Vorwort

Das Buch fasst das Grundwissen der Physik für diejenigen Schüler zusammen, die bereits einige Grundlagen der Physik erlernt haben. Dementsprechend will es die Basiskenntnisse der Optik, der modernen Physik und der Astronomie auffrischen, ergänzen, vertiefen und in vielen Fällen auch unter neuer Betrachtungsweise vorstellen.

Ausführlich werden im Buch Themen behandelt, die aus der Grundschule nicht bekannt sind. Wo es möglich ist, werden wir das Gelernte im Zusammenhang mit praktischen Erfahrungen und technischen Anwendungen in Erinnerung rufen. Dadurch soll das Verstehen erleichtert und die Aufmerksamkeit darauf gelenkt werden, wie die Gesetze der Physik unsere Umgebung, das Alltagsleben und viele Tätigkeiten durchdringen. Alles wird einheitlich im SI-Einheitssystem behandelt.

Die Anwendung der kennengelernten und in Erinnerung gerufenen Zusammenhänge wird durch ausgearbeitete Beispiele verständlicher gemacht. Die Lösung wird so dargestellt, dass man die einzelnen Schritte gut verfolgen kann.

Das Lösen der Aufgaben dient der Vertiefung der Kenntnisse und der konkreten Anwendung. Deshalb finden die Schüler im Buch Aufgaben zur Übung. Durch die Versuchsbeschreibungen wollen wir erreichen, dass das Gelernte besser verstanden und von einer neuen Seite vorgestellt wird.

Die Versuche zu lesen ist für diejenigen nützlich, die keine Möglichkeit haben, diese selbst durchzuführen. Nach den Versuchsbeschreibungen stehen die Versuchsergebnisse und gegebenenfalls auch die Messergebnisse. Nach den größeren Themenkreisen finden die Schüler eine stoffliche Zusammenfassung und zusammenfassende Fragen. In diesem Abschnitt wird das bisher Gelernte vertieft und in ein logisches System gesetzt: Das hilft der Arbeit des Lehrers und des Schülers.

In den Naturwissenschaften werden die Ergebnisse von Beobachtungen und Versuchen in mathematischen Zusammenhängen und in Formeln ausgedrückt. Von den Zusammenhängen, die durch Erfahrungen gewonnen werden, kann man durch Überlegungen mithilfe von Mathematik und Logik weitere Gesetze ableiten. Die dadurch gewonnenen neuen Zusammenhänge sollen mit den Erfahrungen verglichen und der Geltungsbereich überprüft werden. Durch diese Methode hat die Wissenschaft die Möglichkeit, sich immer weiter zu entwickeln.

Die Autorin

Vorwort zur Ausgabe der deutschsprachigen Übersetzung

Das vorliegende Lehrbuch wurde für die besonderen Bedürfnisse des deutschsprachigen Physikunterrichts in Ungarn überarbeitet. Deutschsprachiger Unterricht ist immer auch Fremdsprachenunterricht, da fachliche Inhalte in einer Fremdsprache vermittelt werden. Dieser besonderen Anforderung trägt die vorliegende Ausgabe Rechnung.
An manchen Stellen wurden fachliche Inhalte sprachlich einfacher dargestellt und übersichtlicher gestaltet. In einigen Kapiteln wurden Ergänzungen eingefügt. Um den neuen Anforderungen des neuen Lehrplans besser gerecht zu werden, wurden aus den zwei Bänden der ungarischen Vorlage drei Bände für die Klassenstufen 10, 11 und 12 erstellt.

Am Ende eines Themas gibt es jeweils Übungsaufgaben, mit denen der Lehrstoff gefestigt und vertieft werden kann. Die Lösungen stehen am Ende des Buches. Außerdem wurden zu jedem Thema Arbeitsblätter zusammengestellt, die fachdidaktisch nach den vielfältigen DFU-Methoden (deutschsprachiger Fachunterricht) geplant sind. Sie sind auf einer CD beigefügt und geeignet für das Üben sowohl in der Schule als auch zu Hause.
Für eine systematische Bearbeitung des Fachwortschatzes hielten die Autoren eine Wortschatzsammlung für unverzichtbar. Aus diesem Grund findet sich im Anhang sowohl eine deutsch-ungarische als auch eine ungarisch-deutsche Variante.
Ziel dieses Buches ist die Vermittlung fachlicher Kompetenz. Dazu gehört neben der Vermittlung von Fachwissen auch der Aufbau kommunikativer Kompetenz im naturwissenschaftlichen Bereich. Dazu soll dieses Buch einen Beitrag leisten.

