

In der Elektrik bilden Schwingungen die Grundlage für die Funktion von Computern und Smartphones. Als erzeugender Vorgang von elektromagnetischen Wellen sind sie auch der Ausgangspunkt von jeder drahtloser Kommunikation. Das Wesen von Schwingungen lernen wir aufgrund der einfachen Beobachtbarkeit aber an mechanischen Schwingungen kennen.

**Nenne Beispiele für erwünschte und unerwünschte Schwingungen aus dem Alltag.**

### 3. Die mechanische Schwingung

#### 3.1 Mechanische Schwingungen und ihre Eigenschaften

Erwünschte Schwingungen	Unerwünschte Schwingungen
<p>Schaukel</p> <p>Feder- / Fadennudel</p> <p>Schwingende Saiten bei Instrumenten</p> <p>Pendel einer Uhr</p> <p>⋮</p>	<p>Schwingung eines Fahrzeugs auf unebener Fahrbahn</p> <p>Erdbeben</p> <p>⋮</p>

Unter einer **Schwingung** versteht man in der Physik eine zeitlich periodische Bewegung eines Körpers um seine Gleichgewichtslage (Ruhelage).

Man unterscheidet

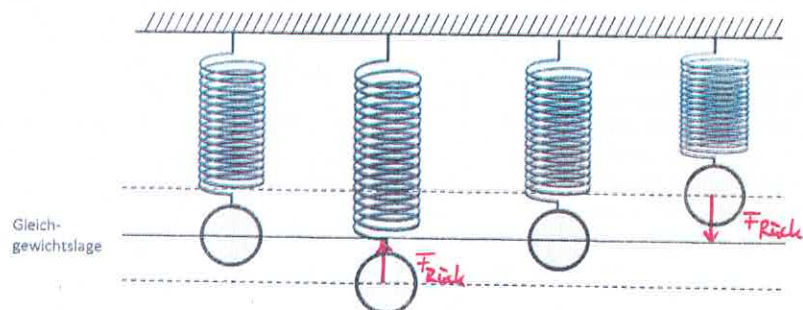
- ungedämpfte Schwingungen, bei denen der Ausgangspunkt immer wieder erreicht wird und
- gedämpfte Schwingungen (z.B. mit Luftreibung), bei denen die Auslenkung mit der Zeit abnimmt und sie nach einer endlichen Zeit ausklingen.

#### Vorraussetzung für eine Schwingung:

Damit ein Körper eine Schwingung vollführen kann müssen verschiedene Voraussetzungen erfüllt sein.

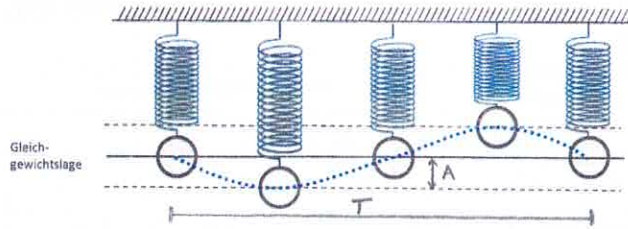
- ein schwingungsfähiger Körper muss vorhanden sein.
- der Körper muss durch eine Kraft aus seiner Ruhelage / Gleichgewichtslage ausgelenkt worden sein.
- eine in Richtung zur Gleichgewichtslage rücktreibende Kraft  $F_{\text{rück}}$  muss vorhanden sein.

**Zeichne die rücktreibende Kraft in den einzelnen Situationen ein.**



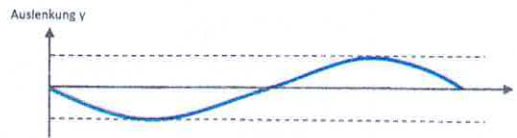
## Charakteristische Größen einer Schwingung

Betrachtet man die Schwingung eines Federpendels genauer, so erkennt man, dass es periodisch zwischen zwei Umkehrpunkten um die Gleichgewichtslage hin und her schwingt. Dabei ergeben sich charakteristische Größen für Schwingungen.



- Die Entfernung des schwingenden Körpers von der Ruhelage (Gleichgewichtslage) bezeichnet man als Auslenkung (Elongation)  $y = y(t)$ .
- Die maximale Auslenkung  $y_{\max}$  aus der Ruhelage bis zum Umkehrpunkt bezeichnet man als Amplitude A.
- Die Zeit für eine Vollschiwingung bezeichnet man als Schwingungs- oder Periodendauer.
- Unter der Frequenz  $f$  einer Schwingung versteht man den Quotienten aus der Anzahl  $n$  der Vollschiwingungen und der dazu benötigten Zeit  $t$ , d.h.  $f = \frac{n}{t}$   
Einheit:  $[f] = \frac{1}{s} = 1 \text{ Hz}$
- Für eine Vollschiwingung ( $n=1$ )  $t=T$  gilt:  $f = \frac{1}{T}$

Trägt man die Auslenkung des Pendelkörpers in Abhängigkeit von der Zeit auf, so ergibt sich beim Federpendel eine Sinuskurve.



