

# Fadenpendel (Mathematisches Pendel)

Bereits Galileo Galilei beschäftigte sich ausgiebig mit dem mathematischen Pendel. Es gilt als Musterbeispiel dafür, wie man mit systematischen Messungen auf einfache physikalische Gesetzmässigkeiten kommen kann.

## Ziel

- Sie untersuchen, wovon die Schwingungsdauer des Fadenpendels abhängt.
- Sie lernen an einem einfachen Beispiel, wie man experimentell ein physikalisches Gesetz herleiten und auf dem Weg dahin falsche Hypothesen ausschliessen kann.

## Material

Stativ mit montierter Winkelscheibe, verschiedene Pendelmassen, Stoppuhr, Messband, Waage.

## Theorie

Für kleine Auslenkungen schwingt ein Fadenpendel harmonisch und die Periodendauer  $T$  (= Schwingungsdauer für eine Hin- und Herbewegung) beträgt:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \quad (1)$$

Die Länge des Pendels  $l$  ist der Abstand zwischen dem Aufhängepunkt und dem Schwerpunkt des schwingenden Körpers (Pendelkörpers).  $g$  ist die Fallbeschleunigung am betreffenden Ort.

## Messungen

- a) Messen Sie 10 Mal die Schwingungsdauer eines Fadenpendels (für eine Fadenlänge und für  $5^\circ$  Auslenkung).

$n$	$T(s)$
1	
...	

- b) Bestimmen Sie die Schwingungsdauer bei konstanter, kleiner Amplitude und konstanter Pendelmasse für zehn verschiedene Schnurlängen. Achten Sie darauf, dass das Pendel in einer Ebene schwingt und dass die Amplitude klein bleibt (maximaler Ausschlag  $< 10^\circ$ ). Damit die Messungen genauer werden, stoppen Sie nicht die Dauer einer einzelnen Schwingung, sondern die Dauer von jeweils fünf Schwingungen hintereinander. Notieren Sie die Auflösungen der Messgeräte und schätzen Sie die Fehlerschranken der Messungen.

$n$	$\alpha(^\circ)$	$m(kg)$	$l(m)$	$5 \cdot T(s)$
11				
...				

$\Delta l =$

- c) Messen Sie die Schwingungsdauer bei konstanter, kleiner Amplitude und konstanter Schnurlänge für drei verschiedene Pendelmassen (je 5 Schwingungen).

$n$	$\alpha(^\circ)$	$m(kg)$	$l(m)$	$5 \cdot T(s)$
21				
...				

$\Delta m =$

- d) Messen Sie die Schwingungsdauer bei konstanter Pendelmasse und Schnurlänge für acht verschiedene Amplituden zwischen  $5^\circ$  und  $75^\circ$  (je 5 Schwingungen).

$n$	$\alpha(^{\circ})$	$m(kg)$	$l(m)$	$5 \cdot T(s)$
24				
...				

$\Delta\alpha =$

## Auswertung der Messungen

### Statistik

- 1) Analysieren Sie die Messungen der Schwingungsdauer (Tabelle + Diagramm). Berechnen Sie die mittlere Zeit für eine Schwingung  $\bar{T}$ . Wie gross ist die Standardabweichung? Ein vernünftiges Mass für den Fehler der Zeitmessung ist die grösste Abweichung einer Einzelmessung vom Mittelwert.

### Zusammenhang zwischen Pendellänge und Schwingungsdauer

- 2) Stellen Sie die Schwingungsdauer ( $T$  in Sekunden) als Funktion der Schnurlänge ( $l$  in Meter) graphisch dar (mit Fehlerbalken). Zeigen Sie, dass die beiden Grössen nicht proportional zueinander sind.
- 3) Stellen Sie die Quadrate der Schwingungsdauern ( $T^2$ ) als Funktion der Pendellängen dar (mit Fehlerbalken).  
**Hinweis:**  $\Delta(T^2) = 2 \cdot \Delta T \cdot T$
- 4) Zeichnen Sie die am besten zu den Messungen passende Nullpunktsgerade (lineare Regression durch den Nullpunkt). Welchen Schluss ziehen Sie daraus, dass alle Messwerte auf der Nullpunktsgereaden liegen (sollten)? Lesen Sie die Steigung der Geraden im vorherigen Diagramm ab (mit Fehlerabschätzung) und schreiben Sie sie korrekt mit Einheiten. Welche Bedeutung hat diese Steigung?
- 5) Berechnen Sie aus der Steigung den Wert der Fallbeschleunigung im Praktikumszimmer (mit Fehlerschranke). Vergleichen Sie Ihr Resultat mit dem Literaturwert.

### Zusammenhang zwischen Pendelmasse und Schwingungsdauer

- 6) Zeigen Sie, dass die Schwingungsdauer im Rahmen der Messgenauigkeit von der Pendelmasse unabhängig ist (Hinweis: Diagramm)

### Zusammenhang zwischen Amplitude und Schwingungsdauer

- 7) Berechnen Sie die Schwingungsdauer für die bei d) verwendete Schnurlänge mit der Formel für kleine Amplituden. Ab welcher Amplitude weicht die gemessene Schwingungsdauer wesentlich (d.h. mehr als die Genauigkeit der Zeitmessung) von diesem Wert ab? (Hinweis: Diagramm)

## Bedingungen

Falls Sie einen Bericht schreiben, geben Sie diesen mit der vollständigen Auswertung ab (Fehlerrechnung wo möglich). Für eine Auswertung ohne Bericht bearbeiten Sie mindestens die Aufgaben 1) bis 5) ohne Fehlerrechnung. Abgabetermin Bericht ist:

Abgabetermin verbesserte Version:

## Literatur

- [https://de.wikipedia.org/wiki/Mathematisches\\_Pendel](https://de.wikipedia.org/wiki/Mathematisches_Pendel)