

In einer rechteckigen Wellenwanne werden verschiedene Experimente durchgeführt. Die von einem Erreger erzeugten Wasserwellen können als sinusförmig betrachtet werden und besitzen die Amplitude 1,0 mm. Von einer Abnahme der Amplitude mit der Entfernung vom Erreger wird abgesehen.

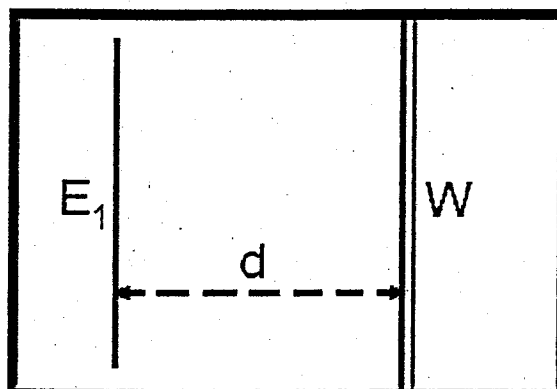


Abb. 1

- a) Zunächst wird ein Blechstreifen als Erreger E_1 verwendet. Zum Zeitpunkt 0 s beginnt die Erregung mit der Frequenz 5,0 Hz aus der Gleichgewichtslage nach unten (siehe Abbildung 1). Die nach rechts laufende ebene Welle breitet sich mit der Geschwindigkeit 30 cm/s aus.
- Berechnen Sie die Wellenlänge.

Nun wird parallel zu E_1 im Abstand 7,0 cm eine Wand W angebracht, die senkrecht aus dem Wasser herausragt.

- Begründen Sie, warum sich links der Wand eine stehende Welle ausbildet.
 - Zeichnen Sie in einem geeigneten Maßstab für den Zeitpunkt 0,35 s ein Momentbild der Wasseroberfläche in einer senkrecht zu E_1 und W liegenden vertikalen Schnittebene.
- (10 Punkte)**
- b) In einem weiteren Experiment wird bei der Frequenz 5,0 Hz der Zusammenhang zwischen der Wellenlänge λ und der Wassertiefe h untersucht. Dabei ergeben sich folgende Messwerte:

h in cm	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0
λ in cm	2,0	2,8	3,5	4,0	4,5	4,9	5,7	6,0	6,3

- Zeigen Sie, dass innerhalb des Messbereichs λ^2 proportional zu h ist.
- Zeichnen Sie ein Diagramm, das den Zusammenhang zwischen Ausbreitungsgeschwindigkeit c und Wassertiefe h darstellt.
- Geben Sie die Gleichung des Schaubildes an.
- Entnehmen Sie dem Diagramm die Ausbreitungsgeschwindigkeit c für die Wassertiefe 0,7 cm und überprüfen Sie den entnommenen Wert anhand der Gleichung des Schaubildes.

(10 Punkte)

c)

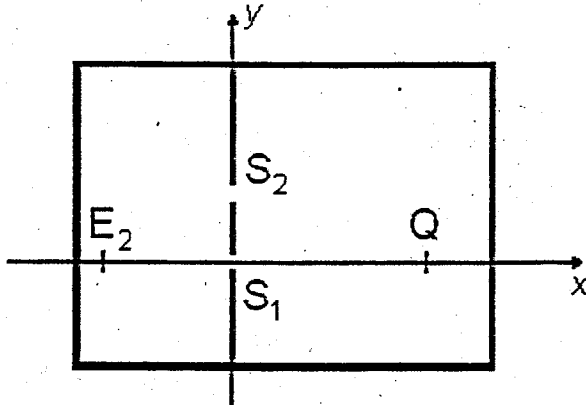


Abb. 2 (nicht maßstäblich)

Nun befindet sich eine Doppelspaltanordnung in der Wellenwanne. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen beträgt wieder 30 cm/s. Im eingezeichneten rechtwinkligen Koordinatensystem liegt das Spaltzentrum S_1 im Koordinatenursprung. Das Spaltzentrum S_2 befindet sich im Punkt (0 cm|2,25 cm). Der als punktförmig betrachtete Erreger E_2 schwingt im Punkt (-3 cm|0 cm) mit der Frequenz 5,0 Hz (siehe Abbildung 2). Jeder Spalt kann als Zentrum einer Elementarwelle betrachtet werden.

- Erklären Sie die zu beobachtenden Interferenzerscheinungen.
- Berechnen Sie die Phasendifferenz der Schwingungen in den Punkten S_1 und S_2 .
- Die von den beiden Einzelspalten ausgehenden Elementarwellen besitzen im Punkt Q (10 cm|0 cm) jeweils die annähernd gleiche Amplitude \hat{s} .
Bestimmen Sie die resultierende Amplitude der Schwingung im Punkt Q in Abhängigkeit von \hat{s} .
- Auf der y-Achse wird eine dritte enge Spaltöffnung hinzugefügt. Die von ihr ausgehende Elementarwelle erreicht Q ebenfalls mit der Amplitude \hat{s} .
Erläutern Sie, wie groß nun die resultierende Amplitude im Punkt Q in Abhängigkeit von \hat{s} sein kann.

