

Energieformen bei harmonischen Schwingungen

Wir können die Bewegung eines schwingenden Körpers durch seine Koordinate, seine Momentangeschwindigkeit und seine Beschleunigung als Funktionen der Zeit beschreiben. Wir können darüber hinaus auch seine wechselnden Energieformen betrachten. In diesem Experiment messen Sie zunächst Position und Geschwindigkeit eines Federpendels („Feder-Masse-System“) und stellen auf Grundlage dieser Daten die kinetische und die Federenergie des Systems dar.

Im Feder-Masse-System tritt Energie in drei Formen auf. Ein Körper der Masse m und der Geschwindigkeit v hat die kinetische Energie E_{kin}

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m v^2$$

Die verformte Feder trägt Federenergie (potentielle Energie der Deformation) E_F .

$$E_F = \frac{1}{2} D \cdot y^2 ,$$

Dabei bedeuten D die Federkonstante und y die Längenänderung der Feder im Vergleich zur Länge in der Gleichgewichtslage.

$$E_F = \frac{1}{2} D \cdot y^2 ,$$

Zwar hat der Körper auch potentielle Energie der Lage ($E_{\text{pot}} = mgy$). Wenn wir aber die Gleichgewichtslage des Körpers als Nullpunkt der y -Achse wählen, brauchen wir die potentielle Energie der Lage interessanterweise hier nicht zu berücksichtigen. Nur das Wechselspiel von kinetischer Energie und Federenergie spielt daher eine Rolle.

Wirken weiter keine Kräfte auf das System, sagt der Satz von der Erhaltung der Gesamtenergie aus, dass $\Delta E_{\text{kin}} + \Delta E_F = 0$, was im Experiment überprüft werden kann.

AUFGABEN

- Untersuchen Sie die bei der harmonischen Schwingung vorkommenden Energieformen.
- Überprüfen Sie die Gültigkeit des Energieerhaltungssatzes.

VERSUCHSMATERIAL

Computer
Vernier Computer Anschlussgerät
Logger *Pro*
Vernier Motion-Detektor

Gewichtssatz , 50 g - 300 g in 50 g Schritten
Haken für Gewichte
Feder, 1-10 N/m
Laborfuss

Drahtkorb

EINFÜHRENDE FRAGEN

1. Skizzieren Sie für den schwingenden Körper ein $y(t)$ -Diagramm, das zeigt, wie die Höhe y während einer Auf- und Abwärtsbewegung von der Zeit t abhängt. Markieren Sie jeweils die Zeitpunkte, an denen sich der Körper am schnellsten bewegt und somit die grösste kinetische Energie besitzt. Markieren Sie auch die Zeitpunkte mit kleinster Geschwindigkeit bzw. kinetischer Energie.
2. Zeichnen Sie weiter die Zeitpunkte ein, an denen die Feder die grösste Federenergie hat, danach diejenigen mit der geringsten Federenergie.
3. Skizzieren Sie nun, ausgehend vom $y(t)$ -Diagramm, das $v(t)$ -Diagramm.
4. Erstellen Sie schliesslich Graphen, die jeweils darstellen, wie die kinetische Energie bzw. die Federenergie von der Zeit abhängen: die Funktionsgraphen von $E_{\text{kin}}(t)$ und $E_F(t)$.

VORGEHEN

1. Montieren Sie das 200 g-Gewicht und die Feder gemäss Fig. 1. Verbinden Sie den Motion-Detektor über den Eingang DIG/SONIC 1 mit dem Anschlussgerät. Legen Sie den Motion-Detektor genau unter das hängende Gewicht und achten Sie darauf, dass keine weiteren Gegenstände Echos auf den Detektor werfen können. Zum Schutz des Detektors stellen Sie den Drahtkorb über den Detektor. In der Gleichgewichtslage sollte das Gewicht etwa 60 cm über dem Detektor hängen. Bei Schwingungsweiten von höchstens 10 cm sollte das Gewicht den Mindestabstand von 40 cm zum Detektor nicht unterschreiten.

