ABITUR-TRAINING

FOS · BOS · 12 Technik

Physik 2

Mechanik · Elektrodynamik

STARK

Inhalt

Autor: Daniel Commeßmann

Hinweis: Die entsprechend gekennzeichneten Kapitel enthalten ein **Lernvideo**. An den jeweiligen Stellen im Buch befindet sich ein QR-Code, der mit einem Smartphone oder Tablet gescannt werden kann.

Im Hinblick auf eine eventuelle Begrenzung des Datenvolumens wird empfohlen, beim Anschauen der Videos eine WLAN-Verbindung zu nutzen. Falls keine Möglichkeit besteht, den QR-Code zu scannen, sind die Lernvideos auch auffindbar unter:

https://www.pearson.de/qrcode/lernvideos_92434

Vorwort

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

der vorliegende Trainingsband richtet sich nach dem LehrplanPlus für Physik an Fachoberschulen (12. Jahrgangsstufe) und Berufsoberschulen (zweiter Teil der 12. Jahrgangsstufe) der Ausbildungsrichtung Technik.

Entsprechend gliedert sich das Buch in die vier Kapitel:

- **Kreisbewegung**
- **Mechanische Schwingungen und Wellen**
- **Klassische Felder**
- **Elektromagnetische Induktion**

In jedem Kapitel werden die wesentlichen Begriffe und Formeln erläutert. Anhand von **Beispielaufgaben** werden zudem typische Aufgabenstellungen zu jedem Themenbereich erläutert und gelöst.
Anschließend folgen jeweils **Übungsaufgaben** zum **selbstständigen Lösen**. Die ausführlichen Lösungen zu allen Übungsaufgaben finden Sie am Ende des Buchs.

Die Bedeutung von **Experimenten** im Physikunterricht wird in den Übungsaufgaben ebenfalls immer wieder aufgegriffen. So gibt es mehrere Aufgaben, in denen **Messreihen ausgewertet** und interpretiert werden müssen. An manchen Stellen wird auch eine **Versuchsbeschreibung** verlangt.
Darüber hinaus stehen zu bestimmten Themen noch **Videos** mit **Simulationen** von Experimenten zur Verfügung, die über einen QR-Code abgerufen werden können.
Diese Stellen sind im Buch mit dem entsprechenden Symbol gekennzeichnet.

Viel Erfolg bei der Arbeit mit diesem Buch wünscht Ihnen

Ihr

Daniel Commeßmann

5.4 Resonanz

Wird ein schwingendes System nicht sich selbst überlassen, sondern ihm periodisch **Energie zugeführt**, so spricht man von einer **erzwungenen Schwingung**. Die Zufuhr der Energie hängt dabei von der Frequenz der anregenden Schwingung ab. Entspricht die Anregerfrequenz der **Eigenfrequenz** des schwingenden Systems, also der Frequenz, mit der es auch frei schwingen würde, so ist der Energieübertrag am größten. Man spricht in diesem Fall von Resonanz. Zu einer **Resonanzkatastrophe** kommt es, wenn bei einer resonanten Schwingung mehr Energie übertragen wird, als das schwingende System aufnehmen kann. Hierbei wird das schwingende System zerstört.
Der Oszillator läuft im Resonanzfall der anregenden Schwingung um $\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$ nach.
Ist die Anregerfrequenz sehr viel größer als die Eigenfrequenz, so ist gar keine Schwingung mehr zu sehen.

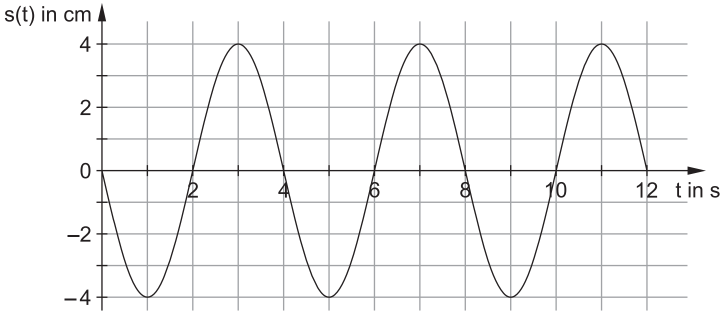
Beispiel

Bei den höchsten Gebäuden dieser Welt besteht die Gefahr, dass sie durch Winde oder Erdbeben in Schwingungen mit relativ großen Amplituden versetzt werden können.
Erklären Sie, wie man die Resonanz nutzen kann, um zu verhindern, dass diese Gebäude zu stark schwingen.

Lösung:
In solchen Gebäuden werden Schwingungstilger verbaut. Diese kann man sich als eine Art Fadenpendel mit sehr großer Masse vorstellen. Die Eigenfrequenz dieser riesigen Pendel wird dabei so ausgelegt, dass sie der Frequenz der zu unterdrückenden Schwingung entspricht. Dadurch kann das Gebäude Schwingungsenergie auf das Pendel übertragen und so die Amplitude seiner Schwingung reduzieren. Eine Resonanzkatastrophe und somit ein Einsturz des Gebäudes wird verhindert.

