

Schwingungen sind in der Natur sehr häufig auftretende Bewegungsformen und deshalb in der Physik so wichtig. Der Begriff 'Schwingung' zieht sich durch alle Teilgebiete der Physik hindurch. Bei diesem Versuch geht es um mechanische Schwingungen. Er bietet die Gelegenheit, sich mit einer ganzen Reihe von Schwingungsaspekten sowie einigen Problemen der Bewegung starrer Körper zu beschäftigen. Meistens werden die Versuchsbedingungen so gewählt, daß es gestattet ist, das bei den Schwingungen wirkende Kraftgesetz (wirksame Kraft als Funktion des Ortes) der einfacheren Mathematik wegen zu linearisieren. Die mathematischen Lösungen sind dann harmonische Schwingungen. Daß das nur ein Verhalten im Grenzfall ist, von dem auch bei noch recht 'normalen' Verhältnissen schon erhebliche Abweichungen auftreten, wird bei diesen Versuchen deutlich.

**Achtung: Die schwere schwingende Kugel des Fadenpendels kann Verletzungen verursachen! Unterschätzen Sie nicht die Massenträgheit. Bleiben Sie hinter der Absperrung!**

Lassen Sie die Kugel nie in den Aufhänger fallen. Der Draht reißt sonst.

**Bemerkung:** Beim Pendelversuch sind die Apparaturen zu den einzelnen Versuchsteilen nur zweifach (bzw. das Fadenpendel nur einfach) vorhanden. Damit drei Gruppen gleichzeitig die Aufgaben abarbeiten können, müssen Sie zu Beginn mit unterschiedlichen Versuchsteilen beginnen. Dies ist problemlos machbar, weil die drei Versuchsteile unabhängig voneinander sind.

## Aufgaben:

### Teil I

**1.1 Berechnen Sie vorbereitend auf den Versuch die reduzierte Pendellänge  $l_r$  eines physikalischen Pendels**, das aus einem zylindrischen, an einem Ende drehbar aufgehängten Stab der Länge  $L$  besteht. Überzeugen Sie sich rechnerisch davon, daß Massenänderungen im Abstand  $l_r$  vom Drehpunkt die Schwingungsdauer nicht verändern. Die Klauen, mit denen die Schneiden des Pendellagers am Stab befestigt sind, sollten also nur zu geringfügigen Abweichungen des Rechenwerts vom Meßwert führen.

### **1.2 Bestimmen Sie die Fallbeschleunigung $g$ mit Hilfe des Reversionspendels.**

Suchen Sie experimentell jenen Schneidenabstand auf, der der reduzierten Pendellänge entspricht, bei dem also die Schwingungsdauern gleich sind, wenn das Pendel einmal um die eine, dann um die andere Schneide schwingt. Messen Sie dabei ein geeignetes kleines Intervall um den berechneten Wert herum sorgfältig aus. Beschränken Sie sich auf kleine Auslenkungen des Pendels.

*Frage:* Mit welchem systematischen Fehler müssen Sie bei Ihrer Amplitudenwahl noch rechnen?

Tragen Sie nach jeder Messung die beiden Schwingungsdauern als Funktion des Schneidenabstands in ein Diagramm ein. Sie erkennen bald die nähere Umgebung von  $l_r$  und können die weiteren Meßpunkte entsprechend wählen. Entnehmen Sie dem Diagramm  $l_r$  und  $T(l_r)$  und berechnen Sie daraus  $g$ .

Zur Messung wird eine Lichtschranke mit Zeiterfassungsgerät benutzt. Eine Messung kann nur bei offener Schranke (rote Leuchtdiode an der Schranke leuchtet) gestartet werden.

Bei ausführlicher Fehlerrechnung ist hier Ausgleichsrechnung nötig. Der relative Kalibrierfehler der Zeitmessung beträgt  $\pm 0,2\%$ . Dazu kommt noch ein meßzeitunabhängiger Fehler, der aus einer Meßreihe zu bestimmen ist, bei der nur die einstellbare Anzahl der Schwingungen für die Zeitmessung verändert wird. Die Lichtschranke muß sorgfältig justiert werden, so daß das Schalten sehr nahe beim Nulldurchgang erfolgt.

*Zum Überlegen:* Wie sieht wohl ein Reversionspendel aus, bei dem der Schneidenabstand fest ist, und das dennoch auf gleiche Schwingungsdauern um beide Schneiden eingestellt werden kann? Hat es Vorteile?

## Teil II

### **2.1 Bestimmen Sie die Fallbeschleunigung $g$ mit Hilfe des Fadenpendels bei kleinen Auslenkungen.**

Auch hier wird eine festmontierte Lichtschranke zur Erfassung der Schwingung benutzt.

**2.2 Untersuchen Sie die Abhängigkeit der Schwingungsdauer des Fadenpendels von der Schwingungsweite.** Messen Sie fortlaufend, beginnend bei großer Auslenkung. Vergleichen Sie die Abhängigkeit mit theoretischen Vorhersagen. Stellen Sie die Ergebnisse in geeigneter Weise graphisch dar.

