

Versuch M12: Pohlsches Pendel

23. Februar 2023

I. Einleitung

In diesem Versuch werden Sie die Eigenschaften des gedämpften, angeregten harmonischen Oszillators am Beispiel des Pohlschen Pendels kennenlernen. Das Pohlsche Pendel ist ein dem Federpendel analoges Drehpendel. In der Bewegungsgleichung des gedämpften, angeregten Federpendels

$$m \cdot \ddot{x} + D \cdot \dot{x} + b \cdot x = F_0 \cdot \cos(\omega t) \quad (1)$$

muß man die Strecke x durch den Winkel φ ersetzen, um die Bewegungsgleichungen des Drehpendels zu erhalten.

$$I \cdot \ddot{\varphi} + D_r \cdot \dot{\varphi} + b_r \cdot \varphi = M_0 \cdot \cos(\omega t) \quad (2)$$

Statt Masse m und Kraft F gehen das Trägheitsmoment I und das Drehmoment M in die Gleichung ein. Von besonderem Interesse in diesem Versuch ist das Verhalten der Schwingungsamplitude bei verschiedenen starken Dämpfungen und verschiedenen Frequenzen der anregenden Kraft.

Zur Vorbereitung (siehe Literatur weiter unten) bearbeiten Sie bitte folgende Aufgaben:

1. Erklären Sie die Begriffe Resonanz und Resonanzkatastrophe.
2. Geben Sie Schwingungsfrequenz des freien, gedämpften Oszillators an.
3. Geben Sie die Zeitabhängigkeit der Amplitude des gedämpften, angeregten Oszillators an (Einschwingphase).
4. Skizzieren die Schwingungsamplitude als Funktion der Frequenz bei verschiedenen Dämpfungen. Geben Sie die Frequenz an, bei der die Amplitude maximal wird.

II. Aufbau

Der Versuch besteht aus folgenden Komponenten:

- Drehpendel
- Spulenpaar
- Elektromotor
- Netzgerät
- Multimeter
- Stoppuhr

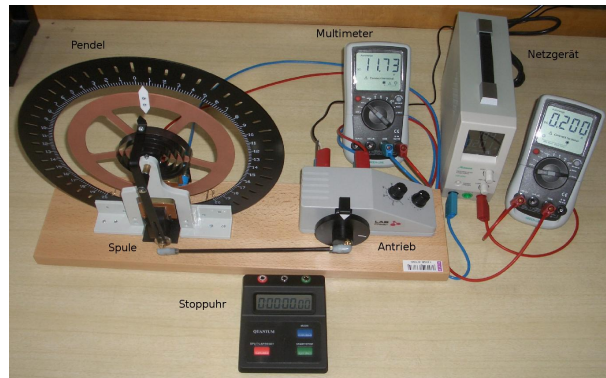


Abbildung 1: Kompletter Versuchsaufbau.

Das Drehpendel besteht aus einer um ihren Schwerpunkt rotierenden Scheibe aus Kupfer. Eine Spiralfeder verbindet die Scheibe mit der Achse. Eine Markierung an der Scheibe zeigt dessen Auslenkung auf einer darum befindlichen Skala an. Die Skala ist mit willkürlichen Einheiten $0 \dots 20$ WE in $0,2$ WE-Schritten beschriftet. Wenn Sie das Pendel schwingen lassen, können Sie die Amplitude am Umkehrpunkt auf bis zu $0,2$ WE ablesen.

Mittels zweier Spulen, durch die das Rad hindurchschwingt, kann man eine zusätzliche Dämpfung erzeugen. Das, durch die Spulen räumlich inhomogen erzeugte Magnetfeld, zusammen mit der Bewegung der Kupferscheibe, verursachen induzierte Ströme in der Scheibe (Wirbelströme). Dadurch entsteht eine Kraft, die gegen die Bewegung wirkt, es entsteht also eine Dämpfung. Dieses Prinzip der Dämpfung nennt man *Wirbelstrombremse*. Der Spulenstrom bestimmt die Dämpfungskonstante und darf bis zu 1 A betragen. Achten Sie darauf, die Spule nicht durch einen zu hohen Strom zu überhitzen. **Kurzfristig** ist es möglich, den Spulenstrom auf $1,6$ A zu stellen. Die Dämpfungskonstante ist dann so groß, dass man den aperiodischen Grenzfall der Schwingung beobachten kann.

