

Ballistisches Pendel, Komplettsset



Lieferumfang

- 1 Grundplatte mit Wurfgerät
- 1 physikalisches Pendel
- 1 Pendellager
- 1 Steckachse
- 1 T-Stück
- 2 Stahlkugeln (D=14 mm)
- 1 Zollstock
- 1 Imbusschlüssel
- 2 Schrauben

Erforderliches Zubehör (nicht im Lieferumfang enthalten)

- 1 Stoppuhr
- 1 elektronische Waage

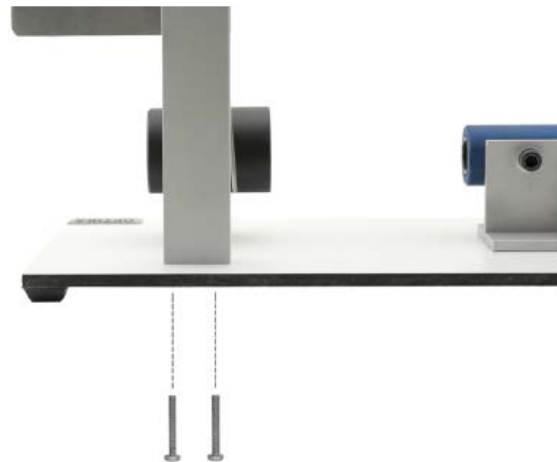
Sicherheitshinweise

Das integrierte Wurfgerät ist unter Beachtung nachfolgender Sicherheitsvorkehrungen zu betreiben. Nichtbeachten kann zu Verletzungen oder der Beschädigung von Gegenständen in der Umgebung oder des Gerätes selbst führen.

- Stellen sie sicher, dass sich keine Personen in der Flugbahn des Wurfgerätes befinden
- Schauen Sie niemals in die Auswurföffnung des Wurfgerätes, wenn sich eine Kugel im Gerät befindet.
- Alle am Versuch beteiligten Personen müssen Schutzbrillen tragen.
- Vergewissern Sie sich, dass sich keine Kugel im Wurfgerät befindet, wenn Sie das Gerät weglegen.
- Entspannen Sie stets die Feder am Wurfgerät, bevor Sie das Gerät weglegen.

Montage des Ballistischen Pendels

Schrauben sie die Pendelstütze mit den beiden Innensechskantschrauben an die Grundplatte. Überprüfen Sie anschließend, ob das Wurfgerät gegenüber dem Pendel korrekt ausgerichtet ist.



Hinweise zur Verwendung

Stellen Sie das ballistische Pendel auf einem ebenen stabilen Tisch. Achten Sie darauf, dass die Kugel im Wurfgerät sich so weit wie möglich im Wurfgerät befindet und Kontakt zum Abschusskolben hat. Justieren Sie den Schleppzeiger für die Winkelanzeige durch vorsichtiges Schwenken des Kunststoffzylinders in die Null-Position. Die Verstellung sollte so leichtgängig sein, um keinen Einfluß auf das Versuchsergebnis zu haben, andererseits sollte er durch seine Reibung in der max.

Auslenkung verharren.



Einführung

Das Ballistische Pendel erlaubt die Bestimmung der Abschußgeschwindigkeit eines Projektils mithilfe des Energieerhaltungssatzes über die Auswertung des Drehimpulses. Die Vorrichtung besteht aus einer Abschussvorrichtung für eine Stahlkugel und einer an einer Aluminiumstange befindlichen Fangvorrichtung für die Kugel aus einem PVC-Block. In dem Block befindet sich eine konische Bohrung, in der die Kugel stecken bleibt (unelastischer Stoß). Nach der Kollision bewegen sich Kugel und Pendelkopf mit der selben Anfangsgeschwindigkeit. Der Schleppzeiger zeigt die maximale Auslenkung des Systems „Pendel & Projektil“.

Die Theorie des ballistischen Pendels

Die Verwendung eines einfachen Pendels als ballistisches Pendel bringt eine Reihe von praktischen Schwierigkeiten mit sich, die sich in der speziellen Ausführung wie unten gezeigt vermeiden lassen.



Hilfreich zum Verstehen der Theorie ist die Unterteilung in zwei Phasen: eine Phase vor der Kollision und eine nach der Kollision.

Phase 1 : vor der Kollision

Da die Kollision zwischen dem Projektil und dem physikalischen pendel unelastisch ist, wird die kinetische Energie nicht erhalten. Aus diesem Grund kann nur das Gesetz des Drehimpulserhaltungssatz zu diesem Phänomen herangezogen werden.