Das Übersetzerteam

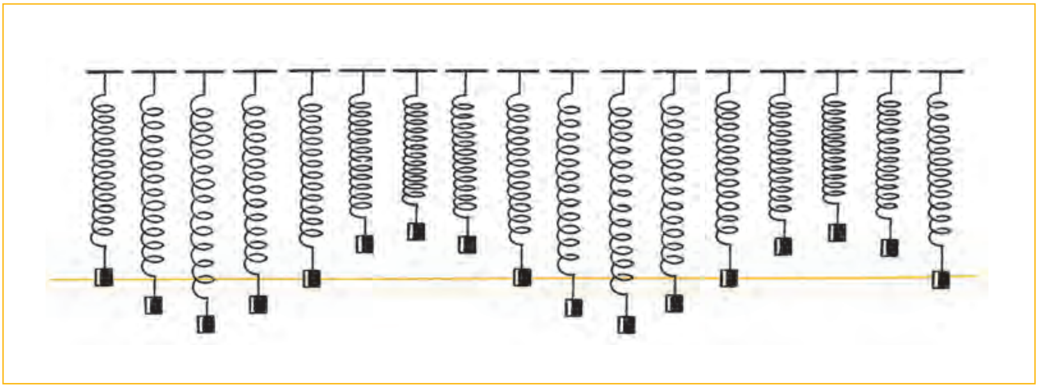
Budapest, im August 2008

1. Die Schwingungen

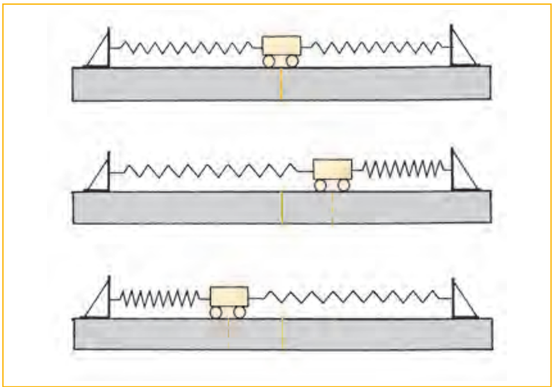
1.1 Die harmonischen Schwingungen

Wird ein Körper an einer Feder aus seiner Ruhelage ausgelenkt und dann losgelassen, führt er eine harmonische Schwingung aus. So eine harmonische Schwingung führen eine gezupfte Saite oder ein Sprungbrett im Schwimmbad aus.

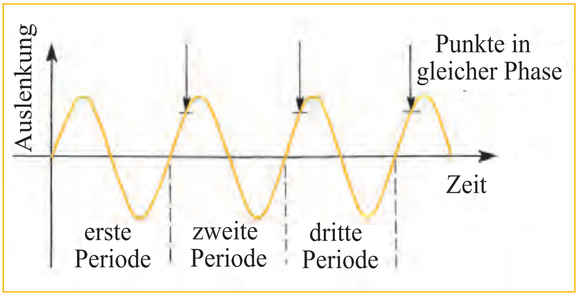
Eine harmonische Schwingung kann mit einem ziemlich einfachen Versuch untersucht werden. An den zwei Enden eines leicht beweglichen Kleinwagens



werden zwei Federn gleicher Federkonstante befestigt, wie in der Abbildung. Der Wagen ist im Gleichgewicht. Nun lenken wir den Kleinwagen in die eine Richtung aus und lassen ihn los. Der Wagen bewegt sich zwischen zwei extremen Lagen periodisch auf einer Strecke. Er führt eine Schwingung aus. Ist die Reibung vernachlässigbar, schwingt der Wagen mit einer harmonischen Schwingung. Von der Ruhelage sind die zwei extremen Lagen gleich weit entfernt. Wenn es keine Reibung gäbe, bliebe diese Strecke immer konstant.



Der Abstand der extremen Punkte von der Ruhelage nennt man die Amplitude, ihr Formelzeichen ist A. Während einer Schwingung ändert sich der momentane Abstand von der Ruhelage ständig. Dieser Abstand bezeichnet man als die Auslenkung (die Elongation). Das Formelzeichen ist x.



Ein harmonisch schwingender Körper führt eine periodische Bewegung um die Ruhelage aus. Nach einer vollen Periode ist der Körper in der gleichen Lage wie am Anfang der Periode. In den Positionen in gleicher Phase stimmen Auslenkung, Geschwindigkeit und Beschleunigung des Körpers überein. Bei der Untersuchung von Schwingungen werden oft Punkte entgegengesetzter Phasen untersucht. Man spricht über eine Gegenphase, wenn der Betrag von Auslenkung, Geschwindigkeit und Beschleunigung gleich sind, aber die Richtungen verschieden.

Die Zeit, in der ein schwingender Körper wieder in die gleiche Phase gerät, nennt man Periodendauer. (Um in die entgegengesetzte Phase zu kommen, benötigt ein Körper die halbe Periodendauer.)

Alle Körper führen eine Schwingung mit bestimmter Schwingungszahl aus. Sie ist abhängig vom Stoff, der Größe und anderen Faktoren. (Eine Stimmgabel führt in jede Sekunde gleich viele Schwingungen aus.) Der Quotient aus der gesamten Anzahl der Schwingungen und der Zeit ist für den Körper charakteristisch, er heißt Schwingungszahl oder Frequenz.

$$Schwingungszahl = \frac{Anzahl \quad der \quad Schwingungen}{Zeit}; \qquad f = \frac{n}{t}$$

Die Schwingungszahl gibt die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde an, ihre Maßeinheit ist: $\frac{1}{\mathrm{s}}$.

