähert sich der Strom dem maximalen Wert, die Induktionsspannung nähert sich dem Wert Null. Es gilt $I_{\text{max}} = \frac{U}{R}$. Für $I_{\text{max}} = 1,2 \text{ A}$ folgt für $R = 10 \Omega$.

Zum Zeitpunkt $t = 0 \text{ s}$ ist die Stromstärke $I(0 \text{ s}) = 0 \text{ A}$. Somit gilt mit (*): $U_0 = L \cdot \dot{I}(0 \text{ s})$.

$$\dot{I}(0 \text{ s}) = \frac{\Delta I}{\Delta t} \approx \frac{1,4 \text{ A}}{0,5 \text{ ms}} = 2800 \frac{\text{A}}{\text{s}} \quad (\text{Tangentensteigung an das Schaubild im Ursprung}).$$

$$\text{Also folgt für die Eigeninduktivität: } L = \frac{U_0}{\dot{I}(0 \text{ s})} = \frac{12 \text{ V}}{2800 \text{ A/s}} = \underline{4,3 \text{ mH}}.$$

Operatorendefinitionen aus den EPA

erklären: einen Sachverhalt nachvollziehbar und verständlich machen

berechnen / bestimmen: aus Größengleichungen physikalische Größen gewinnen

Aufgabe I c – Schülerlösung 1*

Raum für Korrekturen

$$U = 12V$$

Die Spule wird nach dem Einschalten von einem wachsenden Magnetfeld durchsetzt ($\dot{B} > 0$). Dabei wird eine Induktionsspannung $U_{ind}(t) = -L \cdot \dot{I}(t)$ induziert. Der Induktionsstrom ist nach dem Lenz'schen Gesetz gegen seine Ursache, den Anstieg des Magnetfeldes, gerichtet und verzögert somit den Anstieg der Stromstärke. Allmählich erreicht die Stromstärke ihren Maximalwert, da sich mit dem Anstieg die Änderung des Magnetfeldes verringert und der Induktionsstrom entsprechend verringert wird.

$$R = \frac{U}{I_{\max}}; \quad I_{\max} = 1,2A$$

$$R = \frac{12V}{1,2A} = 10\Omega$$

$$L = -\frac{U}{\dot{I}}; \text{ direkt nach dem Einschalten ist } \frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{1,2A}{0,5s} = 2,4 \frac{A}{s}.$$

$$\dot{I}(0) = 2,4 \frac{A}{s} \text{ und } U = 12V$$

$$L = -\frac{12V}{2,4 \frac{A}{s}} = 5H.$$

Der ohmsche Widerstand beträgt 10Ω , die Eigeninduktivität der Spule 5 Henry.

Aufgabe I c – Schülerlösung 2

Raum für Korrekturen

Beim Einschalten der Spule entsteht im Spuleninneren ein Magnetfeld mit der Flussdichte B . Durch die wachsende Stromstärke wird im Spuleninnern ein Induktionsstrom induziert, welcher der Ursache entgegenwirkt. Dies ist der Grund dafür, warum der Stromverlauf durch eine Kurve wie in Abb 3 dargestellt werden kann.

$$R = \frac{U}{I_{\max}}; \quad I_{\max} = 1,2A \qquad Q_{\max} = I_{\max} \cdot t = 1,21 \cdot 3 \cdot 10^{-3} s = 3,6 \cdot 10^{-3} C$$

$$L = \mu_0 \mu_r n^2 \frac{A}{l} \qquad C_{\max} = \frac{Q_{\max}}{U} = \frac{3,6 \cdot 10^{-3} C}{12V} = 3 \cdot 10^{-4} F$$

$$B = \frac{F}{I \cdot s}$$

$$\text{Ohmscher Widerstand: } R = \frac{U}{I_{\max}} = \frac{12V}{1,2A} = 10\Omega$$

* Vielen Dank an Monica Hettrich, die die fiktiven Schülerantworten zur Verfügung gestellt hat.

Physik-Abitur 2007 – Aufgabe I d

Elektronen werden durch eine Spannung von 50 kV beschleunigt und treffen anschließend auf einen Doppelspalt. Der Abstand der Spaltmitten beträgt 100 nm. Auf einer 5,0 cm entfernten Fotoplatte wird ein Muster (siehe Abb. 4) registriert. Die Auftrefforte der Elektronen sind hell dargestellt. Der Abstand benachbarter Streifen beträgt 2,75 mm.

