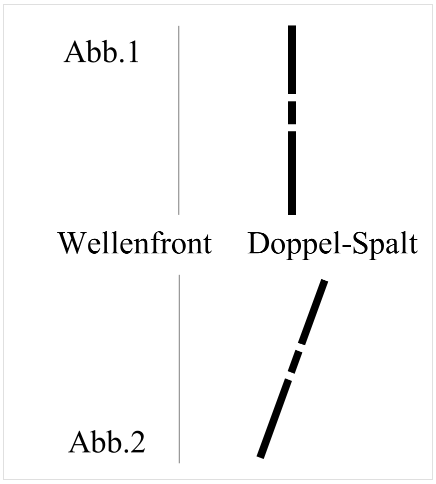
01.06.2005 Klausur 2 Kurs Ph12 Physik Lk

Lösung

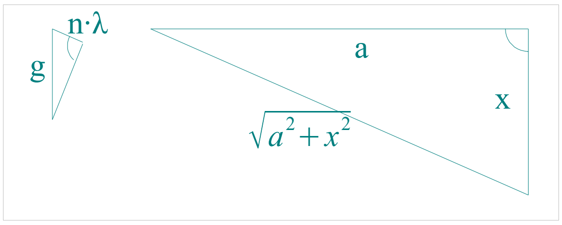


1 Die Wellenfront einer Wasserwelle trifft auf einen Doppelspalt, der parallel zur Wellenfront ausgerichtet ist (siehe Abb. 1). Die Lage des Hauptmaximums wird in einiger Entfernung rechts vom Doppelspalt markiert. Nun wird der Doppelspalt um einen Winkel von ca. 20° gedreht (siehe Abb. 2).
Wo ist das Hauptmaximum jetzt zu finden? Antwort mit Begründung.

Für das Hauptmaximum gilt: Der Gangunterschied beträgt 0. Das geht aber nur, wenn der Wellenzug nicht abknickt. Also liegt das Hauptmaximum an der selben Stelle wie vorher. Wann und an welchem Ort vom Wellenzug der jeweilige Spalt passiert wird, ist egal. Das kann man durch eine Konstruktion wie in Aufgabe 6 zeigen, wenn man annimmt, dass die beiden Geschwindigkeiten vor und hinter dem Spalt identisch sind ($c_1 = c_2$) .

---

2 Rotes Laserlicht der Wellenlänge λ = 633 nm fällt auf ein senkrecht zum Strahlengang stehendes Gitter (100 Spalte pro Millimeter). Das durchgehende Licht wird auf einem Schirm (parallel zum Gitter angeordnet) aufgefangen, der 5 m vom Gitter entfernt ist.



Vorbemerkung: Im Unterricht haben wir besprochen, dass für kleine spitze Winkel α in nebenstehender Zeichnung die Näherungsformel $\sin\alpha \approx \tan\alpha$ *gilt.*

Damit gilt dann auch: $\frac{n \cdot \lambda}{g} \approx \frac{x}{a}$ *und* $x \approx \frac{a \cdot n \cdot \lambda}{g}$

Für große Winkel α darf man aber diese Näherung nicht benutzen. Man muss dann mit $\sin\alpha$ *statt mit* $\tan\alpha$ *rechnen. Es ergibt sich dann* $\frac{n \cdot \lambda}{g} = \frac{x}{\sqrt{a^2+x^2}}$. *Nach x aufgelöst ergibt sich* $x = \frac{a \cdot n \cdot \lambda}{\sqrt{g^2 - n^2 \cdot \lambda^2}}$.

a) Berechnen Sie, wie weit das 1. und das 2. Nebenmaximum vom Hauptmaximum entfernt sind.

1. Nebenmaximum: Näherungsformel: $x \approx \frac{5 \cdot 633 \cdot 10^{-9}}{10^{-5}} m = 0{,}32\, m$;

exakt: $x \approx \frac{5 \cdot 633 \cdot 10^{-9}}{\sqrt{10^{-10} - 633^2 \cdot 10^{-18}}} m = 0{,}32\, m$

2. Nebenmaximum: Näherungsformel: $x \approx 2 \cdot \frac{5 \cdot 633 \cdot 10^{-9}}{10^{-5}} m = 0{,}63\, m$;

exakt: $x \approx \frac{5 \cdot 2 \cdot 633 \cdot 10^{-9}}{\sqrt{10^{-10} - 4 \cdot 633^2 \cdot 10^{-18}}} m = 0{,}64\, m$

Für das 1. und 2. Nebenmaximum kann also die Näherungsformel benutzt werden (die Winkelgrößen von α betragen 3,7° bzw. 7,2°).

b) Berechnen Sie, wie viel Nebenmaxima es auf jeder Seite gibt.

