

Aufgaben 1 **Reflexion und Brechung** **Axiome der geometrischen Optik, Reflexionsgesetz, Brechungsgesetz,** **Totalreflexion, Parallelverschiebung**

Lernziele

- sich aus dem Studium eines schriftlichen Dokumentes neue Kenntnisse und Fähigkeiten erarbeiten können.
- die vier Axiome der geometrischen Optik kennen.
- einen bekannten oder neuen Sachverhalt analysieren und beurteilen können.
- wissen und verstehen, wie die Brechzahl eines Mediums definiert ist.
- 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.
- das Phänomen der Parallelverschiebung an einer planparallelen Platte kennen und mit Hilfe des Brechungsgesetzes erklären können.

Aufgaben

1.1 Im Kurs „Optik 1“ beschäftigen wir uns mit dem Strahlenmodell des Lichts. Man spricht dann von der „Strahlenoptik“ oder der „Geometrischen Optik“.

Es gibt in der geometrischen Optik vier Grundannahmen oder Grundgesetze, sogenannte Axiome.

Wie lauten die vier Axiome? Recherchieren Sie verschiedene Quellen im Internet.

1.2 Studieren Sie im Lehrbuch Tipler/Mosca den folgenden Abschnitt:

- 28.3 Reflexion und Brechung (Seiten 1031 bis 1033, nur bis zum Ende des Beispiels 28.3)

1.3 Studieren Sie das folgende **Applet**:

- [Reflexion und Brechung](#)

1.4 **Experimente Posten 1: Reflexion und Brechung** (30 min)

Reflexion am Planspiegel (Planspiegel auf Träger)

- a) Überprüfen Sie das Reflexionsgesetz bei der Reflexion eines Lichtstrahls an einem Planspiegel für verschiedene Einfallswinkel.

Reflexion und Brechung an Grenzfläche Luft-Glas (Modellkörper, halbkreisförmig)

- b) Überprüfen Sie für verschiedene Einfallswinkel, dass an der Grenzfläche Luft-Glas sowohl Reflexion als auch Brechung auftritt.
- c) Überprüfen Sie das Reflexionsgesetz. Messen Sie dazu für einige verschiedene Einfallswinkel den dazugehörigen Ausfallswinkel des reflektierten Strahls.
- d) Messen Sie für einige verschiedene Einfallswinkel den dazugehörigen Ausfallswinkel des gebrochenen Strahls.

In der Aufgabe 1.5 sollen Sie mit Hilfe der gemessenen Ausfallswinkel das Brechungsgesetz überprüfen. Bitte tun Sie dies aus Zeitgründen nicht schon jetzt, sondern fahren Sie sofort mit der Teilaufgabe e) weiter.

Totalreflexion an Grenzfläche Glas-Luft (Modellkörper, halbkreisförmig)

- e) Überprüfen Sie für verschiedene, nicht allzu grosse Einfallswinkel, dass an der Grenzfläche Glas-Luft sowohl Reflexion als auch Brechung auftritt.
- f) Ab einem kritischen Einfallswinkel θ_k wird kein Licht mehr in die Luft hinaus gebrochen. Das ganze Licht wird reflektiert (Totalreflexion). Messen Sie den kritischen Einfallswinkel θ_k .

Parallelverschiebung an planparalleler Glasplatte (Modellkörper, trapezförmig)

- g) Lassen Sie einen Lichtstrahl durch den Modellkörper fallen. An der Vorder- und der dazu parallelen Rückseite tritt sowohl Reflexion als auch Brechung auf. Beobachten Sie für verschiedene Einfallswinkel, dass der auf der Rückseite in die Luft hinausgebrochene Strahl parallel zum auf die Vorderseite auftreffenden einfallenden Strahl verläuft.

Alternative zu den Experimenten b) bis f)

Studieren Sie die folgenden **YouTube-Videos**:

- [Experimente aus der Physik: Brechung und Reflexion von Lichtstrahlen](#)
- [Brechung: Messung des Brechungswinkels in Abhängigkeit vom Einfallswinkel](#)

1.5 (Voraussetzung: Experimente Aufgabe 1.4 bearbeitet)

Nehmen Sie die in der Aufgabe 1.4 d) gemessenen Einfalls- und Ausfallswinkel zur Hand.

