

# Gekoppelte Pendel



Physik

Mechanik

Schwingungen &amp; Wellen



Schwierigkeitsgrad

mittel



Gruppengröße

2



Vorbereitungszeit

10 Minuten



Durchführungszeit

10 Minuten

This content can also be found online at:

<http://localhost:1337/c/5f1fec83a680cb0003fd1d15>

PHYWE



## Lehrerinformationen

### Anwendung

PHYWE



Versuchsaufbau zur Untersuchung der gekoppelten Pendel

Gekoppelte Schwingungssysteme können mit Hilfe des Lagrange-Ansatzes exakt beschrieben werden. Hierbei bestimmt man die potentielle und kinetische Energie des jeweiligen Systems  $E_{pot}$  und  $E_{kin}$  und bildet die Differenz dieser. Für die Lagrange-Funktion  $L$  gilt allgemein:

$$L = E_{pot} - E_{kin}$$

Mit Hilfe der Einführung von generalisierten Koordinaten  $q_i$  lässt sich damit das Newton'sche Aktionsgesetz ( $F = \dot{p}$ ) anhand der partiellen Ableitungen schreiben als:

$$\frac{d}{dt} \frac{\delta L}{\delta \dot{q}_i} - \frac{\delta L}{\delta q_i} = 0$$

Da dieser Ansatz jedoch für die Schüler etwas zu komplex sein könnte, sollen diese das System hier zunächst nur experimentell untersuchen.

## Sonstige Lehrerinformationen (1/2)

PHYWE

### Vorwissen



Die Schüler sollten bereits Erfahrungen zu den Themen erzwungene Schwingungen und Resonanz sowie zum Fadenpendel gesammelt haben. Sie sollten wissen, dass mit Hilfe der Schwingungsdauer  $T$  eines Systems dessen Schwingfrequenz  $f$  ermittelt werden kann.

### Prinzip



Die Schwingungsdauer  $T$  des einfachen Fadenpendels ergibt sich gemäß:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

Die Frequenz  $f$  ist hierbei gleich dem Reziprog der Schwingungsdauer:

$$f = 1/T = T^{-1} [1/s] = [Hz]$$

## Sonstige Lehrerinformationen (2/2)

PHYWE

### Lernziel



Die Schüler sollen das Verhalten eines gekoppelten Schwingungssysteme untersuchen und verstehen.

### Aufgaben



Die Schüler sollen das Schwingverhalten an zwei gekoppelten Pendeln für verschiedene Ausgangssituationen (gleichsinnige und gegensinniger Anregung) untersuchen und die auftretende Schwebefrequenz  $f_s$  bestimmen für den Fall, dass nur ein Pendel angeregt wird. In einer Zusatzaufgabe könnte der Einfluss der Kopplung auf die Schwebungsfrequenz untersucht werden.

Zur Veränderung der Kopplung: Die Masse sollten nur verkleinert werden, da andernfalls die beiden Fadenpendel schief hängen und die Messergebnisse unsauber werden. Der Ansatzpunkt für die Kopplung darf nicht zu tief gelegt werden, da andernfalls die Frequenzunterschiede für gleich- und gegensinnige Anregung zu gering und somit die Messfehler zu groß werden.

## Sicherheitshinweise

PHYWE



Für diesen Versuch gelten die allgemeinen Hinweise zum sicheren Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht.

PHYWE

## Schülerinformationen



## Motivation

PHYWE



Flugzeugfahrwerk

Schwingungen und schwingungsfähige Systeme sind dir bereits ein Begriff. Im Alltag sind diese zumeist jedoch nicht derart separiert, wie die von dir bisher untersuchten Systeme (Fadenpendel, Schraubenfederpendel, etc.), sondern bestehen meist aus gekoppelten schwingungsfähigen Systemen.

Ein klassisches Beispiel hierfür ist das Fahrwerk eines Flugzeuges, wie hier dargestellt oder auch das von Fahrzeugen. Dieses besteht aus vielen einzelnen Bauteilen und schwingungsfähigen Komponenten wie den Reifen und den verbauten Federn und stellen somit ein gekoppeltes Schwingungssystem dar.

Im folgenden Versuch wirst du dich mit einem gekoppelten Schwingungssystem befassen.

