

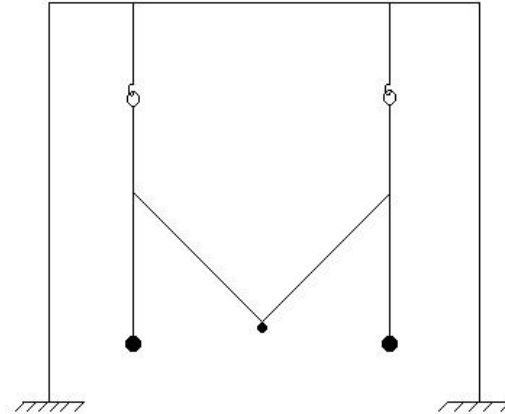
Physikprotokoll vom 04.06.2002

Versuch: Gekoppelte Pendel

Materialien:

- Stativmaterial
- zwei Pendel
- Faden
- zwei gleiche Massestücke (an Pendeln befestigt)
- weiter Massestücke verschiedener Masse (Mittelgewicht; an Faden hängend)

Versuchsskizze:



Beschreibung des Aufbaus:

Zwei gleich lange Pendel sind jeweils mit Hilfe eines Rings an einem Haken in gleicher Höhe aufgehängt (Schwingung kann ohne große Reibung durchgeführt werden). An jedem Pendel befindet sich ein Massestück gleichen Gewichtes. Diese Massestücke können an verschiedenen Stellen des Pendels befestigt werden. Die beiden Pendel sind mit einem Faden, der jeweils in gleicher Höhe angreift, verbunden (gekoppelt). In der Mitte des Fadens hängt ein Massestück.

Durchführung:

Eines der Pendel wird ausgelenkt und anschließend wieder losgelassen, so dass es eine Schwingung durchführen kann.

Beobachtung/Erklärung:

Angenommen man lenkt das rechte Pendel R aus: Auf den ersten Blick stellt man fest, dass die Amplitude der Schwingung von R abnimmt. Parallel dazu nimmt die Amplitude beim linken Pendel L zu.

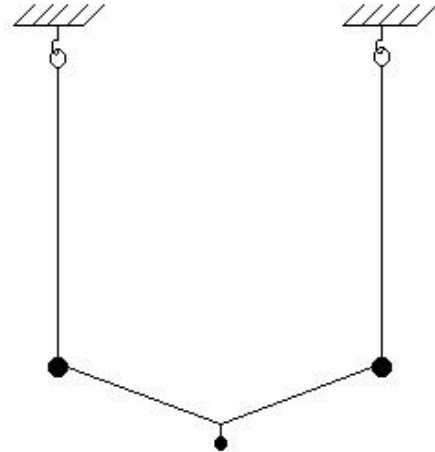
Bei genauerem Hinsehen erkennt man eine Phasenverschiebung der beiden Schwingungen von 90° . Hierbei schwingt R zunächst vor (wenn R durch die Ruhelage geht, befindet sich L im linken Umkehrpunkt). Die Phasenverschiebung bleibt erhalten, während die Amplituden sich verändern. Nach einer Weile bleibt R fast stehen. L hat zu diesem Zeitpunkt seine größte Amplitude. Anschließend haben wir einen Phasensprung. R beginnt wieder zu schwingen, die Amplitude wird wieder größer. Jetzt eilt jedoch L mit einer Phasenverschiebung von 90° voraus (L im rechten Umkehrpunkt, wenn R durch die Ruhelage geht). Es handelt sich also um einen Phasensprung von 180° . Die durch das Auslenken in das System gesteckte Energie, überträgt sich von einem Pendel auf das andere. Das Pendel, das die Energie abgibt eilt in seiner Schwingung immer um $\pi/2$ (90°) voraus

Versuchserweiterung:

1. Das Massestück auf dem rechten Pendel wird nach oben verschoben. Zu beobachten ist, dass R im Gegensatz zu L selbst zum Zeitpunkt der Phasensprungs nicht mehr stehen bleibt und die ganze Zeit weiter schwingt. Die Amplituden der beiden schwingenden Pendel verändern sich jedoch weiterhin.
2. Das Mittelgewicht (Kopplungsgewicht) wird vergrößert. Beobachtung: Je schwerer die „Kopplung“, desto schneller der Energietransport bzw. die Energieübertragung. Die Zeit von Phasensprung zu Phasensprung wird also kleiner.

3. Abänderung des Versuchsaufbaus (Beobachtung und Deutung unterscheiden sich jedoch nicht von denen des bereits beschriebenen Versuchsaufbaus):

Die Kopplungsschnur wird hier nicht wie im vorherigen Versuch an den Pendelstangen befestigt, sondern direkt an den Pendelgewichten, welche in diesem Versuchsaufbau nicht verschoben werden können.



Theorie und mathematische Zusammenhänge bezüglich erzwungener Schwingungen:

Zum Energiefluss: um ihn zu berechnen bildet man folgendes Integral:

$$W = \int_{s_1}^s F dl$$

Bei „l“ handelt es sich hier um die Länge des Weges.

Die erste Ableitung der Energie nach dem Weg ist die Kraft:

$$\frac{dW}{ds} = F$$

Da der Weg eine Funktion der Zeit ist ($s(t)$), handelt es sich bei der Berechnung der Energie W um eine verschachtelte Funktion $W(s(t))$.

Die Ableitung der Energie nach der Zeit ist die Leistung P :

$$\frac{dW(t)}{dt} = [W(s(t))]'_s \cdot [s(t)]'_t$$

Beim ersten Faktor handelt es sich um die äußere Ableitung. Physikalisch gesehen ist dies die Kraft. Der zweite Faktor (die innere Ableitung) ist die Geschwindigkeit. Dies sind beides unterschiedliche Ableitungen: Einmal leitet man nach dem Weg s und einmal nach der Zeit t ab!

Andere Schreibweise:

$$\frac{dW(t)}{dt} = \frac{dW}{ds} \cdot \frac{ds}{dt}$$

Wenn es sich um Energieflüsse handelt, bei denen eine Kraft (und damit auch Geschwindigkeit und Weg) eine Rolle spielt, ergibt sich somit folgende physikalische Formel:

$$P(t) = F(t) \cdot v(t)$$

Anwendung auf erzwungene Schwingungen (folgende Formeln gelten):

$$F(t) = \hat{F} \cdot \sin \omega t$$

$$s(t) = \hat{s} \cdot \sin(\omega t - j)$$

Für die Leistung P erhält man durch Einsetzen und Ableiten des Weges nach der Zeit um die Geschwindigkeit zu erhalten, folgenden Zusammenhang:

$$P(t) = \hat{F} \cdot \hat{s} \cdot \omega \cdot \sin(\omega t) \cdot \cos(\omega t - \mathbf{j})$$

Einen optimalen Wirkleistungsfluss erhält man bei einer Phasenverschiebung von $\pi/2$ (90°), da in diesem Fall $F(t)$ und $v(t)$ in Phase sind.

Die mittlere Leistung berechnet man über die Arbeit:

$$W = \int_0^T P(t) dt$$