Aufgaben 8 Wellen
Reflexion, Brechung, Schallleistung, -intensität, -pegel, Lautstärke

Lernziele

- sich aus dem Studium eines schriftlichen Dokumentes neue Kenntnisse erarbeiten können.
- das Reflexionsgesetz kennen.
- die Herleitung des Reflexionsgesetzes mit Hilfe des Huygens'schen Prinzips verstehen.
- das Reflexionsgesetz in konkreten Problemstellungen anwenden können.
- das Brechungsgesetz kennen.
- die Herleitung des Brechungsgesetzes mit Hilfe des Huygens'schen Prinzips verstehen.
- das Brechungsgesetz in konkreten Problemstellungen anwenden können.
- die Zusammenhänge zwischen den Grössen Schallleistung, Schallintensität, Schallpegel und Lautstärke in konkreten Problemstellungen anwenden können.

Aufgaben

Reflexion, Brechung

8.1 In einem Experiment mit der Wellenwanne können die Reflexion und die Brechung von geraden Wasserwellen beobachtet werden.

Beurteilen Sie sowohl für die Reflexion als auch für die Brechung, ob ...
- ... der Ausfallswinkel gleich oder ungleich dem Einfallswinkel ist.
- ... die Frequenz der Welle gleich bleibt oder sich verändert.
- ... die Wellenlänge gleich bleibt oder sich verändert.

8.2 Studieren Sie das Java-Applet "Reflexion und Brechung von Wellen (Prinzip von Huygens)", in welchem das Reflexions- und das Brechungsgesetz veranschaulicht und mit Hilfe des Huygens'schen Prinzips erklärt wird.

Sie finden das Applet unter
http://www.thomasborer.ch → Physik → Dokumente/Applets/Links

Führen Sie jeden Schritt aus, und studieren Sie jeweils den dazugehörigen Text im Fenster unten rechts.

8.3 Studieren Sie im folgenden Text aus dem Lehrbuch Tipler/Mosca die Herleitung des Reflexions- und des Brechungsgesetzes (Tipler, P.A., Mosca G., Wagner, J. (Hrsg.): Physik für Wissenschaftler und Ingenieure, Springer Spektrum, Berlin Heidelberg 2015, 7. deutsche Auflage, ISBN 978-3-642-54165-0 (Print), ISBN 978-3-642-54166-7 (Online), DOI 10.1007/978-3-642-54166-7):

Reflexion

Abbildung 28.24 zeigt eine ebene Wellenfront AA', die im Punkt A auf einen Spiegel trifft. Wie aus der Abbildung hervorgeht, ist der Winkel ϕ_1 zwischen der Wellenfront und dem Spiegel ebenso groß wie der Einfallswinkel θ_1. Dies ist der Winkel zwischen dem Einfallslot und den einfallenden Lichtstrahlen, die senkrecht auf den Wellenfronten stehen. Nach dem Huygens'schen Prinzip kann jeder Punkt auf einer gegebenen Wellenfront als Punktquelle einer sekundären Elementarwelle angesehen werden. Die Position der Wellenfront nach einer bestimmten Zeit t können wir ermitteln, indem wir Elementarwellen konstruieren, die den Radius $c\,t$ haben und deren Mittelpunkte auf der Wellenfront AA' liegen. Elementarwellen, die die Spiegeloberfläche noch nicht erreicht haben, bilden den Teil BB' der neuen Wellenfront. Elementarwellen, die den Spiegel bereits erreicht haben, werden reflektiert und bilden den Teil $B''B$ der neuen Wellenfront. Mit derselben Konstruktion erhalten wir die Wellenfront $C''C$ aus den Huygens'schen Elementarwellen, die aus der Wellenfront CC' hervorgehen.

Abbildung 28.25 zeigt einen vergrößerten Ausschnitt von Abbildung 28.24. Hier ist die Wellenfront AP dargestellt, die Teil der ursprünglichen Wellenfront AA' ist. In der Zeit t erreicht die vom Punkt P ausgehende Elementarwelle den Spiegel im Punkt B, und die Elementarwelle vom Punkt A erreicht in derselben Zeit den Punkt B''. Die reflektierte Wellenfront $B''B$ bildet mit dem Spiegel den Winkel ϕ_1', der gleich dem Reflexionswinkel θ_1' zwischen dem reflektierten Strahl und dem

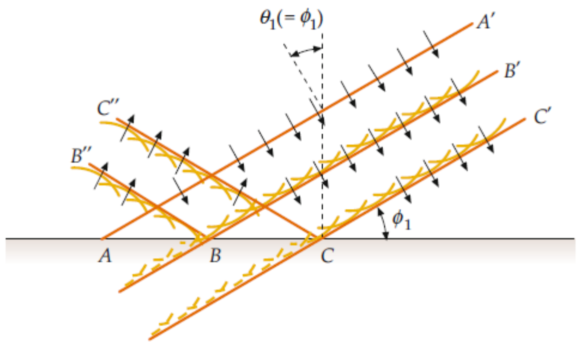


Abbildung 28.24 Eine ebene Welle, die an einem ebenen Spiegel reflektiert wird. Der Winkel θ_1 zwischen dem einfallenden Strahl und dem Einfallslot ist der Einfallswinkel. Er ist ebenso groß wie der Winkel ϕ_1 zwischen der einfallenden Wellenfront und dem Spiegel.

