

Versuch M1 für Nebenfächler mathematisches Pendel

I. Physikalisches Institut, Raum HS126
Stand: 19. April 2016



generelle Bemerkungen

- bitte Versuchsaufbau (rechts, mitte, links) angeben
- bitte Versuchspartner angeben
- bitte Versuchsbetreuer angeben
- bitte nur handschriftliche Auswertung

1 Einleitung

Schwingungsprozesse spielen in der gesamten Physik eine wichtige Rolle. Hier soll die Pendelschwingung kennengelernt werden und über ihre Gesetzmäßigkeit die Erdbeschleunigung g bestimmt werden.

2 Vorbereitung (zu Hause)

Die folgenden Stichpunkte und theoretischen Überlegungen sollen in Ihrem Heft schriftlich bearbeitet werden. Außerdem sollten Sie in der Lage sein, sie am Versuchstag im Antestat selbstständig wiederzugeben. Literaturhinweise gibt es in Abschnitt 7.

1. was Sie zur Vorbereitung lernen sollten (Literaturhinweise gibt es im Anhang):
 - Allgemeine Begriffe: Impuls, kinetische Energie, potentielle Energie, Fehlerfortpflanzungsgesetze
 - Mathematisches Pendel, Kräftezerlegung (am Pendel), Gravitation, Erdbeschleunigung, harmonischer Oszillator (Bewegungsgleichung, harmonische Schwingung, gedämpfte Schwingung).
2. Stellen Sie die Bewegungsgleichung für ein mathematisches Pendel auf und leiten sie so Formeln (2) und (3) her.
3. Leiten Sie mittels Gauss'scher Fehlerfortpflanzung Formel (4) her.

3 Versuchsaufbau und -beschreibung

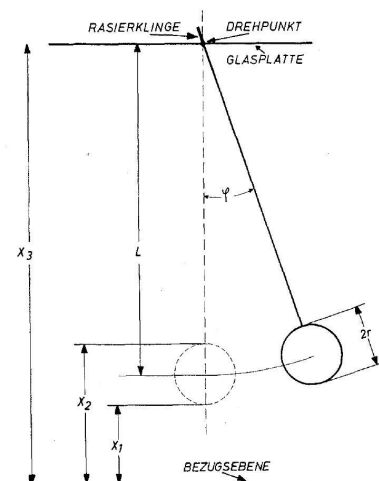


Abbildung 1: Skizze des Versuchsaufbaus

Eine Metallkugel der Masse m_K ist an einem dünnen Stahldraht mit Durchmesser $\varnothing = 0,1 \text{ mm}$ frei schwingend aufgehängt. Um die Reibung zu minimieren, ist die Aufhängung durch eine Rasierklinge auf einer Glasplatte realisiert.

Die Pendellänge L (Aufhängepunkt – Kugelmittelpunkt) wird mit einem sog. Kathetometer gemessen, die Periodendauer T_0 mit einer Stoppuhr.

4 Benötigte Formeln

4.1 Idealisertes mathematisches Pendel

Die folgenden Formeln gelten für einen idealisierten Versuch (Massepunkt, kleine Auslenkung, kein Luftauftrieb, keine Reibungskräfte). Die Bewegungsgleichung für diesen Fall und die Approximation für kleine Auslenkungen ($\sin \phi \approx \phi$) führt auf die Formel für die Kreisfrequenz ω_0 und die Schwingungsdauer T_0 bzw. die Erdbeschleunigung g :

$$\omega_0^2 = g/L \quad (1)$$

$$T_0 = 2\pi\sqrt{L/g} \quad (2)$$

$$g = \frac{4\pi^2 L}{T_0^2} \quad (3)$$

Der relative Fehler der Erdbeschleunigung ist dann

$$\frac{\Delta g}{g} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(2\frac{\Delta T_0}{T_0}\right)^2}. \quad (4)$$

5 Durchführung (im Praktikum)

Bitte die unteren Punkte nacheinander abarbeiten:

1. Eingewöhnung

Spielen Sie mit der Versuchsanordnung, wobei Sie sich mit der Beobachtungstechnik vertraut machen und Fehlerquellen erkennen sollten.

2. Messen Sie die Pendellänge L

Die Pendellänge L messen Sie mit dem Kathetometer.

Das Kathetometer ist ein sehr empfindliches Messgerät! Betätigen Sie die Verstellschrauben bitte gefühlvoll und wenden Sie am Endanschlag der Schrauben keine Gewalt an! Wenn sich die Rollen des Tisches mit dem Kathetometer auf den weiß markierten Rollbahnen des Fußbodens befinden sollte der richtige Fokus der Optik ungefähr in der Mitte des Verstellbereichs zu finden sein.

Das Kathetometer muss vor der Messung justiert (Wasserwaage) und während der Messung vor Störungen bewahrt werden. Sie lesen mit ihm 5 mal - jedesmal in der gleichen Reihenfolge - die folgenden Höhen ab: Höhe der Unterkante der Kugel (x_1), Höhe der Oberkante der Kugel (x_2), Aufhängung des Pendels (x_3) (vgl. Skizze). Schreiben Sie alle gemessenen Zahlen in Tabellenform unmittelbar ins Protokollheft.

