



## Versuchsanleitung

# Gekoppelte Pendel

Nummer: 02  
Kompiliert am: 29. März 2023  
Letzte Änderung: 29.03.2023  
Beschreibung: Bestimmung der Eigenfrequenzen von Normalschwingungen zweier gekoppelter Pendel. Studium spezieller Anfangsbedingungen, die zum Schwebungsfall führen. Experimentelle Ermittlung eines Kopplungsgrades.  
Webseite: <https://www.uni-ulm.de/nawi/institut-fuer-quantenoptik/ag-prof-jelezko/lehre/grundpraktikum-physik-physwiphys-la-phys/>

---

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einführung</b>	<b>2</b>
<b>2 Stichpunkte zur Versuchsvorbereitung</b>	<b>2</b>
2.1 Theorie . . . . .	2
2.2 Beispiele aus Natur und Alltag . . . . .	2
<b>3 Versuchsdurchführung</b>	<b>3</b>
3.1 Versuchsablauf . . . . .	3
3.1.1 Vorbereitung . . . . .	3
3.1.2 Periodenmessungen . . . . .	3
3.2 Häufige Fehler . . . . .	3
<b>4 Versuchszubehör</b>	<b>3</b>
<b>5 Hinweise zur Ausarbeitung</b>	<b>4</b>
5.1 Versuchsspezifisch . . . . .	4
5.2 Allgemein . . . . .	4
<b>Literatur</b>	<b>5</b>

# 1 Einführung

Sowohl in der Physik als auch in anderen technischen Bereichen spielen gekoppelte, schwingende Systeme eine große Rolle. Durch die Kopplung kann Energie zwischen den Teilsystemen übertragen werden und es entstehen neue Eigenfrequenzen des Gesamtsystems. Den einfachsten Fall stellt ein gekoppeltes System zweier physikalischer Pendel dar. Deren dynamisches Verhalten wird in diesem Versuch untersucht.

## 2 Stichpunkte zur Versuchsvorbereitung

### 2.1 Theorie

Während des Versuchs wird ein Speichermedium benötigt. Pro Gruppe sollte wenigstens ein USB-Stick mitgebracht werden. Zur Versuchsdurchführung müssen die folgenden Punkte vorbereitet werden:

- Allgemeine Gesetzmäßigkeiten und Definitionen: Drehmoment, Drehimpulserhaltungssatz, Winkelgeschwindigkeit, Fadenpendel, Trägheitsmoment, Satz von Steiner, Kopplungsgrad, Schwingungen und Wellen [BS08, Dem15, Mes06]
- Herleitung der Differentialgleichungen von mathematischem und physikalischem Pendel sowie deren Lösungen [BS08, Dem15, Mes06]
- Herleitung der Differentialgleichungen des gekoppelten Pendels, sowie deren Entkopplung [BS08, Dem15, Mes06]
- Normal- bzw. Eigenschwingungen, Eigenfrequenzen, gleich- und gegensinnige Mode, Anfangsbedingungen, Schwebungsfall [BS08, Dem15, Mes06]
- Hauptachsen-System, Hauptträgheitsmomente für Hohl- und Vollzylinder [GE06]

Die obigen Punkte sind in einschlägiger Literatur zu finden. Das Literaturverzeichnis am Ende stellt lediglich eine Auswahl dar.

### 2.2 Beispiele aus Natur und Alltag

- Phononen in Festkörpern, Molekülschwingungen
- Beating (Schwebung) in der Laserphysik
- Bei nicht-linearer Kopplung: Modenkopplung

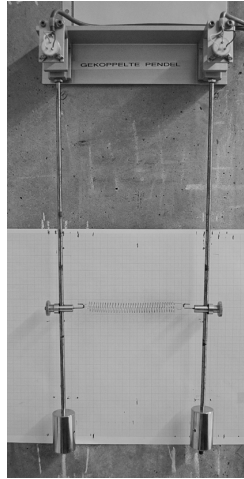


Abbildung 1: Die Abbildung zeigt den Aufbau der gekoppelten Pendel.

