Technische Universität München
Fakultät für Physik

Ferienkurs

Experimentalphysik 1

WS 2016/17

Übung 4

Ronja Berg (ronja.berg@ph.tum.de)
Katharina Scheidt (katharina.scheidt@tum.de)

A. Übungen

A.1. Schwingung einer Schraubenfeder

Eine homogene Schraubenfeder der Länge $l = 0{,}6\,\mathrm{m}$, der Gesamtmasse $m_0 = 150\,\mathrm{g}$ und der Federkonstante $D = 12\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}}$ ist am oberen Ende aufgehängt und schwingt frei.

a) Welche Randbedingungen (Schwingungsknoten oder Schwingungsbauch) gelten an den Federenden bei den longitudinalen Eigenschwingungen der Feder?

b) Als Schwingungsgleichung ergibt sich für eine solche Feder

$$\frac{\partial x}{\partial z^2} = \frac{m_0}{Dl^2}\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} \quad .$$

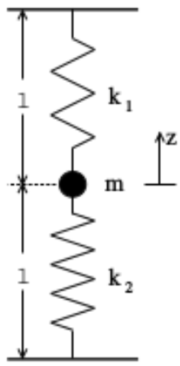
Wie groß ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit c für Longitudinalwellen in der Feder?

c) Berechne für die Grundschwingung die Eigenfrequenz v_0 der Feder.

d) Welche Effektivmasse m_{eff} kann man der Feder zuschreiben? Dabei soll ein Körper der Masse m_{eff} am unteren Ende der als masselos gedachten Feder hängen und mit der Frequenz f_0 schwingen.

A.2. Kugel zwischen zwei Federn

Eine Kugel der Masse m ist vertikal mit zwei Federn zwischen zwei Wänden eingespannt. Falls sich die Kugel in der Ruhelage $z = 0$ befindet, besitzen beide Federn die Länge l. Die Länge der Feder 2 entspricht ihrer Ruhelänge. Feder 1 ist aufgrund der durch die Kugel wirkenden Gewichtskraft um l_0 vorgespannt.

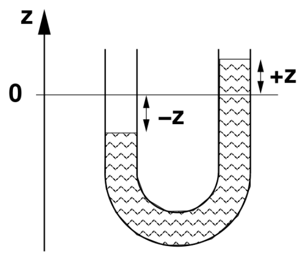


a) Wie lautet die Bewegungsgleichung für die Kugel?

b) Löse die Bewegungsgleichung mit dem Ansatz $z(t) = z_1 \sin(\omega t) + z_2 \cos(\omega t) + z_3$. Benutze dafür folgende Anfangsbedingungen: $z(t = 0) = z_0$ und $\dot{z}(t = 0) = 0$.

A.3. Wasserschwingung im U-Rohr

Ein senkrecht stehendes, oben offenes U-Rohr mit konstantem Querschnitt $A = 2\,\text{cm}^2$ wird mit $V = 100\,\text{cm}^3$ Wasser (Dichte $\rho_{Wasser} = 1\,\text{g/cm}^3$) gefüllt. Der Flüssigkeitsspiegel des ruhenden Wassers definiert den Nullpunkt der vertikalen z-Achse (siehe Skizze). Durch einen kurz dauernden Überdruck in einem der Schenkel werden die Flüssigkeitssäulen gegeneinander um eine Höhendifferenz $2z_0$ verschoben und schwingen anschließend ungedämpft.



a) Geben Sie die Kraft $F(z)$ an, die auf das Wasser wirkt, wenn die Auslenkung der Flüssigkeitssäulen $\pm z$ beträgt. Welche Masse wird von dieser Kraft beschleunigt? Zeigen Sie, dass das System durch die Schwingungsgleichung $V\ddot{z} + 2Agz = 0$ beschrieben wird.

b) Sind die Schwingungen harmonisch? Welche Schwingungsperiode haben sie? Wie ändert sich die Periode, wenn statt Wasser das gleiche Volumen Quecksilber (Dichte $\rho_{Hg} = 13{,}55\,\text{g/cm}^3$) verwendet wird?

A.4. Getriebener harmonischer Oszillator

Auf einen gedämpften Oszillator wirke die äußere Kraft $F(t) = F_0 \sin(\omega t)$. Die Bewegungsgleichung, die dieses System beschreibt lautet

$$\ddot{x} + 2\gamma\dot{x} + \omega_0 x = \frac{F}{m}\sin(\omega t) \quad .$$

Berechne die allgemeine Lösung der Bewegungsgleichung im eingeschwungenen Zustand unter Verwendung der komplex ergänzten Differentialgleichung.

A.5. Stehende Schallwellen

Die von einer Orgelpfeife umschlossene Luftsäule wird so zu Schwingungen angeregt, dass sich eine stehende Welle ausbildet. Bei einer offenen Pfeife hat dabei die Luftsäule an beiden Enden der Pfeife einen Schwingungsbauch, bei einer einseitig geschlossenen Pfeife weißt die Luftsäule an einem Ende einen Schwingungsknoten am anderen Ende einen Schwingungsbauch auf. Mit der Orgelpfeife soll ein Ton der Frequenz $f = 35\,\text{Hz}$ (Grundton) erzeugt werden. Die Schallgeschwindigkeit in Luft beträgt $c_S = 340\,\text{m/s}$.

a) Wie lang muss die schwingende Luftsäule sein, wenn eine offene bzw. geschlossene Pfeife verwendet wird?

b) Berechne und skizziere das Obertonspektrum sowohl für die offene als auch für die geschlossene Pfeife.

A.6. Zwei Wellen in Phase

Zwei ebene Wellen der Frequenz $f_1 = 300\,\text{Hz}$ und $f_2 = 24\,\text{Hz}$ laufen mit der Phasengeschwindigkeit $c = 340\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$ in die gleiche Richtung. In einem Punkt A haben sie gleiche Phasen. Diesen Punkt A wählen wir als Ursprung des Koordinatensystems.

a) In welchem Abstand x_1 sind sie zum ersten Mal wieder in Phase?

b) Nach welcher Laufzeit t_2 sind sie zum ersten Mal wieder in Phase?

A.7. Fortschreitende Seilwelle

Über ein Seil laufen Wellen in positiver x-Richtung mit der Phasengeschwindigkeit c. Die Periodendauer der Teilchenschwingung ist T, ihre Amplitude ist η_m. Zur Zeit $t_0 = 0$ befindet sich bei x_0 gerade ein Wellenberg. $c = 0{,}8\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$ $\quad T = 0{,}5\,\text{s}$ $\quad \eta_m = 8{,}0\,\text{cm}$ $\quad x_0 = \frac{3}{4}\lambda$ $\quad t_1 = \frac{T}{2}$ $\quad t_2 = \frac{3}{4}T$ $\quad x_1 = \frac{\lambda}{4}$

a) Berechne die Wellenlänge λ.

b) Wie lautet die Funktion $\eta(t, x)$ für diese Welle?

c) Zeichne die Momentbilder der Welle $\eta(x)$ für t_1 und t_2.

d) Wie sieht die Funktion $\eta_1(t)$ an der Stelle x_1 aus?