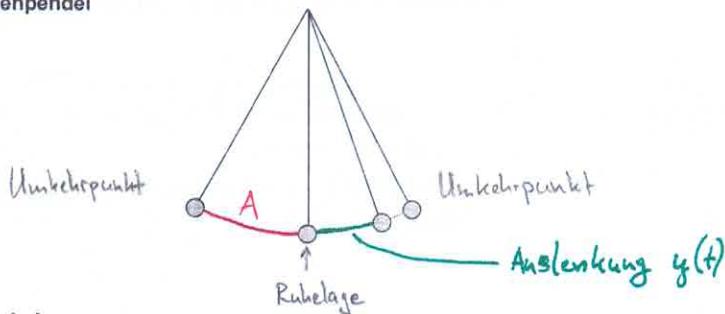
Ist der Graph im t-s-Diagramm eine Sinuskurve, so spricht man von einer harmonischen Schwingung.

Dabei ist die rücktreibende Kraft direkt proportional und entgegengerichtet zur Auslenkung.

## Training

### Fadenpendel

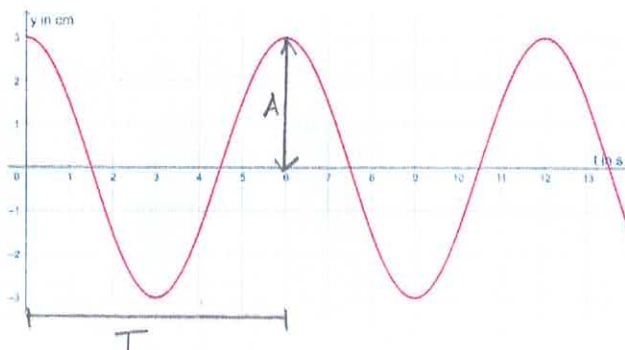
Trage die die Größen der mechanischen Schwingung in die Abbildung ein.



## Training

Gegeben ist das folgende t-y-Diagramm einer harmonischen Schwingung.

- Bestimme die Schwingungsdauer, Frequenz und Amplitude der Schwingung.
- Bestimme die Elongation zum Zeitpunkt  $t = 5,0 \text{ s}$  und gib zwei weitere Zeitpunkte an, bei denen die Elongation den gleichen Wert hat.



$$\begin{aligned} a) \quad T &= 6 \text{ s} \\ A &= 3 \text{ cm} \\ f &= \frac{1}{T} = 0,17 \text{ Hz} \end{aligned}$$

### Selbst-Check:

- Was ist eine Schwingung?
- Voraussetzungen für eine Schwingung
- Größen einer Schwingung
- Harmonische Schwingung

$$\begin{aligned} b) \quad y(5,0 \text{ s}) &= 1,5 \text{ cm} \\ \text{z.B.: } t_1 &= 1,0 \text{ s}, \quad t_2 = 7,0 \text{ s} \end{aligned}$$

In der Elektrik bilden Schwingungen die Grundlage für die Funktion von Computern und Smartphones. Als erzeugender Vorgang von elektromagnetischen Wellen sind sie auch der Ausgangspunkt von jeder drahtloser Kommunikation. Das Wesen von Schwingungen lernen wir aufgrund der einfachen Beobachtbarkeit aber an mechanischen Schwingungen kennen.

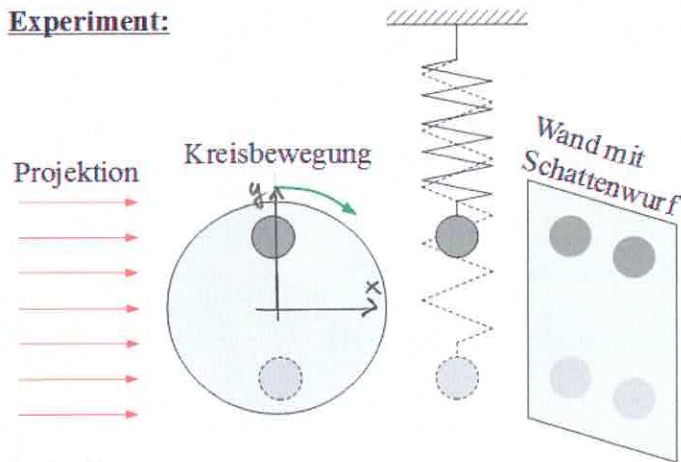
Im Experiment lassen wir ein Massenstück an einer Schraubenfeder auf- und abspringen. Daneben dreht sich eine Kreisscheibe mit konstanter Geschwindigkeit, auf deren Rand eine Holzkugel befestigt ist. Durch Projektion können wir die beiden Bewegungen vergleichen.

**Beschreibe Deine Beobachtung hierbei. Erläutere, wie dies für die Analyse der Schwingung genutzt werden kann.**

### 3.2 Bewegungsgleichungen

#### Vergleich von Schwingung und Kreisbewegung:

##### Experiment:



##### Beobachtung:

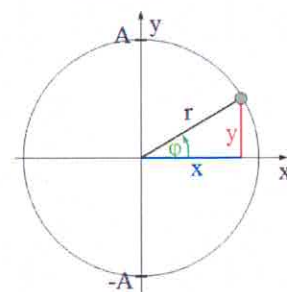
Die beiden Schatten bewegen sich synchron.

##### Folgerung:

Die Holzkugel auf der Kreisscheibe bewegt sich in y-Richtung genauso wie der Pendelkörper.

