

Die Geschwindigkeit eines aus einem Luftdruckgewehr austretenden Geschosses wird nach zwei unterschiedlichen Methoden bestimmt. Im Rahmen der Auswertung wird eine Abschätzung auftretender systematischer Abweichungen vorgenommen und die Messunsicherheit beider Methoden bestimmt.

1. Theoretische Grundlagen

1.1 Methode der rotierenden Scheiben

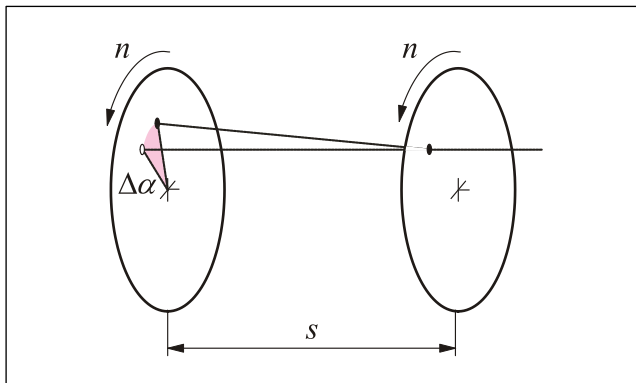


Bild 1: Prinzipskizze der rotierenden Scheiben

Zur Bestimmung der Geschwindigkeit v eines Geschosses wird dieses durch zwei Papierscheiben geschossen (siehe **Bild 1**), die im Abstand s auf einer gemeinsamen Welle mit der Drehzahl n rotieren. Aus der gleichförmigen Translationsgeschwindigkeit des Geschosses und der gleichförmigen Rotation der Papierscheiben ergibt sich die Geschossgeschwindigkeit zu

$$v = \frac{360^\circ}{\Delta\alpha} \cdot n \cdot s \quad (1)$$

Hinweis:

Als Winkeldifferenz $\Delta\alpha$ des Durchschusses beider Scheiben **Grad** verwenden!

1.2 Ballistisches Pendel

Bild 2 zeigt eine Gewehrkugel der Masse m_G , die mit der Anfangsgeschwindigkeit v_G auf einen mit Knete gefüllten Zylinder der Masse m_P auftrifft und stecken bleibt. Der Zylinder ist als Pendel aufgehängt. Nach dem Aufprall wird das System aus Kugel und Zylinder bis zur Höhe h ausgelenkt. Eine solche Anordnung heißt **ballistisches Pendel**. Aus der Höhe h kann man die Anfangsgeschwindigkeit der Kugel bestimmen. Während des Stoßes bleibt der Impuls, nicht aber die mechanische Energie erhalten.

