5. Klausur Physik Leistungskurs

Schwingungen

16. 9. 2025, Dauer: 90 min

Hilfsmittel: IQB-Tafelwerk, Taschenrechner

1. Welche Aussagen sind richtig, welche falsch? (5)

a) Die Schwingungsdauer eines Fadenpendels hängt nicht von der Fadenlänge ab.

b) Ein Fadenpendel schwingt umso schneller, je leichter der Pendelkörper ist.

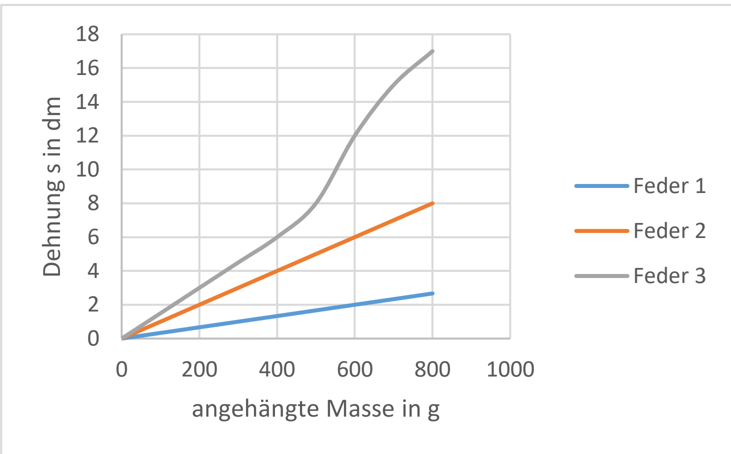
c) Eine lange Feder schwingt langsamer als eine kurze Feder.

d) Eine harte Feder führt in der gleichen Zeit mehr Schwingungen durch als eine weiche Feder, wenn an beiden die gleiche Masse hängt.

e) Die Amplitude der Schwingung eines Fadenpendels ist proportional zur Wurzel der Länge des Fadens ab.

2. Zur Dekoration in einer Spielzeugabteilung soll ein Holzdrache zum Einsatz kommen, der an einer Schraubenfeder vertikal harmonisch schwingt und dessen Flügel dabei in Bewegung versetzt werden. Der Drache hat eine Masse von 500 g. Betrachten Sie den Drachen zunächst als Massepunkt.

Als Ruhelage y = 0 des Schwingers wird der Punkt betrachtet, in dem der Drache an der Feder hängt, ohne zu schwingen. Die Masse der Feder wird vernachlässigt. Im Diagramm wurde für drei Federn die Abhängigkeit der Verlängerung von der anhängenden Masse grafisch dargestellt.



a) Begründen Sie, dass Feder 1 und 2 grundsätzlich für den Drachen verwendet werden können, Feder 3 jedoch nicht verwendet werden sollte. (4)

b) Berechnen Sie die Federkonstanten für Feder 1 und 2. (3)

c) Der Drache soll eine möglichst große Schwingungsdauer haben, damit seine Bewegung deutlich sichtbar ist.

Prüfen Sie, welche der Federn 1 oder 2 sich in dieser Hinsicht besser eignet.

Begründen Sie Ihre Antwort. (2)

Verwenden Sie für weitere Berechnungen die Feder 2 mit $D_2 = 10\,\frac{\text{N}}{\text{m}}$. Die Dämpfung der Drachenschwingung wird zunächst vernachlässigt.

d) Der Drache wird zu Beginn um 5 cm nach unten ausgelenkt und dann losgelassen. Berechnen Sie die **Position** des Drachens und seine **Bewegungsrichtung** 10 s nach dem ersten Nulldurchgang. (5)

e) Berechnen Sie die maximale Geschwindigkeit des Drachens während seiner Bewegung. (2)

f) Der Drache soll als Blickfang dienen und daher ununterbrochen schwingen. Dafür wird ein Motor eingesetzt, der bei jeder Umdrehung die Aufhängung der Feder kurz nach oben beschleunigt.
Geben Sie an, bei welcher Drehzahl (in Umdrehungen je Minute) der Drache seine maximale Amplitude erreicht. Begründen Sie Ihre Aussage. (4)

g) Der Motor hat eine Fernbedienung, mit der man ihn über ein elektromagnetisches Signal von 2,4 GHz an- und ausschalten und die Drehzahl regeln kann.
Zum Empfang dieser Frequenz wird ein Schwingkreis benötigt.

