

# Physikalisches Pendel

Als physikalisches Pendel bezeichnet man einen beliebigen Körper, der um einen Punkt oder eine Achse drehbar gelagert ist und unter dem Einfluss der Schwerkraft Schwingungen ausführen kann. Das physikalische Pendel besteht aus einem ausgedehnten, starren Körper. Erstaunlicherweise unterscheidet sich die Schwingungsdauer eines physikalischen Pendels (bei kleinen Auslenkungen) von derjenigen des mathematischen Pendels nur um einen von der Massenverteilung abhängigen Faktor.

## Ziel

- Sie untersuchen die Eigenschaften des physikalischen Pendels.
- Sie machen sich mit dem Begriff Trägheitsmoment vertraut.
- Sie vergleichen Ihre Messwerte mit theoretischen Werten und entscheiden, ob diese miteinander verträglich sind.

## Physikalische Grundlagen

Die Schwingungsdauer  $T$  eines physikalischen Pendel hat für kleine Amplituden folgenden Wert (siehe FoTa s.163):

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J_S + m \cdot s^2}{m \cdot g \cdot s}} \quad (1)$$

In dieser Formel ist  $m$  die Gesamtmasse des Pendels,  $s$  der Abstand der Drehachse vom Schwerpunkt und  $J_S$  das sog. Trägheitsmoment bezogen auf eine parallele Rotationsachse durch den Schwerpunkt.

Das Trägheitsmoment  $J$  gibt den Widerstand eines starren Körpers gegenüber einer Änderung seiner Rotationsbewegung um eine gegebene Achse an. Das Trägheitsmoment hängt von der Massenverteilung in Bezug auf die Drehachse ab. Je weiter ein Massenelement von der Drehachse entfernt ist, desto mehr trägt es zum Trägheitsmoment bei; der Abstand geht quadratisch ein. Das Trägheitsmoment ist definiert:

$$J = \sum_i m_i \cdot r_i^2 \quad (2)$$

wobei  $r_i$  der Abstand des Massepunktes  $m_i$  von der Drehachse ist. Die Trägheitsmomente einfacher Körper stehen in der FoTa.

## Experiment

### Material

Stativ, verschiedene Platten und Stäbe aus Aluminium und Messing, Stoppuhr, Massstab und Waage.

### Durchführung

- a) Wählen Sie eine Stange mit vielen Löchern. Bestimmen Sie möglichst genau Länge, Breite, Dicke und die Masse der Platte, inkl. Fehler. Notieren Sie die Abstände der Bohrungen zum Schwerpunkt, machen Sie eventuell eine kleine Zeichnung.
- b) Wählen Sie ein Loch als Aufhängung und messen Sie die Schwingungsdauer bei kleiner Amplitude. Die Schwingungsdauer soll auf mindestens 1% genau gemessen werden.
- c) Messen Sie (mit gleicher Genauigkeit) die Schwingungsdauer des Stabs für mind. fünfzehn verschiedene Aufhängepunkte (verteilt über die ganze Länge).
- d) Wählen Sie eine Platte und wiederholen Sie den Vorgang (mit alle mögliche Löcher).

- e) Wählen Sie eine quadratische Platte, die senkrecht zur Plattenebene schwingt, und wiederholen Sie den Vorgang.
- f) Falls Zeit vorhanden ist: versuchen Sie die Dämpfung für eine Schwingung zu bestimmen (Hinweis: Handkamera).

## Auswertungen

- 1) Leiten Sie mit Hilfe der Formeln aus der FoTa eine Formel für die Schwingungsdauer der Platte her. Berechnen Sie damit in einer übersichtlichen Excel-Tabelle die Schwingungsdauer für die von Ihnen gewählten Aufhängepunkte (inkl. Fehler). Überprüfen Sie, ob die berechneten Werte mit der Messung im Rahmen der Messgenauigkeit verträglich sind.
- 2) Stellen Sie die Schwingungsdauer der Stange als Funktion des Abstands zwischen Aufhänge- und Schwerpunkt graphisch dar und zeichnen Sie im Diagramm Ihre Messwerte (inkl. Fehlerbalken) ein. Bestimmen Sie analytisch (d.h. mit Ableiten) den Abstand, bei dem die Schwingungsdauer minimal ist.
- 3) Zeigen Sie, dass für einen Stab die Beziehung

$$x \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^2 = \frac{1}{12} + x^2 \quad (3)$$

gelten muss, wobei  $x = s/l$  das Verhältnis aus Schwerpunktsabstand und Stablänge und  $T_0$  die Schwingungsdauer eines gleich langen Fadenpendels ist.

- 4) Ergänzen Sie in der Tabelle Spalten für die aus den Messwerten für den Stab berechneten Größen  $x^2$  und  $y = x \cdot (T/T_0)^2$ . Erstellen Sie aus diesen beiden Spalten ein Diagramm mit einer linearen Trendlinie. Vergleichen Sie die Werte für Achsenabschnitt und Steigung mit den theoretischen Vorhersagen.
- 5) Werten Sie die zweite Messreihe (Platte) analog aus.
- 6) Zusatz: Bestimmen Sie die Abklingskonstante (Hinweis: Videoanalysis siehe Quelle).

## Bedingungen

Falls Sie einen Bericht schreiben, geben Sie diesen mit der vollständigen Auswertung (Fehlerrechnung wo möglich) ab. Für eine Auswertung ohne Bericht bearbeiten Sie mindestens die Aufgaben 1) bis 4) (ohne Fehlerrechnung).

Abgabetermin ist:

## Literatur

- [http://de.wikipedia.org/wiki/Physikalisches\\_Pendel](http://de.wikipedia.org/wiki/Physikalisches_Pendel)
- Duden Physik Abitur, Abschnitt 2.5.3
- [http://www.mt-load.de/mt2/ph/data/FK\\_05\\_Massentraegheitsmoment,\\_dynamisch.pdf](http://www.mt-load.de/mt2/ph/data/FK_05_Massentraegheitsmoment,_dynamisch.pdf)
- <http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/> (für Video Analysis)