(10 Punkte)

Anmerkung:

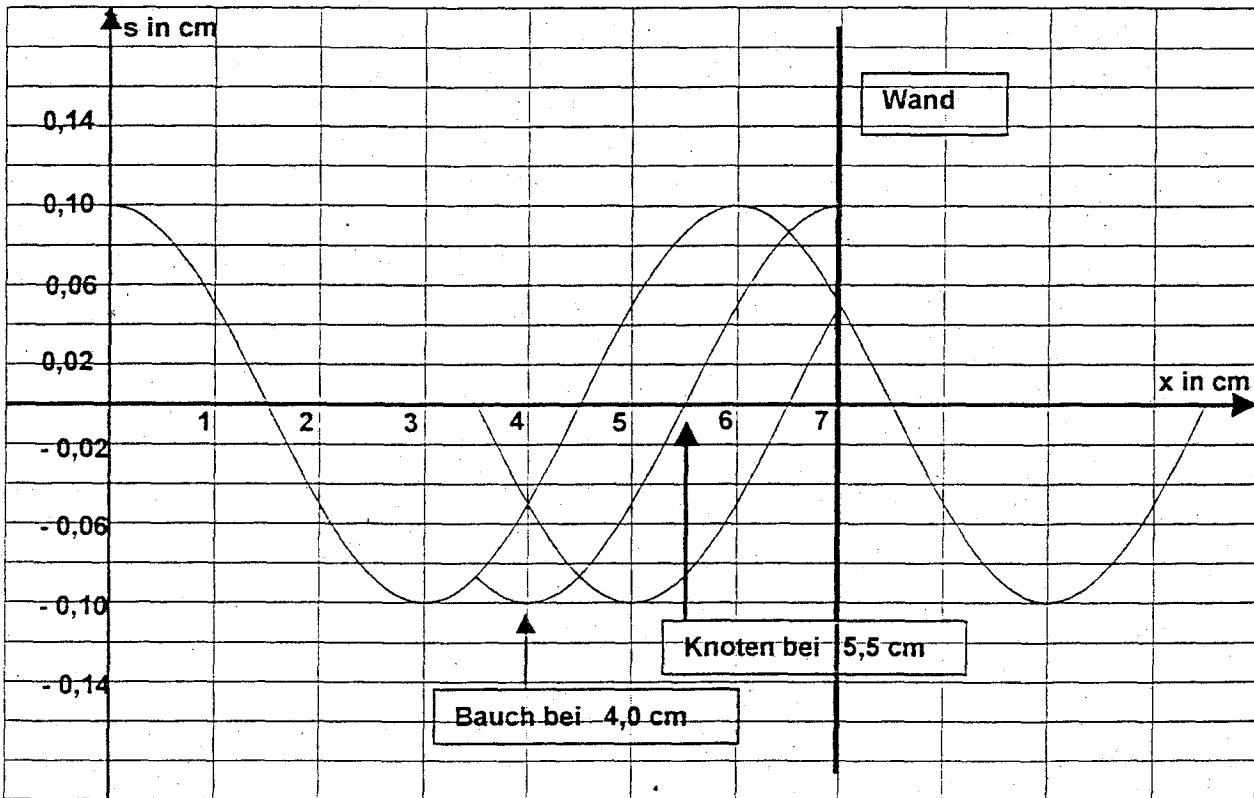
Die Aufgabe hat ihren Schwerpunkt im Bereich der mechanischen Wellen.

Transferüberlegungen (nach EPA – Anforderungsbereich III) werden im letzten Spiegelpunkt des Aufgabenteils c) gefordert, wo z.B. die Anwendung des Zeigerkonzepts auf eine neue Fragestellung verlangt wird.

a) Wellenlänge: Aus $c = f \cdot \lambda$ ergibt sich $\lambda = 6,0 \text{ cm}$.

Eine stehende Welle bildet sich aus, da sich auf Grund der Reflexion zwei entgegengesetzt laufende Wellen mit gleicher Wellenlänge, gleicher Amplitude und gleicher Ausbreitungsgeschwindigkeit überlagern.

Zeichnung: Am Kopf der Welle ist ein Tal. Zum Zeitpunkt $t_1 = 0,35 \text{ s}$ ist der Wellenanfang bei $x_1 = c t_1 = 10,5 \text{ cm}$.



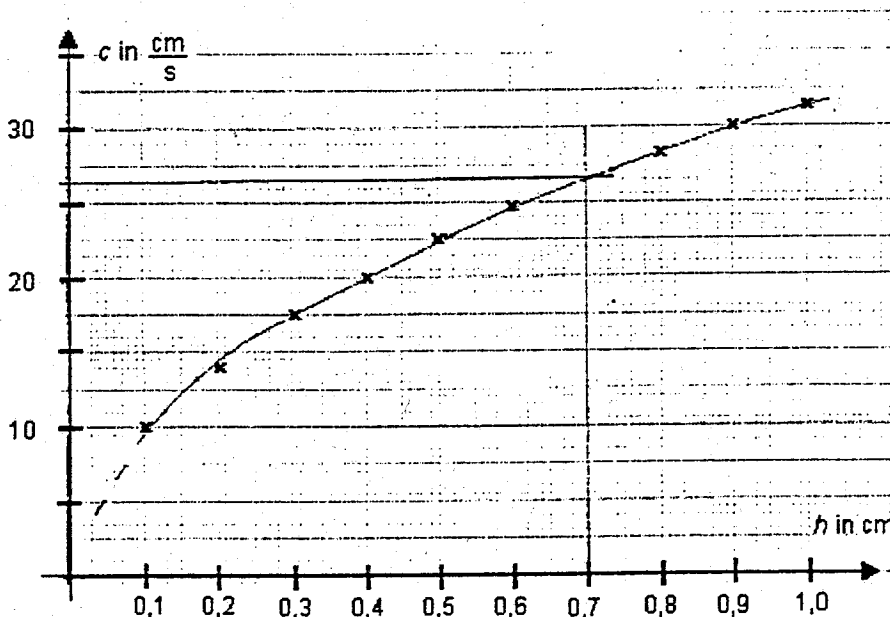
b) Nachweis der Proportionalität:

h in cm	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0
λ in cm	2,0	2,8	3,5	4,0	4,5	4,9	5,7	6,0	6,3
c in $\frac{\text{cm}}{\text{s}}$	10	14	17,5	20	22,5	24,5	28,5	30	31,5
$\frac{\lambda^2}{h}$ in cm	40	39	41	40	41	40	41	40	40

Aus der dritten Zeile folgt: $\lambda^2/h \approx 40 \text{ cm}$ konstant. In den folgenden Rechnungen wird dieser Zahlenwert benützt.

Diagramm: Maßstab: h-Achse: 1 cm $\hat{=}$ 1mm Wassertiefe; c-Achse: 1 cm $\hat{=}$ 5 cm/s

Lösungshinweise



Gleichung des Schaubilds

Aus $\lambda^2 = (40\text{cm}) \cdot h$ folgt $\lambda = \sqrt{40\text{cm}} \cdot \sqrt{h}$ und $c = 5 \frac{1}{s} \cdot \sqrt{40\text{cm}} \cdot \sqrt{h}$ für die Gleichung des Schaubildes.

AbleSEN aus dem Diagramm

Für $h = 0,7 \text{ cm}$ erhält man aus dem Diagramm den ungefähren Wert $c \approx 26 \text{ cm}$.

Überprüfung

Durch Einsetzen in die Gleichung des Schaubilds erhält man

$$c = 5 \frac{1}{s} \cdot \sqrt{40 \text{ cm}} \cdot \sqrt{0,7 \text{ cm}} \approx 26 \text{ cm}$$

- c) Erklärung: Die beiden Wellensysteme hinter der Doppelspaltanordnung überlagern sich, das heißt, die an einem Punkt von beiden Wellensystemen zusammentreffenden Auslenkungen und Schnellen der Teilchen addieren sich vektoriell. Diese Erscheinung nennt man Interferenz. Beträgt in einem Punkt P der Gangunterschied der beiden Wellen ein ganzzahliges Vielfaches von λ , so kommt es zu konstruktiver Interferenz (Schwingung mit maximaler Amplitude), beträgt der Gangunterschied ein ungeradzahliges Vielfaches von $\lambda/2$, so kommt es zu destruktiver Interferenz (Auslöschung).

Für die darüber hinausgehende Erklärung des Zustandekommens der Interferenzhyperbeln als Ortslinien für Punkte gleicher Abstandsdifferenz von S_1 und S_2 kann ein Zusatzpunkt vergeben werden.

Phasendifferenz $(\Delta\varphi)_1$ in S_1 und S_2 :

Für den Gangunterschied $(\Delta s)_1$ links vom Doppelspalt gilt:

$$(\Delta s)_1 = \overline{E_2 S_2} - \overline{E_2 S_1} = \sqrt{(3,0\text{cm})^2 + (2,25\text{cm})^2} - 3,0 \text{ cm} = 0,75 \text{ cm}$$

Also ist $(\Delta s)_1 = \frac{1}{8} \lambda$ und damit $(\Delta\varphi)_1 = \frac{\pi}{4}$.

Resultierende Amplitude in Q:

Für den Gangunterschied $(\Delta s)_2$ rechts vom Doppelspalt gilt

$$(\Delta s)_2 = \overline{Q S_2} - \overline{Q S_1} = \sqrt{(2,25\text{cm})^2 + (10,0\text{cm})^2} - 10,0 \text{ cm} = 0,25 \text{ cm}$$

Gangunterschied insgesamt in Q:

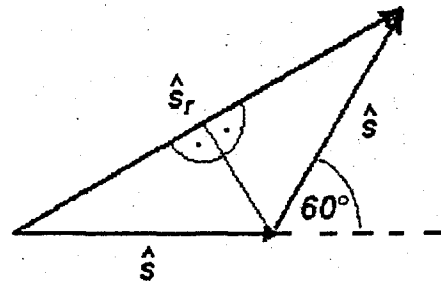
$$\Delta s = (\Delta s)_1 + (\Delta s)_2 = 1 \text{ cm} = 1/6 \cdot \lambda$$

Lösungshinweise

Gesamtphasendifferenz in Q:

$$(\Delta\varphi)_{\text{gesamt}} = \pi/3 (60^\circ)$$

Zeigerdiagramm:

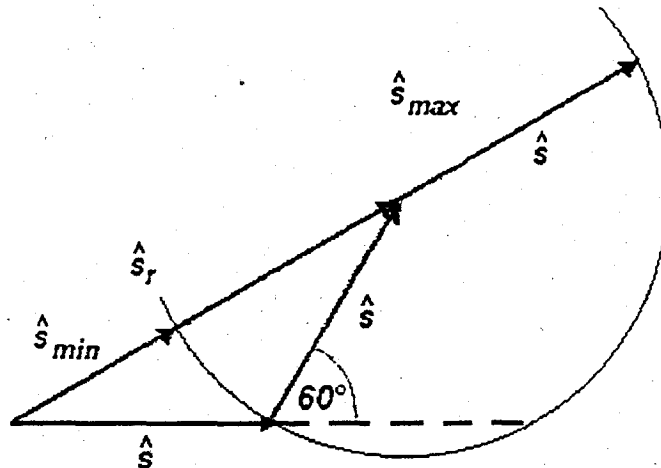


resultierende Amplitude in Q: $\hat{s}_r = 2 \cdot \frac{\hat{s}}{2} \cdot \sqrt{3} = \hat{s} \cdot \sqrt{3}$

Amplitude in Q beim Dreifachspalt

Die kleinstmögliche Amplitude ergibt sich, wenn der dritte Zeiger mit der Länge \hat{s} antiparallel zu \hat{s}_r , die größtmögliche Amplitude erhält man, wenn der dritte Zeiger parallel zu \hat{s}_r gerichtet ist.

Zeigerdiagramm:



resultierende Amplitude \hat{s}_r' in Q beim Dreifachspalt: $\hat{s}\sqrt{3} - \hat{s} \leq \hat{s}_r' \leq \hat{s}\sqrt{3} + \hat{s}$

a) Beschreiben Sie ein Experiment zur Messung der Lichtgeschwindigkeit.

(7 Punkte)

b) In einem Praktikumsversuch soll die Wellenlänge von Laserlicht bestimmt werden.

Zur Auswahl stehen die Beugungsobjekte Doppelspalt (Abstand der Spaltmitten $2,0 \cdot 10^{-5}$ m) und Gitter (Gitterkonstante $2,0 \cdot 10^{-5}$ m).

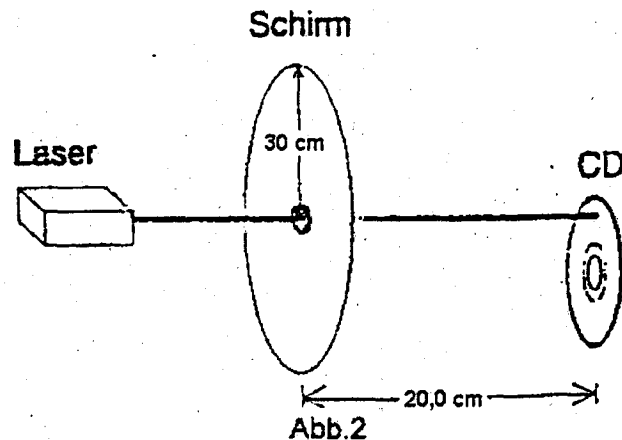
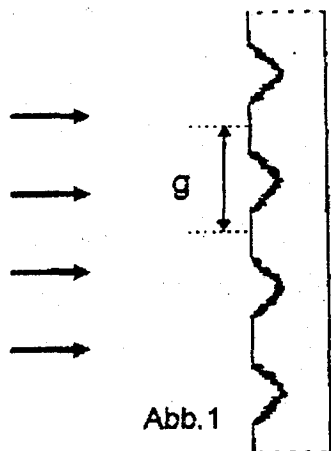
- Welches Beugungsobjekt würden Sie bevorzugen? Begründen Sie Ihre Aussage.

In einer Versuchsanordnung trifft Laserlicht senkrecht auf ein Gitter mit 50 Strichen pro Millimeter. Das Gitter ist im Abstand 1,90 m parallel zu einer Wand aufgestellt. Auf ihr ist das Maximum siebter Ordnung vom Maximum nullter Ordnung 43,2 cm entfernt.

- Berechnen Sie die Wellenlänge des Lichts.

(8 Punkte)

c) In einem anderen Versuch trifft Laserlicht der Wellenlänge 633 nm senkrecht auf eine Compactdisc (CD). Im Auftreffbereich wirken die eng benachbarten parallelen Spuren wie ein Reflexionsgitter mit der Gitterkonstanten g (siehe Abb. 1).



Bestrahlt man gemäß Abb. 2 die CD, so beobachtet man auf derjenigen Seite des Schirms, welche der CD zugewandt ist, helle Punkte, die symmetrisch zum Strahl liegen.

- Erklären Sie anhand einer Zeichnung, wie diese Punkte zustande kommen.

Der Abstand zwischen Strahl und dem ihm nächstliegenden Punkt auf dem Schirm beträgt 8,60 cm.

- Berechnen Sie daraus den Abstand g benachbarter Spuren.
- Wie viele helle Punkte kann man auf dem kreisförmigen Schirm sehen?

(8 Punkte)

d) Wenn in Zeitungen über die Quantenphysik geschrieben wird, fällt häufig das Stichwort „Unbestimmtheitsrelation“.