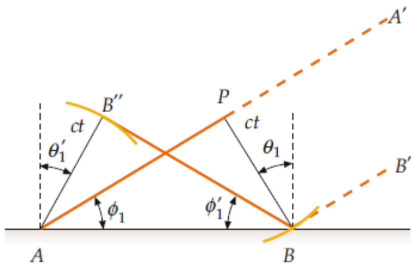


Abbildung 28.25 Zur Herleitung des Reflexionsgesetzes nach dem Huygens'schen Prinzip. Die ankommende Wellenfront AP trifft den Spiegel zuerst im Punkt A. Nach der Zeit t trifft die von P ausgehende Elementarwelle den Spiegel im Punkt B, während die von A ausgehende Elementarwelle den Punkt B'' erreicht.

Einfallslot ist. Die Dreiecke ABB'' und ABP sind rechtwinklige Dreiecke mit der gemeinsamen Seite AB und gleich großen Seiten $AB'' = BP = c\,t$. Daher sind diese Dreiecke kongruent. Die Winkel ϕ_1 und ϕ_1' sind daher gleich. Somit ist der Reflexionswinkel θ_1' gleich dem Einfallswinkel θ_1.

Brechung

Abbildung 28.26 zeigt eine ebene Welle, die auf eine Luft-Glas-Grenzfläche trifft. Wir wenden auch hier die Huygens'sche Konstruktion an, um die Wellenfront der in das Glas eintretenden Welle zu ermitteln. Die Gerade AP repräsentiert einen Teil der Wellenfront im Medium 1 (Luft). Sie trifft die Glasoberfläche unter dem Winkel ϕ_1. In der Zeit t legt die von P ausgehende Elementarwelle die Strecke $c_{n,1}\,t$ zurück und erreicht den Punkt B auf der Linie AB, die beide Medien voneinander trennt. In derselben Zeit legt die von A ausgehende Elementarwelle im Medium 2 die kürzere Strecke $c_{n,2}\,t$ zurück. Die neue Wellenfront BB' verläuft nicht parallel zur ursprünglichen Wellenfront AP, weil die Geschwindigkeiten $c_{n,1}$ und $c_{n,2}$ unterschiedlich sind. Im Dreieck ABP ist

$$\sin\phi_1 = \frac{c_{n,1}\,t}{AB}$$

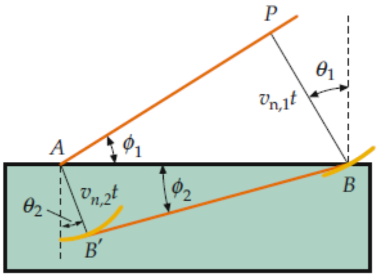


Abbildung 28.26 Anwendung des Huygens'schen Prinzips der Elementarwellen auf ebene Wellen, die an der Grenzfläche zweier Medien gebrochen werden. Das Licht hat im Medium 1 (Luft) die Wellengeschwindigkeit $c_{n,1}$ und im Medium 2 (Glas) die geringere Wellengeschwindigkeit $c_{n,2}$. Der Brechungswinkel ist hier kleiner als der Einfallswinkel.

oder

$$AB = \frac{c_{n,1}\,t}{\sin\phi_1} = \frac{c_{n,1}\,t}{\sin\theta_1}\,.$$

Dabei haben wir die Tatsache ausgenutzt, dass der Winkel ϕ_1 gleich dem Einfallswinkel θ_1 ist. Entsprechend gilt im Dreieck ABB'

$$\sin\phi_2 = \frac{c_{n,2}\,t}{AB}$$

oder

$$AB = \frac{c_{n,2}\,t}{\sin\phi_2} = \frac{c_{n,2}\,t}{\sin\theta_2}\,.$$

Darin ist $\theta_2 = \phi_2$ der Brechungswinkel. Wir setzen die Kehrwerte der beiden Ausdrücke für die Strecke AB gleich und erhalten

$$\frac{\sin\theta_1}{c_{n,1}} = \frac{\sin\theta_2}{c_{n,2}}\,. \tag{28.16}$$

Wenn wir $c_{n,1} = c/n_1$ und $c_{n,2} = c/n_2$ in diese Gleichung einsetzen und sie mit c multiplizieren, erhalten wir $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$. Dies ist das Snellius'sche Brechungsgesetz.