- a) Überprüfen Sie, dass gemäss dem Brechungsgesetz das Verhältnis $\sin(\theta_2) : \sin(\theta_1)$ zwischen den Sinus-Werten von Ausfalls- und Einfallswinkel konstant ist.
- b) Bestimmen Sie die Brechzahl des Materials, aus welchem der halbkreisförmige Modellkörper gefertigt ist. Wenden Sie das Brechungsgesetz an. Nehmen Sie dabei für Luft die Brechzahl $n_1 = 1.00$ an.

1.6 (Voraussetzung: Experimente Aufgabe 1.4 bearbeitet)

Ein Lichtstrahl läuft durch ein Medium der Brechzahl n_1 und trifft auf die Grenzfläche zu einem Medium mit kleinerer Brechzahl $n_2 < n_1$.

- a) Erklären Sie mit Hilfe des Brechungsgesetzes, dass nur für genügend kleine Einfallswinkel θ_1 ein Teil des Lichts gebrochen wird.
- b) Bestimmen Sie den sogenannten kritischen Einfallswinkel θ_k , ab welchem kein gebrochener Strahl mehr auftritt.

1.7 (Voraussetzung: Experimente Aufgabe 1.4 bearbeitet)

Ein Lichtstrahl läuft durch ein Medium der Brechzahl n_1 und trifft unter dem Einfallswinkel θ_1 auf die Oberfläche einer planparallelen Platte. Die Platte hat die Dicke d , und das Material der Platte hat die Brechzahl $n_2 > n_1$. Ein Teil des Lichts wird in die planparallele Platte hineingebrochen. Dieser gebrochene Lichtstrahl erreicht die Rückseite der planparallelen Platte, wo ein Teil des Lichts wieder ins äussere Medium der Brechzahl n_1 hinausgebrochen wird. Dieser hinausgebrochene Lichtstrahl verläuft parallel zum ursprünglichen Lichtstrahl (vgl. Aufgabe 1.4 g).

Bestimmen Sie die Parallelverschiebung, d.h. den senkrechten Abstand s der beiden Geraden, auf welchen der ursprüngliche und der aus der planparallelen Platte hinausgebrochene Lichtstrahl liegen.

Hinweise:

- Erstellen Sie eine Skizze der Situation.
- Finden Sie rechtwinklige Dreiecke, an welchen Sie trigonometrische Beziehungen formulieren können.

1.8 Bearbeiten Sie im Arbeitsbuch Mills zu Tipler/Mosca die folgenden Aufgaben:

28.1, 28.3, 28.4, 28.7, 28.9

Hinweis zu 28.1:

- Beim gesuchten Winkel ist der Ablenkwinkel gemeint.

Hinweis zu 28.7: (siehe nächste Seite)

Hinweis zu 28.7:

- Allgemeine Definition des relativen Fehlers einer Grösse:

Ist x_0 der wahre und x_1 der falsche Wert einer Grösse x , so ist der relative Fehler δx wie folgt definiert:

$$\delta x := \frac{x_1 - x_0}{x_0}$$

$$\text{Bsp.: } x_0 = 25, x_1 = 27 \Rightarrow \delta x = \frac{27 - 25}{25} = \frac{2}{25} = 0.08 = 8\%$$

1.9 (Voraussetzung: Experimente Aufgabe 1.4 bearbeitet)

Bearbeiten Sie im Arbeitsbuch Mills zu Tipler/Mosca die folgenden Aufgaben:
28.12, 28.14, 28.21, 28.25

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

	wahr	falsch
a) Die Brechung eines Lichtstrahls beim Übertritt von einem Medium in ein anderes ist eine Folge der unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeiten des Lichts in den beiden Medien.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b) Ein Lichtstrahl, der senkrecht auf die Grenzfläche zwischen zwei Medien trifft, wird nicht gebrochen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c) Wenn ein Lichtstrahl auf die Grenzfläche zu einem Medium mit kleinerer Brechzahl trifft, dann tritt immer Totalreflexion auf.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d) Der kritische Winkel bei der Totalreflexion hängt nur von den Brechzahlen der beiden betreffenden Medien ab.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e) Wenn ein Lichtstrahl auf die Grenzfläche zu einem anderen Medium trifft, tritt immer sowohl Reflexion als auch Brechung auf.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Lösungen

1.1 (mögliche Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Geometrische_Optik)

1.2 ...

1.3 ...

1.4 ...

1.5 a) ...

b) ...

