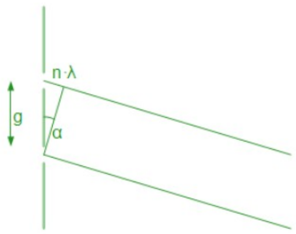
Thema: Wellen in verschiedenen Medien

Versuch: Das Licht einer Quecksilberdampflampe fällt senkrecht durch ein optisches Gitter, das an der Innenseite eines mit Wasser gefüllten Aquariums angebracht ist. Ein Teil des Lichts verläuft oberhalb, der andere Teil unterhalb der Wasseroberfläche. An der gegenüberliegenden Seite des Aquariums wird das auftreffende Licht registriert.

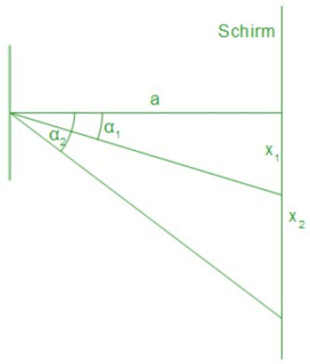
1 Werten Sie den Versuch qualitativ aus. Beschreiben Sie dazu ihre Beobachtungen und gehen Sie bei der Erklärung darauf ein, ob die Ablenkung des Lichts durch Brechung oder Beugung erfolgt.

Hinter dem Gitter, an dessen Gitteröffnungen das Licht gebeugt wird, erkennt man an der gegenüberliegenden Aquariumwand in Weiß ein sehr starkes Maximum in Vorwärtsrichtung und Farbstreifen, die seitlich versetzt sind. Auf Grund der Beugung wird rotes Licht (größere Wellenlänge) weiter abgelenkt als blaues Licht. Diese Beobachtung ist aus dem Unterricht bekannt. Es fällt aber auf, dass das Licht, das sich auf der ganzen Strecke unter Wasser ausbreitet, sowohl im blauen wie im roten Bereich nicht so weit abgelenkt wird. Wie unter 2 gezeigt wird, liegt das daran, dass die Ausbreitungsgeschwindigkeit im Wasser geringer ist als in Luft.

2 Erklären Sie in Worten unter Zuhilfenahme einer Zeichnung die Funktionsweise eines optischen Gitters und erklären Sie, welche Bedingungen für die Fälle erfüllt sein müssen, in denen auf dem Schirm Helligkeitsmaxima auftreten.



Fällt Licht durch die Öffnungen eines Gitters, so entstehen auf Grund der Huygensschen Elementarwellen sich kreisförmig ausbreitende Wellenfronten. Unterscheiden sich von zwei benachbarten Öffnungen die parallelen Wege der Welle zum Schirm um ein Vielfaches n der Wellenlänge des Lichts, so tritt auf dem Schirm konstruktive Interferenz auf: Es ist ein Lichtfleck zu sehen. In anderen Richtungen löschen sich die Wellen durch destruktive Interferenz mehr oder weniger aus. Je mehr Öffnungen das Gitter besitzt, desto mehr Licht trägt zum Lichtfleck bei und desto heller ist die Leuchterscheinung. Je enger die Öffnungen liegen (g: Gitterkonstante), desto größer ist der Ablenkwinkel zu den beobachteten Maxima. Abhängig von g und der Wellenlänge gibt es mehrere Nebenmaxima.



3 Die Formel $\frac{n \cdot \lambda}{g} = \frac{x}{a}$ erlaubt, die Gitterkonstante g eines Gitters in einem Versuch zu bestimmen.
a: Abstand Gitter↔Schirm; x: Abstand Hauptmaximum↔n-tes Nebenmaximum

Leiten Sie unter Bezug auf Ihre Zeichnung diese Formel her und berechnen Sie mit Hilfe der Versuchsergebnisse für den Fall "Luft" die Gitterkonstante g.

Im oberen Teil der Zeichnung gilt im rechtwinkligen Dreieck $\sin\alpha = \frac{n \cdot \lambda}{g}$.

Im unteren Teil der Zeichnung gilt in den rechtwinkligen Dreiecken $\tan\alpha = \frac{x}{a}$ → $\alpha = \arctan\frac{x}{a}$.

Die Verknüpfung der beiden mathematischen Beziehungen ergibt

$$\frac{n \cdot \lambda}{g} = \sin\alpha = \sin\left(\arctan\frac{x}{a}\right).$$

Neben dieser genauen Beziehung wird oft die Näherung $\sin\alpha \approx \tan\alpha$ für kleine Winkel α benutzt.

Dann gilt $\frac{n \cdot \lambda}{g} = \sin\alpha \approx \tan\alpha = \frac{x}{a} \rightarrow \frac{n \cdot \lambda}{g} \approx \frac{x}{a}$.

Begründen Sie, warum bei diesem Versuch die zur Herleitung der Formel notwendige Näherung benutzt werden darf.

Mit $a = 27{,}5\,cm$ und $x_{max} = 9{,}1\,cm$ gilt $\tan\alpha = \frac{9{,}1}{27{,}5} \rightarrow \alpha \approx 18°$

$\tan 18° = 0{,}32$; $\sin 18° = 0{,}31$

Es gilt also näherungsweise auch beim größten Winkel $\sin\alpha \approx \tan\alpha$.

