Wellen, Interferenz und Beugung

Physik · Klasse 12 · mittel · Lösungen

vitus-tutoring.de

kostenlos, mit Lösungen

Name: _____ Datum: _____

Schall in Luft: $c = 340$ m/s. Licht: $c = 3{,}0 \cdot 10^8$ m/s. 1 nm = 10^{-9} m, 1 µm = 10^{-6} m.

1 Werte einen Doppelspaltversuch aus.

Maximum k-ter Ordnung: $g \cdot \sin \alpha_k = k \cdot \lambda$. Am Schirm: $\tan \alpha_k = \frac{d_k}{a}$. Für kleine Winkel ist $\sin \alpha \approx \tan \alpha$, also $\lambda = \frac{g \cdot d_k}{k \cdot a}$.

a) Ein Laser beleuchtet einen Doppelspalt mit dem Spaltabstand g = 0,25 mm. Der Schirm steht a = 3,00 m entfernt. Die beiden Maxima 2. Ordnung links und rechts liegen 30,4 mm auseinander.
Berechne die Wellenlänge.

Abstand von der Mitte zum Maximum 2. Ordnung: $d_2 = \frac{30{,}4 \text{ mm}}{2} = 15{,}2 \text{ mm}$

$\lambda = \frac{g \cdot d_k}{k \cdot a}$ mit $k = 2$

$\lambda = \frac{0{,}25 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot 15{,}2 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{2 \cdot 3{,}00 \text{ m}}$

$\lambda \approx 6{,}33 \cdot 10^{-7}$ m = 633 nm (rotes Licht)

b) Warum misst man den Abstand zwischen den beiden Maxima 2. Ordnung und nicht den vom Hauptmaximum zum 1. Maximum?

Die Mitte des breiten Hauptmaximums trifft man schlecht genau. Über eine größere Strecke wird der Ablesefehler im Verhältnis kleiner. Außerdem gleicht man so aus, wenn der Schirm leicht schief steht.

c) Prüfe, ob die Kleinwinkelnäherung hier erlaubt ist.

$\tan \alpha_2 = \frac{d_2}{a} = \frac{15{,}2 \text{ mm}}{3000 \text{ mm}} \approx 0{,}0051$, also $\alpha_2 \approx 0{,}29°$

Bei so kleinen Winkeln unterscheiden sich $\sin \alpha$ und $\tan \alpha$ erst in der 5. Nachkommastelle. Die Näherung ist erlaubt.

Wellen, Interferenz und Beugung (Fortsetzung)

Physik · Klasse 12 · mittel · Lösungen

vitus-tutoring.de

Name: _____ Datum: _____

kostenlos, mit Lösungen

2 Bestimme eine Wellenlänge mit dem Gitter.

Gitterkonstante $g = \frac{1\ mm}{Striche\ pro\ mm}$. Bei großen Winkeln exakt rechnen: erst α aus $\tan\alpha = \frac{d_k}{a}$, dann $\lambda = \frac{g \cdot \sin\alpha}{k}$.

a) Ein Gitter mit 600 Strichen pro mm wird mit dem roten Licht einer Wasserstofflampe beleuchtet. Auf einem Schirm im Abstand a = 1,00 m liegt das 1. Maximum d_1 = 42,8 cm neben der Mitte.
Berechne die Gitterkonstante.

$g = \frac{1\ mm}{Striche\ pro\ mm} = \frac{1\ mm}{600}$

$g \approx 1{,}667 \cdot 10^{-3}\ mm = 1{,}667\ \mu m$

b) Berechne die Wellenlänge exakt.

$\tan\alpha_1 = \frac{d_1}{a} = \frac{42{,}8\ cm}{100\ cm} = 0{,}428$, also $\alpha_1 \approx 23{,}2°$

$\lambda = \frac{g \cdot \sin\alpha_1}{k}$ mit $k = 1$

$\lambda = 1{,}667\ \mu m \cdot \sin 23{,}2° \approx 0{,}656\ \mu m = 656\ nm$

c) Rechne zum Vergleich mit der Kleinwinkelnäherung und beurteile.

Näherung: $\lambda \approx \frac{g \cdot d_1}{a} = 1{,}667\ \mu m \cdot 0{,}428 \approx 0{,}713\ \mu m = 713\ nm$

Das sind fast 9 % zu viel. Bei Winkeln über etwa 5° ist die Näherung unbrauchbar.

d) Wie viele Maxima dieser Farbe sieht man auf jeder Seite höchstens?

Ein Maximum gibt es nur, solange $\sin\alpha \le 1$ ist: $\frac{k \cdot \lambda}{g} \le 1$, also $k \le \frac{g}{\lambda}$

$k \le \frac{1667\ nm}{656\ nm} \approx 2{,}5$

Auf jeder Seite sieht man höchstens 2 Maxima.

Wellen, Interferenz und Beugung (Fortsetzung)

Physik · Klasse 12 · mittel · Lösungen

vitus-tutoring.de

kostenlos, mit Lösungen

Name: _____ Datum: _____

3 Untersuche die Interferenz zweier Lautsprecher.

Wellenlänge $\lambda = \frac{c}{f}$. Gangunterschied Δs = Differenz der Wege. Verstärkung bei $\Delta s = k \cdot \lambda$, Auslöschung bei $\Delta s = \frac{(2k+1) \cdot \lambda}{2}$.

a) Zwei Lautsprecher L1 und L2 hängen am selben Tongenerator (f = 680 Hz, gleichphasig). Ein Mikrofon steht im Punkt P, 4,00 m von L1 und 4,75 m von L2 entfernt.
Berechne die Wellenlänge.

