Übungen zur Physik für Chemiker I WS19/20

Prof. Dr. M. Agio, L. Strauch

Übungsblatt 13 Lösung

Ausgabe: Di, 14.01.2020, Abgabe: Di, 21.01.2020

Aufgabe 1. *Zwei Lautsprecher*
Die beiden Lautsprecher in Abb. 1 haben einen Abstand von 2 m und seien in Phase. Ein Zuhörer befinde sich in einem Abstand von 3,75 m direkt vor einem der Lautsprecher. Wir nehmen an, die Amplituden der Schallwellen von den Lautsprechern seien bei dem Zuhörer nahezu gleich.

(a) Für welche Frequenzen im hörbaren Bereich, also $20\,\mathrm{Hz} - 20\,\mathrm{kHz}$ nimmt der Zuhörer ein minimales Signal wahr ?

(b) Für welche Frequenzen ist das Signal maximal ?

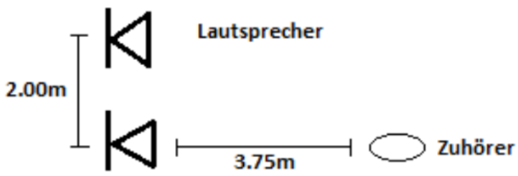

Abbildung 1: Skizze der Lautsprecher

Lösung 1.
Bezeichnen wir den Abstand vom näheren Lautsprecher zum Zuhörer mit L_1. Der Abstand vom anderen Lautsprecher zum Zuhörer ist $L_2 = \sqrt{L_1^2 + d^2}$, wobei d den Abstand zwischen den Lautsprechern bezeichnet. Die Phasendifferenz beim Zuhörer ist:

$$\varphi = 2\pi(L_2 - L_1)/\lambda$$

wobei λ die Wellenlänge bezeichnet.

(a) Für ein Minimum der Intensität beim Zuhörer muss $\varphi = (2n+1)\pi$ sein, wobei n eine ganze Zahl ist. Also gilt:

$$\lambda = 2(L_2 - L_1)/(2n+1)$$

Mit der Schallgeschwindigkeit vin $v = 343\,\mathrm{m/s}$ ist die Frequenz damit:

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{(2n+1)v}{2(\sqrt{L_1^2 + d_2} - L_1)} = (2n+1)(343\,\mathrm{Hz})$$

Wir haben nun $20000/343 = 58.3$, also muss $2n+1$ zwischen Null und 57 liegen, damit die Frequenz im hörbaren Bereich liegt. Das heißt, dass n zwischen 1 und 28 liegt und $f = 1029, 1715, ..., 19\,550\,\text{Hz}$ ist.

(b) Für ein Maximum der Intensität beim Zuhörer muss $\varphi = 2\pi n$ sein, wobei n eine ganze Zahl ist. Also gilt:

$$\lambda = \frac{1}{n}(\sqrt{L_1^2 + d^2} - L_1)$$

und

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{nv}{(\sqrt{L_1^2 + d^2} - L_1)} = n(686\,\text{Hz})$$

Wegen $20000/686 = 29.2$, muss n zwischen 1 und 29 liegen, damit die Frequenz hörbar ist, und dann ist $f = 686, 1372, ..., 19\,890\,\text{Hz}$.

Aufgabe 2. *Intensität und Amplitude*

Der Schallpegel einer bestimmten Schallquelle werde um 30 dB erhöht. Um welchen Faktor erhöht sich

(a) die Intensität

(b) die Druckamplitude

Lösung 2.

(a) Es bezeichnet I_1 die ursprüngliche Intensität und I_2 die Intensität am Ende. Der ursprüngliche Schallpegel ist $\beta_1 = 10\,\text{dB} \cdot \frac{I_1}{I_0}$, und der Schallpegel am Ende ist $\beta_2 = 10\,\text{dB} \cdot \frac{I_2}{I_0}$, wobei I_0 die Vergleichsintensitätbezeichnet. Wegen $\beta_2 = \beta_1 + 30\,\text{dB}$ haben wir $10\,\text{dB} \cdot log(\frac{I_2}{I_0}) = 10\,\text{dB} \cdot log(\frac{I_1}{I_0}) + 30\,\text{dB}$, das heißt $10\,\text{dB} \cdot log(\frac{I_2}{I_0}) - 10\,\text{dB} \cdot log(\frac{I_1}{I_0}) = 30\,\text{dB}$. Teilt man diesen Ausdruck durch 10 dB und verwendet man jede Seite als Exponenten von 10 und beachtet, dass $10^{log(I_2/I_1)} = I_2/I_1$, dann ist das Ergebnis $I_2/I_1 = 10^3$. Die Intensität wird um den Faktor 1000 erhöht.