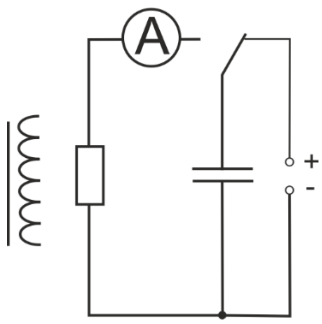
Bestimmen Sie rechnerisch eine Kombination von Induktivität und Kapazität, mit der diese Frequenz empfangen werden kann. (2)

Folgende Bauteile stehen dafür zur Verfügung:

Kondensatoren: C1 = 100 pF, C2 = 500 nF, C3 = 1 pF

Spulen: L1 = 4,4 nH, L2 = 50 µH, L3 = 1 mH

3. Ein geladener Kondensator wird in einem ersten Versuch mit einem ohmschen Widerstand, in einem zweiten Versuch mit einer idealen Spule verbunden: Der Entladevorgang beginnt jeweils zur Zeit t=0s.
a) Skizzieren Sie qualitativ für jeden Versuch das I(t)-Diagramm. Geben Sie jeweils die vorkommenden Energieumwandlungen an. (4)
b) Ermitteln Sie für beide Versuche jeweils die maximale Stromstärke. (4)
Es gilt:



- Kapazität des Kondensators: 10 µF
- Spannung am vollgeladenen Kondensator: 20 V
- Widerstand im ersten Versuch: 1,0 kOhm
- Induktivität im zweiten Versuch: 100 mH

Lösungen

1.
a) falsch
b) falsch
c) falsch
d) richtig
e) falsch

2. a) Laut Aufgabenstellung soll der Drachen harmonisch schwingen. Das sieht einfach besser aus.
Damit er harmonisch schwingt, muss die rücktreibende Kraft proportional zur Auslenkung der Feder sein. (lineares Kraftgesetz)
Das ist bei Feder 1 und 2 der Fall. Über die gesamte Ausdehnung ist die Ausdehnung proportional zur Masse.
Bei Feder 3 ist das bis zur Masse von 500 g auch der Fall. Im oberen Bereich, den die Feder auf Grund der Schwingung ja auch erreichen wird, liegt aber keine Proportionalität vor. Die Feder dehnt sich bei steigender Belastung deutlich mehr aus als bei geringer Belastung.

b) Man sucht sich aus dem Diagramm Werte heraus, die man gut ablesen kann. Das liegt z.B. bei der Masse von 600 g vor. Bei der 1. Feder ist die Ausdehnung 2 dm groß und bei der 2. Feder 6 dm. Damit können die Federkonstanten berechnet werden.
Die Federkonstante ist das Verhältnis zwischen der wirkenden Kraft und der daraus resultierenden Ausdehnung.

$$D = \frac{F}{s}$$

Die Kraft ist in diesem Fall die Gewichtskraft der angehängten Masse.

$$D = \frac{F}{s_1}$$

$$D_1 = \frac{m \cdot g}{s_1}$$

$$D_1 = \frac{0{,}6\,\mathrm{kg} \cdot 9{,}81\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}}{0{,}2\,\mathrm{m}}$$

$$D_1 = 29{,}43\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}}$$

Die zweite Feder dehnt sich bei der gleichen Kraft, also gleichen Masse, um das Dreifache aus. Damit ist ihre Federkonstante nur ein Drittel so groß wie bei Feder 1.