- Was ist mit diesem Stichwort gemeint?
- Erläutern Sie ein Experiment, das die Unbestimmtheitsrelation verdeutlicht.

(7 Punkte)

Lichtgeschwindigkeit $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$

Plancksches Wirkungsquantum $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

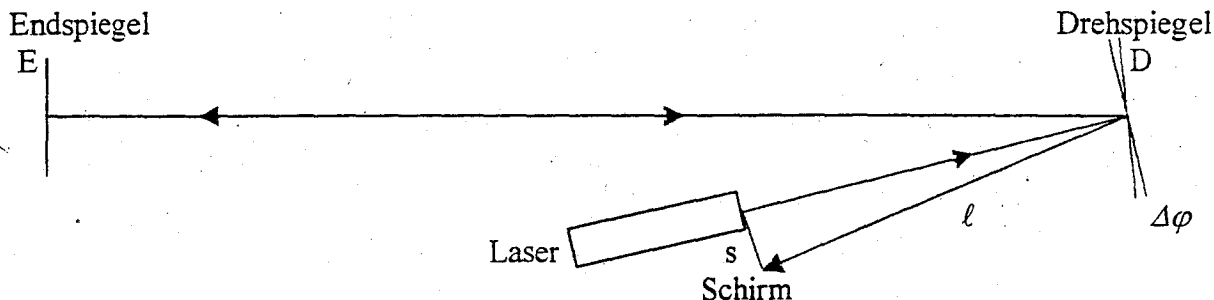
Lösungshinweise

Anmerkung:

Die Aufgabe hat ihren Schwerpunkt im Bereich der Optik.

Wäre Teil c) nicht Teil einer bekannten Abituraufgabe der letzten Jahre, so wäre dies ein Transferteil (nach EPA – Anforderungsbereich III), wobei selbständiges Übertragen des Gelernten auf eine neue Situation verlangt wäre.

a) Versuch zur Messung der Lichtgeschwindigkeit nach Foucault – Michelson:

Prinzipieller Aufbau:

Ein leicht divergentes Laserlichtbündel fällt auf einen Drehspiegel D, läuft von D aus zum Endspiegel E und wird an E so reflektiert, dass es wieder auf den Drehspiegel D trifft, von wo aus es in die Laseröffnung zurückreflektiert wird. Neben der Laseröffnung ist ein Schirm angebracht.

Durchführung:

Der Drehspiegel wird in Rotation versetzt und seine Drehfrequenz bestimmt. Während der Laufzeit Δt des Lichts von D nach E und zurück hat sich der Drehspiegel um den Winkel $\Delta\varphi$ weitergedreht, so dass das vom Endspiegel kommende Lichtbündel nicht in die Öffnung des Lasers zurückreflektiert wird, sondern um eine kleine Strecke s versetzt dazu auftrifft. s wird auf einer mm-Skala abgelesen.

Auswertung:

Die Lichtgeschwindigkeit erhält man aus $c = \frac{\Delta s}{\Delta t}$.

Für die Laufstrecke des Lichts gilt $\Delta s = 2 \overline{DE}$.

Die Laufzeit Δt erhält man aus dem Drehwinkel $\Delta\varphi$ und der Drehfrequenz f des Drehspiegels.

$\Delta\varphi$ erhält man aus der Strecke s auf dem Schirm und der Entfernung l des Schirms vom Drehspiegel.

Ergebnis: Man erhält für die Lichtgeschwindigkeit etwa $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

Die Beschreibung eines historischen Versuchs (Römer oder Fizeau und Foucault) oder eines im Unterricht durchgeführten anderen Versuchs ist ebenfalls möglich

b) Es wird das Gitter gewählt.

Begründung:

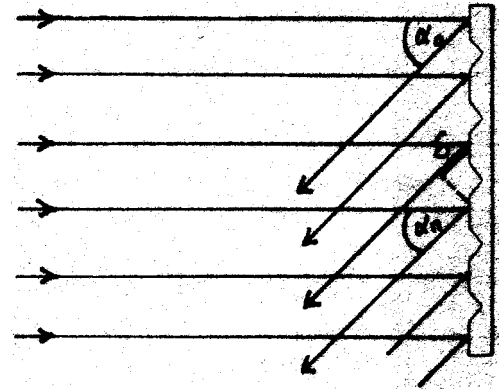
- der Abstand der Maxima nimmt mit kleiner werdender Gitterkonstante zu. In diesem Punkt sind Gitter und Doppelspalt gleichwertig,
- die Maxima sind beim Gitter schärfer ausgeprägt als Doppelspalt,
- die Helligkeit des Schirmbildes ist beim Gitter größer.

Musteraufgabe 2:**Lösungsvorschlag****Blatt 2 - 2**

Berechnung der Wellenlänge des Laserlichts:

$$\text{Aus } \tan \alpha_7 = \frac{d}{a} \text{ folgt } \alpha_7 = 12,8^\circ; \lambda = \frac{g \cdot \sin \alpha_7}{7} = 633 \text{ nm}.$$

- c) Die hellen Punkte sind Maxima, die durch konstruktive Interferenz der von den Gitterstegen ausgehenden Elementarwellen erzeugt werden. Diese Maxima findet man bei den Winkeln α_n , bei denen der Gangunterschied zwischen zwei von benachbarten Gitterstegen ausgehenden Elementarwellen ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge ist.



