ulm university universität ulm

Universität Ulm | Fachbereich Physik | Grundpraktikum Physik

Versuchsanleitung

Freie und erzwungene Schwingungen mit dem Drehpendel

Nummer:	03
Kompiliert am:	29. März 2023
Letzte Änderung:	29.03.2023
Beschreibung:	Untersuchung des Resonanzverhaltens und der Einschwingvorgänge des angeregten harmonischen Oszillators.
Webseite:	`https://www.uni-ulm.de/nawi/institut-fuer-quantenoptik/ag-prof-jelezko/lehre/grundpraktikum-physik-physwiphys-la-phys/`

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung

Der harmonische Oszillator ist eines der zentralsten Systeme der Physik. Die Realisierungsmöglichkeiten schon auf mechanischer Ebene sind sehr vielfältig, eine davon ist das Drehpendel, wie es hier betrachtet werden soll. Der von uns benutzte Aufbau, das *Pohl'sche Rad*, besitzt neben dem Antrieb durch einen in der Frequenz einstellbaren Elektromotor eine geschwindigkeitsabhängige Dämpfung, realisiert durch eine Wirbelstrombremse.
Betrachtet werden hier das Resonanzverhalten der Amplitude sowie die frequenzabhängige Phasenverschiebung im eingeschwungenen Zustand des Pendels. Des Weiteren wird das Einschwingverhalten untersucht, für das sowohl die freie als auch die stationäre Lösung der Schwingung relevant sind.

2 Stichpunkte zur Versuchsvorbereitung

2.1 Theorie

- Schwingungen im Allgemeinen (Definition, Arten)
- Analogien zwischen Linear- und Dreh-Schwingungen [LL97]
- Ungedämpfte und gedämpfte Schwingungen (Gleichung, Lösung, Resonanzfrequenz, logarithmisches Dekrement)
- Erzwungene Schwingungen (Gleichung, homogene und partikuläre Lösung)
- Charakteristika von Resonanzkurven: Halbwertsbreite und Resonanzüberhöhung, Phasengeschwindigkeit bzw. Gruppenlaufzeit [Dem15, Rei06]
- Untersuchung des Einschwingvorgangs (Resonanzfall und Verstimmung) (siehe Kapitel 3 sowie [LL97])
- Weitere Literatur: [Wal06]

Hinweis: Das Studium der Einschwingvorgänge erfordert eine Diskussion der vollständigen Lösung der Differentialgleichung für erzwungene Schwingungen:

$$\alpha(t) = \alpha(\Omega) \cdot \cos\left(\Omega t - \varphi(\Omega)\right) + \alpha_0 \exp(-\delta t) \cdot \cos(\omega t - \beta). \tag{1}$$

Ω ist hierbei die Erregerfrequenz, $\alpha(\Omega)$ und $\varphi(\Omega)$ die zugehörige Amplitude und Phasenverschiebung, wie aus der rein stationären Lösung bekannt. α_0 und β sind Integrationskonstanten, die durch die Anfangsbedingungen festgelegt sind und $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$ ist die Resonanzfrequenz des gedämpften, frei schwingenden Drehpendels. Bei schwacher Dämpfung ($\delta \ll \omega_0$) gilt näherungsweise $\omega = \omega_0$. Mit den Vorgaben für die Erregerfrequenz in Aufgabe 3.1 lässt sich zudem $\Omega = \omega_0$ setzen. Mit den oben gegebenen Anfangsbedingungen lässt sich daraus ein monotones Anwachsen der Amplitude finden. Die so erhaltenen Lösungen für die Anfangsbedingungen werden für die in Aufgabe 3.2 zu untersuchende Situation beibehalten!

2.2 Beispiele aus Natur und Alltag

- Oszillatoren
- Schwingungstilger in Gebäuden (z.B. Taipeh 101) oder Brücken
- Stossdämpfer z.B. für die Fahrzeugtechnik
- Abrissbirne
- (Schiff-)Schaukel

3 Versuchsdurchführung

3.1 Gedämpfte Schwingungen

Untersuchen Sie die luftgedämpfte Schwingung (fast frei) sowie die gedämpften Schwingungen mit zwei unterschiedlich starken elektromagnetischen Dämpfungen:

1. 2 - $2,5$ V Spannung am Magneten
2. 4 V Spannung am Magneten

Bestimmen Sie die Dämpfungskonstanten, Resonanzfrequenzen und die logarithmischen Dekremente. Dafür sind die Amplituden und die Periodendauer aufzunehmen. Behalten Sie die gewählten Dämpfungen in den folgenden Versuchen bei.