Die Einheit ist nach dem deutschen Physiker Heinrich Rudolf *Hertz* (1857–1894) benannt $\frac{1}{\mathrm{s}} = 1\,\mathrm{Hz}$.

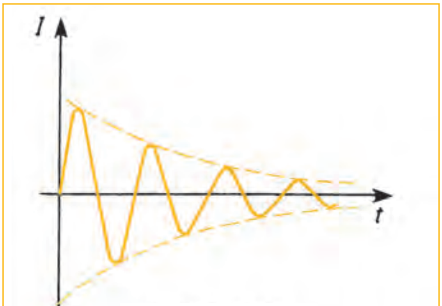
Je höher die Schwingungszahl ist, desto kleiner ist die Schwingungsdauer (Periodendauer) und umgekehrt: Je kleiner die Schwingungszahl ist, desto größer ist die Schwingungsdauer. Zwischen den zwei Größen besteht indirekte Proportionalität:

$$Schwingungszahl = \frac{1}{Schwingungsdauer}\ ; \ f = \frac{1}{T}$$

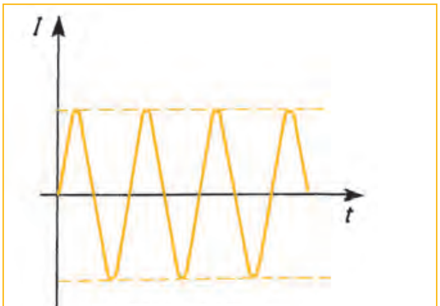
Die Schwingungszahl eines Körpers an einer Feder hängt ab von

- der Masse des schwingenden Körpers
- der Stärke der Feder.

In der Wirklichkeit wird die Amplitude eines schwingenden Körpers während der Schwingung immer kleiner. Diese Erscheinung nennt man die Dämpfung. Ihre Ursache liegt in der Reibung und Energieverlusten. Jede freie Schwingung ist eine gedämpfte Schwingung.
Durch Energiezufuhr kann man die Größe der Amplitude erhalten. Der Körper führt dann eine ungedämpfte Schwingung aus.



gedämpft



ungedämpft

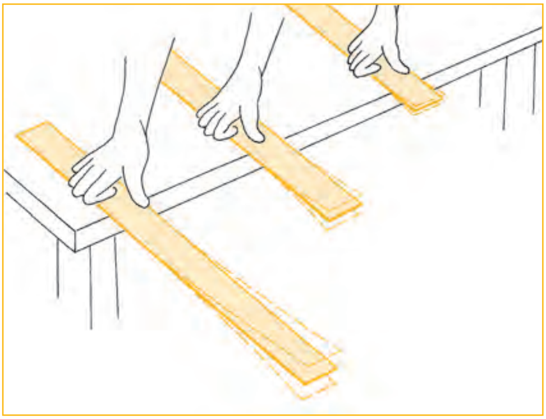
Zusammenfassung

1. Die harmonische Schwingung ist eine periodische Bewegung.
2. Eine Periode bedeutet eine volle Schwingung.
3. Die Amplitude der Schwingung ist die maximale Auslenkung.
4. Die Schwingungsdauer (oder Periodendauer) ist die Zeit für eine volle Schwingung. Formelzeichen: T .
5. Die Frequenz (oder Schwingungszahl) ist die Anzahl der Schwingungen in 1 s. Formelzeichen: f .
6. Die Frequenz ist das Reziprok der Periodendauer: $f = \frac{1}{T}$.

Experimente

1. Wir gießen in zwei Weingläser Wasser bis zur gleichen Höhe. Werden die zwei Gläser nacheinander mit einer Gabel angestoßen, so hören wir gleich hohe Töne. Die Schwingung wird auch durch Ringe an der Wasseroberfläche angezeigt. Wird nun nur das eine Glas mit der Gabel angestoßen, kommt auch das andere in der Nähe in Schwingung. In diesem erscheinen auch die Ringe, die die Schwingung nachweisen. Die Schwingung in dem einen Glas überträgt sich durch die Luft auf das andere Glas. In diesem Fall sprechen wir von Resonanz.

2. Ein Ende eines Handsägeblattes wird in einen Schraubstock eingespannt. Mit einem Finger biegen wir das Sägeblatt, dann lassen wir es los. Wir beobachten die Bewegung des Sägeblattes. Nach diesem Versuch wird ein immer größerer Teil des Sägeblattes in den Schraubstock eingespannt. Wird es in Schwingung gesetzt, so wird die Schwingungszahl immer höher.



Aufgaben

1. An einer Spiralfeder hat man eine Stahlkugel befestigt. Man dehnt die Feder aus und lässt sie dann los.
   a) Welche Bewegung führt die Stahlkugel aus?
   b) Wo ist die Geschwindigkeit der Kugel am größten?
   c) Welche Bewegung führt die Kugel aus, nachdem sie die Ruhelage durchschritten hat?
   d) In welcher Lage bleibt die Kugel für einen Augenblick stehen?
   e) In welcher Lage ändert sich die Bewegung der Kugel in die entgegengesetzte Richtung?