8.4 In einer Wellenwanne läuft eine Welle von einem seichten Bereich in ein Gebiet mit tieferem Wasser. Bei der Brechung der Welle an der Grenzfläche der beiden Bereiche beobachtet man den Einfallswinkel 45° und den Ausfallswinkel 60°.

a) Bestimmen Sie das Verhältnis der Geschwindigkeiten in beiden Teile der Wellenwanne.

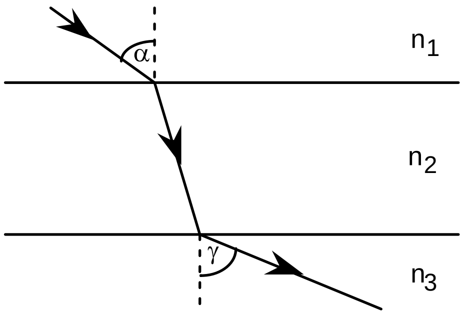
b) Bestimmen Sie die Geschwindigkeit im flachen Teil, wenn sie im tiefen 25 cm/s ist.

8.5 Ein Lichtstrahl fällt auf die Grenzfläche zweier Medien, deren Brechzahlen unbekannt sind.
Beim Einfallswinkel 45° misst man einen Ausfallswinkel von 30°.

Beurteilen Sie, was sich über die Brechzahlen der beiden Medien aussagen lässt.

8.6 (siehe nächste Seite)

8.6 Ein Lichtstrahl durchlaufe drei Medien mit den Brechzahlen n_1, n_2 ($n_2 < n_1$) und n_3 ($n_3 > n_2$). Der Winkel α sei bekannt. Zudem seien die Brechzahlen n_1, n_2 und n_3 so gewählt, dass ein Teil des Lichtstrahls wie gezeichnet ins dritte Medium hineingebrochen wird:



Zeigen Sie, dass der Winkel γ unabhängig ist vom Brechungsindex n_2 des mittleren Mediums.

Schallleistung, Schallintensität, Schallpegel, Lautstärke

8.7 Gegeben ist eine als punktförmige Schallquelle betrachtete Sirene mit der Schallleistung 1000 W (vgl. Folie "Schall-Leistung").

Bestimmen Sie die Schallintensität und den Schallpegel ...

a) ... im Abstand 100 m ...

b) ... im Abstand 1000 m ...

... von der Sirene, falls von Verlusten abgesehen wird.

Hinweis:
- Für die numerischen Berechnungen können Sie einen Taschenrechner verwenden.

8.8 Bestimmen Sie den Schallpegel und die Lautstärke einer Trompete im Abstand von 5 m.

Nehmen Sie vereinfachend an, dass die Trompete eine punktförmige Schallquelle ist, die in alle Richtungen mit gleicher Intensität abstrahlt.

Hinweis:
- Für die numerischen Berechnungen können Sie einen Taschenrechner verwenden.

8.9 Bestimmen Sie die Änderung ΔL des Schallpegels, wenn man die Entfernung von einer punktförmigen Schallquelle verdoppelt.

Hinweise:
- Bei dieser Aufgabe benötigt man die Logarithmengesetze (vgl. Mathematik 1).
- Für die numerische Berechnung von ΔL können Sie einen Taschenrechner verwenden.

Lösungen

8.1 Reflexion
- Ausfallswinkel = Einfallswinkel
- Frequenz bleibt gleich
- Wellenlänge bleibt gleich

Brechung
- Ausfallswinkel ≠ Einfallswinkel
- Frequenz bleibt gleich
- Wellenlänge verändert sich

8.2 ...

8.3 ...

8.4 a) Brechungsgesetz

$$\frac{v_{flach}}{v_{tief}} = \frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)} = \frac{\sin(45°)}{\sin(60°)} = 0.816$$

b) $v_{flach} = 20.4$ cm/s

8.5 Es lässt sich nur eine Ausage machen über das Verhältnis der beiden Brechzahlen.

$$\frac{n_2}{n_1} = 1.4$$

8.6 $\gamma = \arcsin\left(\frac{n_1}{n_3}\sin(\alpha)\right)$

8.7 a) $I = \frac{\bar{P}}{4\pi r^2} = 8.0\cdot 10^{-3}\ \mathrm{W/m^2}$

$L = 10\cdot \lg\left(\frac{\bar{P}}{4\pi r^2\cdot I_0}\right)\ \mathrm{dB} = 99\ \mathrm{dB}$

b) $I = \frac{\bar{P}}{4\pi r^2} = 8.0\cdot 10^{-5}\ \mathrm{W/m^2}$

$L = 10\cdot \lg\left(\frac{\bar{P}}{4\pi r^2\cdot I_0}\right)\ \mathrm{dB} = 79\ \mathrm{dB}$

8.8 Schallpegel L ≈ 85 dB
Lautstärke (bei 500 Hz) ≈ 90 Phon

8.9 $\Delta L = -\ 10\ \lg(4)\ \mathrm{dB} \approx -\ 6\ \mathrm{dB}$