Der Gangunterschied darf nicht größer als die Gitterkonstante sein, also $n \cdot \lambda < g$.

Daraus folgt: $n < \frac{g}{\lambda} = \frac{10^{-5}}{633 \cdot 10^{-9}} = 15{,}8 \quad \Rightarrow \quad n_{max} = 15$

c) Berechnen Sie den Abstand des am weitesten außen liegenden Nebenmaximums vom Hauptmaximum und zeigen Sie durch Rechnung, dass die im Unterricht benutzte Formel (und auch die entsprechende Formel in der Formelsammlung) einen wesentlich anderen Wert ergibt.

15. Nebenmaximum: Näherungsformel: $x \approx \frac{5 \cdot 15 \cdot 633 \cdot 10^{-9}}{10^{-5}} m = 4{,}75\, m$;

exakt: $x \approx \frac{5 \cdot 15 \cdot 633 \cdot 10^{-9}}{\sqrt{10^{-10} - 15^2 \cdot 633^2 \cdot 10^{-18}}} m = 15{,}13\, m$

Begründen Sie, warum die Werte voneinander abweichen.

$\sin\alpha$ *und* $\tan\alpha$ *sind für den Winkel α=71,7° beim 15. Nebenmaximum nicht mehr näherungsweise gleich (* $\sin 71{,}7° = 0{,}95$; $\tan 71{,}7° = 3{,}02$ *).*

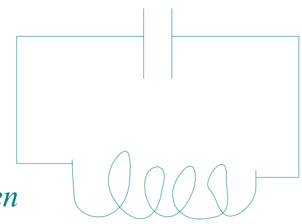
Falls Sie Aufgabenteil b) nicht gelöst haben sollten (und nur dann), rechnen Sie mit dem 10. Nebenmaximum.

10. Nebenmaximum: Näherungsformel: $x \approx \frac{5 \cdot 10 \cdot 633 \cdot 10^{-9}}{10^{-5}} m = 3{,}17\, m$;

exakt: $x \approx \frac{5 \cdot 10 \cdot 633 \cdot 10^{-9}}{\sqrt{10^{-10} - 10^2 \cdot 633^2 \cdot 10^{-18}}} m = 4{,}09\, m$

---

3 Zeichnen Sie das Schaltbild eines elektrischen Schwingkreises.



a) Beschreiben Sie die einzelnen Phasen einer vollständigen Schwingung.

1. Der Kondensator ist geladen, es fließt kein Strom.
2. Die Elektronen der negativ geladenen Kondensatorplatte fließen durch den Leiter zur positiv geladenen Platte. Auf Grund der Lenzschen Regel steigt die Stromstärke nur langsam an. Es wird um die Spule herum ein Magnetfeld aufgebaut.
3. In dem Moment, in dem der Plattenkondensator neutralisiert ist, erreicht das Magnetfeld seine größte Stärke.
4. Da auf Grund des elektrischen Feldes keine Elektronen mehr transportiert werden, bricht das Magnetfeld zusammen. Wegen der Lenzschen Regel wird dadurch aber der Stromfluss noch eine Zeit aufrecht erhalten, so dass die vorher positiv geladene Platte nun negativ geladen wird.
5. Der zweite Teil der vollständigen Schwingung spielt sich nun genau spiegelverkehrt zum ersten Teil ab.

b) Erläutern Sie, warum ein Dipol-Stab auch wie ein elektrischer Schwingkreis wirkt. Zeigen Sie im Rahmen dieser Erklärung, wo sich die einzelnen Elemente des Schwingkreises wiederfinden.

Die Eigenschaft des Schwingkreises bleibt erhalten, auch wenn die Kapazität des Kondensators und die Induktivität der Spule verringert werden.
Die Kapazität kann verringert werden, indem die Platten immer mehr verkleinert werden, bis sie schließlich nur noch aus den Querschnittsflächen des Leiters bestehen.
Die Induktivität kann verringert werden, indem Spulen mit immer weniger Windungen benutzt

werden. Im Extremfall geht die Windungszahl gegen 0, d. h. es bleibt nur noch ein gerader Leiter übrig.
Der Diplolstab selbst bildet also die Spule, die Endflächen des Stabes sind die Kondensatorflächen.

4

Elektromagnetische Wellen durchsetzen senkrecht zwei zueinander parallele Glasscheiben. Zwischen den Glasscheiben befindet sich ein Empfänger.
Man beobachtet folgende Eigenschaften:

α) Bewegt man den Empfänger in der Ausbreitungsrichtung der Wellen hin und her, so misst man jeweils nach 1,5 cm Wegstrecke ein Maximum.