Wir betrachten jeweils die y-Komponente der Kreisbewegung, die der y-Komponente der Schwingung entspricht. **Gib die Ortskoordinate  $y(t)$  mit Hilfe abhängig vom Winkel an, führe dann über den Winkel die Zeitabhängigkeit ein.** Statt dem Buchstaben  $r$  verwendet man bei der Schwingung  $A$  (Amplitude).

##### Zeit-Auslenkungs-Gleichung $y(t)$ :



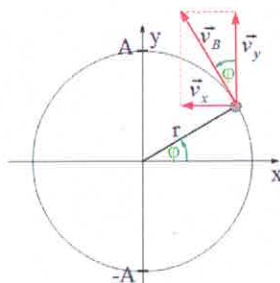
$$y = r \cdot \sin \varphi \quad \varphi = \omega \cdot t$$

$$y = r \cdot \sin(\omega t)$$

$$y(t) = A \cdot \sin(\omega t)$$

**Wiederhole Dein Vorgehen für die Geschwindigkeitskomponente  $v_y$ . Nutze dabei die Zeichnung. Verwende geeignete Formeln aus der Kreisbewegung.**

##### Zeit-Geschwindigkeits-Gleichung $v(t)$ :



Beachte:  $\omega$  kann man aus  $T$  ausrechnen  
 $\omega = \frac{2\pi}{T}$

$v_B$  ist tangential zum Kreis  
 $v_B = r \cdot \omega$

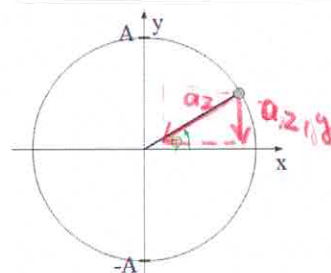
$$\text{Zerlegung: } v_y = v_B \cdot \cos \varphi$$

$$v_y = r \omega \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

$$v(t) = A \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

Für die Beschleunigung nutzen wir unser Wissen über die Zentripetalkraft. **Betrachte auch hier wieder die y-Komponente und leite die Gleichung dafür her.**

##### Zeit-Beschleunigungs-Gleichung $a(t)$ :



$$F_z = m \omega^2 r$$

$$\rightarrow a_z = \frac{F_z}{m} = \omega^2 r$$

$$a_{z,y} = -a_z \cdot \sin \varphi$$

$$a(t) = -\omega^2 r \sin(\omega \cdot t)$$

$$a(t) = -A \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t)$$



Beachte:

Die verwendeten Winkelfunktionen hängen stets vom Start der Bewegung ab.

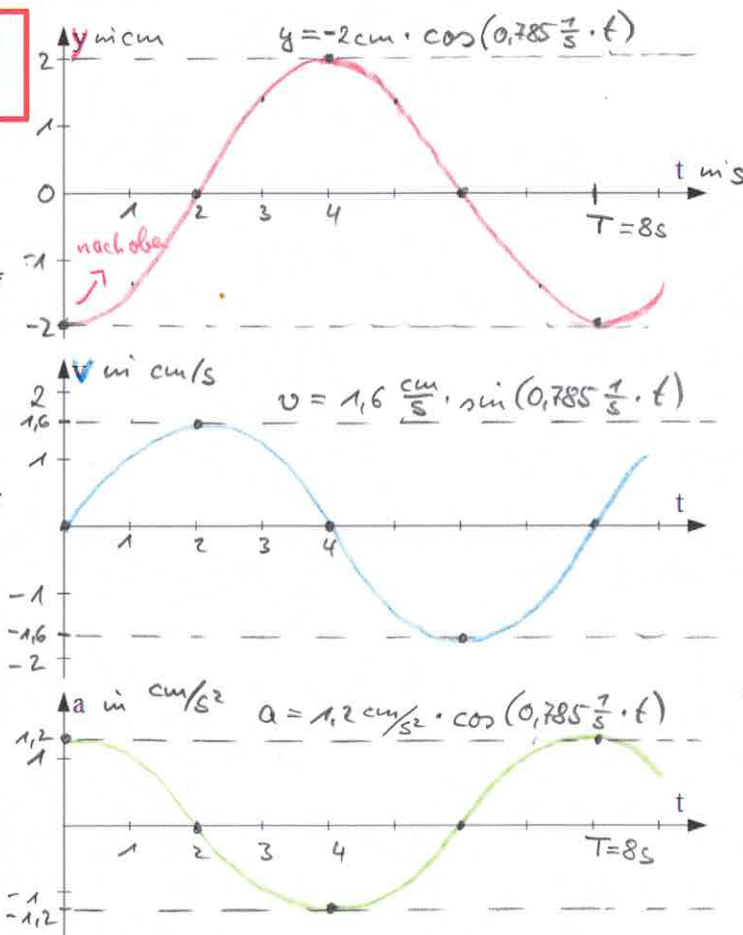
Ein Federpendel wird aus der Ruhelage um 2 cm nach unten gezogen und dann losgelassen. Es schwingt dann mit einer Periodendauer von 8,0 s.

a) Zeichne den zeitlichen Verlauf der Auslenkung  $y(t)$  und stelle die Bewegungsgleichung dafür auf.

b) Leite aus a) den Verlauf der Geschwindigkeitskurve ab. Formuliere auch die Gleichung hierfür.

c) Wiederhole Dein Vorgehen für die Beschleunigung  $a(t)$ .