Für den Winkel α_1 zum ersten Maximum folgt aus dem

$$\text{Versuchsaufbau } \tan \alpha_1 = \frac{x_1}{l} \text{ und damit } \alpha_1 = 23,3^\circ.$$

Dabei ist $x_1 = 8,60 \text{ cm}$ der Abstand zwischen dem Strahl und dem ersten Maximum.

Wegen $l \gg g$ erhält man andererseits für den Zusammenhang zwischen g und α_1 in

$$\text{guter Näherung } g = \frac{\lambda}{\sin \alpha_1} \text{ und damit } g = 1,60 \cdot 10^{-6} \text{ m}.$$

Das zweite Maximum liegt bei $\alpha_2 = 52,3^\circ$ und damit $x_2 = 25,9 \text{ cm}$ vom Strahl entfernt.

Für $n = 3$ wird $\sin \alpha_3 > 1$.

Auf dem Schirm sind somit alle auftretenden Maxima auch beobachtbar, das Maximum nullter Ordnung kann nicht gesehen werden, da es mit dem einfallenden Laserstrahl zusammenfällt. Man sieht also vier helle Punkte auf den Schirm.

- d) Die Unbestimmtheitsrelation (UBR) beschreibt die Tatsache, dass Quantenobjekte auf gewisse Eigenschaften nicht simultan beliebig gut präpariert werden können, dass sie also gewisse Eigenschaften objektiv nicht simultan haben. Es ist nicht so, dass die Eigenschaften nur subjektiv nicht bekannt sind (also für unsere Messgeräte „unscharf“ sind), sondern dass sie objektiv nicht bestimmt sind. Z.B. kann man in einem Interferenzexperiment die Quantenobjekte nicht so präparieren, dass sie gleichzeitig a) zur Interferenz beitragen und b) jeweils nur genau eine der Möglichkeiten (beim Doppelspalt: linker oder rechter Spalt) realisieren. Quantitativ beschreibt die Unbestimmtheitsrelation diese Unbestimmtheit bei gewissen Paaren von Größen, z.B. bei Ort und Impuls: Wenn man bei einem Ensemble von identisch präparierten Mikroobjekten bei einem Teil den Ort und gleichzeitig beim anderen den Impuls misst, so stellt man fest, dass die Streuung der Impulswerte multipliziert mit der Streuung der Ortswerte immer größer oder gleich der Planckschen Konstante geteilt durch 4π ist. Dies wirkt sich bei einem Elektron aufgrund der kleinen Masse stark aus. Wenn man die Ortsstreuung auf ca. 10^{-10} m begrenzt, beträgt die Geschwindigkeitsstreuung schon ca. 10^7 m/s . Wenn man dagegen bei einer kleinen Kugel der Masse $0,1 \text{ g}$ die Ortsstreuung auf ca. 10^{-10} m begrenzt, beträgt die Geschwindigkeitsstreuung nur ca. 10^{-20} m/s , dieser Effekt ist nicht messbar.

a) Eine Ionenquelle emittiert He^+ - und He^{++} - Ionen mit vernachlässigbarer kinetischer Energie. Sie werden anschließend beschleunigt.

Die He^{++} -Ionen besitzen nach Verlassen des Beschleunigers die Energie 20 keV.

- Ermitteln Sie die Geschwindigkeit der He^{++} -Ionen und die notwendige Beschleunigungsspannung. Erläutern Sie kurz Ihre Überlegungen.
- Die mit der gleichen Spannung beschleunigten He^+ -Ionen verlassen die Apparatur mit einer anderen Geschwindigkeit.

Um welchen Faktor unterscheiden sich die Geschwindigkeiten? **(8 Punkte)**

b) Der oben genannte Beschleuniger ist so montiert, dass sich die austretenden Ionen in der Zeichenebene (x-y-Ebene) bewegen. Der Ionenstrahl erreicht einen als begrenzt betrachteten magnetischen Feldbereich im Punkt O. (siehe Abbildung 1)

Die He^{++} -Ionen treten mit der Geschwindigkeit $9,82 \cdot 10^5 \text{ ms}^{-1}$ in den Feldbereich ein. Durch das Magnetfeld soll erreicht werden, dass sie den Feldbereich im Punkt P verlassen.

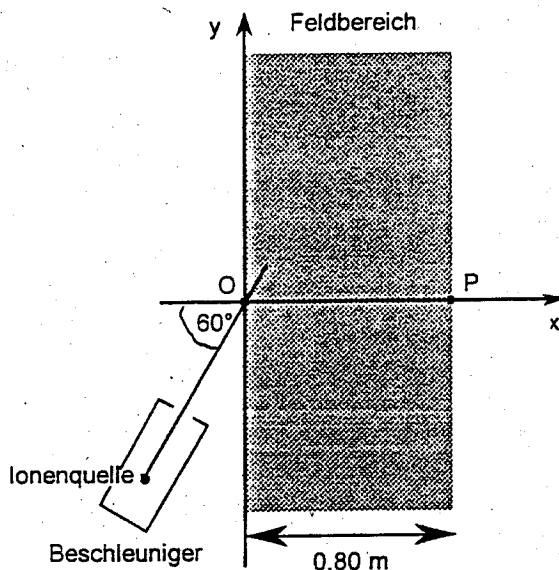


Abbildung 1

- Zeichnen Sie die Bahn des He^{++} - Ionenstrahls im Feld für diesen Fall.
- Bestimmen Sie Betrag und Richtung der magnetischen Flussdichte.
- Ist das beschriebene Feld unter den vorliegenden Bedingungen zur Trennung der He^+ - und He^{++} - Ionen geeignet?