## Aufgaben

PHYWE



Beobachte das Verhalten zweier Fadenpendel, die mittels einer Schnur und eines Massestückes gekoppelt sind.

Miss die Schwebungsdauer der gekoppelten Pendel, wenn nur ein Fadenpendel angeregt wird.

Bestimme die Schwingungsdauer beider Pendel bei gleichsinniger und bei gegensinniger Schwingung.

## Material

Position	Material	Art.-Nr.	Menge
1	PHYWE Stativfuß, teilbar, für 2 Stangen, $d \leq 14$ mm	02001-00	1
2	Stativstange, Edelstahl, $l = 600$ mm, $d = 10$ mm, zweigeteilt, verschraubbar	02035-00	2
3	Stativstange, Edelstahl, $l = 250$ mm, $d = 10$ mm	02031-00	1
4	Stativstange, Edelstahl, $l = 100$ mm, $d = 10$ mm, mit Bohrung	02036-01	2
5	Doppelmuffe, für Kreuz- oder T-Spannung	02043-00	2
6	Gewichtsteller für Schlitzgewichte, 10 g Bauart PHY	02204-00	2
7	Schlitzgewicht, schwarzlackiert, 10 g Bauart PHY	02205-01	2
8	Schlitzgewicht, schwarzlackiert, 50 g Bauart PHY	02206-01	2
9	Präzisionsgewichtsatz 1 g...50 g, in Etui	44017-01	1
10	Digitale Stoppuhr, 24 h, 1/100 s und 1 s	24025-00	1
11	Maßband, $l = 2$ m	09936-00	1
12	Angelschnur, auf Röllchen, $d = 0,7$ mm, 20 m	02089-00	1

## Zusätzliches Material

PHYWE

Position	Material	Menge
1	Schere	1

## Aufbau (1/2)

PHYWE

Verbinde die beiden Stativfußhälften mit der Stativstange 25 cm und stelle die Verschlusshebel fest.

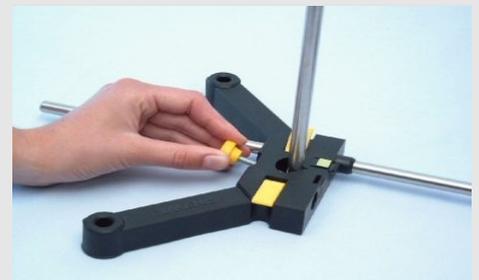
Verschraube die beiden zweigeteilten Stativstangen zu zwei langen Stangen. Setze diese beiden Stativstangen (60 cm) in die Stativfußhälften und schraube sie fest.



Verbinden der Stativfußhälften



Verschrauben der Stativstange



Befestigen der Stativstange

## Aufbau (2/2)

PHYWE



Stativstangen in  
Doppelmuffe montieren

Klemme die zwei kurzen Stativstangen mit den Doppelmuffen an die obere Ende der langen Stativstangen.

Baue damit zwei exakt gleiche Fadenpendel auf mit  $40\text{ cm}$  Pendellänge und jeweils einer Masse von  $m = 70\text{ g}$ . Der Abstand der beiden Aufhängepunkte soll  $10\text{ cm}$  betragen. Die Pendel sollen die gleiche Schwingungsdauer besitzen! (Eventuell eine Pendellänge etwas anpassen).

Befestige in der Mitte eines Stückes Angelschnur ( $20\text{ cm}$  lang) ein Massestück  $10\text{ g}$ . Befestige beide Enden am oberen Ende je eines Gewichtstellers.



Aufbau zweier gleicher  
Fadenpendel

## Durchführung (1/2)

PHYWE



Auslenken der  
Fadenpendel

- Bringe das System zum Schwingen, indem du ein Pendel um etwa  $4\text{ cm}$  zur Seite auslenkst.
- Lass das Pendel los und beobachte zunächst das Verhalten beider Pendel.
- Miss die Schwebungsdauer der beiden gekoppelten Fadenpendel: Bestimme dafür die Zeit  $T$  zwischen zwei Stillständen eines Pendels. Wiederhole die Messungen zweimal und notiere die gemessenen Zeiten in Tabelle 1 im Protokoll.