### Musteraufgabe:



$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{8 \text{ s}} = 0,785 \frac{1}{\text{s}}$$

$$v_{\text{max}} = A \cdot \omega = 2 \text{ cm} \cdot 0,785 \frac{1}{\text{s}} = 1,6 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$a_{\text{max}} = A \cdot \omega^2 = 2 \text{ cm} \cdot (0,785 \frac{1}{\text{s}})^2 = 1,2 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$$

$a(t)$  gegenläufig zu  $y(t)$ !

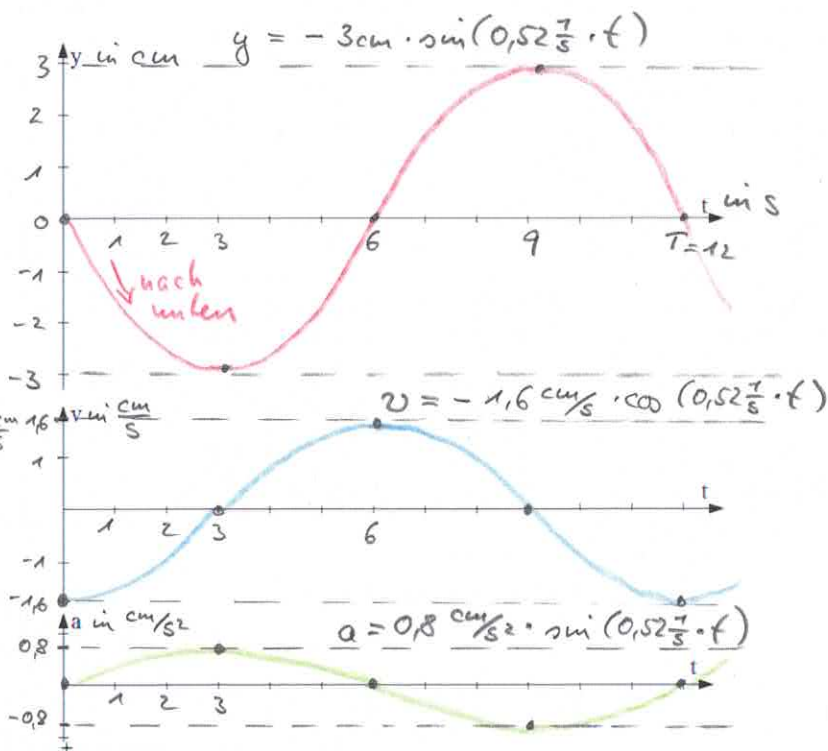
Wiederhole die vorige Aufgabe mit folgenden Daten: Die Schwingdauer beträgt 12 s, die Auslenkung 3 cm. Das Pendel startet aus der Ruhelage durch kurzes Anstupsen nach unten.

### Training:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{12 \text{ s}} = 0,52 \frac{1}{\text{s}}$$

$$v_{\text{max}} = A \cdot \omega = 3 \text{ cm} \cdot 0,52 \frac{1}{\text{s}} = 1,6 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$a_{\text{max}} = A \cdot \omega^2 = 3 \text{ cm} \cdot (0,52 \frac{1}{\text{s}})^2 = 0,8 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$$



### Selbst-Check:

- Vergleich Schwingung und Kreisbewegung
- Bewegungsgleichungen für Schwingung
- Diagramme der Bewegungsgleichungen
- Startbedingung

### Übungsmöglichkeiten:

Zwei Tests sowie passende Aufgaben zu diesem und dem nächsten Kapitel gibt's auf Leifiphysik unter Teilgebiet Mechanik - Mechanische Schwingungen - Harmonische Schwingungen. Auch hier reichen wieder die leichten (grünen).

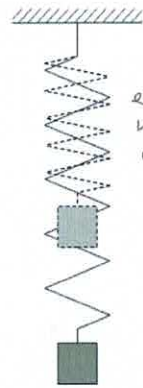
Stoppuhr für Schüler!

In diesem Experiment untersuchen wir den Zusammenhang zwischen der Masse  $m$  des Pendelkörpers und der Periodendauer  $T$  der Schwingung (Schwingungsdauer). Zur Verbesserung der Messgenauigkeit stoppen wir die Zeit für 10 volle Schwingungen und teilen diese durch 10.