Ann.: $\theta_1 = 70^\circ$, $\theta_2 = 42^\circ$, $n_1 = 1.00$

$$n_1 \cdot \sin(\theta_1) = n_2 \cdot \sin(\theta_2)$$

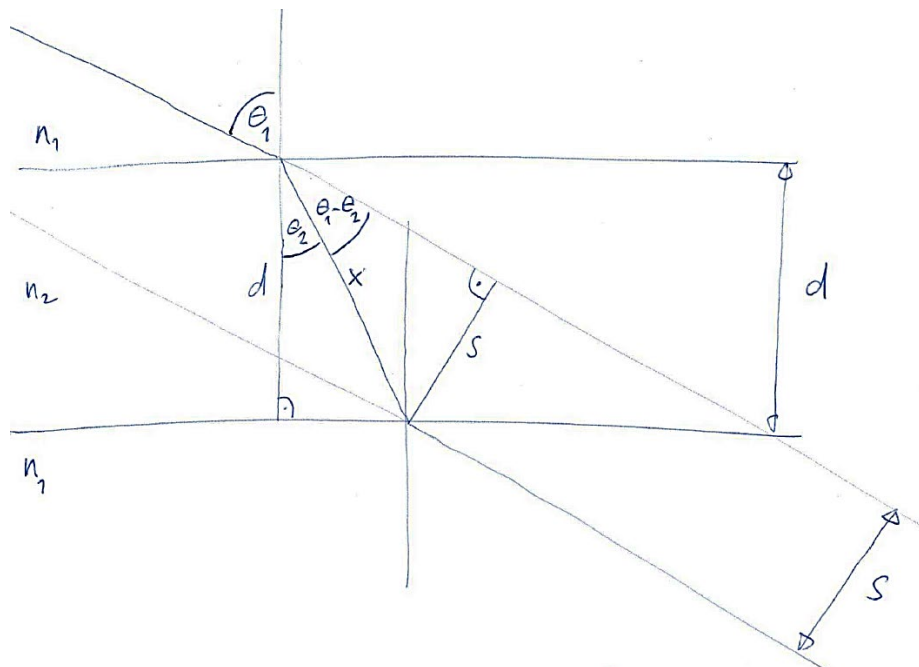
$$\Rightarrow n_2 = \frac{\sin(\theta_1)}{\sin(\theta_2)} n_1 = \frac{\sin(70^\circ)}{\sin(42^\circ)} \cdot 1.00 = 1.4$$

1.6 a) $\sin(\theta_2)$ kann keine Werte annehmen, die grösser als 1 sind.

b) Brechungsgesetz $n_1 \cdot \sin(\theta_1) = n_2 \cdot \sin(\theta_2)$ mit $\theta_1 = \theta_k$ und $\theta_2 = 90^\circ$

$$\Rightarrow \theta_k = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

1.7



$$\frac{d}{x} = \cos(\theta_2) \quad \text{I}$$

$$\frac{s}{x} = \sin(\theta_1 - \theta_2) \quad \text{II}$$

$$n_1 \cdot \sin(\theta_1) = n_2 \cdot \sin(\theta_2) \quad \text{III}$$

Auflösen des Gleichungssystems I-III unter Verwendung eines Additionstheorems für $\sin(\theta_1 - \theta_2)$

$$\Rightarrow s = \left(\sin(\theta_1) - \frac{\frac{n_1}{n_2} \sin(\theta_1)}{\sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2} \sin(\theta_1)\right)^2}} \cos(\theta_1) \right) \cdot d$$

1.8 ...

1.9 ...

Hinweise zur Lösung von 28.14 b) im Arbeitsbuch Mills:

- Die beiden letzten Sätze der Lösung enthalten je einen Fehler.
- Im zweitletzten Satz sollte es heissen: „Dies ist der kritische Winkel ... an einer Glas-**Luft**-Grenzfläche.“
- Im letzten Satz sollte es heissen: „Daher tritt der Lichtstrahl ..., wenn $\theta_1 < 41.8^\circ$ ist.“
- Die Folgerung ist also, dass $\theta_1 < 41.8^\circ$ gelten muss, damit der Strahl in die Luft hinausgebrochen wird, und zwar unabhängig davon, ob sich ein Wasserfilm auf der Glasoberfläche befindet oder nicht.
- Die Antwort auf die in der Aufgabenstellung gestellte Frage „Gibt es einen Bereich von Einfallswinkeln, die grösser ...?“ lautet „Nein“.

- 1.10
- a) wahr
 - b) wahr
 - c) falsch
 - d) wahr
 - e) falsch