

## Grundlagen der Physik mit Experimenten für Studierende der Medizin, Zahnmedizin und Pharmazie

---

Übungsaufgaben für die Übungsstunde in der Woche vom 18.12.17 // Woche 51

# 8 - Schwingungen, Feder- und Fadenpendel

---

### Übungsaufgaben zum Lösen daheim:

WS 2003/2004 #20  
WS 2003/2004 #27  
SS 2004N #13  
SS 2004N #20  
SS 2004N #27  
WS 2004/2005 #26  
SS 2005 #14  
SS 2005 #17  
SS 2005 #22  
SS 2005N #17  
WS 2005/2006 #23  
WS 2005/2006 #27  
SS 2006N #1  
WS 2007/2008 #6  
SS 2009N #12

---

### NÜTZLICHE FORMELN UND GRUNDLAGEN

---

#### Federpendel:

Das Federpendel besteht aus einer Masse  $m$  an einer elastischen Feder mit der Federkonstante  $D$ . Die Ruhelage ist  $x_0$ , eine Auslenkung findet immer in Richtung der Federachse statt. Die Schwingungsdauer des Federpendels lässt sich berechnen zu

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{D}} \quad \text{wobei} \quad f = \frac{1}{T}. \quad (1)$$

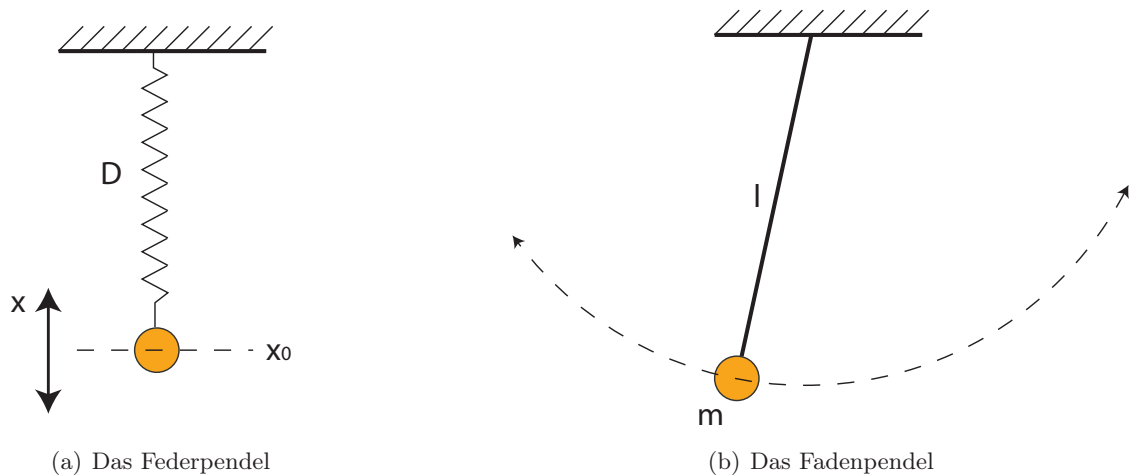


Abbildung 1: Unterschiedliche Pendelarten

**Fadenpendel:** Beim Fadenpendel nehmen wir an dieser Stelle an, dass es sich immer um sogenannte “mathematische Pendel” handelt. Dabei wird vereinfachend davon ausgegangen, dass die Masse  $m$  sich vollständig im Schwerpunkt von  $m$  befindet. Dadurch fallen alle Drehmomente heraus und man kann eine sehr einfache Gleichung für die Schwingungsdauer eines Fadenpendels in Abhängigkeit der Erdbeschleunigung  $g$  und der Fadenlänge  $l$  aufstellen:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad \text{wobei} \quad f = \frac{1}{T}. \quad (2)$$

### Schall in verschiedenen Medien:

Schall überträgt sich in Luft bei  $20^\circ\text{C}$  mit einer Geschwindigkeit von  $343 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Die Schallgeschwindigkeit in Gasen und Flüssigkeiten  $c_g$  ist grundsätzlich abhängig von der Dichte  $\rho$  (und dem Kompressionsmodul  $K = \kappa p$ ):

$$c_g = \sqrt{\frac{K}{\rho}}, \quad (3)$$

bei idealen Gasen hängt sie wie folgt von der Temperatur  $T$  ab:

$$c_g = \kappa \sqrt{\frac{p}{\rho}} = \kappa \sqrt{\frac{RT}{M}}, \quad (4)$$

$\kappa$  ist dabei der Adiabatenexponent des Gases,  $R$  die Ideale Gaskonstante und  $M$  die molare Masse des spezifischen Gases.

Für Luft lässt sich vereinfachend folgende Faustformel finden (zwischen  $-20^\circ\text{C}$  und  $+40^\circ\text{C}$ ):

$$c_{\text{Luft}} \approx (331,5 + 0,6 \vartheta/^\circ\text{C}) \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (5)$$

Die absolute Temperatur in  $K$  wurde hier mittels  $\vartheta/^\circ\text{C} = T/K - 273,15$  in  $^\circ\text{C}$  umgerechnet.