(10 Punkte)

- c) Der Ionenstrahl, der nun nur noch mit 0,25 V beschleunigte He^{++} -Ionen enthält, wird auf einen Doppelspalt mit der Spaltbreite $1 \mu\text{m}$ und dem Spaltabstand $6 \mu\text{m}$ gerichtet. Dahinter befindet sich eine Photoplatte (Film; siehe Abbildung 2).

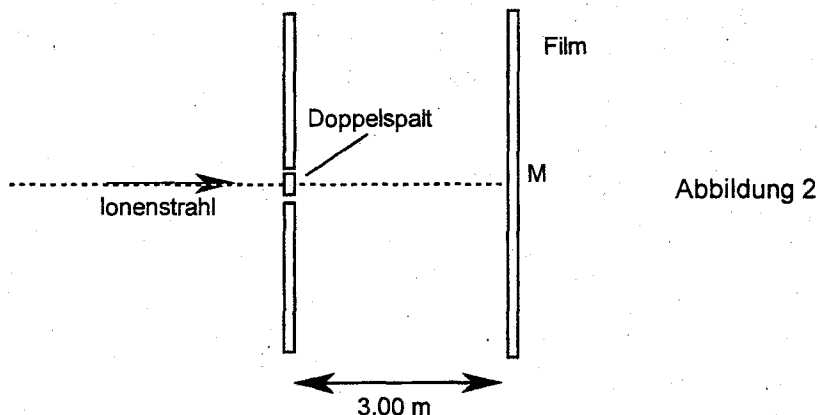


Abbildung 2

- Was ist auf dem entwickelten Film mit dem Mikroskop zu beobachten, wenn man nur sehr kurz bestrahlt?
Wie ändert sich das Bild, wenn man sehr lange bestrahlt?
Beschreiben Sie die Bilder und erklären Sie ihr Zustandekommen.
- Selbst bei langer Bestrahlungszeit stellt man fest, dass im Abstand $60 \mu\text{m}$ von der Marke M keine Ionen auftreffen.
Erklären Sie diesen Sachverhalt.
- Wie ändert sich das Bild, wenn man durch eine geeignete Methode entscheiden kann, welchen der beiden Spalte die Ionen passiert haben?
- Das Verhalten der Ionen lässt sich in den Problemstellungen der Aufgaben a) und b) mit den Gesetzen der klassischen Physik beschreiben.
Begründen Sie diesen Sachverhalt.

(12 Punkte)Angaben

Elementarladung :

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Masse der He^+ / He^{++} - Ionen :

$$m_{\text{He}} = 6,64 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Plancksches Wirkungsquantum :

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

Lösungshinweise

Anmerkung:

Die Aufgabe mit dem Schwerpunkt Teilchen enthält Fragestellungen aus dem Gebiet der Quantenmechanik (Teilaufgabe c) mit 12 Verrechnungspunkten). Die Frage nach der Ionentrennung in Teilaufgabe b) ist eine Transferfrage.

- a) Die Ionen durchlaufen im elektrischen Feld des Beschleunigers eine Spannung U_1 . Sie nehmen dabei aus dem Feld die kinetische Energie W_1 auf, die nur von der Ionenladung q_1 und der durchlaufenen Spannung U_1 abhängt.
- Die Beschleunigungsspannung erhält man mit $W_1 = 20 \text{ keV}$ aus:

$$U_1 = \frac{W_1}{q_1} = \frac{W_1}{2e} = 10 \text{ kV},$$

die Geschwindigkeit der He^{++} -Ionen ergibt sich aus der Energiebilanz:

$$v_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot W_1}{m_\alpha}} = 9,82 \cdot 10^5 \text{ ms}^{-1}.$$

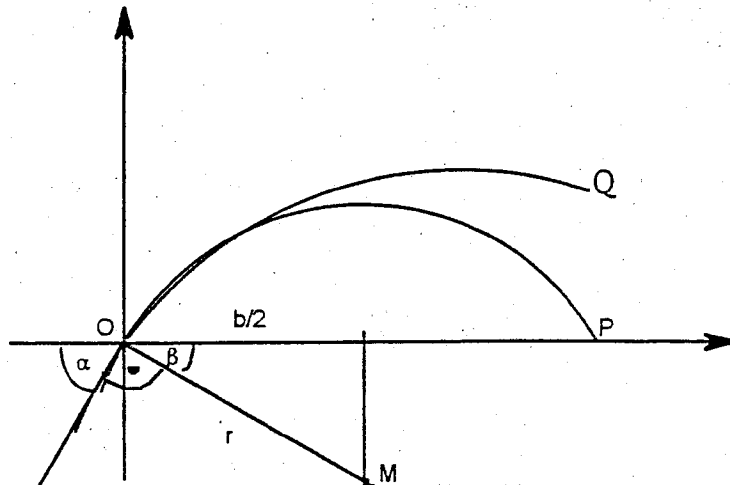
- Eine weitere Energieüberlegung zeigt, dass die He^+ -Ionen mit der Ladung $q_2 = e$ eine kleinere Geschwindigkeit erreichen:

$$W_1' = e \cdot U_1 = \frac{1}{2} \cdot W_1 = 10 \text{ keV} \rightarrow v_1' = \sqrt{\frac{1}{2}} \cdot v_1 = \frac{1}{2} \sqrt{2} \cdot v_1.$$

