## (1) Fadenpendel

Zur Ermittlung der Schwerebeschleunigung $g$ wird im Physiklabor der Hochschule Esslingen ein Fadenpendel untersucht. Bei kleinen Auslenkungen aus der Ruhelage gilt für die Schwingungsdauer $T_0$ eines solchen Pendels der Länge $L$ :

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

Im Labor wurden jeweils die Gesamtdauer $t_i$ von 10 Schwingungsperioden des Pendels bestimmt. Bei 10 Einzelversuchen wurden die folgenden Werte gemessen :

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $t_i$ / s | 24.87 | 24.58 | 24.41 | 24.37 | 24.49 | 24.44 | 24.57 | 24.33 | 24.38 | 24.62 |

Die Fadenlänge wurde zu $L$ = 150 cm bestimmt, der Fehler beträgt hier $\Delta L$ = ± 5 mm

a) Berechnen Sie die Schwerebeschleunigung $g$.

b) Berechnen Sie den relativen und den absoluten Größtfehler des Ergebnisses.

c) Fassen Sie die Resultate aus a) und b) zu zwei Endergebnissen mit relativer und absoluter Fehlerangabe zusammen. Liegt der normalerweise verwendete Literaturwert $g$ = 9,81 m/s$^2$ innerhalb der Fehlergrenzen?

*Verwenden Sie zur Auswertung die Statistik-Funktionen Ihres Taschenrechners*.

## (2) Spezifischer elektrischer Widerstand

Der spezifische elektrische Widerstand $\rho$ eines Drahtes mit dem Durchmesser $d$ und der Länge $L$ berechnet sich nach der Beziehung

$$\rho = \frac{\pi \cdot U \cdot d^2}{4 \cdot I \cdot L}$$

In einem Experiment wurden die nachfolgenden Werte gemessen. Die zugehörige Messunsicherheit ist dabei für jede Messgröße angegeben.

| | | |
|---|---|---|
| Spannung | $U$ = 2,85 V | $\Delta U$ = ± 10 mV |
| Strom | $I$ = 0,310 A | $\Delta I$ = ± 5 mA |
| Durchmesser | $d$ = 0,50 mm | $\Delta d$ = ± 0,01 mm |
| Länge | $L$ = 15,0 m | $\Delta L$ = ± 10 cm |

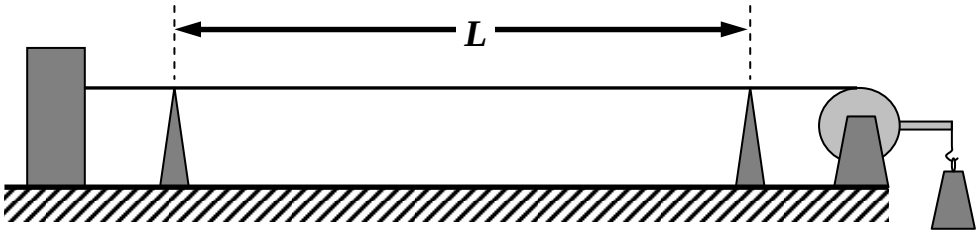
a) Berechnen Sie aus diesen Angaben den spezifischen elektrischen Widerstand $\rho$ des Drahtes. Geben Sie Ihr Ergebnis in der dafür üblichen Einheit Ωm an.

b) Berechnen Sie aus den abgeschätzten Fehlern der relativen und den absoluten Größtfehler.

c) Fassen Sie die Resultate aus a) und b) zu (zwei) Endergebnissen mit relativer und absoluter Fehlerangabe zusammen.