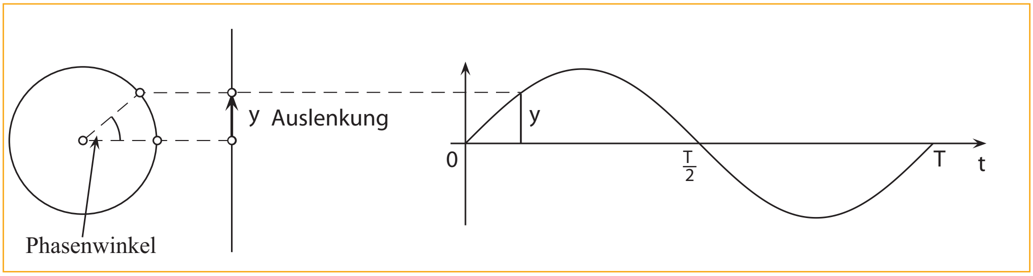
2. Die Last an einer Feder mit der Masse 50 g (5 dkg) führt in 6 s 12 Schwingungen aus. Welche Schwingungsdauer hat sie?

3. Die Saite *A* einer Geige führt 6600 Schwingungen in 15 s aus. Wie groß ist die Schwingungszahl?

4. Der tiefste menschliche Ton ist der kontra *d*. Die Stimmbänder eines Mannes, der diesen Ton singt, schwingen 367-mal in 5 s. Wie groß ist die Schwingungszahl in diesem Fall?

1.2 Die Beschreibung der Schwingungen

Wir befestigen einen Korken auf dem Rand eines vertikal gestellten Plattentellers, den wir mit einem Motor in Drehung versetzen. Die Drehzahl stellen wir so ein, dass die Umlaufdauer des Korkens gleich der Periodendauer des Pendels ist. Im seitlich einfallenden Licht entsteht der Schatten der Kreisscheibe als vertikaler Strich. An ihm scheint der Korkenschatten auf und ab zu gleiten.



Die orthogonale Projektion eines kreisförmig bewegenden Körpers führt also eine harmonische Schwingung aus. Stellt man die Auslenkung–Zeitfunktion einer harmonischen Schwingung dar, erhält man eine Sinuskurve nach der Abbildung. Von der Abbildung kann man ablesen, dass die Auslenkung in der einen Halbperiode positiv, in der nächsten negativ ist. Im Zeitpunkt $t = 0$ und $t = \frac{T}{2}$ ist die Auslenkung Null. In den Zeitpunkten $t = \frac{T}{4}$ und $t = \frac{3}{4}T$ befindet sich der schwingende Körper in den Umkehrpunkten, die Auslenkung ist maximal. Der zeitliche Ablauf der Auslenkung wird mit der Formel $x = A \cdot \sin(\omega t)$ berechnet, wobei ω die Kreisfrequenz ist.

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

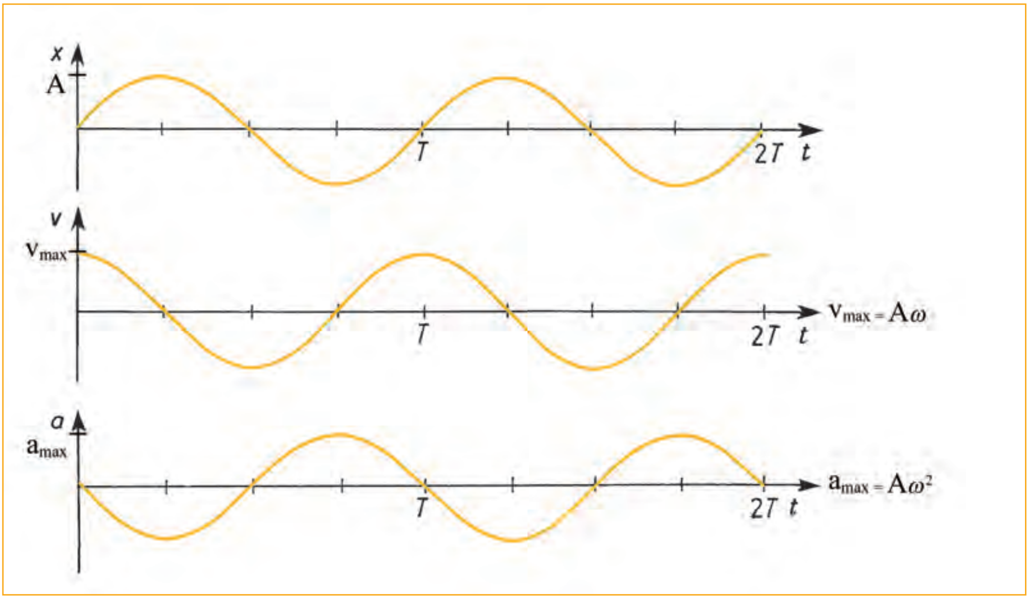
An der Bewegung eines schwingenden Körpers kann man beobachten, dass sich Betrag und Richtung der Geschwindigkeit des schwingenden Körpers periodisch ändern. In den extremen Lagen ist die Geschwindigkeit Null, beim Durchschreiten der Ruhelage ist sie am größten. Die momentane Geschwindigkeit kann man mit der folgenden Formel berechnen.

