

Aufgaben 3 Reflexion und Brechung Totalreflexion

Lernziele

- sich aus dem Studium eines schriftlichen Dokumentes neue Kenntnisse und Fähigkeiten erarbeiten können.
- einen bekannten oder neuen Sachverhalt analysieren und beurteilen können.
- das Reflexionsgesetz und das Brechungsgesetz kennen und anwenden können.
- aus einem Experiment neue Erkenntnisse gewinnen können.
- das Phänomen der Totalreflexion kennen und mit Hilfe des Brechungsgesetzes erklären können.
- die in einem Umlenk- bzw. Umkehrprisma auftretende Totalreflexion verstehen.
- die in einem Wellenleiter auftretende Totalreflexion verstehen.

Aufgaben

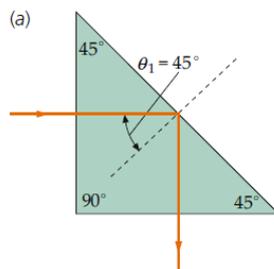
- 3.1 Studieren Sie im Lehrbuch Tipler/Mosca den folgenden Abschnitt:
- 28.3 Reflexion und Brechung (Teile „Totalreflexion“ und „Luftspiegelungen“, Seiten 1014 bis 1018)

3.2 **Experimente Posten 1: Umlenk-/Umkehrprisma (20 min)**

Betrachten Sie ein rechtwinkliges Prisma, d.h. ein Prisma, dessen Grundfläche aus einem gleichschenkligen rechtwinkligen Dreieck besteht (Modellkörper, rechtwinklig).

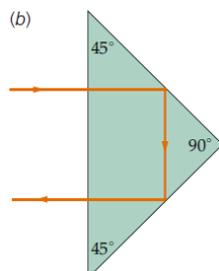
Ein Lichtstrahl trifft unter verschiedenen Winkeln auf eine Katheten- bzw. auf die Hypotenusenfläche des Prismas.

- a) Stellen Sie fest, dass das Prisma als **90°-Umlenkprisma** verwendet werden kann, wenn ein Lichtstrahl senkrecht auf eine Kathetenfläche trifft (vgl. Lehrbuch Tipler/Mosca, Abb. 28.13a, Seite 1017):



- b) Beobachten Sie den Strahlverlauf, wenn der Lichtstrahl unter einem beliebigen Winkel auf eine Kathetenfläche trifft. Variieren Sie den Einfallswinkel, und notieren Sie Ihre Beobachtungen. Achten Sie insbesondere auf das Phänomen der Totalreflexion.

- c) Stellen Sie fest, dass das Prisma als **Umkehrprisma** verwendet werden kann, wenn ein Lichtstrahl senkrecht auf die Hypotenusenfläche trifft (vgl. Lehrbuch Tipler/Mosca, Abb. 28.13b, Seite 1017):



- d) Beobachten Sie den Strahlverlauf, wenn der Lichtstrahl unter einem beliebigen Winkel auf die Hypotenusenfläche trifft. Variieren Sie den Einfallswinkel, und notieren Sie Ihre Beobachtungen. Achten Sie insbesondere auf das Phänomen der Totalreflexion.

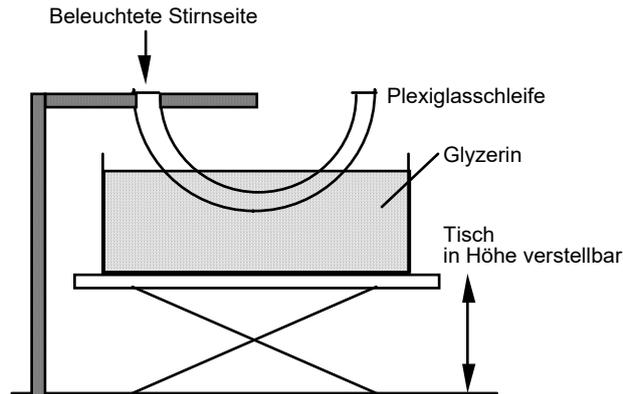
- e) Bestimmen Sie, wie gross die Brechzahl eines Prismas mindestens sein muss, damit man es als Umlenk- bzw. Umkehrprisma in Luft ($n_L := 1$) verwenden kann, d.h. damit an der hinteren Fläche des Prismas wirklich Totalreflexion auftritt.

3.3 Experiment Posten 2: Lichtleitung in einer Glasfaser (10 min)

Licht kann durch eine gekrümmte Glasfaser geleitet werden.