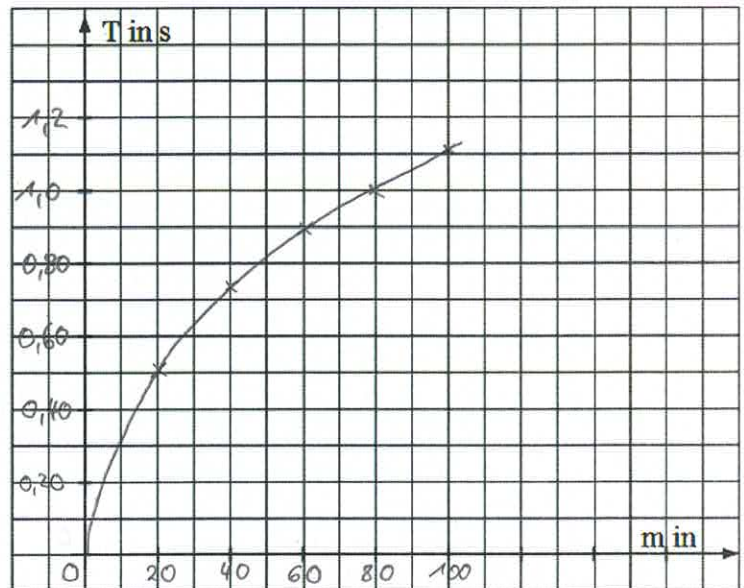
Zeichne ein  $m$ - $T$ -Diagramm und interpretiere die Form des Graphen. Überprüfe Deine Vermutung durch Berechnung einer geeigneten 3. Zeile in der Messtabelle.

### 3.3 Periodendauer der Schwingung

Experiment: Periodendauer und Masse des Federpendels



$m$ in g	20	40	60	80	100
$T$ in s	0,51	0,73	0,89	1,03	1,15
$T^2$ in $s^2$	0,26	0,53	0,79	1,06	1,32



Federhärte der verwendeten Feder:

$$D = 3,0 \text{ N/m}$$

Ergebnis:

Der Graph zeigt eine Wurzelfunktion  
Tabelle:  $T^2 \sim m \rightarrow T \sim \sqrt{m}$

5.2 Periodendauer der Schwingung

1

In diesem Experiment vergleichen wir die Schwingungsdauern an zwei unterschiedlichen Federn (Federhärte  $D$ ) bei gleichen Massen.

Beschreibe den Einfluss der Federhärte auf die Schwingungsdauer.

Untersuche den Zusammenhang dann quantitativ genauer.

Beide Experimente lassen sich zu einer gemeinsamen Formel zusammenführen.

Experiment: Einfluss der Federhärte  $D$  auf die Schwingungsdauer

Masse des Pendelkörpers:  $m = 100 \text{ g}$   $\rightarrow 3,3$

$D$ in N/m	3,0	10
$T$ in s	1,1	0,6
$T^2$ in $s^2$	1,2	0,36

Beobachtung:

Ist die Federhärte 3,3-mal so groß, so wird  $T^2$  durch 3,3 geteilt.

Ergebnis:

$$T^2 \sim \frac{1}{D} \rightarrow T \sim \sqrt{\frac{1}{D}}$$

Zum virtuellen Experimentieren rund um diese Formel gibt es eine schöne Simulation auf der Seite der University of Colorado in Boulder

(phet.colorado.edu/de/simulations findest Du auch leicht mit den Suchbegriffen "phet simulation"). Sie heißt "Massen und Federn" und läuft als html5-Datei in jedem Browser.

Zusammenführung der beiden Experimente:

$$\left. \begin{array}{l} T \sim \sqrt{m} \\ T \sim \sqrt{\frac{1}{D}} \end{array} \right\} T \sim \sqrt{m} \cdot \sqrt{\frac{1}{D}} = \sqrt{\frac{m}{D}} \rightarrow T = \text{const.} \cdot \sqrt{\frac{m}{D}}$$

hier const. =  $2\pi$   $\rightarrow T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{D}}$

Beachte:

Grundeinheiten verwenden  $[m] = \text{kg}$ ,  $[D] = \frac{\text{N}}{\text{m}}$   
Messergebnisse sind konsistent zur Berechnung mit Formel

5.2 Periodendauer der Schwingung

2



Ein Pendelkörper der Masse 200 g hängt an einer Feder der Härte 20 N/m. Aus seiner Ruhelage hebt man den Pendelkörper um 5,0 cm nach oben und lässt ihn dann los.

a) Beschreibe die Bewegung des Pendelkörpers.  
b) Berechne die Periodendauer der Schwingung.  
c) Berechne seine maximale Geschwindigkeit und Beschleunigung.  
d) Zeichne die zeitabhängigen Diagramme für Auslenkung, Geschwindigkeit und Beschleunigung und gib auch deren Funktionsterme unter Verwendung der Zahlenwerte an. Achte dabei auf die Startsituation

### Musteraufgabe: (abc), Training

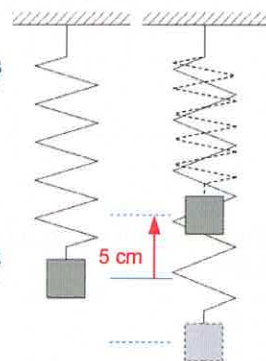
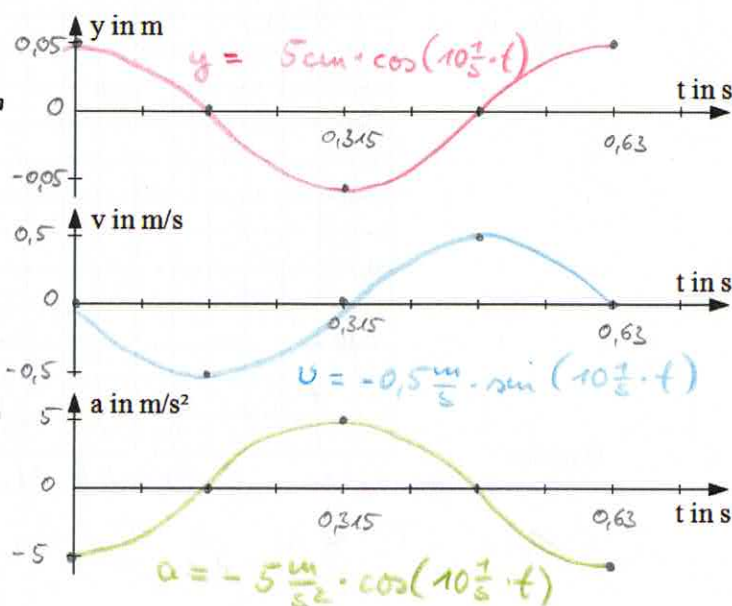
a) Der Pendelkörper schwingt auf und ab. Er wird dabei periodisch schneller und langsamer und wechselt die Richtung.