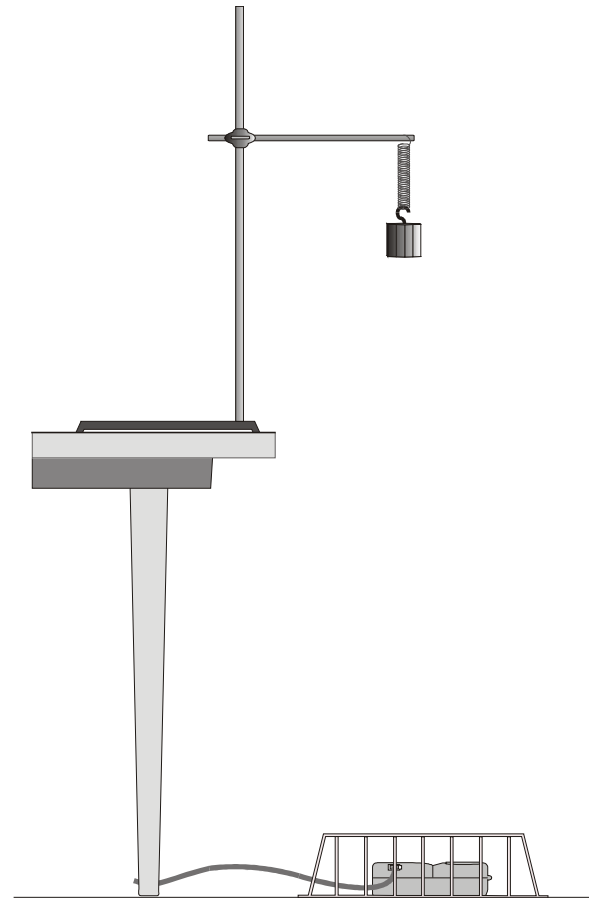



Fig. 1

2. Schliessen Sie das LabPro Interface an den Laptop an, (Installieren Sie es, ohne Update). Öffnen Sie Logger Pr vom Desktop und darin öffnen Sie das File "17a Energy in SHM" im Ordner *Physics with Computers*.
3. Lassen Sie das Gewicht auf- und abspringen, indem Sie es zu Anfang um 10 cm emporheben und dann loslassen. Dabei soll es möglichst nicht zur Seite schwingen. Drücken Sie . Die Daten von Position und Geschwindigkeit werden nun gesammelt. Drucken Sie Ihre Diagramme und vergleichen Sie sie mit Ihren eigenen Voraussagen. Erläutern Sie auftretende Abweichungen.
4. Zur Berechnung der Federenergie muss zunächst die Federkonstante D bestimmt werden. Nach dem Hookschen Federgesetz ist die Federkraft proportional zur Deformation aus der Gleichgewichtslage, oder: $F = -kx$. Sie können nun bekannte Kräfte auf die Feder wirken lassen, die die Federkraft betragsmässig aufheben, indem Sie eine Reihe von Gewichtssteinen an der Feder aufhängen. Mit dem Motion-Detektor können Sie dann die Gleichgewichtslage messen. Öffnen Sie dazu das File "17b Energy in SHM". Logger *Pro* ist dann eingerichtet, die verwendeten Gewichte in Abhängigkeit von der Position darzustellen.
5. Klicken Sie , um mit der Datenerfassung zu beginnen. Hängen Sie ein 50 g Gewicht an die Feder und bringen Sie es zur Ruhe. Klicken Sie und geben Sie **0,49** ein, die

Experiment 17

Masszahl der Schwerkraft des Gewichtes in Newton.. Drücken Sie ENTER zum Abschluss der Eingabe. Nun hängen Sie nacheinander 100, 150, 200, 250, and 300 g an die Feder, nehmen die Position auf und geben jedes Mal die Gewichtskraft in Newton ein. Zum Schluss klicken Sie auf und beenden damit die Messreihe.

- Klicken Sie auf den Knopf  für den linearen Fit. Damit wird eine Ausgleichsgerade durch die Daten berechnet. Der Betrag der Steigung der Geraden ist die Federkonstante in N/m. Notieren Sie diesen Wert in der Wertetabelle unten.
- Entfernen Sie das 300 g-Gewicht und ersetzen Sie es durch ein 200 g-Gewicht für die folgenden Experimente.
- Öffnen Sie das Experimentierfile "17c Energy in SHM". Zusätzlich zu Position und Geschwindigkeit erscheinen hier drei Spalten zusätzlich, nämlich für die kinetische Energie, die Federenergie sowie für die Summe der beiden. Energieformen. Möglicherweise müssen Sie die Berechnungsformeln für die Energie anpassen. Dann wählen Sie Spalten-Einstellungen ► Kinetische Energie im Menu Daten und klicken auf den Eintrag „Column Definition“. Fügen Sie die Masse des hängenden Gewichtssteins in Kilogramm anstelle des Wertes 0,20 in der Definition ein und klicken dann . Genauso ersetzen Sie die Federkonstante von 5,0 in der Spalte für die Federenergie durch den von Ihnen bestimmten Wert.
- Sobald sich das Gewicht an der Feder in Ruhe befindet, klicken Sie um den Motion-Detektor zu tarieren („auf Null zu setzen“). Ab jetzt werden alle Entfernungen von diesem Punkt aus gemessen. Kommt das Gewicht dem Detektor näher, wird seine Ortskoordinate negativ.
- Bringen Sie das Gewicht in vertikaler Richtung in Schwingung. Klicken Sie um die Werte für Position, Geschwindigkeit und die Energien aufzunehmen.