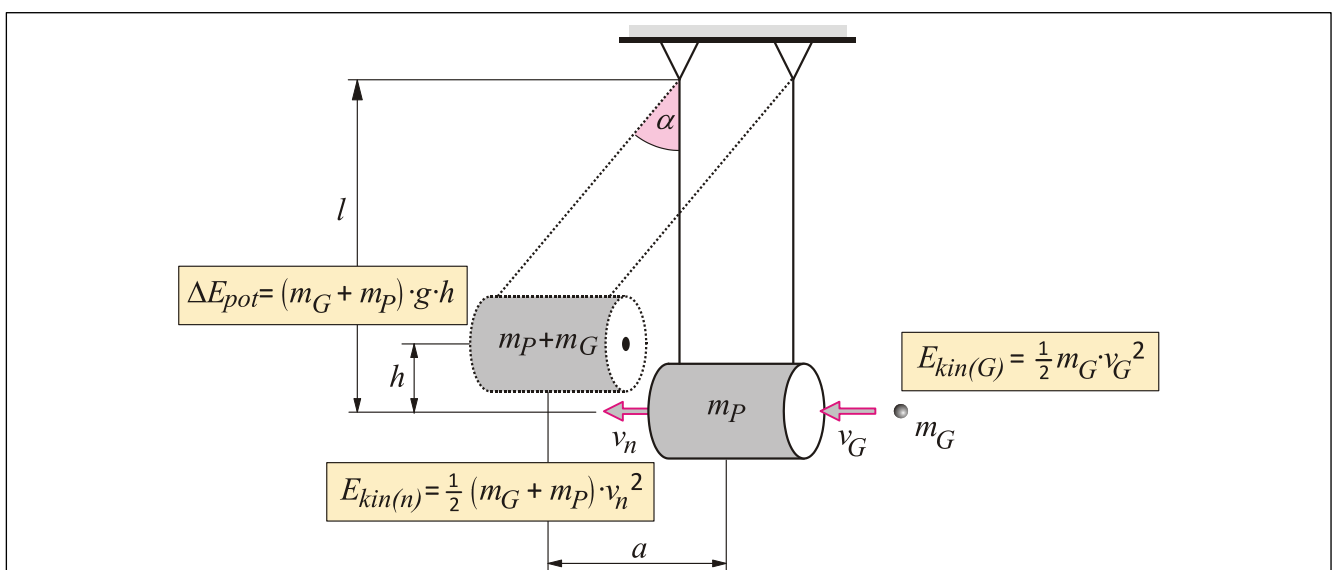


Bild 2: Prinzipskizze eines ballistischen Pendels

1.2.1 Beziehung aus dem Impulserhaltungssatz

Aus dem Impulssatz ergibt sich für den unelastischen Stoß mit v_n als Geschwindigkeit unmittelbar nach dem Stoß:

$$p_G = p_n$$

$$m_G \cdot v_G = (m_G + m_P) \cdot v_n \quad (2)$$

Die kinetische Energie nach dem Stoß wird zu:

$$E_{kin(n)} = \frac{1}{2}(m_G + m_P) \cdot v_n^2 \quad (3)$$

und mit Gleichung (2)

$$E_{kin(n)} = \frac{1}{2} \frac{m_G^2}{(m_G + m_P)} \cdot v_G^2. \quad (4)$$

1.2.2 Beziehung aus dem Energieerhaltungssatz

Aus dem Energieerhaltungssatz für die Bewegung nach dem Auftreffen folgt für das durch das Geschoss ausgelenkte Pendel:

$$E_{kin(n)} = \Delta E_{pot}$$

$$\frac{1}{2} \frac{m_G^2}{(m_G + m_P)} \cdot v_G^2 = (m_G + m_P) \cdot g \cdot h \quad (5)$$

und
$$v_G^2 = \frac{(m_G + m_P)^2}{m_G^2} \cdot 2g \cdot h. \quad (6)$$

Aus trigonometrischen Beziehungen (siehe **Bild 3**) folgt:

$$\cos \alpha = \frac{l - h}{l}, \quad (7)$$

$$h = l \cdot (1 - \cos \alpha)$$

oder
$$\cos \alpha = \frac{\sqrt{l^2 - a^2}}{l},$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \left(\frac{a}{l}\right)^2}$$

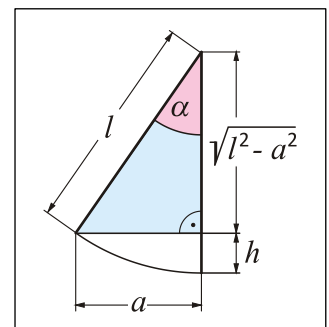


Bild 3: trigonometrische Beziehungen

Für kleine Auslenkungswinkel α lässt sich $\cos \alpha$ annähernd durch

$$\cos \alpha \approx 1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{a^2}{l^2} \text{ ersetzen.} \quad (8)$$

Für die Geschossgeschwindigkeit ergibt sich damit:

$$v_G = \frac{(m_G + m_P)}{m_G} \cdot a \cdot \sqrt{\frac{g}{l}}.$$

(9)

2. Versuch

2.1 Vorbetrachtung

Aufgabe: Ein Geschoss mit einer Masse $m_1=5\text{ g}$ trifft auf den ruhenden Pendelkörper ($m_2=500\text{ g}$) eines ballistischen Pendels und wird ausgelenkt. Dieses Geschoss hatte eine Anfangsgeschwindigkeit von $v_1=200\text{ m/s}$.

Berechnen Sie **a)** die kinetische Anfangsenergie des Geschosses, **b)** die kinetische Energie des Systems nach dem Auftreffen des Geschosses und **c)** die Höhe, die das Pendel ausgelenkt erreicht.

