Lösung *Version 2007-10-28*

1 Beschreiben Sie, welche Versuchsgeräte man benötigt und wie ein Versuch aufgebaut werden muss, damit man mit Hilfe von Polarisationsfiltern die inneren Spannungszustände von Plexiglasmodellen ermitteln kann.
Erläutern Sie, welche physikalischen Gesetzmäßigkeiten dafür ausgenutzt werden.

Zwischen zwei Polarisationsfilter (Polarisationsrichtung parallel) wird ein Plexiglasmodell gehalten. Mit einer Lampe werden die Polarisationsfilter und das Plexiglasmodell durchstrahlt. Das Plexiglasmodell wird mit Hilfe einer Linse scharf auf einem Schirm abgebildet.

Werden nun die Polarisationsrichtungen der Polarisationsfilter zueinander senkrecht gestellt, kommt kein Licht mehr auf dem Schirm an. Bei Belastung des Plexiglasmodells wird das Modell auf dem Schirm wieder sichtbar. Die Stärke der inneren Spannungen wird durch unterschiedliche Farben erkennbar, da je nach Spannungszustand das Plexiglas die Polarisationsebene des Lichts unterschiedlich weit dreht. Da dabei verschiedenfarbiges Licht verschieden stark gedreht wird, wird je nach Spannungszustand das Licht einer Farbe so gedreht, dass es das 2. Polariationsfilter ungehindert durchdringen kann.

---

2 Fällt weißes Licht auf eine große Seifenblase, so erscheint deren Oberfläche durch Reflexionen in den verschiedensten Farben.

a) Erklären Sie das Zustandekommen dieser Farberscheinungen.

Das auftreffende Licht wird an der Vorder- und an der Rückseite der Seifenhaut reflektiert. Da die Seifenhaut sehr dünn ist, sind beide reflektierten Lichtanteile kohärent, sodass durch Überlagerung Auslöschung und Verstärkung eintritt. Da die Seifenhaut nicht überall gleich dick ist, verstärken sich durch die verschiedenen Gangunterschiede jeweils Lichtanteile eine bestimmten Farbe.

b) Durch die Schwerkraft fließt die Seifenlauge der Seifenblase immer weiter nach unten, bis oben die Seifenschicht so dünn wird, dass die Seifenblase zerplatzt. Schon einige Zeit vorher kann man den oberen Bereich der Seifenblase nicht mehr sehen, obwohl er noch vorhanden ist. Die Seifenblase sieht dann aus wie eine oben offene Kugelvase.
Schätzen Sie durch eine Rechnung ab, wie dick die Seifenschicht ungefähr sein muss, damit man sie gerade noch sehen kann.
Rechnen Sie mit einer Wellenlänge von λ=500 nm und nehmen Sie an, dass das Licht senkrecht auf die Seifenhaut trifft und auch senkrecht wieder reflektiert wird.

Damit die Seifenblase sichtbar wird, muss das Licht an der Seifenhaut reflektiert werden.

Wie im Unterricht besprochen (Reflexion von Licht an doppelt verglasten Fenstern) findet an der Vorderseite bei der Reflexion (festes Ende) ein Phasensprung von π statt, an der Rückseite dagegen (loses Ende) kein Phasensprung. Verstärkung tritt deshalb ein, wenn der Weg in der Seifenhaut den Wert $\lambda/2$, $\lambda+\lambda/2$, $2\lambda+\lambda/2$ oder allgemein $n\cdot\lambda+\lambda/2$ hat.

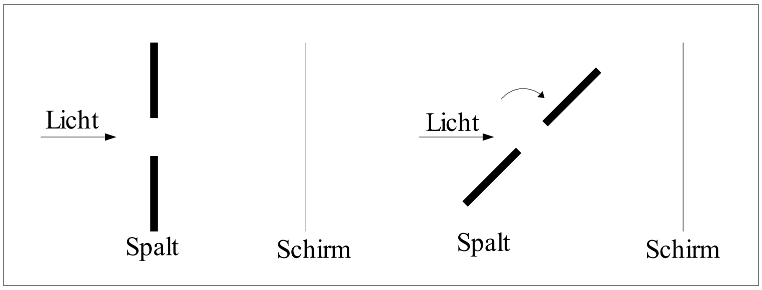
Damit überhaupt Verstärkung eintreten und man die Seifenblase sehen kann, muss der Weg mindestens die Länge $\lambda/2$ haben, dass heißt, die Dicke d der Seifenhaut muss mindestens $\lambda/4$ betragen.