$$D_2 = 9{,}81\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}}$$

c)
Die Schwingungsdauer einer Feder berechnet sich mit

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{D}}$$

Der Wunsch ist es, das die Schwingungsdauer möglichst groß ist. Das heißt, die Federkonstante sollte möglichst klein sein. D steht in der Gleichung unter dem Bruchstrich. Damit wird T immer größer, je kleiner D wird.
Es ist also die Feder 2 geeignet.
Die Feder ist im Vergleich zu Feder 1 weicher und schwingt dadurch langsamer.

d) Es wird die momentane Auslenkung (Elongation) 10 s nach dem Nulldurchgang gesucht.
Zwischen der Elongation und der Zeit gilt:

$$y = y_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

Die Kreisfrequenz ergibt sich aus der Frequenz der Schwingung:

$$\omega = 2\cdot\pi\cdot f$$

Die Frequenz erhält man aus der Schwingungsdauer und die kann aus Masse und Federkonstante bestimmt werden.

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = \frac{1}{2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m}{D}}}$$

$$f = \frac{1}{2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{0{,}5\,kg}{10\,\frac{N}{m}}}}$$

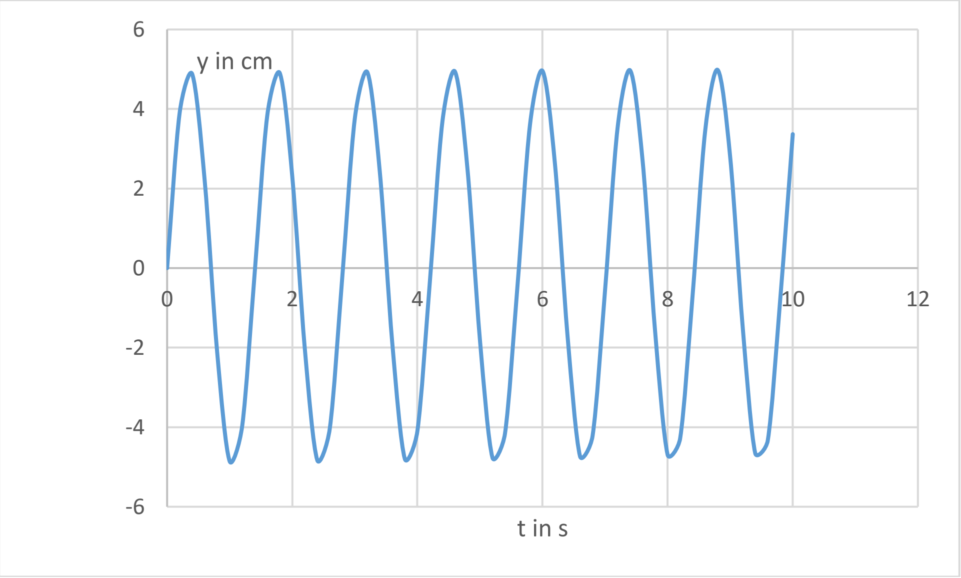
$$f = 0{,}71 s^{-1}$$

Damit kann die gesuchte Elongation bestimmt werden (TR auf Radiant stellen!):

$$y = 5\,cm\cdot\sin\left(2\cdot\pi\cdot 0{,}71 s^{-1}\cdot 10\,s\right)$$

$$y = 3{,}37\,cm$$

Das ist der Abstand von der Ruhelage. Der Drachen befindet sich 3,37 cm oberhalb der Gleichgewichtslage.
Aber in welcher Richtung bewegt er sich?
Dazu könnte man sich das y(t)-Diagramm zeichnen oder zeichnen lasse (GTR, Tabellenkalkulation)



Man sieht schön, dass sich nach 10 s der Drachen vom Ruhepunkt weg, also nach oben bewegt.
Es lässt sich aber auch über das Vorzeichen der Geschwindigkeit eine Aussage über die Bewegungsrichtung machen. Ist das Vorzeichen positiv, bewegt sich der Drachen vom Ruhepunkt weg, ist es negativ, bewegt er sich hin.
Die Geschwindigkeit berechnet sich mit

