

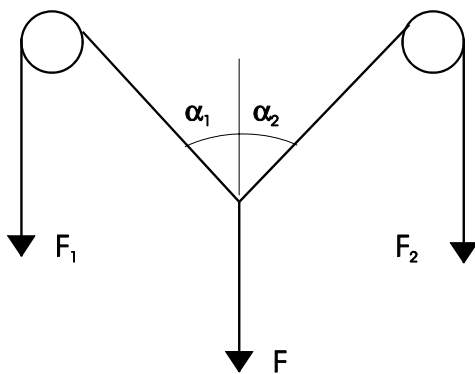
# Zusammensetzung von Kräften, Flaschenzug und Federpendel

## 1. Teil : Zusammensetzung von Kräften

### Aufgabenstellung:

Zu zwei Kräften  $F_1$  und  $F_2$  soll die Kraft  $F_{\perp}$  gesucht werden, die diesen das Gleichgewicht hält und lotrecht nach unten wirkt.

### Experimentelle Vorgangsweise:



Last 1: $F_1$	Last 2: $F_2$
1 Laststück	1 Laststück
2 Laststücke	1 Laststück
3 Laststücke	1 Laststück
3 Laststücke	2 Laststücke
4 Laststücke	2 Laststück
4 Laststücke	3 Laststücke

Abb. 1: Zusammensetzung von Kräften

Im Experiment wird die senkrecht nach unten weisende Kraft  $F_{\perp}$  gesucht, die zwei Kräfte  $F_1$  und  $F_2$  kompensiert, welche mit der Lotrechten den Winkel  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  einschließen.

Den Betrag von  $F$  erhält man, wenn man die Vertikalkomponenten von  $F_1$  und  $F_2$  addiert:

$$F_{\perp} = F_1 \cos \alpha_1 + F_2 \cos \alpha_2 \quad (1)$$

1. Zuerst werden mit einer Waage die Massen  $m_L$  der Laststücke ermittelt und daraus die Gewichtskräfte  $G_L = m_L g$  berechnet. Mit den Kraftmessern ist das Ergebnis zu überprüfen, etwaige Abweichungen sind zu notieren (Gesamtfehler  $\Delta F = \text{Ablesefehler} + \text{Gerätefehler}$ ).
2. Danach werden für folgende Laststückkombinationen  $F_i = \sum G_L$  unter Beachtung des Lotrechtstehens der Kraft  $F_{\perp}$  die Winkel  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  bestimmt (Gesamtfehler  $\Delta \alpha_i = \text{Ablesefehler} + \text{Gerätefehler}$ ):

Aus den Winkeln  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  und den Kräften  $F_1$  und  $F_2$  kann man nun die Kraft  $F_{\perp}$  nach obiger Gleichung (1) errechnen und mit dem am Kraftmesser abgelesenen Wert vergleichen.

Berechnung des Maximalfehlers von  $\Delta F$  mittels Fehlerfortpflanzung ausgehend von Gl. (1):

$$\Delta F|_{F_1} = |\cos \alpha_1| \Delta F_1, \quad \Delta F|_{F_2} = |\cos \alpha_2| \Delta F_2, \quad \Delta F|_{\alpha_1} = |F_1 \sin \alpha_1| \Delta \alpha_1, \quad \Delta F|_{\alpha_2} = |F_2 \sin \alpha_2| \Delta \alpha_2$$

$$\Delta F = \Delta F|_{F_1} + \Delta F|_{F_2} + \Delta F|_{\alpha_1} + \Delta F|_{\alpha_2}$$

Überprüfen Sie durch Einsetzen der Messwerte für  $F_1$  und  $\alpha_1$ , ob die Beziehung  $F_1 \sin \alpha_1 = F_2 \sin \alpha_2$  gilt, mit Berücksichtigung der jeweiligen Fehlergrenzen für  $F_1$  und  $\alpha_1$ . Abweichungen sind zu notieren, Meßfehler sind abzuschätzen, das Ergebnis ist zu diskutieren.