- Bestimmen Sie aus der Spannungsangabe die de-Broglie-Wellenlänge der Elektronen.
- Prüfen Sie, ob die Wellenlänge der Elektronen, die man aus dem beschriebenen Muster ermitteln kann, mit der berechneten de-Broglie-Wellenlänge übereinstimmt.

Im Jahr 1989 wurde ein entsprechendes Doppelspalt-Experiment mit einzelnen Elektronen durchgeführt, d.h. es befand sich jeweils nur ein Elektron in der Versuchsanordnung. Dabei ergeben sich die Bilder in Abbildung 5.

- Erläutern Sie, warum dieses Experiment zeigt, dass Elektronen Quantenobjekte sind.

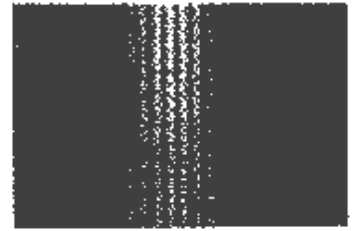
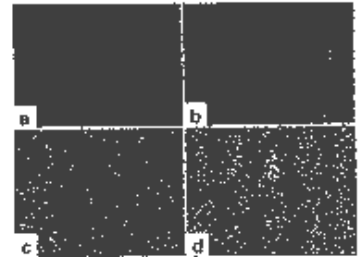


Abb. 4



- (a) weniger als 10 Elektronen;
(b) 270 Elektronen;
(c) 2000 Elektronen;
(d) 60000 Elektronen.

Abb. 5

(8 VP)

Offizielle Lösungshinweise

Bestimmung der de-Broglie-Wellenlänge:

$$p = \sqrt{2em_e U} = 1,21 \cdot 10^{-22} \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ also } \lambda = \frac{h}{p} = \underline{\underline{5,5 \cdot 10^{-12} \text{ m}}}.$$

Bestimmung der Wellenlänge aus dem Doppelspaltmuster:

Für die Maxima bei der Doppelspaltbeugung gilt: $\sin \alpha = \frac{k\lambda}{g} \approx \frac{x_k}{a} = \tan \alpha$. Für den Abstand

benachbarter Maxima auf dem Schirm gilt also: $\Delta x = \frac{a\lambda}{g}$. Mit $a = 5 \text{ cm}$, $g = 2,75 \mu\text{m}$ ergibt

sich eine Wellenlänge von $\underline{\underline{5,5 \cdot 10^{-12} \text{ m}}}$ in Übereinstimmung mit dem vorigen Ergebnis.

Quantenobjekte werden durch folgende Eigenschaften charakterisiert:

- | | |
|----------------------------------|--|
| <i>Interferenzfähigkeit:</i> | Sie besitzen eine Wellenlänge (der Wahrscheinlichkeitswelle) und die Eigenschaft zur Interferenz mit sich selbst. |
| <i>Teilchencharakter:</i> | Beim Auftreffen auf dem Schirm kommt es zur Wechselwirkung und Lokalisation. Es liegt keine kontinuierliche Verteilung der Intensität vor, so dass sich eine diskrete Struktur im Nachweis ergibt. |
| <i>Stochastische Verteilung:</i> | Es lassen sich nur Wahrscheinlichkeitsaussagen über den Auftreffort x auf dem Schirm treffen. |
| <i>Fazit:</i> | Elektronen sind weder Teilchen noch Welle. Sie sind Quantenobjekte, deren Lokalisationswahrscheinlichkeit P durch eine Wellenfunktion bestimmt wird. |

Operatorendefinitionen aus den EPA

berechnen / bestimmen: aus Größengleichungen physikalische Größen gewinnen

überprüfen / prüfen / testen: Sachverhalte oder Aussagen an Fakten oder innerer Logik messen und eventuelle Widersprüche aufdecken

erläutern: einen Sachverhalt durch zusätzliche Informationen veranschaulichen und verständlich machen

Aufgabe I d – Schülerlösung 1*

Raum für Korrekturen

De-Broglie-Wellenlänge:

$$\lambda_B = \frac{h}{p} = \frac{h}{m \cdot v}; \quad W_{el} = W_{kin} \quad e \cdot U = \frac{1}{2} m v^2$$

$$v = \sqrt{2 \cdot \frac{e}{m_e} \cdot U_B} = \sqrt{2 \cdot \frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{9,11 \cdot 10^{-31}} \cdot 50000} = 1,33 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$$

$$\lambda_B = \frac{h}{m \cdot v} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{9,11 \cdot 10^{-31} \cdot 1,33 \cdot 10^8} m = 5,49 \cdot 10^{-12} m$$