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

Die Schwingung ist also eine Bewegung, deren Geschwindigkeit sich ständig ändert. Demzufolge hat ein schwingender Körper eine Beschleunigung. Die Beschleunigung eines schwingenden Körpers ist proportional zur Auslenkung und ist ihm entgegengesetzt gerichtet.

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

Kennt man die Beschleunigung eines harmonisch schwingenden Körpers, dann kann die Resultierende mithilfe der Grundgleichung der Dynamik bestimmt werden. $F = m \cdot a = -m \cdot \mathrm{w}^2 \cdot x$



Die resultierende Kraft, die auf einen harmonisch schwingenden Körper wirkt, ist proportional der Auslenkung, aber ihr entgegengesetzt gerichtet.
Der Proportionalitätsfaktor ist: $D = m \cdot \omega^2$.

D ist die Federkonstante, ihre Einheit ist $\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}}$.

Die Energie eines schwingenden Systems

Die Geschwindigkeit eines harmonisch schwingenden Körpers ändert sich periodisch, so ändern sich Bewegungsenergie und Spannungsenergie der Feder periodisch.

$$E_{ges} = E_{kin} + E_{el} = \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} D x^2$$

In der extremen Lage stimmen Auslenkung und Amplitude überein ($x_{\max} = A$), die Geschwindigkeit ist aber Null.

$$E_{ges} = 0 + \frac{1}{2} D x^2 = \frac{1}{2} D A^2$$

Beim Passieren der Ruhelage ist die Auslenkung Null, die Geschwindigkeit maximal, so besitzt der Körper nur kinetische Energie.

$$E_{ges} = \frac{1}{2}mv^2 + 0 = \frac{1}{2}mv_{max}^2$$

Die Energie des schwingenden Körpers ist in allen drei Fällen gleich.
Sind Reibung und Strömungswiderstand während der Schwingung nicht zu vernachlässigen, führt das System eine gedämpfte Schwingung aus. Seine Energie verringert sich, wegen der Reibung vergrößert sich aber die innere Energie seiner Umgebung.

Zusammenfassung

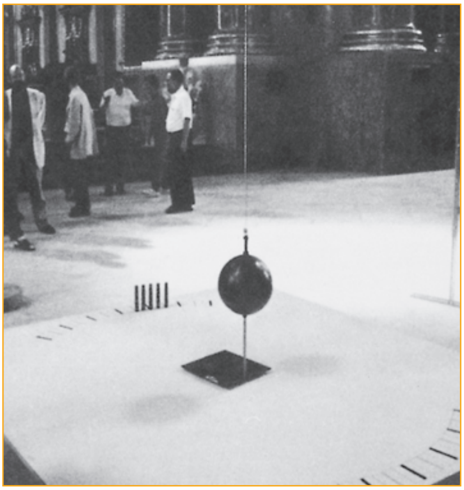
1. Ein Körper führt eine harmonische Schwingung aus, wenn die auf ihn wirkende Kraft proportional zur Auslenkung ist und auf die Gleichgewichtslage hinweist.
2. Die Beschleunigung eines harmonisch schwingenden Körpers ist proportional zur Auslenkung und ihr entgegengesetzt gerichtet. In der Gleichgewichtslage ist die Beschleunigung Null, in den extremen Lagen maximal.
3. Der Betrag der Geschwindigkeit ist bei der Gleichgewichtslage maximal und in den zwei extremen Lagen Null.
4. Die Gesamtenergie eines harmonisch schwingenden Körpers ist konstant.

Aufgaben

1. Welche Energie besitzt ein schwingender Körper an einer Feder der Federkonstante, wenn die Amplitude der Schwingung 1 cm ist?
2. Wie weit von der Ruhelage werden kinetische Energie und elastische Energie gleich, wenn die Amplitude der Schwingung
   a) 20 cm
   b) A beträgt?
3. Leite her, dass die Gesamtenergie in den Umkehrpunkten und in der Gleichgewichtslage wirklich übereinstimmt.