$$b) T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{D}} = 2\pi \sqrt{\frac{0,2 \text{ kg}}{20 \frac{\text{N}}{\text{m}}}} = 0,63 \text{ s}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{0,63 \text{ s}} = 10 \frac{1}{\text{s}}$$

$$c) v_{\max} = A \cdot \omega = 0,05 \text{ m} \cdot 10 \frac{1}{\text{s}} = 0,50 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$a_{\max} = A \cdot \omega^2 = 0,05 \text{ m} \cdot (10 \frac{1}{\text{s}})^2 = 5,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$



Diese Aufgabe stammt vom ISB Bayern zur Umsetzung des Physik-Lehrplanes. Du übst hier, in einer noch unbekannten Situation.

Die Schwingungsdauer  $T$  eines Fadenpendels kann man mithilfe der angegebenen Formel berechnen. Dabei ist  $l$  die Fadenlänge und  $g$  die Fallbeschleunigung.

a) Berechne die Schwingungsdauer  $T$  eines Pendels der Länge  $l = 25 \text{ cm}$  in Bayern ( $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ ).

b) Wie lang ist ein Sekundenpendel ( $T = 1,0 \text{ s}$ ) auf dem Mond (Fallbeschleunigung dort  $g_{\text{mo}} = 1,6 \text{ m/s}^2$ )?

c) Du beobachtest (in Bayern) ein Sekundenpendel, das in einem Aufzug hängt. Der Aufzug steht zunächst im Erdgeschoss, fährt dann aber ins 3. OG und dann wieder hinunter. Bearbeite die Tabelle.

### Training: Fadenpendel

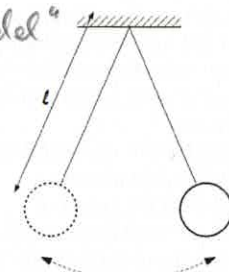
$$a) T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{0,25 \text{ m}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} = 1,0 \text{ s}$$

$$b) T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$\frac{T}{2\pi} = \sqrt{\frac{l}{g}} \quad |^2$$

$$\frac{l}{g} = \frac{T^2}{4\pi^2} \quad | \cdot g$$

$$l = \frac{T^2}{4\pi^2} \cdot g = \frac{(1,0 \text{ s})^2}{4\pi^2} \cdot 1,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 0,04 \text{ m} = 4,1 \text{ cm}$$



$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Die Schwingungsdauer $T$ ist ... wie vor dem Losfahren.	größer	gleich	kleiner
1. Der Aufzug beschleunigt nach oben.			X
2. Der Aufzug fährt mit konstanter Geschwindigkeit.		X	
3. Der Aufzug bremst ab.	X		
4. Der Aufzug steht.		X	
5. Der Aufzug beschleunigt nach unten.	X		
6. Der Aufzug fährt mit konstanter Geschwindigkeit hinunter.		X	
7. Der Aufzug bremst ab.			X

### Selbst-Check:

- Masse und Schwingungsdauer
- Federhärte und Schwingungsdauer
- gesamte Formel
- Fadenpendel

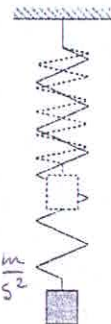
### Übungsmöglichkeiten:

Zum Thema gibt es zwei Leifitests unter Teilgebiet Mechanik - Mechanische Schwingungen - Federpendel. Alle anderen Aufgaben in diesem Bereich liegen schon zumeist außerhalb unserer Betrachtungen.

### 3.4 Übungsaufgaben zu Schwingungen

An eine Feder wird ein Massestück ( $m = 50 \text{ g}$ ) gehängt. Dadurch wird die Feder um etwa  $4,00 \text{ cm}$  gestreckt. Die Feder hat eine Federkonstante von  $12,5 \text{ N/m}$ . Die Masse der Feder ist zu vernachlässigen. Zu Beginn wird das Massestück so weit angehoben, dass die Feder wieder ihre ursprüngliche Länge hat. Danach wird es losgelassen und es erfolgt eine harmonische Schwingung.

- Berechne die Schwingungsdauer  $T$ .
- Bestimme die maximale Geschwindigkeit und Beschleunigung des Massestücks.
- Zeichne die zeitabhängigen Diagramme für Auslenkung, Geschwindigkeit und Beschleunigung und gib auch deren Funktionsterme unter Verwendung der Zahlenwerte an.