## 3 Versuchsdurchführung

### 3.1 Versuchsablauf

#### 3.1.1 Vorbereitung

1. Messen Sie die geometrischen Größen beider Pendel und bestimmen Sie deren Fehler (Massen der Stäbe und Zylinder; Längen, Abstände und Durchmesser der Zylinder)
2. Messen Sie die Periodendauer der Kopplungsfeder mit angebrachtem Massestück.
3. Gleichen Sie die Periodendauern der beiden Pendel ab, indem Sie einen der Zylinder in seiner Höhe verschieben.

#### 3.1.2 Periodenmessungen

1. Bestimmen Sie mit dem gegebenen PC die Eigenfrequenz bzw. die Periode der beiden einzelnen ungekoppelten Pendel.
2. Bestimmen Sie nun mit dem gegebenen PC die Eigenfrequenzen bzw. die Perioden der beiden Eigenmoden der gekoppelten Pendel und zwar für mindestens drei verschieden Kopplungslängen. Die beiden Moden werden gezielt durch Wahl der Anfangsbedingungen angeregt.
3. Bestimmen Sie nun bei beliebiger Anregung Schwebungs- und Trägerfrequenz ( $\Delta f$  bzw.  $(f_1 + f_2)/2$ ).

### 3.2 Häufige Fehler

## 4 Versuchszubehör

- Zwei Pendel mit potentiometrischer Winkelmessung

- Kopplungsfeder
- Rechner zur Messwerterfassung
- Stoppuhr
- Satz Gewichte
- Schieblehre und Waage

## 5 Hinweise zur Ausarbeitung

### 5.1 Versuchsspezifisch

1. Bestimmen Sie die *Federkonstante* der Kopplungsfeder aus deren ermittelten Periodendauer.
2. Berechnen Sie das *Trägheitsmoment* der Pendel
  - a) gemäß Theorie mithilfe der gemessenen geometrischen Größen,
  - b) mithilfe der gemessenen Periodendauer des ungekoppelten physikalischen Pendels.
3. Berechnen Sie die *Schwerpunktlänge* der ungekoppelten Pendel:
  - a) gemäß Theorie mithilfe der gemessenen geometrischen Größen,
  - b) mithilfe der gemessenen Eigenfrequenz im Vergleich zum mathematischen Pendel.
4. Berechnen Sie die Eigen-, Mitten- und Schwebungs-Frequenzen für verschiedene Kopplungslängen gemäß Theorie mithilfe der zuvor bestimmten Größen. Vergleichen Sie diese mit den gemessenen Frequenzen.
5. Berechnen Sie den *Kopplungsgrad* sowohl gemäß der Definition aus den gemessenen Größen (Federkonstante, Kopplungslänge, Masse, Erdbeschleunigung, Pendellänge) als auch aus den Eigen- und Schwebungsfrequenzen jeweils für jede Kopplungslänge.

### 5.2 Allgemein

- Kopie des Laborbuchs anhängen
- Fehlerbalken in den Schaubildern
- Fehler des Mittelwerts richtig berechnen und Ergebnisse richtig runden (siehe Anleitung Limmer und/oder Folien zu unserem Statistik-Workshop)
- Gute Skizzen und Abbildungen verwendet (z.B. deutsche Beschriftung, Skizzen entsprechen den Erläuterungen, ...); Skizzen dürfen gerne selbst angefertigt werden
- Vergleich mit Literaturwerten
- Diskussion und/oder Wertung der Ergebnisse

## Literatur

- [BS08] BERGMANN, Ludwig ; SCHAEFER, Clemens: *Lehrbuch der Experimentalphysik*. Bd. 1: *Mechanik - Akustik - Wärme*. 12. Auflage. Berlin, New York : Walter de Gruyter Verlag, 2008
- [Dem15] DEMTRÖDER, Wolfgang: *Experimentalphysik 1: Mechanik und Wärme*. 7. Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 2015
- [GE06] GIANCOLI, D.C. ; EIBL, O.: *Physik*. Pearson Studium, 2006 (Pearson Studium - Physik). – ISBN 9783827371577
- [Mes06] MESCHEDE, Dieter: *Gerthsen Physik*. 23. Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 2006