2.2 Versuchsdurchführung

2.2.1 Verwendete Geräte

Luftgewehr, Versuchsanordnung rotierende Scheiben, Drehzahlmesser, Versuchsanordnung ballistisches Pendel, Lineal, Waage

Gebrauch des Drehzahlmessers

Schalten Sie das Gerät ein, in dem Sie kurz die Taste „**MEAS**“ betätigen. Zum Messen müssen Sie diese Taste gedrückt halten und den Laserstrahl auf die Reflexfolie richten. Der Messabstand beträgt dabei **zwischen 50...150 mm**. Die Messung wird durch Blinken des Strahlungszeichens in der Anzeige bestätigt und kann nun abgelesen werden. Die Drehzahl n wird in 1/min angezeigt.

Achtung:

Niemals in den Laserstrahl sehen!

2.2.2 Versuchshinweise

Aufgabe 1: Methode der rotierenden Scheiben mit **zwei** verschiedenen Rotationsgeschwindigkeiten

- Messen Sie den Abstand s der Scheiben.
- Verwenden Sie bei ruhenden Scheiben einen Durchschuss als Bezugspunkt.
- Schalten Sie den Antriebsmotor ein.
- Bestimmen Sie die Drehzahl mit einem stroboskopischen Drehzahlmessgerät (*Bedienungsanleitung am Praktikumsplatz*) bei jedem Durchschuss neu.
- Kennzeichnen Sie nach jedem Schuss auf beiden Scheiben die zusammengehörigen Durchschüsse.
- Schießen Sie **6-mal** auf die rotierenden Scheiben.
- Stellen Sie eine neue Rotationsgeschwindigkeit durch Wechseln des Keilriemens ein und wechseln Sie die Scheiben.
- Wiederholen Sie den Messvorgang analog zur ersten Rotationsgeschwindigkeit.

Aufgabe 2: Methode ballistisches Pendel

- Bestimmen Sie die Anfangsmasse m_p des Pendelkörpers
- Ermitteln Sie die Masse m_{G10} von **10 Geschossen** (*10-mal kleinerer Messfehler*).
- Justieren Sie den Pendelkörper in der Schusslinie und bestimmen Sie die mittlere Pendellänge l .
- Messen Sie den durch den Schuss verursachten Pendelausschlag $\Delta\alpha$.
- Belassen Sie nach dem ersten Schuss die Kugel im Pendelkörper
- Drücken Sie das Einschussloch vor dem nächsten Schuss mit der Knetmasse wieder zu.
- Schießen Sie **10-mal**.

2.3 Versuchsauswertung

Aufgabe 1: Methode der rotierenden Scheiben

- Bestimmen Sie die Winkeldifferenz $\Delta\alpha$ der zugehörigen Einschusslöcher, in dem Sie diese auf neutrales Papier übertragen und die Winkeldifferenz aufzeichnen. Beachten Sie dabei die Bezugslinie.
- Schätzen Sie die systematische sowie die zufällige Abweichung der Messreihen ab.
- Berechnen Sie die mittlere Geschossgeschwindigkeit $\bar{v}$ (Gleichung (1)) für beide Drehzahlen und ermitteln Sie die Messunsicherheit durch eine Fehlerrechnung (*relativ und absolut*).

Aufgabe 2: Methode ballistisches Pendel

- Bestimmen Sie die Masse m_G **eines** Geschosses.
- Berücksichtigen Sie bei der Berechnung die stetig größer werdende Pendelmasse m_P .
- Berechnen Sie die mittlere Geschossgeschwindigkeit $\bar{v}$ (Gleichung (9)) und ermitteln Sie die Messunsicherheit durch eine Fehlerrechnung (*relativ und absolut*).

Aufgabe 3: Vergleich

- Führen Sie einen Methodenvergleich durch und beschreiben Sie die vorhandene systematische Abweichung beider Methoden.
- Diskutieren Sie das Ergebnis.

3. Ergänzung

3.1 Vertiefende Fragen

Aufgabe 1: Bestimmen Sie unter Vergleich der Messwerte beider Methoden den Reibungsverlust an Energie beim Durchschlagen der Papierscheiben quantitativ!

Aufgabe 2: Der exakte Wert für $\cos \alpha$ beträgt:

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \left(\frac{a}{l}\right)^2}.$$

In Gleichung (8) wird

$$\cos \alpha \approx 1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{a^2}{l^2}$$

benutzt.

- Vergleichen Sie den Winkel α nach beiden Methoden für Ihre gemessene Pendellänge l und den Mittelwert Ihrer Auslenkung a .

Aufgabe 3: Wie viel Wärmeenergie entsteht beim Eindringen des Geschosses in den Pendelkörper?