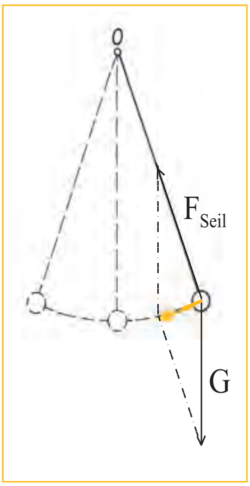
1.3 Das Pendel

Vor einigen Jahren wurde ein Experiment im Dom von Szombathely durchgeführt, das als erster der französische Physiker Jean Bernard Leon *Foucault* (1819–1868) 1851 im Pariser Pantheon vorführte. Er hat in die 67 m hohe Kuppel ein 28 kg schweres Pendel aufgehängt, aus der Ruhelage ausgelenkt und losgelassen. Die Nadel, befestigt am unteren Teil des Pendels, hinterließ im Sand eine Spur. Nach



kurzer Zeit konnte man sehen, dass die Spuren nicht in einer Linie sind, sondern miteinander einen Winkel einschließen. Da sich die Schwingungsebene des Pendels nicht geändert hatte, war die Beobachtung nur mit der Drehung der Erde zu erklären. Von den Winkeln zwischen den Spuren und den anderen Angaben ergab sich eindeutig die Umdrehungsdauer der Erde (24 Std.).
Mit diesem Versuch hat Foucault als erster einen unmittelbaren Beweis für die Drehung der Erde geliefert. Zu seinem Experiment hat er die Erkenntnis verwendet, dass die Schwingungsebene eines Pendels immer erhalten bleibt.

Wird ein an einen dünnen Faden gehängter Körper von der vertikalen Position ausgelenkt und losgelassen, führt er eine Pendelbewegung aus. (Ist die Masse des Körpers und des Pendels zu vernachlässigen, spricht man über ein mathematisches Pendel, sonst über ein physikalisches Pendel.) Nach dem Loslassen steigt die Geschwindigkeit des Pendels. Die größte Geschwindigkeit hat es, wenn es die Gleichgewichtslage passiert. Nachher verringert sich die Geschwindigkeit und in den extremen Lagen hält das Pendel für einen Moment an. Von hier aus kommt es wieder in Bewegung und es wiederholt sich der vorherige Prozess, jetzt aber in die entgegengesetzte Richtung.



Ist die Auslenkung klein (α ist klein, $\alpha \approx 4°$), führt das Pendel eine harmonische Schwingung aus.
Die Zeit, die das Pendel braucht, um von der einen extremen Lage wieder in dieselbe zu kommen, ist die Periodendauer des Pendels. Die Periodendauer eines Pendels kann mit dem folgenden Zusammenhang berechnet werden. $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

Die Periodendauer ist umso länger, je länger das Pendel ist und sie hängt vom geographischen Ort ab. (Dasselbe Pendel hat am Äquator eine größere Periodendauer als bei den Polen. Die Periodendauer ist kleiner am Meeresspiegel als in hohen Bergen.)
An einem bestimmten geographischen Ort ist die Periodendauer konstant, wenn das Pendel eine kleine Auslenkung hat. Diese Eigenschaft des Pendels wird in den Pendeluhren zur Messung der Zeit verwendet.

Experimente

1. Bestimme die Periodendauer eines 25 cm und eines 100 cm langen Pendels. Fertige ein Pendel aus einem Faden und einer Flasche für Medikamente. Der Faden muss am Hals der Flasche so befestigt werden, dass die Länge des Fadens bis zur Mitte der Flasche 25 cm, dann 100 cm beträgt. Miss in beiden Fällen die Zeit für 10 Schwingungen und berechne die Schwingungsdauer. Du kannst erfahren, dass die Periodendauer für das Pendel mit einer Länge von 25 cm 1 s beträgt, mit einer Länge von 100 cm 2 s.

2. Berechne die Periodendauer für Pendel mit verschiedenen Massen.
Zum Versuch wird das Pendel mit einer Länge von 100 cm vom vorigen Versuch verwendet. Fülle die Flasche mit Wasser und schließe sie. Dadurch wird die Masse des Pendels vergrößert. Miss die Zeit für 10 Perioden, dann berechne die Periodendauer. Du kannst beobachten, dass die Periodendauer genau so groß ist, wie im vorigen Fall. Die Periodendauer hängt also von der Masse des Pendels nicht ab.

3. Fertige einen Holzrahmen, an dem ein Fadenpendel befestigt ist. Wenn du den Rahmen langsam verdrehst, ändert sich die Auslenkungsebene des Pendels nicht. Die Erklärung dafür ist, dass diese Ebene durch 3 Punkte (Aufhängungspunkt, Punkt der Ruhelage, Punkt der Anfangsauslenkung) schon am Anfang bestimmt wurde, sie ändern sich durch die Drehung des Rahmens nicht mehr.

Zusammenfassung

1. Wird ein Pendel aus seiner Ruhelage ausgelenkt, führt es eine periodische Bewegung aus.
2. Die Periodendauer eines Pendels hängt von seiner Länge und dem geographischen Ort ab. $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ bei kleiner Auslenkung.

Beispiel

Welche Periodendauer besitzt ein Pendel mit einer Länge von 1 m?

Lösung

$l = 1$ m
$g = 9{,}81\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

$T = ?$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = 6{,}28\sqrt{\frac{1\,\text{m}}{9{,}81\,\text{ms}^{-2}}} = 6{,}28 \cdot 0{,}319\,\text{s} = 2{,}003\,\text{s}$$

Das Pendel hat eine Periodendauer von ca. 2 s. Den Weg zwischen den zwei extremen Lagen legt es in 1 s zurück. Deshalb wird es als Sekundenpendel bezeichnet.