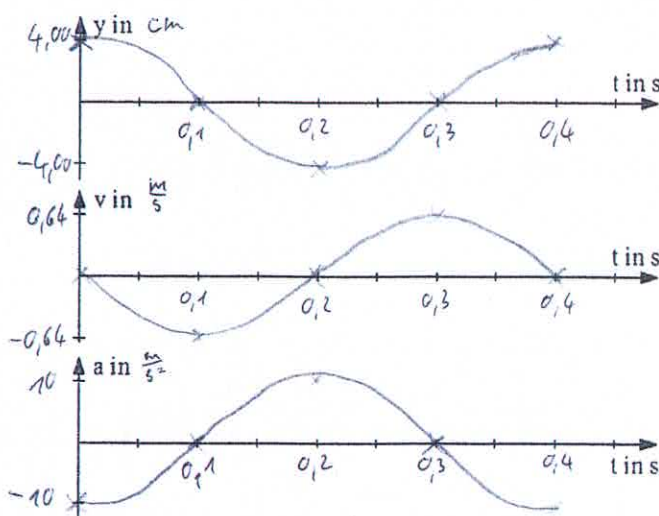


$$a) T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{D}} = 2\pi \sqrt{\frac{0,050 \text{ kg}}{12,5 \text{ N/m}}} = 0,40 \text{ s}$$

$$b) v_{\max} = A \cdot \omega = 4,00 \text{ cm} \cdot 16 \frac{1}{\text{s}} = 64 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 0,64 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{0,40 \text{ s}} = 16 \frac{1}{\text{s}}$$

$$a_{\max} = A \cdot \omega^2 = 4,00 \text{ cm} \cdot \left(16 \frac{1}{\text{s}}\right)^2 = 1024 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$



$$y(t) = 4,00 \text{ cm} \cdot \cos\left(16 \frac{1}{\text{s}} \cdot t\right)$$

$$v(t) = -0,64 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \sin\left(16 \frac{1}{\text{s}} \cdot t\right)$$

$$a(t) = -10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \cos\left(16 \frac{1}{\text{s}} \cdot t\right)$$

3.4 Übungsaufgaben zu Schwingungen

1

Ein Fadenpendel mit Massestück ( $m = 67,2 \text{ g}$ ) hat eine Schnurlänge von  $65,0 \text{ cm}$ . Es wird mit einem Stoß aus seiner Ruhelage ausgelenkt. Direkt nach dem Stoß hat es eine Geschwindigkeit von  $0,590 \text{ m/s}$ .

- Berechne die Schwingungsdauer  $T$ .
- Bestimme die maximale Auslenkung und Beschleunigung des Massestücks.
- Zeichne die zeitabhängigen Diagramme für Auslenkung, Geschwindigkeit und Beschleunigung und gib auch deren Funktionsterme unter Verwendung der Zahlenwerte an.

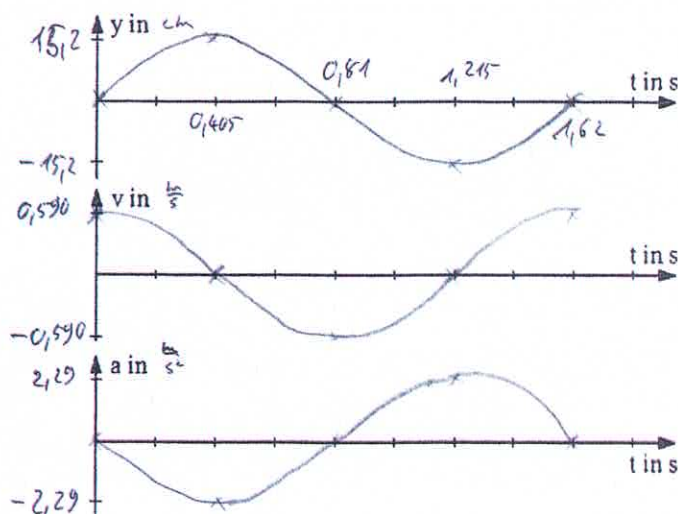
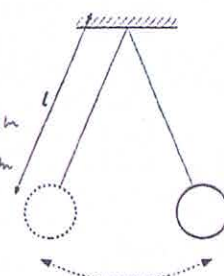
$$a) T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{0,650 \text{ m}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} = 1,62 \text{ s}$$

$$b) v_{\max} = 0,590 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_{\max} = A \cdot \omega \rightarrow A = \frac{v_{\max}}{\omega} = \frac{0,590 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{3,88 \frac{1}{\text{s}}} = 0,152 \text{ m}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{1,62 \text{ s}} = 3,88 \frac{1}{\text{s}}$$

$$a_{\max} = A \cdot \omega^2 = 0,152 \text{ m} \cdot \left(3,88 \frac{1}{\text{s}}\right)^2 = 2,29 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$



$$y(t) = 15,2 \text{ cm} \cdot \sin\left(3,88 \frac{1}{\text{s}} \cdot t\right)$$

$$v(t) = 0,590 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \cos\left(3,88 \frac{1}{\text{s}} \cdot t\right)$$

$$a(t) = -2,29 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \sin\left(3,88 \frac{1}{\text{s}} \cdot t\right)$$

3.4 Übungsaufgaben zu Schwingungen

2



An einer Feder hängt ein Massestück ( $m = 120 \text{ g}$ ). Das Massestück erfährt eine Kraft von  $0,475 \text{ N}$  und wird dadurch um  $15,0 \text{ cm}$  nach unten aus seiner Ruhelage ausgelenkt. Dann erfolgt eine harmonische Schwingung.