WERTETABELLE

Federkonstante D	N/m
------------------	-----

AUSWERTUNG

- Klicken Sie auf die Beschriftung der y-Achse im Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm, um eine andere Spalte auszuwählen. Klicken Sie auf „More“, um alle Spalten zu sehen. Löschen Sie die Markierung bei der Geschwindigkeit und wählen Sie stattdessen die Spalten der kinetischen Energie und der Federenergie aus. Klicken Sie , um das neue Diagramm zu zeichnen.
- Vergleichen Sie die beiden Energie-Diagramme mit denen, die Sie anfangs gemacht haben. Achten Sie darauf, dass Sie einen Durchlauf vergleichen, der am selben Punkt (Position und Geschwindigkeit) beginnt, wie der von Ihnen gezeichnete. Erörtern Sie die auftretenden Abweichungen.
- Wie sollte sich die Summe von Bewegungs- und Federenergie in Abhängigkeit von der Zeit verhalten, wenn die mechanische Energie in diesem System erhalten ist?
- Überprüfen Sie Ihre Voraussage: Klicken Sie auf die y-Achse des Energie-Diagramms, um eine andere Spalte zur Darstellung auszuwählen. Klicken Sie auf „More“ und wählen Sie

zusätzlich die Spalte der Gesamtenergie aus. Klicken sie auf , um das Diagramm neu darzustellen.

5. Betrachten Sie den Verlauf der Energie-Zeit-Funktion. Was können Sie daraus über die Erhaltung der mechanischen Energie in Ihrem Feder-Masse System schliessen?

ERWEITERUNGEN

1. In der Einleitung behaupteten wir, dass die potentielle Energie der Lage nicht beachtet zu werden bräuchte, wenn die Verschiebungsvariable y , die in der Formel für die Federenergie auftritt, von der Gleichgewichtslage des Körpers aus gemessen würde. Drücken Sie nun zuerst die totale mechanische Energie – kinetische, potentielle und Federenergie – in einem Koordinatensystem aus, dessen y -Koordinatenachse aufwärts gerichtet ist und dessen Ursprung am unteren Ende der *entspannten* Feder mit der Federkonstante D liegt. Nun bestimmen Sie die Gleichgewichtslage des Gesichtes der Masse m , welches an diese Feder gehängt ist. Dies ergibt nun den Ursprung für eine neue Koordinatenachse. Auf ihr wird die Koordinate mit h bezeichnet. Formulieren Sie mit dieser neuen Koordinate h einen Ausdruck für die Gesamtenergie. Zeigen sie, dass der Term für die potentielle Energie der Lage aus dem Ausdruck für die Gesamtenergie herausfällt, wenn sie durch h anstelle von y ausgedrückt wird.
2. Sobald nicht-konservative Kräfte, wie zum Beispiel der Luftwiderstand, nicht mehr zu vernachlässigen sind, nimmt der Energie-Zeit-Graph eine andere Form an. Machen Sie eine Voraussage für den Graphen und befestigen Sie dann eine Karteikarte unter dem schwingenden Gewicht. Nehmen Sie die Energie-Daten ein weiteres Mal auf und vergleichen Sie sie mit Ihrer Voraussage.
3. Die Energieformen, die beim Fadenpendel vorkommen, können in ähnlicher Weise wie beim Federpendel untersucht werden. Drücken Sie in diesem Zusammenhang zunächst die potentielle Energie des Pendelkörpers durch seine horizontale Position aus. Führen Sie nun das Experiment durch, indem Sie die horizontale Position des Pendelkörpers mit dem Motion-Detektor messen.
4. Stellen Sie einen kleinen Laborwagen oder einen Gleitschlitten auf einer Luftkissenschiene, so auf, dass er, zwischen zwei Federn gespannt, horizontal vor und zurück schwingen kann. Zeichnen Sie seine Position als Funktion der Zeit mit dem Motion-Detektor auf. Untersuchen Sie die Erhaltung der Energie in diesem System. Berücksichtigen Sie dabei die Federenergie beider Federn!

Quelle: Physics with Computers, Vernier.

Übersetzung: [Martin Bittcher](#), BBW Winterthur

Translated and posted with permission of Vernier Software & Technology, Beaverton, Oregon, USA, 1 January 2007.

Copyright © 2003 by Vernier Software & Technology. All rights reserved.