	$x_1[cm]$	$x_2[cm]$	$x_3[cm]$
1			
2			
3			
4			
5			

3. Bestimmen Sie die Schwingungsdauer T

Die Periodendauer wird mit einer gewöhnlichen Stoppuhr gemessen. Messen Sie probeweise mehrmals die Periodendauer und vergleichen Sie ihre Werte. Der wesentliche Fehler bei solch einer Zeitmessung wird durch die Reaktion beim Starten (ca. 0,1 s) und beim Stoppen (ca. 0,1 s) verursacht, also zusammen etwa

$$\Delta T = \sqrt{(0,1 \text{ s})^2 + (0,1 \text{ s})^2} = 0,14 \text{ s} .$$

Indem man eine sehr grosse Zahl an Schwingungen misst, lässt sich daher der relative Fehler für **eine** Schwingung beliebig gering gestalten. In diesem Versuch sollen Sie die Zeit für 700 Schwingungen messen.

Das Abzählen von mehreren Hundert Schwingungen wird durch folgendes Verfahren erleichtert. Man misst zunächst die Zeit für 100 Schwingungen. Nun berechnet

man aus dieser Zeit die sogenannte „Erwartungszeit“ für 200 Schwingungen. Einige Sekunden, bevor die Erwartungszeit erreicht ist, beginnt man die Zeitpunkte der Nulldurchgänge zu registrieren. Zweckmässigerweise signalisiert der eine Partner die Nulldurchgänge durch Klopfen während der andere die Uhr beobachtet. Nun obliegt es demjenigen, der die Uhr bedient, den Nulldurchgang auszumachen, welcher der erwarteten Zeit am nächsten kommt. Dies ist die „gemessene Zeit“ für 200 Schwingungen. Zählt man auf diese Zeit die gemessene Zeit von 100 Schwingungen hinzu, erhält man die Erwartungszeit von 300 Schwingungen etc. Auf diese Weise werden Abzählfehler vermieden. **Wichtig ist hierbei, dass immer nur Zwischenzeiten gestoppt werden und die Uhr im Hintergrund weiterläuft!** Durch wiederholtes Anwenden dieses Verfahrens erhält man so die gemessene Zeit für die gewünschten n Schwingungen. Schreiben Sie alle gemessenen Zahlen unmittelbar ins Protokollheft, möglichst in Tabellenform:

n Schwingungen	$T_{\text{berechnet}} [s]$	$T_{\text{mess}} [s]$
100		
200		
300		
400		
...		

6 Auswertung und Diskussion (im Praktikum / zu Hause)

Bitte führen Sie zu jedem Wert eine Fehlerrechnung durch. Geben Sie alle verwendeten Formeln an und erläutern Sie kurz, was Sie tun und warum. Die korrekte Form zur Angabe von Ergebnissen, sowie Hinweise zur Fehlerrechnung entnehmen Sie bitte der *Allgemeinen Praktikumsanleitung*.

1. Aus den jeweiligen Mittelwerten \bar{x}_1 , \bar{x}_2 und \bar{x}_3 und deren Fehlern (Standardabweichung des Mittelwertes) bestimmen Sie die Pendellänge L .
2. Bestimmen Sie aus L und T_0 die Erdbeschleunigung g nach den Formeln (3) und (4). Welcher Fehler überwiegt bei der Bestimmung von g , der der Längenmessung oder der der Zeitmessung? Wieviele Schwingungen hätten Sie zählen müssen, damit der relative Zeitfehler $\frac{\Delta T_0}{T_0}$ gegenüber dem unvermeidlichen relativen Längenfehler $\frac{\Delta L}{L}$ vernachlässigbar wäre (also nur etwa ein Zehntel des relativen Fehlers $\frac{\Delta g}{g}$ ausmachen würde). Wäre das mit dem vorhandenen Aufbau möglich gewesen?

3. Diskutieren Sie Ihr Ergebnis. Stimmt die gemessene Erdbeschleunigung innerhalb der statistischen Fehlergrenzen mit dem für Köln gültigen Wert $g = 9.81154 \text{ m/s}^2$ überein. Wenn nicht, warum nicht?

7 Literatur

- Fehlerrechnung:
http://www.astro.uni-koeln.de/teaching_seminars/AP/
<http://www.ph2.uni-koeln.de/fileadmin/Lehre/Anfaengerpraktikum/Fehler.pdf>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Kathetometer>
- Meschede und Gerthsen: Physik, Springer, Berlin, 21. Aufl., 2002
http://www.ub.uni-koeln.de/digital/e_books/springer_links/index_ger.html
- Tipler: Physik, Heidelberg, Spektrum, Akad. Verlag, 1994
- Demtröder: Experimentalphysik Band 1, Springer Lehrbuch, 1995 (L DEM2)
http://www.ub.uni-koeln.de/digital/e_books/springer_links/index_ger.html
- Westphal: Physikalisches Praktikum, Vieweg+Teubner
- Walcher, Elbel und Fischer: Praktikum der Physik, Vieweg+Teubner
- Wegener: Physik für Hochschulanfänger

8 Sicherheitshinweise

Bitte beachten Sie die allgemeinen Sicherheitshinweise, die in der Praktikumseinleitung dargelegt wurden.