Beim Doppelspalt gelten folgende Formeln*:

Konstruktive Interferenz bei α_k : $\sin \alpha_k = \frac{k \cdot \lambda}{g}$

Abstand von der optischen Achse: $\tan \alpha_k = \frac{d_k}{a}$

Bei kleinen Winkeln $\sin \alpha_k \approx \tan \alpha_k$

$$\frac{k \cdot \lambda}{g} = \frac{d_k}{a} \Rightarrow \lambda = \frac{d_k \cdot g}{k \cdot a}$$

$$\lambda = \frac{2,75 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^{-7}}{1 \cdot 0,05} m = 5,5 \cdot 10^{-12} m$$

Die Wellenlänge des beschriebenen Musters stimmt mit der berechneten de-Broglie-Wellenlänge überein ($\lambda \approx \lambda_B$).

Bei dem beschriebenen Doppelspaltexperiment kann man erkennen, dass einzelne Treffer der Elektronen stochastisch erfolgen (Nichtlokalität). Bei längerer Dauer des Experiments tritt ein Interferenzmuster auf. Die einzelnen Elektronen interferieren also mit sich selbst. Aufgrund der Superposition der beiden Möglichkeiten tritt Interferenz auf, der Weg der Elektronen ist unbekannt.

Diese Merkmale sind typisch für Quantenobjekte und treten in der klassischen Physik nicht auf. Bei klassischen Teilchen würde sich kein Interferenzbild ergeben. Die Kausalität würde das Trefferbild bestimmen.

*) Herleitung der Formeln: ... (richtige Herleitung mit Skizzen zum Doppelspalt)

* Vielen Dank an Monica Hettrich, die die fiktiven Schülerantworten zur Verfügung gestellt hat.

Aufgabe I d – Schülerlösung 2

Raum für Korrekturen

$$\lambda_B = \frac{h}{p} = \frac{h}{m \cdot v} = \frac{h}{\sqrt{2eUm}} \quad W_{el} = W_{kin} \quad e \cdot U = \frac{1}{2}mv^2; \quad v = \sqrt{2 \frac{e}{m} U}$$

(v eingesetzt in allg. Gleichung der De-Broglie-Wellenlänge)

Für die Wellenlänge ergibt sich somit:

$$\lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{\sqrt{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 50000 \text{ V} \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}} = 5,49 \cdot 10^{-12} \text{ m} = 5,49 \text{ pm}$$

$$\sin \alpha_k = \frac{k \cdot \lambda_1}{g}; \quad \tan \alpha_k = \frac{d_k}{a} = \frac{2,75 \cdot 10^{-6} \text{ m}}{0,05 \text{ m}} = 5,5 \cdot 10^{-5} \rightarrow \alpha = 0,00315^\circ$$

$$\sin \alpha_k = \frac{k \cdot \lambda_1}{g} \Rightarrow \lambda_1 = \frac{g \cdot \sin \alpha}{k} = \frac{100 \cdot 10^{-9} \text{ m} \cdot \sin 0,00315^\circ}{1} = 5,49 \cdot 10^{-12} \text{ m}$$

Da für alle Minima d gleich, kann k beliebig gewählt werden.

Erg: Beide Wellenlängen stimmen überein.

Der Versuch lässt sich anhand der Heisenberg'schen Unbestimmtheitsrelation erklären. Diese besagt, dass man den Impuls und den Auftreffort eines Elektrons auf einem Schirm niemals gleichzeitig genau bestimmen kann. Man kann für einen Faktor eine Voraussage treffen, über den anderen Faktor kann man keine Angaben machen.

In Bild (a) wird deutlich, dass sich nicht vorhersagen lässt, auf welcher Stelle die Elektronen auftreffen, da diese willkürlich auf dem Schirm verteilt liegen.

Auch Abbildung (b) verdeutlicht die willkürliche Auftreffwahrscheinlichkeit eines Elektrons im Punkt P auf dem Schirm. Auch hier lässt sich weder sagen, durch welchen Spalt das Elektron geflogen ist, noch kann man hier ein Interferenzmuster feststellen. Gleiches gilt für Abbildung (c).

Erst bei einer großen Anzahl von Elektronen lässt sich ein Interferenzbild wie in Abbildung (d) erkennen.

Elektronen sind Quantenobjekte, weil sich keine Angaben über Geschwindigkeit und Auftreffwahrscheinlichkeit machen lassen, da die Elektronenflugbahn nicht vorhersagbar ist.