β) Ändert man den Abstand der Glasplatten, so ergeben sich in den gemessenen Maxima bei manchen Abständen größere und bei anderen Abständen kleinere Amplituden.

a) Erklären Sie die Eigenschaften unter α und β.

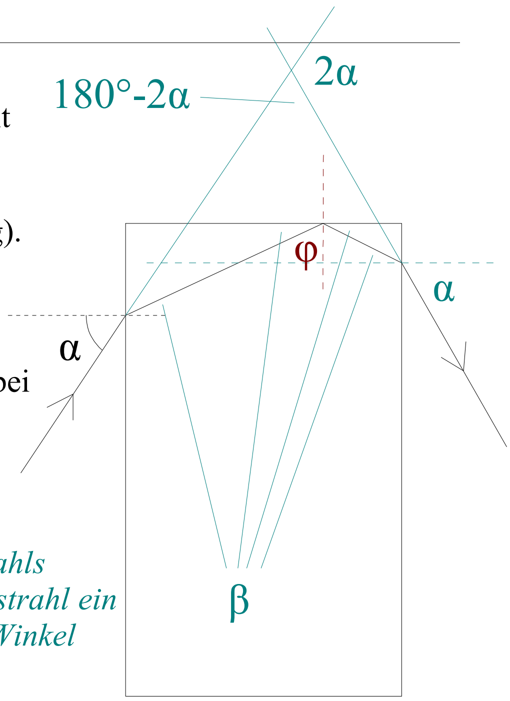
Elektromagnetische Wellen breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit aus. Wenn man stationäre Maxima findet, so deutet das auf stehende Wellen hin. Ursache für das Entstehen der stehenden Wellen können nur die Glasscheiben sein.
Aus den Angaben der Aufgabe kann man folgern:
1. Glasscheiben sind für elektromagnetische Wellen durchlässig, denn andernfalls könnte man kein Signal zwischen den Glasscheiben messen.
2. Glasscheiben reflektieren elektromagnetische Wellen, denn sonst könnten keine stehenden Wellen zwischen den Glasscheiben entstehen.
3. Also: Glasscheiben sind halbdurchlässig für elektromagnetische Wellen.
4. Haben die Glasscheiben einen Abstand von einem Vielfachen der halben Wellenlänge, können sich durch wiederholte Reflexionen stehende Wellen mit großer Amplitude bilden. Bei anderen Abständen löschen sich die reflektierten Wellen wenigstens teilweise aus, so dass die Amplitude nicht maximal sein kann.

b) Berechnen Sie die Wellenlänge der elektromagnetischen Welle.

Der Abstand zwischen zwei Maxima einer stehenden Welle entspricht einer halben Wellenlänge.
Daraus ergibt sich mit dem angegebenen Wert: $\frac{\lambda}{2}=1{,}5\,cm \;\Rightarrow\; \lambda=2\cdot 1{,}5\,cm=3{,}0\,cm$

5

Ein Laserstrahl fällt unter dem Einfallswinkel α auf ein mit Wasser gefülltes Aquarium derart, dass das Licht an der Querseite total reflektiert wird und danach an der gegenüberliegenden Seite wieder austritt (siehe Zeichnung).
Gegeben ist der Brechungsindex für Wasser $n_{Wasser}=1{,}33$
Bearbeiten Sie a) und b) unter Vernachlässigung der Glasscheiben.



a) Stellen Sie eine allgemeine Formel auf, die es erlaubt, bei gegebenem Einfallswinkel α die Gesamtablenkung des Strahls zu berechnen.

Die spitzen Winkel im Aquarium haben alle die Größe β.
Damit muss der Ausfallswinkel am rechten Rand α sein.
Die Verlängerungen des einfallenden und ausfallenden Lichtstrahls bilden zusammen mit dem Einfallslot für den ausfallenden Lichtstrahl ein Dreieck, dessen Basiswinkel gleich α sind. Damit ist der spitze Winkel

oben im Dreieck 180°-2α und sein Nebenwinkel (Ergänzungswinkel zu 180°) beträgt 2α. Dieser Nebenwinkel ist aber gerade der gesuchte Ablenkwinkel. Der Lichtstrahl wird also insgesamt um 2α abgelenkt.

b) Berechnen Sie, für welche Winkel α der Laserstrahl an der Querwand total reflektiert wird.