3.2 Erzwungene Schwingungen

Untersuchen Sie die erzwungenen Schwingungen bei den Dämpfungen 1. und 2. (siehe oben) im stationären Fall. Nehmen Sie die Amplitude und die Phasendifferenz zwischen Erreger und Pendel für 20 verschiedene Erregerfrequenzen auf.
Beachten Sie, dass nach jedem Verstellen der Erregerfrequenz das System erst wieder einschwingen muss um den stationären Zustand zu erreichen!
Bestimmen Sie die Resonanzfrequenzen/Schwingungsperioden und die Dämpfungskonstanten aus den Resonanz- und Phasenkurven.

3.3 Einschwingvorgang

Untersuchen Sie die Einschwingvorgänge bei der kleineren Dämpfung 1. und den Anfangsbedingungen $\alpha(t = 0) = 0$, $\dot{\alpha}(t = 0) = 0$ (α = Auslenkung, t = Zeit). Nehmen Sie hierfür jeweils die Amplituden sowie die Frequenzen auf.

- Wählen Sie als Erregerfrequenz die Resonanzfrequenz und bestimmen Sie die Dämpfungskonstante aus einem α-t-Diagramm.
- Entfernen Sie sich (etwa 5 bis 10%) von der Resonanzfrequenz. Das System zeigt nun ein ausgeprägtes Schwebungsverhalten. Aus Erreger- und Schwebungsfrequenz soll die Resonanzfrequenz bestimmt werden.

3.4 Häufige Fehler

4 Versuchszubehör

- 1 Drehpendel mit geregeltem Gleichstrom-Motor
- 2 Netzgerät für Stromversorgung und Wirbelstrombremse
- 1 Vielfachmessinstrument
- 1 elektronische Uhr mit 2 Lichtschranken für Zeit und Phasenmessungen
- 1 Stoppuhr (Hand)

5 Hinweise zur Ausarbeitung

5.1 Versuchsspezifisch

- Zu 3.1: Pro Dämpfung und Anfangsauslenkung: α-t-Diagramm mit exponentiellem Fit (davon ein Diagramm beispielhaft im Hauptteil, die restlichen im Anhang), Dämpfungskonstante aus Fit, logarithmisches Dekrement, Dämpfungskonstante rechnerisch aus logarithmischem Dekrement, Eigenfrequenz für jede der beiden Dämpfungskonstanten. (Zur Korrektur zusätzlich angeben: Resonanzfrequenz der freien gedämpften Schwingung, zugehörige Periodendauer). Alle Ergebnisse als Tabelle.
- Zu 3.2: Pro Dämpfung: $alpha$-ω-Diagramm, Resonanzfrequenz und Halbwertsbreite aus Diagramm, Dämpfungskonstante aus Halbwertsbreite, Eigenfrequenz. φ-ω-Diagramm, Dämpfungskonstante und Eigenfrequenz aus Diagramm (wenn nötig mittels linearer Regression), Resonanzfrequenz. Generell: Diagramme der kleineren Dämpfung im Hauptteil (die anderen beiden im Anhang).
- Zu 3.3: Erregung mit Resonanzfrequenz: α-t-Diagramm, Λ-t-Diagramm, aus letzterem Dämpfungskonstante. Erregung nicht mit Resonanzfrequenz: α-t-Diagramm, Periodendauer der Schwebung und der Erregerschwingung aus Diagramm, Schwebungs-, Eigen-, Resonanzfrequenz.

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

[Dem15] Demtröder, Wolfgang: *Experimentalphysik 1: Mechanik und Wärme*. 7. Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 2015

[LL97] Landau, Lew D. ; Lifschitz, Jewgeni M.: *Lehrbuch der theoretischen Physik*. Bd. 1: *Mechanik*. 14. Auflage. Frankfurt am Main : Harri Deutsch Verlag, 1997

[Rei06] Reineker, Peter: *Theoretische Physik I: Mechanik*. Weinheim : Wiley-VCH Verlag, 2006

[Wal06] Walcher, Wilhelm: *Praktikum der Physik*. 9. Auflage. Wiesbaden : Teubner Verlag, 2006