Daraus folgt: $d=\frac{\lambda}{4}=\frac{500\text{nm}}{4}=125\text{nm}$.

An der Grenze zur sichtbaren Seifenblase beträgt die Dicke der Seifenhaut also etwa 125 nm.

---

3 Licht der Wellenlänge λ=500 nm fällt durch einen Einzelspalt auf einen Schirm, der L=3m vom Spalt entfernt ist.



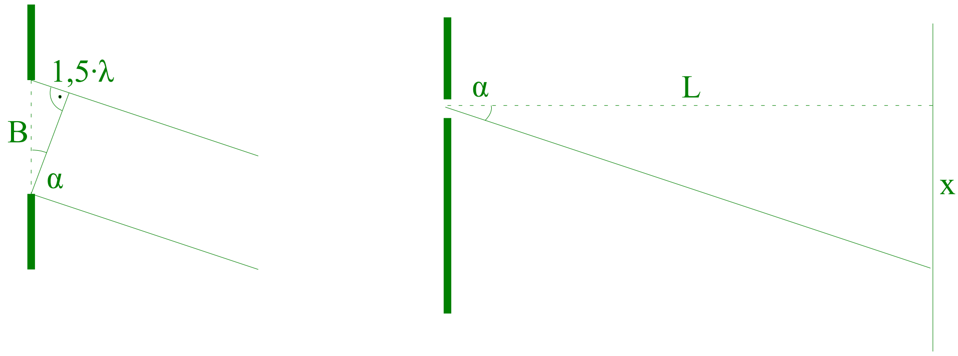
a) Was kann man über die Lage des Hauptmaximums aussagen, wenn der Einzelspalt kontinuierlich um seine Achse gedreht wird (rechter Teil der Abbildung)?

Das Hauptmaximum liegt an der Stelle, an der die an den beiden Rändern des Spaltes entlanglaufenden Lichtanteile den Gangunterschied 0 besitzten. Das zum Hauptmaximum laufende Licht wird also nicht abgelenkt und damit bleibt das Hauptmaximum während des Drehens immer an derselben Stelle sichtbar.
Die Helligkeit wird allerdings etwas variieren, da je nach Lage des Spaltes mehr oder weniger Licht durch den Spalt tritt.

Für die folgenden Aufgaben soll der Spalt senkrecht zum einfallenden Licht stehen (linker Teil der Abbildung).

b) Das 1. Nebenmaximum ist x=5cm neben der Mitte des Hauptmaximums zu sehen. Berechnen Sie die Breite B des Einzelspaltes. Die zur Rechnung benutzte Formel müssen Sie aus dem geometrischen Aufbau des Versuches herleiten.

Rechts ist die Versuchsanordnung zu sehen (links der Spalt, rechts der Schirm). Im linken Teil der Abbildung ist der Bereich um den Spalt vergrößert dargestellt.Das 1. Nebenmaximum entsteht bei einem Gangunterschied von $1{,}5\cdot\lambda$.



Links gilt $\sin\alpha=\dfrac{\frac{3}{2}\cdot\lambda}{B}$ *,rechts gilt* $\tan\alpha=\dfrac{x}{L}$.

Wegen L=3m und x=5cm ist α sehr klein und man kann setzen: $\sin\alpha\approx\tan\alpha$.