Aufgaben

1. Die Last am Ende des Pendels von einer Wanduhr kann durch eine Schraube eingestellt werden. Wie muss man die Lage des Pendels ändern, wenn die Uhr vorgeht?

2. Wie ändert sich der Gang einer Wanduhr, wenn die Temperatur im Zimmer sinkt?

3. Welche Periodendauer hat ein mathematisches Pendel mit einer Länge von
a) 30 cm
b) 40 cm?

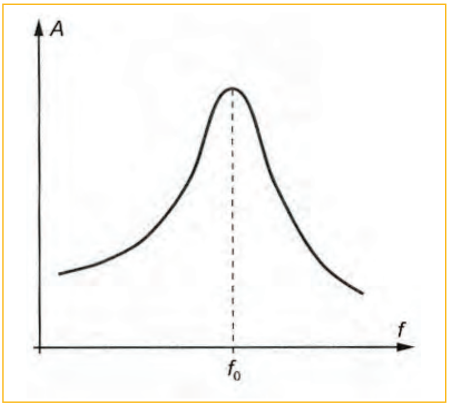
1.4 Erzwungene Schwingungen, die Resonanz

In einem Verkehrsmittel können die Passagiere ab und zu beobachten, dass die Fenster oder die Motorhaube schwingen. Die Schwingung erfolgt aber nicht immer, sondern nur bei einer bestimmten Drehzahl des Motors.
Wird einer sich bewegenden Schaukel periodisch in die entsprechende Richtung Schwung gegeben, pendelt der Schaukel mit einer immer größeren Amplitude.
Ähnliche Erscheinung verursachte die Katastrophe der Tacoma-Brücke am

7. November 1940 in den USA. An diesem Tag wehte starker Wind. Die 800 m lange Brücke wurde dadurch in Schwingung gesetzt. Die sich periodisch wiederholenden Windstöße haben die Brücke zu einer Schwingung mit immer größer werdender Amplitude gezwungen, bis sie am Ende zusammenbrach. Ein Auto auf der Brücke stieß gegen das Gelände der Brücke. Die Passagiere sprangen aus dem Auto und flüchteten. Sie sind gerade am Ende der Brücke angekommen, als diese mit einem riesigen Gedröhn in die Tiefe stürzte.
Früher gab es auch einen ähnlichen Fall. Am 28. Dezember 1879 wurde die Tay-Brücke in der Nähe von Edinburgh, in Schottland in Schwingung gebracht. Über die Brücke fuhr gerade ein Zug. Die Stöße zwischen den Rädern des Zuges und den Schienen verstärkten die Schwingung der 1000 m langen Brücke und ihr mittlerer Teil ist mit dem Zug und 75 Passagieren ins Wasser gestürzt.
1850 stürzte die Brücke der Stadt Angers (Frankreich) ein. Eine Kolonne Soldaten marschierte im Gleichschritt über die Brücke. Durch die Wirkung des Gleichschritts kam die Brücke in eine vertikale Schwingung. Die Auslenkung der Brücke wurde immer größer und schließlich ist sie eingestürzt. 236 Soldaten sind ums Leben gekommen. Seitdem marschieren die Soldaten in der ganzen Welt über eine Brücke ohne Gleichschritt.

Eine erzwungene Schwingung führt ein Federpendel aus, wenn es nicht frei schwingt, sondern mit der Hand rauf und runter bewegt wird. Die Schwingung, die die erzwungene Schwingung erzeugt, nennt man erregende Schwingung (Bewegung der Hand) und die Frequenz bezeichnet man als Erregerfrequenz.

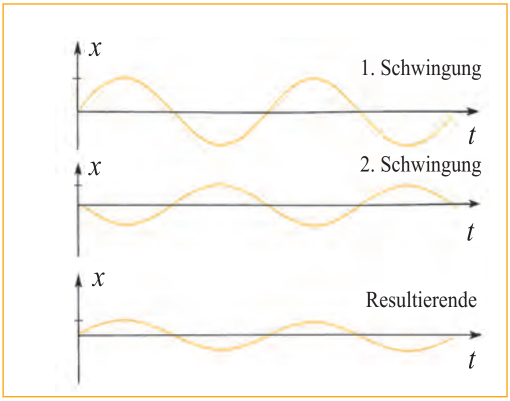
Ist die erregende Kraft periodisch, wird die Bewegung des Körpers, der eine erzwungene Schwingung ausführt, für eine kurze Zeit sehr kompliziert. Später wird die Bewegung aber zu einer periodischen, erzwungenen Schwingung. Die Frequenz einer erzwungenen Schwingung hängt von der Erregerfrequenz ab.

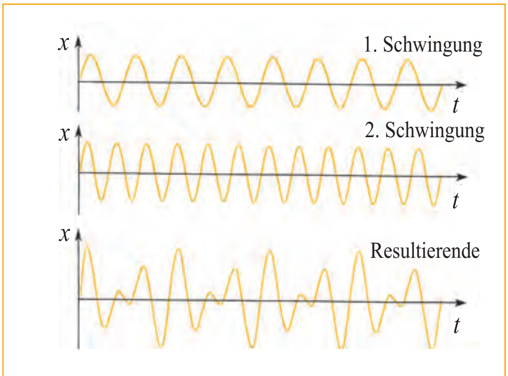


Jedes schwingungsfähige System besitzt eine Frequenz, mit der es bei Energiezufuhr schwingen würde. Diese Frequenz nennt man Eigenfrequenz.

