| Y90 Aufbau physikalisches Pendel | |
|---|---|
| Name: | Matrikelnummer: |
| Fachrichtung: | Versuchsdatum: |
| Mitarbeiter/in: | Gruppennummer: |
| Assistent/in: | Endtestat: |

Dieser Fragebogen muss von jedem Teilnehmer **eigenständig** (keine Gruppenlösung!) handschriftlich beantwortet und vor Beginn des Versuchs abgegeben werden. Die Vorbereitung wird zusätzlich durch einen Test bzw. eine mündliche Prüfung über die physikalischen Grundlagen des Versuchs kontrolliert. (Version: 3. Mai 2023)

**Versuchsziel und Versuchsmethode:**

**1.) Was ist der Unterschied zwischen einem mathematischen und einem physikalischen Pendel? Nennen Sie jeweils die relevanten Systemgrößen.**

**2.) Wie würden Sie die Periodendauer Ihres Pendels bestimmen?**

**3.) Nennen Sie unterschiedliche Größen, durch welche die Dämpfung eines Pendels quantifiziert werden kann. Welche könnte für Ihren Fall am geeignetsten sein?**

# Y Freie Versuche

## Y90 Aufbau physikalisches Pendel

**Diese Anleitung kann und soll kein Lehrbuch ersetzen.** Die beschriebenen Grundlagen stellen einen kurzen Überblick dar und sind daher zum Erlernen der physikalischen Grundlagen nicht ausreichend. Genauere Beschreibungen finden sich in:

[1] *Kapitel* Mechanik der Massenpunkte. In: Meschede, D.: *Gerthsen Physik*. Springer, 2010. – E-Book

[2] *Kapitel* Trägheitsmoment und Rotationsenergie. In: Demtröder, W.: *Experimentalphysik 1: Mechanik und Wärme*. Springer, 2015. – E-Book

[3] *Kapitel* Dynamik starrer ausgedehnter Körper. In: Demtröder, W.: *Experimentalphysik 1: Mechanik und Wärme*. Springer, 2015. – E-Book

### Stichworte

Mathematisches Pendel [1], physikalisches Pendel [1], Trägheitsmoment [2], Satz von Steiner [3], Reibung [1]

### Grundlagen

Ein sich periodisch wiederholender Bewegungsvorgang eines physikalischen Systems wird als Schwingung bezeichnet. Die größte Auslenkung aus der Ruhelage nennen wir Amplitude $\psi_0$, die Zeit zwischen zwei gleichen Bewegungszuständen heißt Schwingungsdauer $T$, ihr Kehrwert Frequenz $f$. Ein mechanisches System ist prinzipiell schwingungsfähig, wenn es sich im Gleichgewicht an einem Ort minimaler potentieller Energie befindet. Jede Auslenkung aus diesem Zustand bewirkt rücktreibende Kräfte. Sind diese proportional zur Auslenkung, verläuft die Schwingung sinusförmig und wird deshalb auch harmonisch genannt. Die zusätzliche potentielle Energie, die dem System beim Auslenken aus der Ruhelage zugeführt wird, setzt sich beim Rücklauf in kinetische Energie um und bewirkt dadurch eine Bewegung über den Ruhezustand hinaus. Das System pendelt um seine Ruhelage, d.h. es schwingt. Wird keine Energie durch Reibung oder andere Einflüsse verbraucht, so handelt es sich um eine ungedämpfte Schwingung, die aber in realen Systemen nur näherungsweise verwirklicht werden kann.
Als mathematisches Pendel bezeichnet man ein idealisiertes Pendel, bei dem eine punktförmige Pendelmasse an einer masselosen Aufhängung reibungsfrei schwingt. Ein sogenanntes physikalisches Pendel berücksichtigt hingegen die Massenverteilung der Einzelteile.

Die Bewegung lässt sich in diesem Fall durch die Gesamtmasse $M$, die Entfernung $l_s$ des Schwerpunkts vom Aufhängepunkt und das Trägheitsmoment $J$ bezüglich der Drehachse beschreiben.