Für den Drehimpuls gilt:

Für den Drehimpuls, bedingt durch das Projektil bezogen auf das Pendel-Drehzentrum O gilt:

$$\Lambda_1 = mvL$$

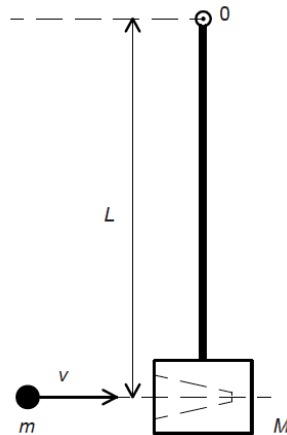
Für den Pendel-Drehimpuls vor der Kollision gilt:

$$\Lambda_2 = 0$$

Für den Drehimpuls des Gesamtsystems vor der Kollision gilt:

$$\Lambda_i = \Lambda_1 + \Lambda_2 = mvL$$

Wobei m die Masse des Projektils, v seine Geschwindigkeit und L der Abstand zwischen der Richtung x der Projektilebewegung und des Pendeldrehpunktes ist.



Phase 2 : nach der Kollision

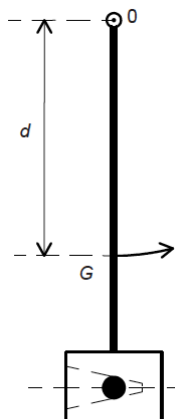
Wenn die Kugel in die Fangvorrichtung des Pendels trifft, bringt sie das Pendel in Bewegung. Die Anfangsgeschwindigkeit des Pendels ist jedoch nicht dieselbe wie die Geschwindigkeit des Projektils vor dem Stoß.

Für den Drehimpuls gilt:

Für den Drehimpuls des Pendels und dem Projektil gilt nach dem Aufprall:

$$\Lambda_f = I_t \omega$$

Wobei I_t das Gesamtträgheitsmoment des Systems und ω die Winkelgeschwindigkeit ist.



Nach dem Gesetz des Drehimpulserhaltungssatz gilt $\Lambda_i = \Lambda_f$. Hieraus folgt:

$$mvL = I_t \omega \quad (1)$$

Betrachtung der Energie

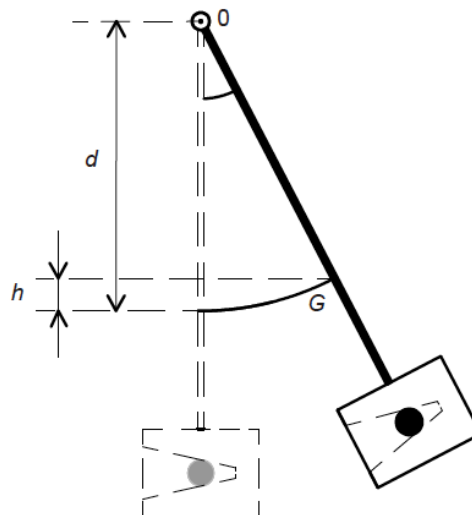
Für die kinetische Energie des Gesamtsystems Projektil und Pendel unmittelbar nach der Kollision ergibt sich für die Rotationsenergie:

$$K_f = \frac{1}{2} I_t \omega^2$$

Sobald das Pendel zu schwingen beginnt, sich sein Schwerpunkt G nach oben bewegt, erreicht das Pendel seinen höchsten Punkt nach einer viertel Periode. Seine ursprüngliche kinetische Energie wird in potentielle Energie U umgewandelt. Korrespondierend mit der maximalen Auslenkung $K_f = U$ gilt:

$$\frac{1}{2} I_t \omega^2 = (M + m) gh \quad (2)$$

wobei g die Erdbeschleunigung ist, M die Masse des Pendels und h die Verschiebung des Massemittelpunktes in Relation zur maximalen Auslenkung.



Fazit

Kürzt man aus den Gleichungen (1) und (2) ω heraus, erhält man:

$$\frac{m^2 v^2 L^2}{I_t} = \frac{2 (M + m) gh}{I_t^2}$$

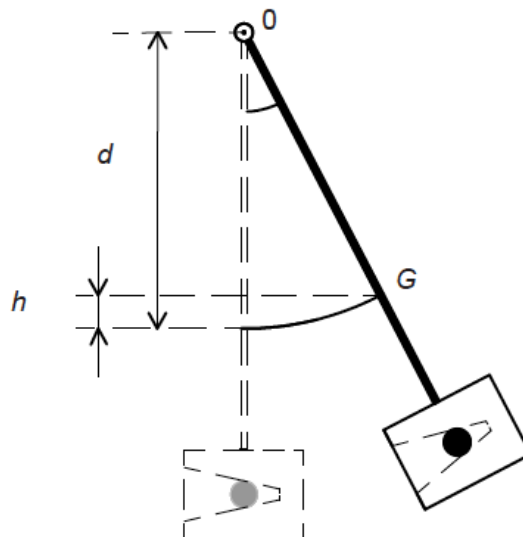
Für die Geschwindigkeit v ergibt sich:

$$v = \frac{1}{mL} \sqrt{2(M+m)ghI_t} \quad (3)$$

In der Gleichung existieren zwei unbekannte Größen h und I_t . h kann durch nachfolgenden Term ersetzt werden, der die maximale Auslenkung θ enthält:

$$h = d - d \cos\theta = d(1 - \cos\theta) \quad (4)$$

wobei d der Abstand zwischen dem Schwerpunkt G des physikalischen Pendels und seinem Mittelpunkt der Drehbewegung O .