Grundsätzlich ist die Dichte entscheidend für die Schallgeschwindigkeit, allerdings ist zu bemerken, dass die Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten grundsätzlich höher als in Gasen ist. In Wasser gilt z.B. bei  $20^\circ\text{C}$  eine Schallgeschwindigkeit von  $c_W = 1484 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

In Festkörpern sinkt sich die Schallgeschwindigkeit mit steigender Dichte:

$$c_{FK} = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot f(\mu)} \quad (6)$$

Hierbei ist  $E$  das Elastizitätsmodul des Stoffes und  $\mu$  die Poissonzahl;  $f$  ist eine Funktion, die von der Geometrie des Festkörpers abhängen kann.

### Licht in verschiedenen Medien:

Die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum ist konstant und beträgt  $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Im Medium (z.B. Glas) reduziert sich diese Geschwindigkeit  $c_{\text{medium}}$ . Sie beträgt dann abhängig vom Brechungsindex  $n$  dieses Mediums

$$c_{\text{medium}} = \frac{c}{n}. \quad (7)$$

### Wellen, Wellenlänge, Frequenz und Ausbreitungsgeschwindigkeit:

Wellenlänge  $\lambda$ , Frequenz  $f$  und Ausbreitungsgeschwindigkeit  $c$  hängen bei Wellen über folgende Relation zusammen:

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad \text{und} \quad f = \frac{1}{T}. \quad (8)$$

### Sonderfall Photonen:

Photonen können in der Physik als Lichtteilchen beschrieben werden, aber sie besitzen auch Welleneigenschaften. Daher haben sie eine Wellenlänge  $\lambda$  und eine Frequenz  $f$ . Ihre Energie ist jedoch quantisiert, dh. es können nur ganzzahlige Vielfache der Energiemenge  $h \cdot f$  (mit  $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$  Js) vorkommen, und damit auch nur bestimmte Wellenlängen:

$$E = h f \quad \text{wobei} \quad f = \frac{c}{\lambda}. \quad (9)$$

Häufig tritt in diesem Zusammenhang die etwas seltsame Energieeinheit 1 eV auf. Warum diese Einheit recht praktisch ist, wird sich später beim Thema "Elektrische und magnetische Felder" zeigen:

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}. \quad (10)$$

### Beispielaufgabe 1: SS 2004 #18

Gesucht ist die veränderte Schwingungsdauer bei der erhöhten Masse  $m_{\text{neu}} = 40,0 \text{ g} = 2 m_{\text{alt}}$ . Es ist hierfür nicht nötig, die Federkonstante  $D$  zu kennen oder auszurechnen. Die Schwingungsdauer  $T_{\text{alt}} = 0,200 \text{ s}$  ist in der Aufgabenstellung gegeben. Dann gilt für die neue Schwingungsdauer  $T_{\text{neu}}$ :

$$T_{\text{neu}} = 2\pi \sqrt{\frac{m_{\text{neu}}}{D}} = 2\pi \sqrt{\frac{2m_{\text{alt}}}{D}} = \sqrt{2} \cdot 2\pi \sqrt{\frac{m_{\text{alt}}}{D}} = \sqrt{2} \cdot T_{\text{alt}} = 282 \text{ ms} \quad (11)$$

⇒ **Antwort D** "282 ms" ist somit korrekt.

## Beispielaufgabe 2: SS 2006 #23

Eine durchschnittliche Strahlungsleistung der Sonne von  $E_0 = 1367 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 1367 \frac{\text{J}}{\text{s m}^2}$  soll also in Energiequanten von Photonen der Wellenlänge  $\lambda = 500 \text{ nm}$  aufgeteilt werden. Grünes Licht dieser Wellenlänge hat eine Frequenz

$$\nu = f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{500 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 6 \cdot 10^{14} \frac{1}{\text{s}}. \quad (12)$$

Die zu einer bestimmten Frequenz gehörende Energiemenge eines Photons kann man berechnen laut Aufgabenstellung berechnet werden mit

$$E = h\nu = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J s} \cdot 6 \cdot 10^{14} \frac{1}{\text{s}} = 3,96 \cdot 10^{-19} \text{ J}. \quad (13)$$

Teilt man nun die Strahlungsleistung der Sonne  $E_0$  durch diese Zahl, erhält man die Anzahl der Photonen in  $1 \text{ m}^2$  pro Sekunde:

$$\frac{1367 \frac{\text{J}}{\text{s m}^2}}{3,96 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 3,45 \cdot 10^{21} \frac{1}{\text{s m}^2}. \quad (14)$$

⇒ **Antwort A** “ $3,5 \cdot 10^{21} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ” ist somit korrekt.

## Beispielaufgabe 3: SS 2007 #1

Frequenzen zwischen 20 Hz und 20.000 Hz sind vom menschlichen Ohr hörbar. Im Alter nimmt die Obergrenze jedoch deutlich ab. Berechnen wir doch einfach mal die Frequenzen zu den gegebenen Wellenlängen ( $c = 343 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ):

$$f = \frac{c}{\lambda}. \quad (15)$$

Es ergibt sich für die Antwortmöglichkeiten...

- A: 343.000 Hz
- B: 68.600 Hz
- C: 3,43 Hz
- D: 34.300 Hz
- E: 1.715 Hz

Die einzige Wellenlänge, die in diesem Bereich liegt, ist also 1.715 Hz.

⇒ **Antwort E** “20 cm” ist somit korrekt.