## Durchführung (2/2)

PHYWE



Auslenken der Fadenpendel

- Bestimme dann die Schwingungsdauer eines Pendels, wenn
  - beide Pendel zur gleichen Seite (gleichsinnig) und gleich weit ausgelenkt werden.
  - beide Pendel zu verschiedenen Seiten (gegensinnig) und gleich weit ausgelenkt werden.
- Miss dazu jeweils die Zeit für 10 Schwingungen und wiederhole auch diese Messungen jeweils zweimal.
- Trage die ersten Messwerte zur gleichsinnigen Messung in Tabelle 2 im Protokoll ein.
- Trage die zweiten Messwerte zur gegensinnigen Messung in Tabelle 3 im Protokoll ein.

PHYWE

## Protokoll



## Tabelle 1

PHYWE

Trage deine Messwerte zur Schwebungsdauer  $T_s$  und berechne aus den Werten den Mittelwert für die Schwebungsdauer  $\langle T_s \rangle$  des Pendels und die Schwebungsfrequenz  $f_s$ .

Berechne aus der Schwingungsdauer die Frequenz:

$$f_s = \frac{1}{T_s} = T_s^{-1} \quad [Hz \triangleq \frac{1}{s}]$$

Messung Nr.  $T_s [s]$

1	
2	
3	

$\langle T_s \rangle [s]$   $f_s [Hz]$

--	--

## Tabelle 2

PHYWE

Trage deine Messwerte für die Schwingdauer von 10 Perioden bei gleichsinniger Anregung ein und die zugehörigen Schwingungsdauern  $T$  für eine Schwingung. Berechne dann daraus den Mittelwert  $T_1$  und die Frequenz  $f_1$  für die gleichsinnige Anregung.

$$f_1 = \frac{1}{T_1}$$

Messung Nr.  $t_{10} [s]$   $T [s]$

1		
2		
3		

$T_1 [s]$   $f_1 [Hz]$

--	--

### Tabelle 3

Trage deine Messwerte für die Schwingdauer von 10 Perioden bei gegensinniger Anregung ein und die zugehörigen Schwingungsdauern  $T$  für eine Schwingung. Berechne dann daraus den Mittelwert  $T_2$  und die Frequenz  $f_2$  für die gegensinnige Anregung.

Messung Nr.	$t_{10}$ [s]	$T$ [s]
1		
2		
3		

$$f_2 = \frac{1}{T_2}$$

$T_2$  [s]       $f_2$  [Hz]

--	--

### Aufgabe 1

Ziehe die Wörter zu deiner Beobachtung an die richtigen Stellen.

Durch die  der Pendel wird vom ersten Pendel  an das zweite abgegeben, das seinerseits zu  beginnt. Der Energieverlust am ersten Pendel führt zu einer  seiner Amplitude bis zum . Das zweite Pendel hat jetzt seine größte  erreicht. Dann beginnt der Energietransport erneut, jetzt jedoch rückwärts vom  Pendel zum . Damit ist der  wieder erreicht, der Vorgang beginnt von neuem.

- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
-

## Aufgabe 2

PHYWE



Auslenken der  
Fadenpendel

Ein schwingendes Pendel besitzt Schwingungsenergie in Form potentieller und kinetischer Energie. Kannst du die an den gekoppelten Pendeln beobachteten Vorgänge mit Hilfe einer Energiebetrachtung erklären?

- Es findet ein ständiger Wandel von potentieller und kinetischer Energie der jeweiligen Massen (links und rechts) statt.
- Das System hat stets nur potentielle Energie.
- Das System hat stets nur kinetische Energie.

Überprüfen

## Aufgabe 3



Auslenken der  
Fadenpendel

Bilde die Differenz der Schwingungsfrequenzen für gleich- und gegensinnige Anregung  $f_2 - f_1$ . Vergleiche das Ergebnis mit der von dir ermittelten Schwebungsfrequenz  $f_s$ . Was stellst du fest?

- $f_s < f_2 - f_1$
- $f_s > f_2 - f_1$
- $f_s = f_2 - f_1$

Überprüfen

Folie	Punktzahl/Summe
Folie 19: Beobachtung gekoppelte Pendel	0/9
Folie 20: Wandlung von $E_{pot}$ und $E_{kin}$	0/1
Folie 21: Vergleich von $\Delta f$ und $f_s$	0/1

Gesamtsumme  0/11 Lösungen Wiederholen Text exportieren