Daraus folgt $\dfrac{3\cdot\lambda}{2\cdot B}=\dfrac{x}{L}\;\rightarrow\; B=\dfrac{3\cdot\lambda\cdot L}{2\cdot x}=\dfrac{3\cdot 5\cdot 10^{-7}\cdot 3}{2\cdot 5\cdot 10^{-2}}m=4{,}5\cdot 10^{-5}m=\dfrac{4{,}5}{100}mm$.

c) Der Einzelspalt soll die Öffnung einer 3m langen Lochkamera sein, mit der man ein Landschaftsbild so scharf wie möglich aufnehmen will.
Geben Sie die Lösungsidee in wenigen Worten an und berechnen Sie, wie groß der Durchmesser des Einzelspaltes sein muss.
Anmerkung: Natürlich ist das Loch der Lochkamera rund und nicht ein länglicher Spalt. Näherungsweise kann man aber den Durchmesser durch Annahme eines Spaltes berechnen.

Je enger man das Loch der Lochkamera macht, desto schärfer wird das Bild. Macht man das Loch aber zu eng, wird das eintretende Lichtbündel durch Beugung aufgefächert und das Bild wird unschärfer.

Abschätzung für die optimale Breite des Spaltes: Man macht die Breite B des Spaltes so eng, dass sie übereinstimmt mit der Ausdehnung des Hauptmaximums (begrenzt durch die 1. Nebenminima). Hat das 1. Nebenminimum den Abstand x vom Hauptmaximum, so muss der Spalt also die Breite B=2·x haben. Also gilt: $\dfrac{\lambda}{2\cdot x}=\dfrac{x}{L}\;\rightarrow\; x^2=\dfrac{\lambda\cdot L}{2}\;\rightarrow\; x=\sqrt{\dfrac{\lambda\cdot L}{2}}=\sqrt{\dfrac{5\cdot 10^{-7}\cdot 3}{2}}m\approx 0{,}000866\,m=0{,}866\,mm$.

Man sollte also möglichst ein Loch mit einem Durchmesser von $B=2\cdot x=1{,}7\,mm$ *wählen.*

4 Die folgenden Teilaufgaben beziehen sich auf den mehrfach durchgeführten Unterrichtsversuch zur Beugung am Gitter, der hier allerdings in einigen angegebenen Punkten abgewandelt ist.

Abstand zwischen Gitter und Schirm: $L = 28\,cm$

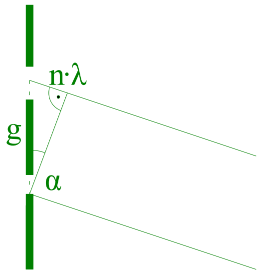
Abstand der Gitteröffnungen: $g = \frac{1}{570}\,mm$

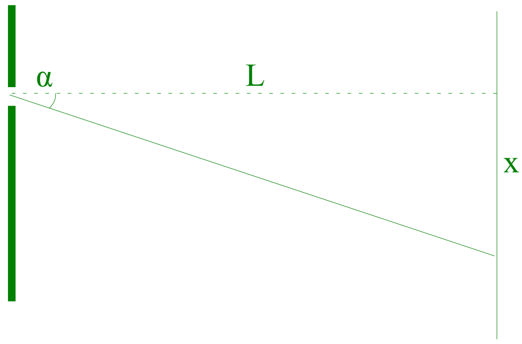
Wellenlänge des benutzten Lichtes in Luft: $\lambda_{blau} = 436\,nm$

Lichtgeschwindigkeit: $c_{Luft} = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$

a) Leiten Sie die Formel $n \cdot \lambda \cdot L = g \cdot x$ her, die den Zusammenhang zwischen der ganzen Zahl n, der Wellenlänge λ, dem Abstand Gitter-Schirm L, der Gitterkonstanten g und dem Abstand zwischen dem Hauptmaximum und dem n-ten Nebenmaximum x angibt.

Die Lichtstrahlen benachbarter Gitteröffnungen müssen beim n-ten Neben-maximum einen Gangunterschied von n·λ haben.





links: $\sin\alpha = \frac{n \cdot \lambda}{g}$

rechts: $\tan\alpha = \frac{x}{L}$

Da α sehr klein ist, gilt näherungsweise sin α = tan α, also $\frac{n \cdot \lambda}{g} = \frac{x}{L} \rightarrow n \cdot \lambda \cdot L = g \cdot x$ *, q.e.d.*

b) Findet der Versuch in „normaler" Umgebung (also in Luft) statt, so misst man $x_{Luft} = 6{,}95\,cm$. Zeigen Sie durch Rechnung, dass die Messung ein korrektes Ergebnis geliefert hat.