- Bestimme die Schwingungsdauer  $T$ .
- Berechne die maximale Geschwindigkeit.
- Stelle die Bewegungsgleichungen unter Verwendung der Zahlenwerte auf.

$$a) F = m \cdot a \rightarrow a = \frac{F}{m} = \frac{0,475 \text{ N}}{0,120 \text{ kg}} = 3,96 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = a_{\text{max}}$$

$$a_{\text{max}} = A \cdot \omega^2 \rightarrow \omega = \sqrt{\frac{a_{\text{max}}}{A}} = \sqrt{\frac{3,96 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0,150 \text{ m}}} = 5,14 \frac{1}{\text{s}}$$

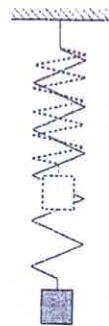
$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{5,14 \frac{1}{\text{s}}} = 1,22 \text{ s}$$

$$b) v_{\text{max}} = A \cdot \omega = 0,150 \text{ m} \cdot 5,14 \frac{1}{\text{s}} = 0,771 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$c) y(t) = -15,0 \text{ cm} \cdot \sin(5,14 \frac{1}{\text{s}} \cdot t)$$

$$v(t) = -0,771 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \cos(5,14 \frac{1}{\text{s}} \cdot t)$$

$$a(t) = 3,96 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \sin(5,14 \frac{1}{\text{s}} \cdot t)$$



#### 3.4 Übungsaufgaben zu Schwingungen

3

Ein Trampolin besteht aus vier gleichen Federn und einer Platte, ohne nennenswerte Masse.

Wenn sich eine Versuchsperson mit der Masse  $60,0 \text{ kg}$  auf die Mitte der Platte stellt, so kommt die Platte in einer um  $25 \text{ cm}$  tiefer liegenden Gleichgewichtslage zur Ruhe.

a) Berechne die Federkonstante  $D$  der gesamten Anordnung.

Wird die Platte um weitere  $25 \text{ cm}$  nach unten gedrückt und dann zum Zeitpunkt  $t = 0 \text{ s}$  losgelassen, so führt das System vertikale Schwingungen aus.

b) Berechne die Schwingungsdauer  $T$  und stelle die Bewegungsgleichungen unter Verwendung der Zahlenwerte auf.

Während die Versuchsperson mit maximaler Geschwindigkeit durch die Gleichgewichtslage nach oben schwingt, wird ein zweiter Körper mit gleicher Masse und gleicher Geschwindigkeit neben dem Trampolin nach oben geworfen.

c) Beschreibe wie sich die Geschwindigkeiten der Körper zueinander verhalten, bis die Geschwindigkeit der Versuchsperson zum ersten Mal wieder Null beträgt.

$$a) F_G = m \cdot g = 60,0 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 589 \text{ N}$$

$$F = D \Delta s$$

$$\rightarrow D = \frac{F}{\Delta s} = \frac{589 \text{ N}}{0,25 \text{ m}} = 2,4 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$b) T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{D}} = 2\pi \sqrt{\frac{60,0 \text{ kg}}{2400 \frac{\text{N}}{\text{m}}}} = 0,99 \text{ s}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{0,99 \text{ s}} = 6,3 \frac{1}{\text{s}}$$

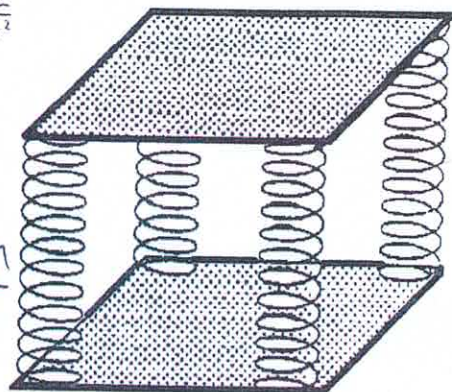
$$y(t) = -0,25 \text{ m} \cdot \cos(6,3 \frac{1}{\text{s}} \cdot t)$$

$$v(t) = 1,6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \sin(6,3 \frac{1}{\text{s}} \cdot t)$$

$$a(t) = 9,9 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \cos(6,3 \frac{1}{\text{s}} \cdot t)$$

$$v_{\text{max}} = A \cdot \omega = 0,25 \text{ m} \cdot 6,3 \frac{1}{\text{s}} = 1,6$$

$$a_{\text{max}} = A \cdot \omega^2 = 0,25 \text{ m} \cdot (6,3 \frac{1}{\text{s}})^2 = 9,9 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$



c) Die Geschwindigkeit des frei fliegenden Körpers (Körper 2) nimmt schnell und linear durch die gleich bleibende Schwerkraft ab. Auf die Person wirkt neben der Schwerkraft die Kraft der Federn, die der Schwerkraft entgegenwirkt. Dadurch wirkt weniger Kraft, die Geschwindigkeit nimmt langsamer ab.