## Teil III

**3.1 Stellen Sie bei zwei gleichartigen Pendeln (Massen  $m$ ; Abstand  $L_Z$  zwischen Drehpunkt und Zentrum der Pendelscheibe) durch Verschieben einer der Pendelscheiben gleiche Schwingungsdauern  $T_0$  ein.** Verwechseln Sie hier und im weiteren nicht  $L_Z$  mit dem Schwerpunktsabstand.

**3.2 Koppeln Sie die Pendel mittels einer Schraubenfeder (Federkonstante  $D$ ) in jeweils gleichem Abstand  $l$  von den Drehpunkten und messen Sie die Schwingungsdauern  $T_{gl}$  und  $T_{geg}$  der beiden Fundamentalschwingungen.** Das sind die beiden Schwingungsformen, bei denen keine Schwebung auftritt. Wiederholen Sie die Messungen bei veränderter Koppellänge  $l$ , die aber, wie auch im ersten Fall keine sehr feste Kopplung bewirken soll,  $\Delta(T^2) \ll T^2$ . Vergleichen Sie  $T_0$ ,  $T'_{gl}$ ,  $T'_{geg}$ ,  $T''_{gl}$ ,  $T''_{geg}$ . Welche Schwingungsdauern bleiben konstant? Welche Schwingungsdauer ist kopplungsabhängig? Berechnen Sie daraus mit Hilfe der Theorie die Werte von  $mgL/\Theta$  und  $Dl^2/\Theta$  (mit  $L$  ist hier der Abstand vom Drehpunkt zum Schwerpunkt gemeint). Vergleichen Sie das resultierende Trägheitsmoment  $\Theta$  mit dem aus den gegebenen Daten berechneten Wert, und berechnen Sie dann auch die Federkonstante  $D$ . Bestimmen Sie  $D$  auch mit Hilfe einer statischen (eingebaut als Koppelfeder oder auch anders) und einer weiteren dynamischen Methode (nämlich im Federpendel mit verschiedenen Massen).

**3.3 Messen Sie die Schwingungsdauer  $T_{osz}$  und die Schwebungsdauer  $T_{mod}$  bei Anregung der gekoppelten Pendel zu Schwebungen.** Dabei soll eine der Koppellängen von 3.2 benutzt werden. Prüfen Sie den theoretischen Zusammenhang von  $T_{osz}$  und  $T_{mod}$  mit  $T_{gl}$  und  $T_{geg}$ .

### **Zubehör:**

-- zwei Physikalische Pendel: Bodenstativ mit Schneidenpfanne. Beide Pendel bestehen aus einem zylindrischen Stab ( $\varnothing=15\text{mm}$ ,  $l=96,2\text{cm}$ ;  $4,94\text{ g/cm}$ ) sowie einer festen und einer verschiebbaren Klaue.

Pendel-I: feste Klaue ( $m=86\text{g}$ ); verschiebbare Klaue ( $m=72\text{g}$ ) mit Schneide (Klauenhöhe  $12\text{mm}$ , Schneide  $4\text{mm}$  unterhalb der Klauenmitte bzw.  $2\text{mm}$  oberhalb der unteren Klauenfläche). Die feste Klaue befindet sich am Stabende, die Schneide also  $10\text{mm}$  vom Stabende entfernt. Von dieser Schneide ab zählt die in den Stab eingeritzte Teilung, die auf  $\pm 0,2\text{mm}$  genau ist.

Pendel-II: beide Klauen: ( $m=83\text{g}$ );

-- Fadenpendel: dünner Stahldraht,  $l \cong 2\text{m}$ , aktuelle Länge am Versuchsplatz angegeben, Aufhängung mit richtungsstabilisierendem Kugellager, Eisenkugel von  $860\text{g}$  Masse) mit Winkelskala an der Wand;

-- Lichtschranken, justierbar, mit Zeiterfassungsgerät (Bedienung selbsterklärend);

-- 2 x Anordnung für gekoppelte Pendel: Pendelschaft mit einer Masse je Länge von  $7,44\text{ g/cm}$ ; Pendelscheibe-I mit der Masse  $1221\text{g}$  einschließlich des in ihr steckenden Schaftabschnitts (Pendelscheibe-II  $m=1400\text{g}$ ); Entfernung zwischen Drehpunkt und Scheibenzentrum, wenn der Schaft bündig mit der Scheibe abschließt:  $1020\text{mm}$ ; Durchmesser der Pendelscheibe  $100\text{mm}$ ; Masse der Koppelfederbefestigung  $44\text{g}$ ;

-- verschiedene Schraubenfedern als Koppelfedern - Achtung: nur mäßig dehnen, um plastische Verformung zu vermeiden!

-- Maßstab mit mm-Teilung

-- weiterer Maßstab, aufstellbar, mit verschiebbaren Marken

-- Satz von Hängegewichtsstücken

-- Stoppuhren

### **Literatur:**

Zu Aufg. 1 speziell: Kretschmar et al.; *Praktikum der Physik*, Kap. 3.4

Zu Aufg. 2.2 speziell: Kittel et al.; Berkeley Physics Course, *Mechanics*, Kap.7

Zu Aufg. 3 speziell: Walcher; *Praktikum der Physik*, 2. Aufl., Kap. 2.7, 7.4

---

Version: Nov. 15