Die Spulen werden über das Netzgerät mit Strom versorgt. Achten Sie darauf, das Netzgerät nur ein- und auszuschalten, wenn alle Potentiometer auf Null stehen. Um einen Strom durch die Spulen zu schicken, regeln Sie zuerst die Spannungsbegrenzung hoch und stellen dann den Strom ein. Strom und Spannung werden auf dem Netzgerät angezeigt, der Strom kann zusätzlich auf dem zweiten Multimeter angezeigt werden. Um den Exzenter anzutreiben, stellen Sie zunächst die Potentiometer („grob“ und „fein“ Einstellung) am Motor auf Null. Sie können dann mittels der Regler am Motor diesen mit einer Spannung $0 \text{ V} \leq U \leq 20 \text{ V}$ betreiben. Die Kreisfrequenz des Motors bzw. Exzenters verhält sich direkt proportional zu dieser Spannung. Mit dem Multimeter können Sie die Spannung messen.



Abbildung 2: Das Gestänge, welches die Kraft vom Motor auf die Feder überträgt. Nach Lockern der Schraube hinter der senkrechten Stange kann die untere Stange verschoben werden. Dadurch ändert sich der Winkel, um die der Exzenter die Feder verdreht. Zu sehen sind hier auch die Spulen.

Sie können die Amplitude der anregenden Kraft verändern, indem sie die Hebellänge am Gestänge verstellen (Abb. 2). Dazu lockern Sie die Schraube und verschieben Sie die untere Stange. Je nach Position der Verbindung wird die Feder durch den Exzenter um einen mehr oder weniger großen Winkel verdreht. Mit der Stoppuhr können sie die Schwingungsdauer und die Zeit zum Abklingen der Amplitude messen.

III. Aufgaben

- Messen Sie die Auslenkung in Abhängigkeit der Zeit für die Spulenströme $I = 0\text{ A}$, $I = 0,2\text{ A}$, $I = 0,5\text{ A}$ und $I = 0,8\text{ A}$. Lenken Sie dazu das Rad auf 18 Einheiten aus und lassen Sie es los. Messen Sie mit der Stoppuhr die Zeit bis zum Erreichen eines Amplitudenwertes (Umkehrpunkt).
 1. Bestimmen Sie aus den Ergebnissen die jeweiligen Schwingungsfrequenzen.
 2. Stellen Sie den Logarithmus der Amplituden als Funktion der Zeit graphisch dar (Millimeterpapier) und berechnen Sie aus dem Geradenanstieg die Dämpfungskonstante.
 3. Bestimmen Sie die Eigenfrequenz des Pendels.
- Nehmen Sie Resonanzkurven auf. Stellen Sie den Spulenstrom auf jeweils $I = 0,2\text{ A}$, $I = 0,5\text{ A}$ und $I = 0,8\text{ A}$. Ändern Sie die Motorspannung beginnend von $U = 2\text{ V}$ in Schritten von 1 V . Messen Sie im Bereich der Resonanz (ca. $7,5\text{ V} \leq 8,5\text{ V}$) in $0,25\text{ V}$ -Schritten. Notieren Sie zu jedem Wert der Motorspannung den Amplitudenwert. Schätzen Sie die Unsicherheit der Amplitudenwerte ab. Worauf müssen Sie achten, wenn Sie bei kleiner Dämpfung nahe der Resonanzfrequenz anregen? Stellen Sie jede Resonanzkurve graphisch dar (PC oder Millimeterpapier). Lesen Sie aus der Grafik die Frequenz der maximalen Amplitude ab und schätzen Sie deren Unsicherheit ab.

Literatur

- [1] Wolfgang Demtröder: *Experimentalphysik 1. Mechanik und Wärme*. Springer Verlag Berlin Heidelberg 2013. 6. Auflage. S. 333ff.
- [2] Bergmann-Schaefer: *Lehrbuch der Experimentalphysik. Band 1 Mechanik, Akustik, Wärme*. Walter de Gruyter Berlin New York 2008. 12. Auflage. S. 172ff.
- [3] Hans Joachim Eichler, Heinz-Detlef Kronfeldt, Jürgen Sahm: *Das neue Physikalische Grundpraktikum*. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg 2016. 3. Auflage. S. 59ff.