(b) Die Druckamplitude ist proportional zur Quadratwurzel der Intensität, also wird diese um einen Faktor $\sqrt{1000} \approx 32$ erhöht.

Aufgabe 3. *Doppler-Effekt I*

Ein Sender bewegt sich mit der Geschwindigkeit v auf einen ruhenden Empfänger zu und sendet einen Ton der Wellenlänge λ (Frequenz f, Periode T) aus.

(a) Bestimmen Sie die vom Empfänger registrierte Wellenlänge λ_E und leiten Sie daraus eine Beziehung zwischen der Frequenz f und der vom Empfänger registrierten (höheren) Frequenz f_E her.

(b) Bestimmen Sie für den Fall, dass sich der Sender vom Empfänger wegbewegt erneut λ_E und f_E.

(c) An einem ruhenden Beobachter fährt eine pfeifende Lokomotive (1500 Hz) mit einer Geschwindigkeit von 120 km/h vorbei. Bestimmen Sie die Frequenz des Tones, den der Beobachter

(i) vor dem Vorbeifahren der Lokomotive hört

(ii) nach dem Vorbeifahren der Lokomotive hört

Lösung 3.

(a)

$$\lambda_E = \lambda - v \cdot T$$

Mit $\lambda \cdot f = c$ (mit $c =$ Schallgeschwindigkeit)folgt $f = \frac{c}{\lambda}$. Es gilt zudem $T = \frac{1}{f}$. Daraus folgt:

$$\begin{aligned}
\lambda_E &= \lambda - v \cdot T \\
\lambda_E &= \frac{c}{f} - \frac{v}{f} \\
\frac{c}{f_E} &= \frac{c - v}{f} \\
\frac{f_E}{c} &= \frac{f}{c - v} \\
f_E &= \frac{f \cdot c}{c - v} = \frac{f}{1 - \frac{v}{c}}
\end{aligned}$$

(b) Analog zu a).

(i)

$$\lambda_E = \lambda + v \cdot T$$

(ii)

$$f_E = \frac{f}{1 + \frac{v}{c}}$$

(c) (i) Mit den vorher hergeleiteten Formeln gilt:

$$f_E = \frac{f}{1 - \frac{v}{c}} \approx 1660\,\mathrm{Hz}$$

(ii)

$$f_E = \frac{f}{1 + \frac{v}{c}} = 1370\,\mathrm{Hz}$$

Aufgabe 4. *Doppler-Effekt II*

Bei einem Marschmusikwettbewerb marschiert eine Blaskapelle an einer Jury vorbei.
Wie schnell müssten die Musiker marschieren, damit die Jury-Mitglieder die Musik nach dem Vorbeimarsch um einen halben Ton tiefer hören würden als beim Herannahen der Kapelle ?
Hinweis: Das Frequenzverhältnis zweier Töne, die sich um einen halben Ton unterscheiden, beträgt 16 : 15

Lösung 4.

$$\frac{f_1}{f_2} = k$$
$$f_1 = \frac{f}{1-\frac{v}{c}}$$
$$f_2 = \frac{f}{1+\frac{v}{c}}$$
$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{f}{1-\frac{v}{c}} \cdot \frac{1+\frac{v}{c}}{f} = \frac{1+\frac{v}{c}}{1-\frac{v}{c}} = k$$
$$1+\frac{v}{c} = k(1-\frac{v}{c})$$
$$1+\frac{v}{c} = k - \frac{v}{c}k$$
$$\frac{v}{c} + \frac{v}{c}k = k-1$$
$$v + vk = c(k-1)$$
$$v(1+k) = c(k-1)$$
$$v = \frac{c(k-1)}{(k+1)}$$
$$\Rightarrow v = \frac{k-1}{k+1} \cdot c = 11\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = 39\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$$

Dies liegt über dem 100 m Weltrekord !