Durch die Betrachtung der relevanten Drehmomente erhält man als Bewegungsgleichungen bei kleinen Auslenkungen aus der Ruhelage ($\sin\psi \approx \psi$) folgende Differentialgleichung:

$$J\ddot{\psi} + Mgl_\mathrm{s}\psi = 0. \tag{Y90-1}$$

Hieraus erhält man die Periodendauer des Pendels

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{J}{Mgl_s}}. \tag{Y90-2}$$

### Berechnung des Trägheitsmoments $J$

Bei der Berechnung des Trägheitsmoments muss der gesamte Pendelkörper betrachtet werden. Im Allgemeinen ist ein Integral der Form

$$J = \int r_\perp^2 \;\mathrm{d}m \tag{Y90-3}$$

zu lösen, wobei $r_\perp$ den senkrechten Abstand des Massenelements $\mathrm{d}m$ von der Drehachse bezeichnet. Für gängige symmetrische Körper lassen sich entsprechende geschlossene Formeln angeben. Ist eine etwaige angehängte Pendelmasse in ihren Abmessungen klein im Verhältnis zu ihrem Abstand $L$ von der Drehachse, so kann sie als Punktmasse in Ihrem Schwerpunkt betrachtet werden. Ihr Trägheitsmoment $J_2 = m_2 \cdot L^2$ kann zu dem des Pendelkörpers addiert werden.
Bei bekanntem Trägheitsmoment $J_S$ für eine Achse durch den Schwerpunkt lässt sich mithilfe des Steinerschen Satzes das Trägheitsmoment $J_P$ für eine um den Abstand $d$ verschobene parallele Achse berechnen:

$$J_P = J_S + md^2. \tag{Y90-4}$$

### Reibung

Man unterscheidet verschiedene Arten von Reibung:

**Coulomb-Reibung:** konstante Reibungskraft $F_R$, die vom Betrag der Geschwindigkeit unabhängig und ihrer Richtung entgegengesetzt ist. Beispiel: Gleitreibung, Rollreibung

**Stokessche Reibung:** (oder auch viskose Reibung) ist dem Betrag der Geschwindigkeit proportional und ihrer Richtung entgegengesetzt. Beispiel: laminar umströmte Kugel

**Newtonsche Reibung:** ist proportional dem Quadrat der Geschwindigkeit und ihrer Richtung entgegengesetzt. Beispiel: Luftwiderstand bei hohen Geschwindigkeiten

In der Praxis treten meist mehrere Reibungsarten zugleich auf.

## Dämpfung

Die Dämpfung einer Schwingung lässt sich als absolute oder relative Amplitudenabnahme angeben, zudem entweder pro Zeiteinheit oder auf eine Periode bezogen. Je nach betrachtetem Vorgang und Ziel muss die passende Größe gewählt werden.
Bei konstanter Amplitudenabnahme lässt sich direkt ein Wert für die Abnahme pro Zeiteinheit oder pro Periode angeben. Die Amplitudenabnahme folgt einer linearen Gleichung. Bei einer exponentiellen Amplitudenabnahme gemäß $\psi_0(t_0 + T) = \psi_0(t_0) \cdot e^{-\delta T}$ wird das Amplitudenverhältnis zunächst logarithmiert, man erhält die Abklingkonstante $\delta$ der Schwingung. Die relative Amplitudenabnahme pro Periode nach n Schwingungen bezeichnet man als logarithmisches Dekrement $\Lambda = \frac{1}{n} \ln \frac{\psi_0(t_0)}{\psi_0(t_0+nT)}$. Welcher Fall auftritt hängt von der auftretenden Reibung ab.

## Messprogramm

- Konstruieren Sie ein physikalisches Pendel.
- Messen Sie die Periodendauer und ermitteln Sie die Dämpfung der Schwingung.
- Optimieren Sie Ihren Aufbau, insbesondere auf eine minimale Dämpfung hin.