## (3) Grundschwingung einer eingespannten Saite

Im Physiklabor wurde eine Messreihe für die Frequenz der Grundschwingung eines an beiden Enden fest eingespannten Kupferdrahts aufgenommen.




| | |
|---|---|
| Messung der Länge des eingespannten Drahtes | $L$ = (750 ± 0,2) mm |
| Messung des Drahtdurchmessers | $d$ = (0,31 ± 0,01) mm |
| Messung der Kraft mit der der Draht gespannt wurde | $F$ = (20 ± 3) N |
| Literaturwert für die Dichte von Kupfer (HMS, Physik, 2004) | $\rho$ = 8,96 g/cm$^3$ |

Die Frequenzmessung lieferte folgende Einzelwerte :

| $f$ / Hz | 113 | 115 | 111 | 111 | 116 | 112 | 113 | 110 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

a) Berechnen Sie den Mittelwert der gemessenen Frequenz $f$.

b) Berechnen Sie Standardabweichung und mittleren Fehler des Mittelwerts von $f$.

c) Wie lautet das gerundete Ergebnis (Fehlerangabe auf <u>eine</u> signifikante Stelle) ?

Die Theorie der Saitenschwingung ergibt die nebenstehende Gleichung für die Frequenz. Dabei ist $A$ die Querschnittsfläche des Drahts.

$$f = \frac{1}{2\,L}\sqrt{\frac{F}{A\,\rho}}$$

d) Berechnen Sie den theoretisch zu erwartenden Frequenzwert.

e) Berechnen Sie den absoluten Größtfehler des theoretischen Wertes.

f) Geben Sie das sinnvoll gerundete Ergebnis für den theoretischen Wert an und bewerten Sie die beiden Resultate. Stimmen Theorie und Experiment überein ?

## (4) Dynamische Bestimmung von Massenträgheitsmomenten

Das Massenträgheitsmoment $J$ eines drehbar gelagerten Körpers kann experimentell unter Verwendung eine Drehfeder bekannter Drehfederkonstante $k'$ aus der Schwingungsdauer $T_0$ der ungedämpften Drehschwingung um diese Drehachse bestimmt werden, da die Schwingungsdauer $T_0$ von $J$ abhängt :

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{J}{k'}}$$

In einer Versuchsreihe wurde für einen Körper jeweils die Gesamtdauer $t_i$ von 10 vollen Schwingungsperioden gemessen. Die 10 durchgeführten Messungen ergaben:

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $t_i$ / s | 15.46 | 15.09 | 15.19 | 15.15 | 15.38 | 15.34 | 15.39 | 15.28 | 15.41 | 15.40 |

In einem Vorversuch wurde die Drehfederkonstante $k'$ mit der zugehörigen Messunsicherheit $\Delta k'$ bestimmt :

$k' = 2{,}50 \cdot 10^{-2}$ Nm und $\Delta k' = \pm 1{,}00 \cdot 10^{-4}$ Nm

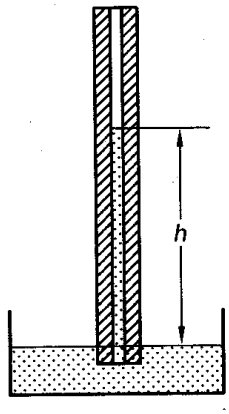
a) Berechnen Sie die das Massenträgheitsmoment $J$ in SI-Einheiten.

b) Berechnen Sie den relativen und den absoluten Größtfehler des Ergebnisses.

c) Fassen Sie die Resultate aus a) und b) zu zwei Endergebnissen mit relativer und absoluter Fehlerangabe zusammen.

*Hinweis: Zur Auswertung der Daten können die Statistik-Funktionen eines Taschenrechners verwendet werden.*

## (5) Oberflächenspannung von Glyzerin – Kapillarität




Benetzende Flüssigkeiten steigen in engen Rohren entgegen der Gravitation nach oben. Verantwortlich für diese Kapillarwirkung ist die Oberflächenspannung $\sigma$. Experimentell kann die Oberflächenspannung aus der kapillaren Steighöhe; dem Radius der Kapillare, der Dichte der Flüssigkeit und der Fallbeschleunigung bestimmt werden. Es gilt die Beziehung

$$\sigma = \frac{1}{4} D\, h\, \rho\, g$$

Für Glyzerin wurden bei Raumtemperatur folgende Werte gemessen und die zugehörigen jeweiligen Fehler abgeschätzt:

| | |
|---|---|
| Steighöhe | $h$ = 71,5 mm ± 0,5 mm |
| Durchmesser | $D$ = 0,300 mm ± 0,002 mm |
| Dichte | $\rho$ = 1,260 g/cm$^3$ ± 0,005 g/cm$^3$ |
| Fallbeschleunigung | $g$ = 9,81 m/s$^2$ (als fehlerfrei anzunehmen) |

a) Berechnen Sie aus diesen Messergebnissen die Oberflächenspannung $\sigma$ von Glyzerin. Geben Sie Ihr Ergebnis in der SI-Einheit N/m an.