$\lambda = \frac{c}{f}$

$\lambda = \frac{340\ m/s}{680\ Hz} = 0{,}50\ m$

b) Ist in P Verstärkung oder Auslöschung? Begründe.

$\Delta s = 4{,}75\ m - 4{,}00\ m = 0{,}75\ m$

$\frac{\Delta s}{\lambda} = \frac{0{,}75\ m}{0{,}50\ m} = 1{,}5$. Der Gangunterschied ist $\frac{3 \cdot \lambda}{2}$, ein ungerades Vielfaches von $\frac{\lambda}{2}$.

In P löschen sich die Wellen aus: Ein Wellenberg der einen trifft auf ein Wellental der anderen.

c) Das Mikrofon wird verschoben, bis es 4,00 m von L1 und 5,00 m von L2 entfernt ist. Was misst es jetzt?

$\Delta s = 5{,}00\ m - 4{,}00\ m = 1{,}00\ m = 2 \cdot \lambda$

Der Gangunterschied ist ein ganzes Vielfaches von λ: Das Mikrofon misst Verstärkung (Maximum 2. Ordnung).

4 Bestimme Wellenlänge und Geschwindigkeit aus stehenden Wellen.

In einer stehenden Welle liegen benachbarte Knoten $\frac{\lambda}{2}$ auseinander. Eine an beiden Enden feste Saite schwingt im Grundton mit $\lambda = 2 \cdot l$. Außerdem gilt $c = \lambda \cdot f$.

a) In einem Rohr bildet sich bei f = 2000 Hz eine stehende Schallwelle. Benachbarte Knoten liegen 8,5 cm auseinander. Berechne die Schallgeschwindigkeit.

Knotenabstand = $\frac{\lambda}{2}$, also $\lambda = 2 \cdot 8{,}5\ cm = 17\ cm = 0{,}17\ m$

$c = \lambda \cdot f = 0{,}17\ m \cdot 2000\ Hz = 340\ m/s$

b) Vor einer Metallwand bildet sich eine stehende Mikrowelle. Ein Empfänger findet Minima im Abstand von 1,5 cm. Berechne die Frequenz.

$\lambda = 2 \cdot 1{,}5\ cm = 3{,}0\ cm = 0{,}03\ m$

$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3{,}0 \cdot 10^8\ m/s}{0{,}03\ m} = 10^{10}\ Hz = 10\ GHz$

c) Eine Gitarrensaite ist 65 cm lang, die Welle auf ihr läuft mit 286 m/s. Berechne die Frequenz des Grundtons.

Grundton: $\lambda = 2 \cdot l = 2 \cdot 0{,}65\ m = 1{,}30\ m$

$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{286\ m/s}{1{,}30\ m} = 220\ Hz$

5 Begründe mit dem Wellenmodell.

Beugung ist stark, wenn die Öffnung oder Kante nicht viel größer als die Wellenlänge ist.

a) Warum sind die Maxima am Gitter viel schärfer als am Doppelspalt?

Am Gitter überlagern sich die Wellen sehr vieler Spalte. Nur genau bei $g \cdot \sin\alpha = k \cdot \lambda$ sind alle in Phase. Schon bei kleiner Abweichung findet jede Teilwelle eine andere, die gegenphasig zu ihr schwingt, und die beiden löschen sich aus. Übrig bleiben schmale, helle Linien.

b) Warum kann man Licht polarisieren, Schall in Luft aber nicht?

Polarisieren heißt, nur eine Schwingungsrichtung durchzulassen. Das geht nur bei Querwellen, die senkrecht zur Ausbreitungsrichtung schwingen. Schall in Luft ist eine Längswelle, die Luft schwingt in Ausbreitungsrichtung hin und her. Dass Licht sich polarisieren lässt, zeigt also: Licht ist eine Querwelle.

Wellen, Interferenz und Beugung (Fortsetzung)

Physik · Klasse 12 · mittel · Lösungen

vitus-tutoring.de

Name: _____ Datum: _____

kostenlos, mit Lösungen

c) Warum hörst du Musik um eine Hausecke herum, siehst die Musiker aber nicht?

Schall hat in Luft Wellenlängen von einigen Zentimetern bis Metern, ähnlich groß wie Türen und Hausecken. Er wird deshalb stark gebeugt und breitet sich auch hinter die Ecke aus. Licht hat nur etwa 0,5 µm Wellenlänge, an einer Hausecke wird es kaum gebeugt, und dahinter bleibt es dunkel.

d) Warum schillert die Rückseite einer CD in Regenbogenfarben?

Die Rillen der CD liegen etwa 1,6 µm auseinander und wirken wie ein Gitter, das das Licht zurückwirft. Für jede Wellenlänge liegt das Maximum bei einem anderen Winkel ($g \cdot \sin\alpha = k \cdot \lambda$). So wird weißes Licht in seine Farben zerlegt, und je nach Blickwinkel siehst du eine andere Farbe.