Beim Übergang von Wasser zu Luft gilt: $\frac{\sin\varphi_{Wasser}}{\sin\varphi_{Luft}}=\frac{1}{n_{Wasser}} \Rightarrow \sin\varphi_{Luft}=n_{Wasser}\cdot\sin\varphi_{Wasser}$

Da $\sin\varphi_{Luft}\leq 1$ *, muss auch gelten* $n_{Wasser}\cdot\sin\varphi_{Wasser}\leq 1 \Rightarrow \sin\varphi_{Wasser}\leq\frac{1}{n_{Wasser}}=\frac{1}{1{,}33}$

Das gilt für die Winkel $\varphi_{Wasser}\leq 48{,}7°$*. Also findet bei einem Winkel (roter Winkel in der Zeichnung), der größer als 48,7° ist, Totalreflexion statt.*
Es gilt nun: β=90°-48,7°=41,3°.
Weiter gilt:

$$\frac{\sin\alpha_{Luft}}{\sin\beta_{Wasser}}=n_{Wasser} \Rightarrow \sin\alpha_{Luft}=n_{Wasser}\cdot\sin\beta_{Wasser}=1{,}33\cdot\sin 41{,}3°=0{,}88 \Rightarrow \alpha_{Luft}=61{,}4°$$

Für Einfallswinkel von kleiner als 61,4° findet also Totalreflexion statt.

Nur für Zusatzpunkte:
Würde sich an dem Ergebnis etwas ändern, wenn man das Vorhandensein der Glasscheiben berücksichtigen würde? Begründung! $n_{Glas}=1{,}6$

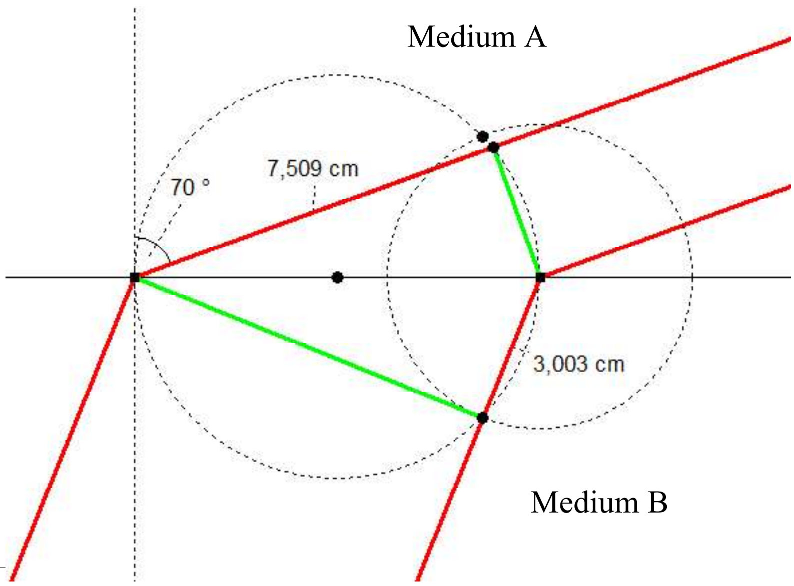
Es würde sich nichts ändern: Geht ein Lichtstrahl vom Medium A ins Medium B und von da ins Medium C und besteht das Medium B aus einer planparallelen Platte, so ist der Eintrittswinkel ins Medium B gleich dem Austrittswinkel aus dem Medium B und es gilt:

Aus $\frac{\sin\alpha_A}{\sin\beta_B}=\frac{n_B}{n_A}$ *und* $\frac{\sin\beta_B}{\sin\gamma_C}=\frac{n_C}{n_B}$ *folgt:* $\sin\beta_B=\frac{n_A}{n_B}\cdot\sin\alpha_A$ *und* $\sin\beta_B=\frac{n_C}{n_B}\cdot\sin\gamma_C$ *und damit*

$\frac{n_A}{n_B}\cdot\sin\alpha_A=\frac{n_C}{n_B}\cdot\sin\gamma_C \Rightarrow \frac{\sin\alpha_A}{\sin\gamma_C}=\frac{n_C}{n_B}\cdot\frac{n_B}{n_A}=\frac{n_C}{n_A}$*, d. h. es ist bei ausschließlicher Betrachtung der Winkel so, als ob das Licht unmittelbar vom Medium A ins Medium C eingetreten wäre.*
Anmerkung: Diese Überlegungen gelten aber nur, wenn der Brechungsindex für das „mittlere" Medium größer ist als das der beiden anderen Medien.

---

6 Eine Wellenfront der Breite 5 cm verläuft im Medium A und trifft unter dem Einfallswinkel 70° auf eine Grenzschicht zu einem anderen Medium B. Über die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen in den beiden Medien weiß man: $c_A=2{,}5\cdot c_B$. Konstruieren Sie mit Hilfe des Huygensschen Prinzips den Verlauf der Wellenfront in beiden Medien.



Viel Erfolg bei der Bearbeitung der Aufgaben!