Dies wird in der Datenübertragungstechnik angewendet: Licht in einer Glasfaser kann mehr Daten schneller und weniger störungsanfällig übertragen als ein elektrisches Signal in einem elektrischen Kabel.

In einem Experiment, das im Dunkelraum aufgebaut ist, sollen Sie Licht durch eine Plexiglasschleife leiten. Dabei stellt die Plexiglasschleife eine übergrosse Glasfaser dar:



Der in der Höhe verstellbare Tisch ist zunächst so eingestellt, dass die Plexiglasschleife nicht ins Glyzerin eintaucht.

- Beleuchten Sie die eine Stirnseite der Plexiglasschleife mit der Lampe. Überzeugen Sie sich davon, dass bei der anderen Stirnseite der Plexiglasschleife Licht austritt. Das Licht wird also durch die Schleife geleitet.
- Heben Sie den in der Höhe verstellbaren Tisch so weit an, bis die Schleife in das Glyzerin eintaucht. Überzeugen Sie sich davon, dass am Ende der Schleife die Helligkeit des Lichtes abgenommen hat.
- Erklären Sie die Lichtleitung durch die Plexiglasschleife mit Hilfe der Totalreflexion an den Schleifenwänden. Fassen Sie das einfallende Licht als einzelne Lichtstrahlen auf. Zeichnen Sie den Weg eines einzelnen Lichtstrahls in der Schleife.
- Betrachten Sie die nachfolgende Tabelle mit den Brechungsindizes verschiedener Medien. Glyzerin hat eine andere Brechzahl als Luft. Finden Sie eine Erklärung dafür, dass deshalb weniger Totalreflexionen der Lichtstrahlen an der Schleifenwand stattfinden.

Material	Relative Brechzahl (bezogen auf Luft von 20 °C und 1013 hPa und eine Wellenlänge $\lambda = 589.3 \text{ nm}$)
Luft	1
Plexiglas	1.491
Glyzerin	1.455
Wasser	1.33299

Bem.:

Die relative Brechzahl n_{rel} eines Mediums ist definiert als Verhältnis zwischen der (absoluten) Brechzahl n des Mediums und der (absoluten) Brechzahl eines Referenzmediums (hier: n_{Luft}):

$$n_{\text{rel}} := \frac{n}{n_{\text{Luft}}}$$

3.4 **Experiment Posten 3: Lichtleitung in einem Wasserstrahl** (5 min)

Aus einem Glasgefäss fliesst durch ein Abflussröhrchen Wasser. Der Wasserstrahl wird von hinten mit einer Lampe beleuchtet.

- a) Beobachten Sie, wie das Licht entlang des parabelförmigen Wasserstrahls geleitet wird. Halten Sie dazu einen Finger in den Wasserstrahl und beobachten Sie den hellen Lichtfleck auf Ihrem Finger.
- b) Erklären Sie die Lichtleitung durch den Wasserstrahl mit Hilfe der Totalreflexion an der Grenzfläche Wasser-Luft. Fassen Sie das einfallende Licht als einzelne Lichtstrahlen auf. Zeichnen Sie den Weg eines einzelnen Lichtstrahls im Wasserstrahl.

3.5 a) Bearbeiten Sie im Arbeitsbuch Mills zu Tipler/Mosca die Aufgabe A28.13.

- b) Anschlussaufgabe zur Aufgabe A28.13:
Zeigen Sie, dass der einfallende Lichtstrahl bei jedem beliebigen Einkoppelungswinkel θ_1 ($0^\circ \leq \theta_1 < 90^\circ$) durch die Glasfaser geleitet würde, wenn die Glasfaser keine Ummantelung hätte.

3.6 Betrachten Sie einen Lichtstrahl, welcher aus der Luft auf die trockene Oberseite eines Glasquaders mit Brechzahl 1.50 trifft, der ansonsten fast vollständig im Wasser mit Brechzahl 1.33 steht.

- a) Berechnen Sie den Winkel, unter welchem der Lichtstrahl auf die Oberseite einfallen muss, damit an der im Wasser stehenden Seitenfläche gerade Totalreflexion auftritt.
- b) Bleibt diese Totalreflexion unter dem in a) ermittelten Winkel erhalten, wenn das Wasser entfernt wird?