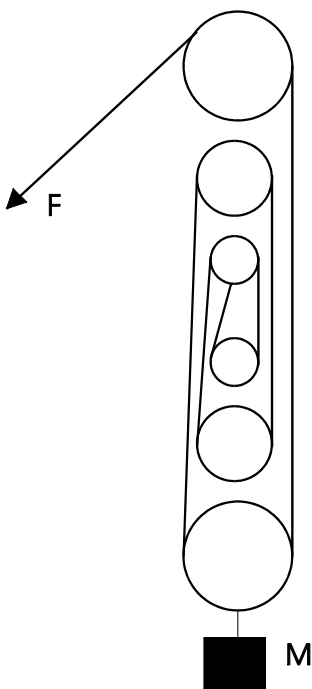
## 2. Teil: Flaschenzug: Kräftebilanz

### Aufgabenstellung:

An einem Flaschenzug soll gezeigt werden, dass

- die Zugkraft  $F$  proportional zur Gewichtskraft  $G_L$  der angehängten Last ist und
- die Zugkraft  $F$  bei konstanter Last  $G_L$  umgekehrt proportional zur Zahl  $N$  der verwendeten Rollen abnimmt, der Weg  $s$  um die Last  $G_L$  zu heben jedoch zunimmt (was bleibt dabei insgesamt konstant?).

### Experimentelle Vorgangsweise:



Beim Flaschenzug mit  $N$  Rollen verteilt sich die Gewichtskraft  $G_L$  der angehängten Last gleichmäßig auf  $N$  Seilstücke. Da das Seil entlang seiner gesamten Länge unter einer einheitlichen Zugspannung steht, bedeutet dies für die am Seilende aufzuwendende Zugkraft  $F$ :

$$F = G_L / N$$

Zu a.) Zunächst wird an dem Flaschenzug mit 6 Rollen gezeigt, daß die Zugkraft  $F$  proportional zur angebrachten Gewichtskraft  $G_L$  ist. Dazu ist die Gewichtskraft  $G_L = m_L g$  der 4 Laststücke (500 g, 700 g, 1000 g, 2000 g) zu bestimmen und die Zugkraft  $F$  mit dem Kraftmesser zu ermitteln (Gesamtfehler  $\Delta F = \text{Ablesefehler} + \text{Gerätefehler}$ ).

**Achtung:** Da der bewegliche Teil des Flaschenzuges selbst eine Masse hat, muß die Kraft  $F_{Fl}$ , die notwendig ist, um den Flaschenzug in Schwebe zu halten, abgezogen werden von der Kraft  $F_{ges}$ , die mit der Last gemessen wird. Die korrigierte Kraft  $F$  ist also:  $F = F_{ges} - F_{Fl}$ .

Abb. 2: Flaschenzug

Zu b.) Danach wird für das Laststück mit 1000 g für den Flaschenzug mit 2, 4 und 6 Rollen die aufzuwendende Zugkraft  $F$  und der Weg  $s$ , der erforderlich ist, um das Laststück um 10 cm zu heben, bestimmt. Wie genau wurde die Kraft bestimmt (Gesamtfehler  $\Delta F = \text{Ablesefehler} + \text{Gerätefehler}$ ), wie genau den Weg  $s$ ?

### Auswertung:

Zu a.) Die gemessene Zugkraft  $F$  wird in einem Diagramm als Funktion der am Flaschenzug angebrachten Gewichtskraft  $G_L$  aufgetragen. Die Meßfehler sind abzuschätzen und das Ergebnis der obigen Messungen ist zu diskutieren.

Zu b.) Berechnen Sie die (indirekt gemessene) Arbeit  $W = F s$  aus den direkt gemessenen Größen Zugkraft  $F$  und Weg  $s$ . Bestimmen Sie mittels Fehlerfortpflanzung den maximalen relativen Fehler  $\frac{\Delta W}{W}$  für die

Arbeit  $W = F s$ :

$$\frac{\Delta W}{W} = \frac{\Delta F}{F} + \frac{\Delta s}{s} .$$

Bleibt die Arbeit  $W$  konstant innerhalb der ermittelten Fehlergrenzen?

## 3. Teil: Federpendel

### Aufgabenstellung:

Die Federkonstante  $k$  von Schraubenfedern wird bestimmt.