Aus $n \cdot \lambda \cdot L = g \cdot x$ *folgt:* $1 \cdot 4{,}36 \cdot 10^{-7} \cdot 0{,}28 \stackrel{?}{=} \frac{1}{570} \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}0695 \rightarrow 1{,}221 \cdot 10^{-7} \stackrel{!}{=} 1{,}219 \cdot 10^{-7}$

c) Findet der gesamte Versuch unter Wasser statt, so misst man $x_{Wasser} = 5{,}20\,cm$. Berechnen Sie mit Hilfe dieser Angabe die Größe der Lichtgeschwindigkeit c_{Wasser} im Wasser. Anmerkung: Unter Wasser bleibt die Farbe des Lichtes, also die Frequenz f, erhalten.

Es gilt $c_{Luft} = f_{Luft} \cdot \lambda_{Luft}$ *und* $c_{Wasser} = f_{Wasser} \cdot \lambda_{Wasser}$.

Da $f_{Luft} = f_{Wasser} = f$, *gilt* $f = \frac{c_{Luft}}{\lambda_{Luft}} = \frac{c_{Wasser}}{\lambda_{Wasser}} \rightarrow \lambda_{Wasser} = \frac{c_{Wasser}}{c_{Luft}} \cdot \lambda_{Luft}$

Einsetzen in die Formel $n \cdot \lambda \cdot L = g \cdot x$ *gibt* $n \cdot \frac{c_{Wasser}}{c_{Luft}} \cdot \lambda_{Luft} \cdot L = g \cdot x_{Wasser} \rightarrow c_{Wasser} = \frac{g \cdot x_{Wasser} \cdot c_{Luft}}{n \cdot \lambda_{Luft} \cdot L} \rightarrow$

$$c_{Wasser} = \frac{\frac{1}{570} \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}052 \cdot 3 \cdot 10^8}{1 \cdot 4{,}36 \cdot 10^{-7} \cdot 0{,}28} \frac{m}{s} = 2{,}24 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$$

d) Berechnen Sie, bis zur wievielten Ordnung man Nebenmaxima in Luft höchstens messen kann.

Der Gangunterschied zwischen Lichtstrahlen benachbarter Gitteröffnungen darf nicht so groß sein wie der Abstand der Gitteröffnungen. Daraus folgt: $n \cdot \lambda < g \rightarrow n < \frac{g}{\lambda} = \frac{\frac{1}{570} \cdot 10^{-3}}{4{,}36 \cdot 10^{-7}} \approx 4{,}02$

Man müsste das 4. Nebenmaximum also gerade noch beobachten können.

e) Geben Sie mit Begründung an, wie das Versuchsergebnis eines Beugungsversuches aussehen würde, wenn die Lichtgeschwindigkeit unendlich groß wäre?

In Bezug auf Licht einer bestimmten Farbe findet man bei abnehmender Lichtgeschwindigkeit die Nebenmaxima immer näher am Hauptmaximum, da das Licht in einer bestimmten Zeiteinheit dann nicht mehr so weit kommt und damit der Gangunterschied und der Ablenkwinkel α kleiner werden.

Umgekehrt nimmt bei zunehmender Lichtgeschwindigkeit der Abstand der Nebenmaxima vom Hauptmaximum zu, da immer größere Strecken durch das Licht in gleichen Zeiträumen zurückgelegt werden.

Wäre nun die Lichtgeschwindigkeit unendlich groß, so würde auch der Gangunterschied für das 1. Nebenmaximum unendlich groß sein und damit größer als der Abstand der Gitteröffnungen.

Es würde also kein Nebenmaximum geben.

Viel Erfolg bei der Bearbeitung der Aufgaben!