3.7 Studieren Sie das folgende **Applet**. Sie finden das Applet unter <http://www.thomasborer.ch> → Physik → Dokumente/Applets

- Totalreflexion beim Prisma

3.8 Beurteilen Sie, ob die folgenden Aussagen wahr oder falsch sind. Kreuzen Sie das entsprechende Kästchen an.

- | | wahr | falsch |
|---|--------------------------|--------------------------|
| a) Bei einem Umkehrprisma wird ein Lichtstrahl um 180° umgelenkt. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| b) Ein Umkehrprisma funktioniert nur, falls die Brechzahl des Prismenmaterials deutlich grösser als 2 ist. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| c) Die Lichtleitung in einer Glasfaser beruht auf der Totalreflexion des einfallenden Lichtstrahls beim Auftreffen auf das Glas der Faser. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| d) Bei einem Wellenleiter würde das Weglassen der Ummantelung der Glasfaser die Lichtleitung in der Faser begünstigen. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| e) Tritt beim Einfall eines Lichtstrahls auf die Grenzfläche zweier Medien keine Totalreflexion auf, kann man folgern, dass die Brechzahl des Mediums hinter der Grenzfläche höher ist als die Brechzahl des Mediums davor. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Lösungen

3.1 ...

3.2 ...

e) $n_{\text{Prisma}} \geq \sqrt{2} \cdot n_L = 1.41$

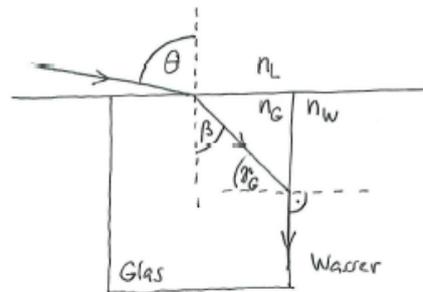
3.3 ...

3.4 ...

3.5 a) ...

b) Unter den Voraussetzungen $n_1 := 1$ und $n_2 > \sqrt{2}$ (bei Glas erfüllt) erhält man für die numerische Apertur $\sin(\theta_1)$ (vgl. A28.13) einen Wert, der grösser als 1 ist. Dies bedeutet, dass bei allen Einfallswinkeln θ_1 ($0^\circ \leq \theta_1 < 90^\circ$) Totalreflexion auftritt.

3.6 a)



		Unb.	Bek.
$\frac{\sin(\theta)}{\sin(\beta)} = \frac{n_G}{n_L}$	I	θ	$n_G = 1.50$
$\frac{\sin(\beta)}{\sin(\gamma_G)} = \frac{n_W}{n_G}$	II	β	$n_L = 1$
$\frac{\sin(\gamma_G)}{\sin(90^\circ)} = \frac{n_G}{n_G}$	III	γ_G	$n_W = 1.33$
$\beta + \gamma_G = 90^\circ$	IV		

$$\begin{aligned}
 \text{I : } \sin(\theta) &= \frac{n_G}{n_L} \sin(\beta) \\
 &= \frac{n_G}{n_L} \sqrt{1 - \cos^2(\beta)} \\
 &\stackrel{\text{IV}}{=} \frac{n_G}{n_L} \sqrt{1 - \cos^2(90^\circ - \gamma_G)} \\
 &= \frac{n_G}{n_L} \sqrt{1 - \sin^2(\gamma_G)} \\
 &\stackrel{\text{II}}{=} \frac{n_G}{n_L} \sqrt{1 - \left(\sin(90^\circ) \cdot \frac{n_W}{n_G}\right)^2} \\
 &= \frac{n_G}{n_L} \sqrt{1 - \frac{n_W^2}{n_G^2}} \\
 &= \sqrt{\frac{n_G^2}{n_L^2} \left(1 - \frac{n_W^2}{n_G^2}\right)} \quad \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{\frac{n_G^2 - n_w^2}{n_L^2}} \\
 &= \frac{\sqrt{n_G^2 - n_w^2}}{n_L} \\
 &= 0.63 \\
 \theta &= 43.9^\circ
 \end{aligned}$$

b)

Wasser entfernen $\hat{=}$ $n_w \rightarrow n_L \hat{=}$ $\theta \rightarrow \theta_{\text{neu}}$

$$\sin(\theta_{\text{neu}}) = \frac{\sqrt{n_G^2 - n_L^2}}{n_L} > \frac{\sqrt{n_G^2 - n_w^2}}{n_L} = \sin(\theta)$$

\uparrow
 da $n_L < n_w$

$$\begin{aligned}
 \Rightarrow \sin(\theta) &< \sin(\theta_{\text{neu}}) \\
 \theta &< \theta_{\text{neu}}
 \end{aligned}$$

\Rightarrow Immer noch Totalreflexion
bei altem θ

3.7 ...

- 3.8
- a) wahr
 - b) falsch
 - c) falsch
 - d) wahr
 - e) falsch