4 Laut Herstellerangaben besitzt das Gitter 570 Striche pro Millimeter.

Berechnen Sie mit Hilfe dieses Wertes und der Versuchsergebnisse für den Fall "Wasser" die Lichtgeschwindigkeit in Wasser und den Brechungsindex für Wasser.

Man muss beachten, dass die Frequenz f des Lichts in Luft und auch im Wasser gleich bleiben muss. Die Wellenlänge λ kann wegen $c = f \cdot \lambda$ bei anderer Ausbreitungsgeschwindigkeit c unterschiedliche Werte annehmen. Mit n=1 folgt

$$\frac{\lambda_{Wasser}}{g} = \frac{x_{Wasser}}{a} \xrightarrow{c = f\cdot\lambda \;\rightarrow\; \lambda = \frac{c}{f}} \frac{c_{Wasser}}{f \cdot g} = \frac{x_{Wasser}}{a} \rightarrow c_{Wasser} = \frac{f \cdot g \cdot x_{Wasser}}{a} \overset{f = \frac{c}{\lambda}}{=} \frac{c_{Luft} \cdot g \cdot x_{Wasser}}{\lambda_{Luft} \cdot a} \rightarrow$$

λ_{Luft} (nm)	578	546	436	405
x_{Luft} (cm)	9,1	8,6	6,8	6,4
x_{Wasser} (cm)	6,8	6,4	5,1	4,8
c_{Wasser} (km/s)	225162	224337	223871	226830
Mittelwert	225050			

Es ergibt sich als Mittelwert $c_{Wasser} \approx 225000 \frac{km}{s}$.

Für den Brechungsindex n gilt: $n_{Wasser} = \frac{c_{Luft}}{c_{Wasser}} = \frac{300000}{225000} \approx 1{,}33$

5 Mit Hilfe der unter 3 angegebenen Formel und der im Versuch gemessenen Werte kann man auch ohne Kenntnis der Gitterkonstanten g die Lichtgeschwindigkeit in Wasser berechnen. Stellen Sie die entsprechende Formel auf $(c_W = ...)$.

$$\frac{\lambda}{g} = \frac{x}{a} \rightarrow \frac{\lambda}{x} = \frac{g}{a} = \frac{\lambda_{Wasser}}{x_{Wasser}} = \frac{\lambda_{Luft}}{x_{Luft}} \;;\; c = f \cdot \lambda \rightarrow \lambda = \frac{c}{f} \rightarrow \frac{c_{Wasser}}{f \cdot x_{Wasser}} = \frac{c_{Luft}}{f \cdot x_{Luft}} \rightarrow \frac{c_{Wasser}}{x_{Wasser}} = \frac{c_{Luft}}{x_{Luft}} \rightarrow$$

$c_{Wasser} = c_{Luft} \cdot \frac{x_{Wasser}}{x_{Luft}}$ Daraus folgt (siehe Tabelle unten) $c_{Wasser} = 224000 \frac{km}{s}$ und $n = 1{,}34$.

6 Beschreiben Sie einen Versuch, bei dem Wasserwellen gebrochen werden.

Treten Wasserwellen in einen Bereich ein, dessen Wassertiefe geringer wird, so werden sie zu der Kante dieses Bereiches hin gebrochen (siehe Bild). Das ist auch der Grund dafür, dass Wasserwellen am Meer fast immer mehr oder weniger parallel zur Strandlinie eintreffen.

Berechnen Sie, wie viel Nebenmaxima man höchstens erhält, wenn man Wasserwellen der Wellenlänge 1 cm an einem Einfachspalt der Breite 4 cm beugt.

Mit $\sin\alpha = \frac{n \cdot \lambda}{g}$ gilt $\sin\alpha = \frac{n \cdot 1cm}{4cm} = \frac{n}{4}$.

Weiter gilt: $\sin\alpha \leq 1$ → $\frac{n}{4} \leq 1$ → $n \leq 4$ Man erhält also höchsten 4 Nebenmaxima.

Beschreiben Sie jeweils eine Veränderung im Versuchsaufbau, durch die erreicht wird, dass bei Brechung und Beugung von Wasserwellen der Brechungs- bzw. Beugungswinkel geändert wird.

Brechung: Je größer der Unterschied in der Wassertiefe ist, desto größer wird der Brechungswinkel.

Beugung: Je geringer der Abstand zwischen zwei benachbarten Öffnungen in einem Beugungsgitter (z. B. Löcher in einer Kaimauer) ist, desto größer wird der Beugungswinkel.

Gegebene Größe: Lichtgeschwindigkeit in Luft $c = 300\,000 \frac{km}{s}$

Messwerte:

Abstand Gitter↔Schirm: $a = 0{,}275\,m$

Für die Abstände x vom Hauptmaximum zum 1. Nebenmaximum ergeben sich in Abhängigkeit von λ für "Luft" die Werte x_{Luft} für "Luft" die Werte x_{Wasser} für "Wasser".

λ_{Luft} (nm)	578	546	436	405
x_{Luft} (cm)	9,1	8,6	6,8	6,4
x_{Wasser} (cm)	6,8	6,4	5,1	4,8
c_{Wasser} (km/s)	224176	223256	225000	225000
Mittelwert	224358			