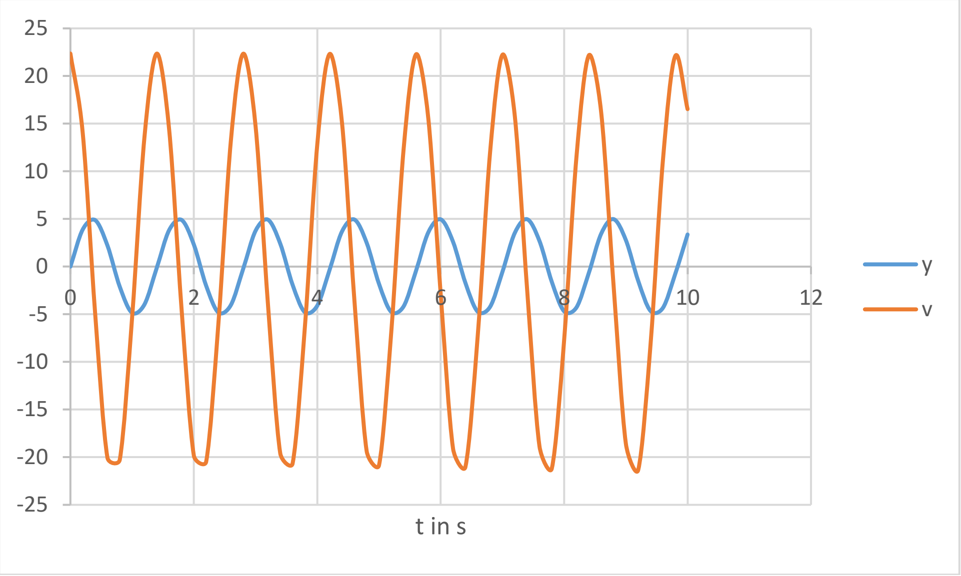
$$v = y_{max}\cdot\omega\cdot\cos(\omega\cdot t)$$

Es ist alles bekannt und v kann berechnet werden:

$$v = 5\,cm\cdot 2\cdot\pi\cdot 0{,}71 s^{-1}\cdot\cos(2\cdot\pi\cdot 0{,}71 s^{-1}\cdot 10\,s)$$

$$v = 18\,\frac{cm}{s}$$

Zur Kontrolle kann man sich im Diagramm noch zusätzlich die Geschwindigkeit anzeigen lassen:



e) Die Geschwindigkeit des Drachen ist in der Gleichgewichtslage am größten. Diesen Punkt erreicht er beim Start der Zeitzählung, also zum Zeitpunkt 0.

$$v = 5\,\text{cm} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0{,}71\,\text{s}^{-1} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 0{,}71\,\text{s}^{-1} \cdot 0\,\text{s})$$

$$v = 22{,}3\,\frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

f) Die Schwingung der Feder muss immer zum richtigen Zeitpunkt unterstütz werden, um Verluste durch die Reibung auszugleichen. Dazu muss durch den Motor periodisch Energie zugeführt werden.
Das geht am besten, wenn die Erregerfrequenz durch den Motor genau so groß wie die Eigenschwingung der Feder ist. Beide müssen in Resonanz schwingen.
Die Zeit für eine Motorumdrehung muss dann genau so groß sein wie die Schwingungsdauer des Pendels.
Aus der oben berechneten Frequenz ergibt sich eine Schwingungsdauer von 1,4 s. Der Motor muss sich also so drehen, dass er für eine Umdrehung 1,4 s benötigt.
Das sind dann 0,71 Umdrehungen in einer Sekunde oder 42,6 Umdrehungen in einer Minute.

g) Die Schwingungsdauer eines Schwingkreises berechnet sich mit der Thomsonschen Schwingungsgleichung:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}$$

Der Schwingkreis soll mit einer Frequenz von 2,4 GHz schwingen. Zur Bestimmung der geeigneten Bauteile wird die Schwingungsgleichung für die Frequenz aufgestellt:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