Aufgaben

9. Für die Schwingung eines Federpendels wurde das folgende Zeit-Weg-Diagramm aufgenommen:



a) Bestimmen Sie anhand des Diagramms Periodendauer, Frequenz, Kreisfrequenz und Amplitude der Schwingung.

b) Geben Sie mit eingesetzten Werten die Zeit-Weg-Funktion der Schwingung an.

c) Geben Sie mit eingesetzten Werten die Zeit-Geschwindigkeit-Funktion dieser harmonischen Schwingung an.

d) Bestimmen Sie den Betrag der maximalen Geschwindigkeit des Federpendels.

e) Geben Sie mit eingesetzten Größenwerten die Zeit-Beschleunigung-Funktion dieser harmonischen Schwingung an.

10. Kleine Holztiere werden als Spielzeug für Kleinkinder an Metallfedern aufgehängt. Lenkt man ein solches Holztier aus seiner Ruhelage nach unten aus und lässt es dort los, so beginnt ein Schwingungsvorgang.

a) Schlagen Sie ein Experiment vor, mit dem Sie prüfen können, ob es sich um eine harmonische Schwingung handelt.

b) In Idealisierung kann die Schwingung eines solchen Spielzeugs als harmonisch betrachtet werden. Geben Sie die Elongation in Abhängigkeit der Zeit an, wenn für die Feder gilt: $D = 10\,\frac{N}{m}$, die Holzfigur eine Masse von $m = 200$ g aufweist und diese zum Zeitpunkt $t = 0$ s um $\Delta y = 5{,}0$ cm aus der Ruhelage nach unten ausgelenkt wurde.

c) Skizzieren Sie ein Zeit-Weg-Diagramm, wie Sie es für die Schwingung eines realen Spielzeugs vermuten, und begründen Sie Ihre Skizze.

8. Eine antriebslose Raumkapsel kann hinsichtlich ihrer Bewegung samt ihrem Inhalt als ein Ganzes aufgefasst werden. Dabei wird die gesamte Gewichtskraft eines Körpers in der Raumkapsel für die Zentripetalbeschleunigung benötigt. Es bleibt keine Kraft übrig, welche auf eine Unterlage drücken könnte; umgekehrt übt die Unterlage (etwa: der Boden der Raumkapsel) keine Kraft auf den Astronauten aus. Beide, der Astronaut und die Raumkapsel, fallen durchgehend beschleunigt zum Erdmittelpunkt hin (Kreisbewegung). Der Astronaut bewegt sich also relativ zur Raumkapsel nicht und scheint somit zu schweben.

9. a) Die Periodendauer kann aus dem Diagramm gelesen werden, indem man z. B. auf der t-Achse den Abstand zwischen zwei Maxima bestimmt. Es ergibt sich:

$T = 4{,}0\ \mathrm{s}$

Die Frequenz ergibt sich damit zu:

$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{4{,}0\ \mathrm{s}} = 0{,}25\ \frac{1}{\mathrm{s}}$

Nun kann die Kreisfrequenz berechnet werden:

$\omega = 2\pi \cdot f = 2\pi \cdot 0{,}25\ \frac{1}{\mathrm{s}} = \frac{1}{2}\pi\ \frac{1}{\mathrm{s}}$

Die Amplitude kann als Abstand zwischen t-Achse und Maximum oder Minimum abgemessen werden. Es ergibt sich:

$\hat{s} = 4{,}0\ \mathrm{cm} = 0{,}040\ \mathrm{m}$

b) Der Graph der Zeit-Weg-Funktion beginnt zum Zeitpunkt $t = 0\ \mathrm{s}$ im Koordinatenursprung und fällt zunächst ins Negative. Entsprechend kann der allgemeine Ansatz $s(t) = -\hat{s} \cdot \sin(\omega \cdot t)$ gewählt werden. Damit ergibt sich mit eingesetzten Werten:

$s(t) = -0{,}040\ \mathrm{m} \cdot \sin\left(\frac{1}{2}\pi\ \frac{1}{\mathrm{s}} \cdot t\right)$

c) Die Zeit-Geschwindigkeit-Funktion ergibt sich als die zeitliche Ableitung der Zeit-Weg-Funktion:

$v(t) = \dot{s}(t) = -0{,}040\ \mathrm{m} \cdot \frac{1}{2}\pi\ \frac{1}{\mathrm{s}} \cdot \cos\left(\frac{1}{2}\pi\ \frac{1}{\mathrm{s}} \cdot t\right)$

$v(t) = -0{,}020 \cdot \pi\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \cdot \cos\left(\frac{1}{2}\pi\ \frac{1}{\mathrm{s}} \cdot t\right)$

d) Der maximale Betrag der Geschwindigkeit wird erreicht, wenn der Kosinus 1 bzw. –1 wird. Entsprechend gilt:

$|v_{max}| = \left| -0{,}020 \cdot \pi\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \right| = 0{,}020 \cdot \pi\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$

e) Die Zeit-Beschleunigung-Funktion ergibt sich als die zeitliche Ableitung der Zeit-Geschwindigkeit-Funktion:

$$a(t) = \dot{v}(t) = \ddot{s}(t) = 0{,}020 \cdot \pi \, \frac{m}{s} \cdot \frac{1}{2}\pi \, \frac{1}{s} \cdot \sin\left(\frac{1}{2}\pi \, \frac{1}{s} \cdot t\right)$$

$$a(t) = 0{,}010 \cdot \pi^2 \, \frac{m}{s^2} \cdot \sin\left(\frac{1}{2}\pi \, \frac{1}{s} \cdot t\right)$$

10. a) Variante 1:
Man hängt das Spielzeug vor einer Wand auf und versetzt es in Schwingung. Projiziert man nun eine Kreisbewegung mit konstanter Winkelgeschwindigkeit, z. B. durch eine von einem Motor angetriebene Kreisscheibe mit einer Markierung für den Schattenwurf, auf die Wand, so müsste sich bei einer harmonischen Schwingung eine konstante Winkelgeschwindigkeit bei der Kreisscheibe einstellen lassen, bei der Schatten und Spielzeug sich in Deckung bewegen.

Variante 2:
Man filmt die Schwingung des Spielzeugs und analysiert das entstandene Video mit einer geeigneten Videoanalyse-Software. In einer solchen kann das Spielzeug markiert und für die Markierung ein Zeit-Weg-Diagramm gezeichnet werden. Lässt sich das Diagramm durch eine Funktion der Form: $x(t) = \hat{x} \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$ beschreiben, so handelt es ich um eine harmonische Schwingung.

b) Da die Bewegung zum Zeitpunkt $t = 0$ s im unteren Umkehrpunkt startet, ergibt sich die Funktionsgleichung der Elongation wie folgt:

$$y(t) = -\hat{y} \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

Für eine harmonische Schwingung gilt: $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{D}}$.

Mit $\omega = 2\pi \cdot f = 2\pi \cdot \frac{1}{T}$ ergibt sich also $\omega = \sqrt{\frac{D}{m}}$ und somit:

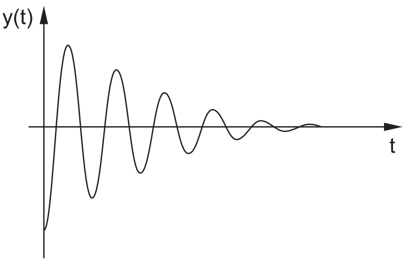
$$y(t) = -\hat{y} \cdot \cos\left(\sqrt{\frac{D}{m}} \cdot t\right)$$

Mit eingesetzten Werten:

$$y(t) = -0{,}050 \text{ m} \cdot \cos\left(\sqrt{\frac{10 \, \frac{N}{m}}{0{,}200 \text{ kg}}} \cdot t\right)$$

$$y(t) = -0{,}050 \text{ m} \cdot \cos\left(7{,}1 \, \frac{1}{s} \cdot t\right)$$

c) Zum Zeitpunkt t = 0 s beginnt der Schwingungsvorgang im unteren Umkehrpunkt.
Da in der Realität immer von Reibungs- und Dämpfungseffekten auszugehen ist, kann davon ausgegangen werden, dass sich eine gedämpfte Schwingung einstellt, bei der die Amplitude von Durchgang zu Durchgang abnimmt, bis das Spielzeug zur Ruhe kommt. Im Diagramm ist dieser Vorgang veranschaulicht.



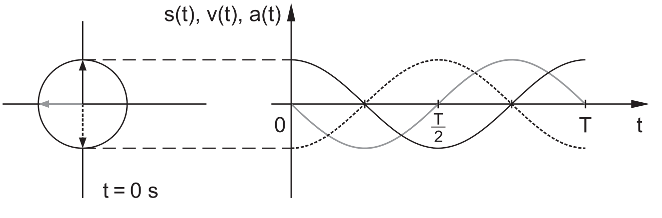
In der Realität sind vermutlich mehr Durchgänge zu sehen, bevor das Spielzeug wieder zur Ruhe kommt.

11. a) Da die Bewegung zum Zeitpunkt t = 0 s im Umkehrpunkt in positiver Richtung startet, ergibt sich für die Funktionsgleichung der Elongation:
$s(t) = \hat{s} \cdot \cos(\omega \cdot t)$

Die Funktionsgleichung der Geschwindigkeit ergibt sich als zeitliche Ableitung der Elongationsfunktion:
$v(t) = \dot{s}(t) = -\hat{s} \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot t)$

Die Funktionsgleichung der Beschleunigung ergibt sich als zeitliche Ableitung der Geschwindigkeitsfunktion:
$a(t) = \dot{v}(t) = \ddot{s}(t) = -\hat{s} \cdot \omega^2 \cdot \cos(\omega \cdot t)$

b) Zeigerdiagramm für t = 0 s und Liniendiagramme für eine Periode



12. Zunächst wird $\sqrt{\ell}$ berechnet:

Versuch Nr.	1	2	3	4
ℓ in m	0,5	1,0	1,5	2,0
$\sqrt{\ell}$ in $\sqrt{\text{m}}$	0,7	1,0	1,2	1,4
T in s	1,4	2,0	2,4	2,8