Die Geschwindigkeit der He^+ -Ionen ist im Vergleich zur Geschwindigkeit der He^{++} -Ionen um den Faktor $\frac{1}{2} \sqrt{2}$ kleiner.

- b) Es ist $\beta = 30^\circ$, der Bahnradius r ergibt sich aus: $\cos \beta = \frac{b}{2r} \rightarrow r = 0,46 \text{ m}$.

Damit erhält man M als Mittelpunkt der Kreisbahn, die die He^{++} -Ionen durchlaufen.



- Das Magnetfeld zeigt aus der Zeichenebene heraus (Drei-Finger-Regel).
Aus $q_1 v_1 B = m \frac{v_1^2}{r}$ ergibt sich für die Flussdichte $B = 44,1 \text{ mT}$.
- Für die um den Faktor $\frac{1}{2}\sqrt{2}$ langsameren He^+ -Ionen mit der halben Ladung ergibt

sich ein um $\sqrt{2}$ größerer Radius:
$$r' = \frac{mv_1 \frac{1}{2}\sqrt{2}}{\frac{q_1}{2} B} = \sqrt{2} \cdot r$$

Die maßstäbliche Zeichnung der Bahn mit dem neuen Mittelpunkt M' ergibt den Austrittspunkt $Q(0,8\text{m} / 0,27\text{m})$.

Die Ionen werden demnach getrennt da sie, das Feld an verschiedenen Stellen verlassen.

c)

- Bei sehr kurzer Bestrahlungszeit ist eine zufällige Verteilung von „Treffern“ auf dem Film erkennbar. Wird die Bestrahlungszeit länger, baut sich ein Doppelspaltinterferenzmuster aus den einzelnen nachgewiesenen He^{++} -Ionen auf. Jedes He^{++} -Ionen verhält sich beim Nachweis wie ein Teilchen, das seine gesamte Energie an einer Stelle des Films platziert. Die He^{++} -Ionen werden durch eine Wellenfunktion beschrieben, die die Wahrscheinlichkeit bestimmt, mit der ein Ion an einer bestimmten Stelle des Schirms zu finden ist.

- Quantitative Aussagen:

Die He^{++} -Ionen besitzen die Energie $W = 0,5 \text{ eV}$, für die zugehörige de-Broglie-

Wellenlänge gilt:
$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mW}} \approx 20 \text{ pm.}$$

Maxima der Doppelspaltbeugungsfigur findet man für die Beobachtungswinkel α mit

$$\sin\alpha = \frac{k \cdot \lambda}{g}$$
 mit $g = 6 \mu\text{m}, k \in \mathbb{N}_0$. Die auftretenden Winkel sind klein, daher gilt für

den Abstand der Doppelspaltmaxima von der Mitte M auf dem $a = 3,00 \text{ m}$ entfernten Schirm

$$x_k = k \cdot \lambda \cdot \frac{a}{g} = k \cdot 10 \mu\text{m}, k \in \mathbb{N}_0.$$

Für den Einzelspalt ergeben sich Minima unter den Winkeln β mit

$$\sin\beta = \frac{n \cdot \lambda}{b}$$
 mit $b = 1\mu\text{m}, n \in \mathbb{N}$. Ein Vergleich zeigt, dass das 6. Maximum bei der

Doppelspaltbeugung mit dem 1. Minimum der Einzelspaltbeugung zusammenfällt und sich somit nicht ausbilden kann. Für den Abstand x des 1. Minimums der Spaltbeugung von der

Mitte M gilt $x = \lambda \frac{b}{a} = 60 \mu\text{m}$. An dieser Stelle treffen keine Ionen auf.

Doppelspaltbeugung mit dem 1. Minimum der Einzelspaltbeugung zusammenfällt und sich somit nicht ausbilden kann. Für den Abstand x des 1. Minimums der Spaltbeugung von der Mitte M gilt $x = \lambda \frac{b}{a} = 60 \mu\text{m}$. An dieser Stelle treffen keine Ionen auf.

- Bildänderung bei „Beobachtung“ der Ionen:
Bei längerer Bestrahlung ergibt sich eine Wahrscheinlichkeitsverteilung, die sich aus der Addition der Wahrscheinlichkeiten für die beiden Einzelspalte ergibt.
- Bei den vorliegenden Beschleunigungsspannungen in den Aufgabenteilen a) und b) sind die den Teilchen zugeordneten de Broglie-Wellenlängen sehr klein ($\lambda \ll 1\text{pm}$), sodass Quanteneffekte (Beugung) bei der Bewegung der Ionen durch Öffnungen im Beschleuniger keine Rolle spielen.