Da die Frequenz sehr hoch ist, beginnt man mit den kleinsten Werten:

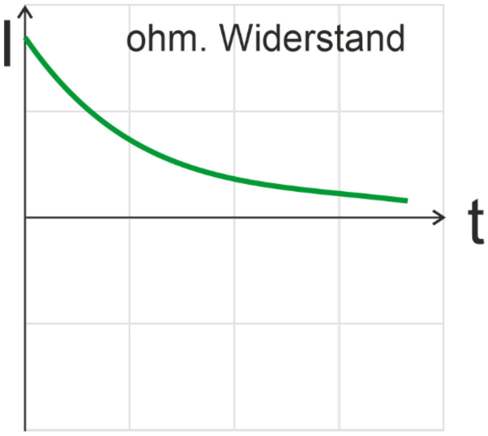
$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{4{,}4 \cdot 10^{-9}\,\text{H} \cdot 1 \cdot 10^{-12}\,\text{F}}}$$

$$f = 2{,}4 \cdot 10^{9}\,\text{Hz}$$

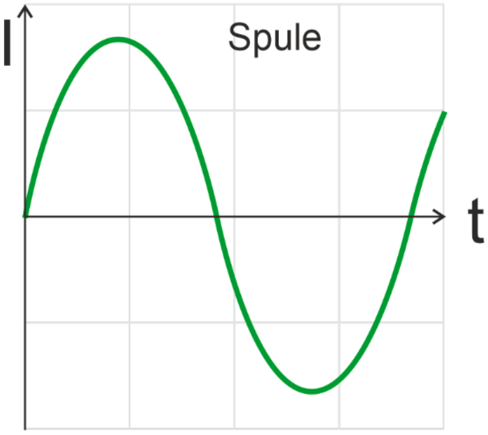
Prima, passt sofort.

3.

a) Entlädt sich der Kondensator über den ohmschen Widerstand, wird die elektrische Energie des Kondensators einfach in Wärme verheizt. Die Stromstärke fällt exponentiell ab und nähert sich immer mehr dem Nullwert.



Bei der Entladung über der Spule wird laut Aufgabenstellung der ohmsche Widerstand der Spule vernachlässigt (ideale Spule). Damit wird keine Wärmeenergie frei.
Die elektrische Energie des Kondensators wechselt zur magnetischen Energie in der Spule. Er entlädt sich und die Ladungen fließen durch die Spule. Dabei baut sich ein Magnetfeld auf. Ist der Kondensator entladen, bricht das Magnetfeld zusammen und induziert eine Spannung. Dadurch wird der Kondensator entgegengesetzt gepolt wieder aufgeladen.
Bei der folgenden Entladung des Kondensators fließt der Strom im Vergleich zur ersten Entladung in die andere Richtung.



b) ohmscher Widerstand:

Der Strom wird durch den ohmschen Widerstand und die anliegende Spannung bestimmt. Die Stromstärke ist am größten, wenn die Spannung am Kondensator an größten ist, also gleich zu Beginn der Entladung.

$$I_{max} = \frac{U}{R}$$

$$I_{max} = \frac{20\,V}{1{,}0 \cdot 10^3\,\Omega}$$

$$I_{max} = 20\,mA$$

Spule:

Die Stromstärke kann über den Energiefluss von elektrischer Energie zu magnetischer Energie bestimmt werden.

$$E_{mag} = E_{el}$$

$$\frac{L}{2} \cdot I^2 = \frac{C}{2} \cdot U^2$$

Der Strom ist dann maximal, wenn die Spannung am Kondensator maximal ist.

$$\frac{L}{2}\cdot I_{max}^2 = \frac{C}{2}\cdot U_{max}^2$$

$$I_{max} = U_{max}\cdot\sqrt{\frac{C}{L}}$$

$$I_{max} = 20\,V\cdot\sqrt{\frac{10\cdot 10^{-6}\,F}{100\cdot 10^{-3}\,H}}$$

$$I_{max} = 200\,mA$$