### Experimentelle Vorgangsweise:

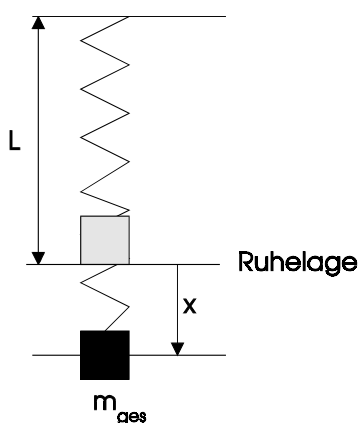


Abb. 3: Schematische Darstellung des Federpendels

1. Zuerst wird die Waage exakt austariert.
2. Dann wird die Masse  $m_k$  der vier Probekörper, die Masse  $m_f$  der beiden Federn und die Masse  $m_t$  der Trägerschale durch Wägung bestimmt.
3. Zur Bestimmung der Federkonstante  $k$  wird die Ausdehnung  $x$  der jeweiligen Federn als Funktion von 4 verschiedenen, aufgelegten Massen  $m_{\text{ges},0} = \sum m_k$  ( $\sum m_k = m_1$  oder  $m_1 + m_2$  oder usw...) bestimmt. Die Ausgangslage der Feder (Nullpunkt,  $m_{\text{ges},0} = 0$ ,  $\rightarrow x = 0$ , warum?) ist gegeben durch die untere Kante der aufgehängten Trägerschale.
4. Zur Bestimmung der effektiven Federmasse  $m_{f,\text{eff}} = m_f/3$  wird die Eigenschwingungsdauer  $T$  der jeweiligen Pendel für 4 verschiedene Massen  $m_{\text{ges},t} = m_t + \sum m_k$  ( $\sum m_k = m_1$  oder  $m_1 + m_2$  oder usw...) ermittelt, indem jeweils 30 Perioden  $T$  mit der Stoppuhr gemessen werden.

Es gilt (siehe Walcher):

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m_{\text{ges},t} + m_{f,\text{eff}}}{k}}$$

### Auswertung:

Für beide Federn wird auf Millimeterpapier die Ausdehnung  $x$  der Feder als Funktion der Gewichtskraft  $G = m_{\text{ges},0} g$  aufgetragen und aus der Steigung der Geraden die Federkonstante  $k$  bestimmt (Achtung:  $k = 1 / \text{Steigung}$ , warum?).

Zur Auswertung mittels linearer Regression siehe

<http://www.sbg.ac.at/bio/people/musso/lehre/messmethoden/teil5/lineare-regression.htm> bzw.

<http://www.sbg.ac.at/bio/people/musso/lehre/messmethoden/teil5/federpendel/federpendel.htm> .

Sodann wird auf Millimeterpapier das Quadrat der Schwingungsdauer ( $T^2$ ) als Funktion der schwingenden Gesamtmasse  $m_{\text{ges},t}$  aufgetragen. Aus der (linearen) Darstellung wird die effektive Federmasse  $m_F$  mit Hilfe des Schnittpunkts der Geraden mit der Ordinate berechnet und mit dem Wert aus der Wägung verglichen. Die Meßfehler sind abzuschätzen und die Ergebnisse sind zu diskutieren.

### Schlagworte:

- \* Schwingung
- \* Harmonischer Oszillator
- \* kinetische und potentielle Energie
- \* freie und gedämpfte Schwingung
- \* Erhaltungssätze der Mechanik
- \* Flaschenzug
- \* Drehmoment
- \* Arbeit
- \* Vektor, Linienvektor, Addition von Vektoren, Skalarprodukt, Vektorprodukt
- \* Mechanisches Gleichgewicht
- \* Newton'sche Axiome,
- \* Erhaltungssätze der Mechanik

### Weiterführende Literatur:

- G. Duncan: Physics in the Life Sciences, Blackwell Scientific Publications
- B. Gonsior: Physik für Mediziner, Biologen und Pharmazeuten, Schattauer Verlag
- F. Kneubühl: Repetitorium der Physik, Teubner Verlag
- W. Walcher: Praktikum der Physik, Teubner Verlag