b) Berechnen Sie aus den abgeschätzten Fehlern den relativen und den absoluten Größtfehler des Ergebnisses aus Teilaufgabe a).

c) Fassen Sie die Resultate aus a) und b) zu zwei Endergebnissen mit relativer und absoluter Fehlerangabe zusammen.

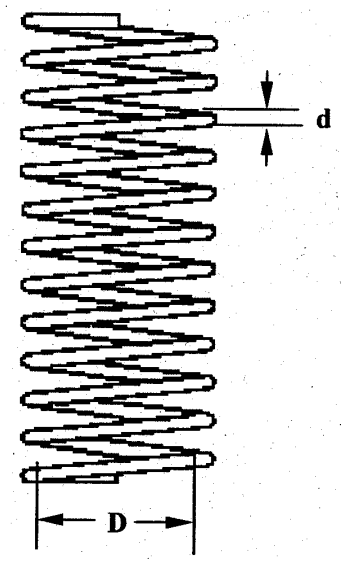
Gehen Sie den aufwendigeren Rechenweg der Fehlerfortpflanzung nach GAUSS.

d) Berechnen Sie den mittleren Fehler nach GAUSS.

e) Berechnen Sie den absoluten Größtfehler nach GAUSS.
- Zeigen Sie, dass der mittlere Fehler kleiner ist als der Größtfehler.
- Zeigen Sie, dass das Ergebnis mit dem aus Teilaufgabe b) übereinstimmt.

## (6) Federkonstante einer Schraubenfeder

Die Federkonstante *k* einer Schraubenfeder hängt von den elastischen Eigenschaften des Materials und von der Geometrie der Feder ab. In einen Handbuch für Ingenieure findet sich - als reines Potenzgesetz - die folgende Beziehung für die Federkonstante *k* einer Schraubenfeder:




$$k = \frac{G\,d^4}{8\,n\,D^3}$$

- *d* Drahtdurchmesser des Federmaterials
- *D* Kerndurchmesser der Feder
- *n* Anzahl der aktiven Windungen
- *G* Schubmodul des Federmaterials

Für eine Stahlfeder gelten nachfolgende Werte (mit jeweiliger Messunsicherheit)

| | |
|---|---|
| $d$ = 1,00 mm | $\Delta d = \pm 2 \cdot 10^{-2}$ mm |
| $D$ = 30,0 mm | $\Delta D = \pm 1 \cdot 10^{-1}$ mm |
| $n$ = 150 | $\Delta n = \pm 1$ |
| $G = 81 \cdot 10^{9}$ Pa | $\Delta G = \pm 2 \cdot 10^{9}$ Pa |

a) Bestimmen Sie aus diesen Angaben die Federkonstante *k* der Feder.

b) Ermitteln Sie den zugehörigen Größtfehler $\Delta k$ (relativ und absolut). Nutzen Sie dabei die Tatsache, dass für die Federkonstante ein reines Potenzgesetz vorliegt.

c) Fassen Sie die Werte aus a) und b) zu einem gemeinsamen Endergebnis mit absoluter beziehungsweiser relativer Angabe der Messunsicherheit zusammen.

d) Bestimmen Sie den mittleren absoluten Fehler und den Größtfehler nach GAUSS.

e) Vergleichen Sie die Ergebnisse der beiden benutzen Verfahren aus den Teilaufgaben b) und d) miteinander. *Hinweis: der mittlere absolute Fehler nach GAUSS sollte kleiner sein als der Größtfehler*