Die Amplitude eines Körpers, der eine erzwungene Schwingung ausführt, ist maximal, wenn Erregerfrequenz und Eigenfrequenz übereinstimmen. Diesen Fall einer erzwungenen Schwingung nennt man Resonanz.

Überlagerung von Schwingungen





Schornsteine von Fabriken, Brücken, Türme oder Wolkenkratzer führen wegen periodischer Windstöße eine erzwungene Schwingung aus. Bei der Planung ist es also sehr wichtig, dass dabei zu keiner Resonanz mit wetterbedingten Windstößen kommen kann.

Eine harmonische Schwingung erfolgt durch die Wirkung einer sich periodisch ändernden Kraft. Wirken aber auf einen Körper mehrere solche Kräfte, führt der Körper eine zusammengesetzte Bewegung aus. Die Amplitude der resultierenden Schwingung wird nicht nur von den Amplituden der einzelnen Schwingungen beeinflusst, sondern auch von den Phasen der Komponenten.

Zwei Schwingungen kann man am einfachsten addieren, wenn sie die gleiche Frequenz besitzen. Sind sie gleichphasig, dann verstärken sie sich. Sind sie gegenphasig, schwächen sie einander.

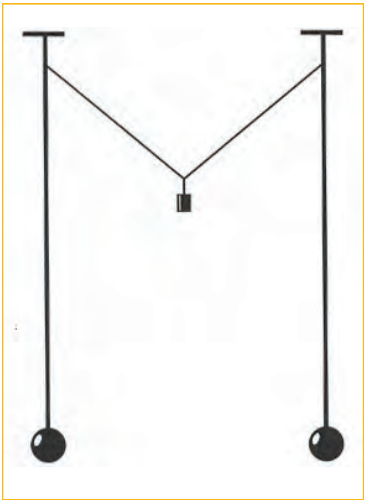
Unterscheiden sich die Frequenzen nur gering, dann ändert sich die Amplitude der resultierenden Schwingung periodisch. Diese Erscheinung nennt man Schwebung.

Ein umgekehrter Prozess ist die Analyse der Schwingungen. Von einem zusammengesetzten System muss man feststellen, aus welchen harmonischen Schwingungen es besteht. Alle periodischen Schwingungen können als Summe von harmonischen Schwingungen zusammengesetzt werden.

Gekoppelte Schwingung

Experimente

1. Fertige 4 Fadenpendel, wovon 2 gleich lang sind. Hänge sie auf eine Wäscheleine nebeneinander und bringe eins von dem gleich langen Pendel in Schwingung. Nach einiger Zeit kommt das andere Pendel gleicher Länge auch in Schwingung. Aber die weiteren zwei Pendel nehmen diesen Schwingungszustand nicht auf. Die zwei Pendel mit gleicher Fadenlänge sind durch die Wäscheleine in Kopplung. Durch solche gekoppelte Schwingungen breitet sich der Wellenzustand bei der Wellenbewegung aus.



2. Verbinde zwei Pendel gleicher Fadenlänge mit einem Seil. Auf dem Seil werden verschiedene Massen nacheinander aufgehängt. Je größer die Masse ist, desto schneller übernimmt das zweite Pendel die Schwingung des ersten. Wegen der engeren Kopplung ist die Energieübertragung schneller.

Zusammenfassung

1. Ein schwingfähiges System kommt durch eine periodische Einwirkung in Schwingung. Die Frequenz der Schwingung stimmt mit der Erregerfrequenz überein.
2. Ist in der Nähe eines schwingenden Systems ein anderes System mit gleicher Schwingungszahl, kommt dieses auch in Schwingung. Diese Erscheinung heißt Resonanz.

Aufgaben

1. In welchem Fall wird eine gedämpfte, in welchem eine ungedämpfte Schwingung ausgeführt?
   a) Die Zunge in einer Mundharmonika, während man sie gleichmäßig bläst.
   b) Das Fell einer Trommel, nachdem sie einmal geschlagen wurde.
   c) Ein Sägeblatt im Schraubstock mit einer Last, wenn man es entsprechend dem Takt der Schwingungen immer wieder anstößt.
   d) Die Saite eines Klaviers, nachdem man eine Taste angeschlagen hat.
   e) Die Saite einer Geige, wenn man sie mit dem Bogen gleichmäßig streicht.
2. Wenn ein Autobus abfährt, hat sein Motor immer eine gewisse Drehzahl. Bei dieser Drehzahl erzeugen bestimmte Teile des Busses (besonders die Fensterscheiben) Schwingungsgeräusche. Bei weiterer Drehzahlerhöhung verschwindet das Geräusch. Gib eine Erklärung für diese Erscheinung.