Die zweite Unbekannte I_t lässt sich aus dem Effekt ableiten, dass die Schwingungsperiode des Pendels eine Kreisbahn beschreibt:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I_t}{(M+m)gd}}$$

Hieraus folgt:

$$I_t = \frac{(M+m)gdT^2}{4\pi^2} \quad (5)$$

Setzt man nun Gleichung (4) und (5) in die Gleichung (3) ein, folgt:

$$v = \frac{(M+m)gdT}{2\pi mL} \sqrt{2(1 - \cos\theta)} \quad (6)$$

Beobachtung

Wenn die Auslenkung einen Winkel θ von 25° nicht überschreitet, ergibt sich für den Ausdruck unter dem Wurzelzeichen: Der Wert ist fast identisch zur Angabe des Winkels in rad. Es gilt also (bis auf ein Hundertstel genau):

$$\sqrt{2(1 - \cos\theta)} = \theta^r$$

Folglich kann die Gleichung (6) wie folgt dargestellt werden:

$$v = \frac{(M + m) g d T}{2\pi m L} \theta^r \quad (7)$$

Durchführung des Experimentes mit dem ballistischen Pendel

Benötigtes Material: 1 Zollstock, 1 T-Stück, 1 Waage, 1 Stoppuhr

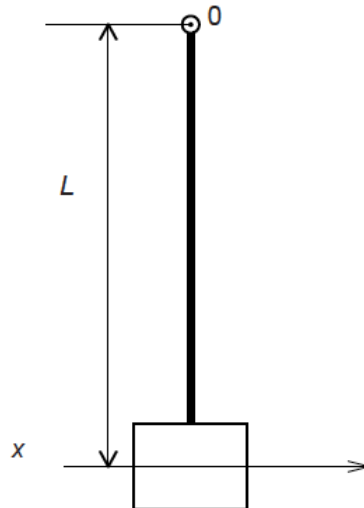
Schritt 1

Lösen Sie die Schraube des Pendels an seiner Achse. Achten Sie darauf, die beiden Kunststoffscheiben nicht zu verlieren. Ziehen Sie das Pendel von der Drehachse ab.



Schritt 2

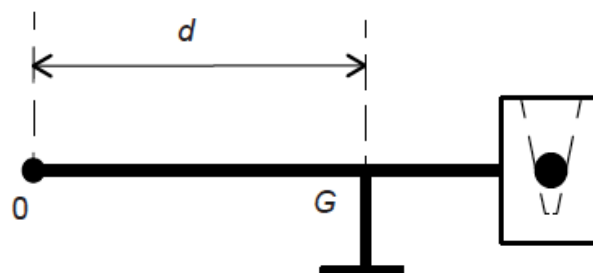
Ermitteln Sie die Länge L des Pendels mit dem Zollstock.



Schritt 3

Ermitteln Sie mit einer Waage die Masse des Pendels (M) und der Stahlkugel (m). Notieren Sie die Werte.

Anschließend ermitteln Sie die Lage des Schwerpunktes des Pendels (d). Legen Sie dazu das Pendel mit Kugel - wie in nachfolgender Skizze - auf das T-Stück und verschieben das Pendel solange, bis es sich im Gleichgewicht befindet. Messen Sie mit dem Zollstock das Maß d zwischen dem Drehpunkt und dem Auflagepunkt. Notieren Sie den Wert d .



Schritt 4

Montieren sie das Pendel wieder auf der Lagerachse. Vergessen Sie dabei die beiden PVC-scheiben nicht. Ziehen sie die Schraube nur soweit an, dass sich das Pendel noch leicht drehen lässt.



Legen Sie nun die Kugel in die konische Bohrung des Pendels und stoßen es leicht an. Bestimmen Sie nun die Zeit t während des Pendelns über 10 komplette Schwingungen. Hieraus ergibt sich die Periodenzeit T

$$T = \frac{t}{10}$$

Schritt 5

Zur Bestimmung des Auslenkungswinkels θ spannen Sie die Feder des Wurfgerätes und legen eine Kugel ein. Justieren Sie den PVC-Zylinder am Schleppzeiger, um dessen Vorspannung einzustellen. Er sollte sich mit minimaler Reibung bewegen lassen, um keinen Einfluss auf die Auslenkung des Pendels zu haben. Stellen Sie nun von Hand den Schleppzeiger auf null. Lösen Sie nun das Wurfgerät aus. Der Zeiger markiert den Winkel der maximalen Auslenkung (vgl. nachfolgende Abb.).



Sobald Sie die Werte für M , m , L , d , T und θ ermittelt haben, können Sie die Geschwindigkeit v berechnen, indem Sie die Werte in Formel (6) oder (7) einsetzen.

Führen Sie das Experiment mit verschiedenen Geschwindigkeiten durch. Wenn Sie die Geschwindigkeit des Projektils erhöhen, ist es nicht notwendig, den Zeiger zurückzustellen. So wird der Reibungseinfluss auf das Messergebnis minimiert.

Überprüfung des Messergebnisses

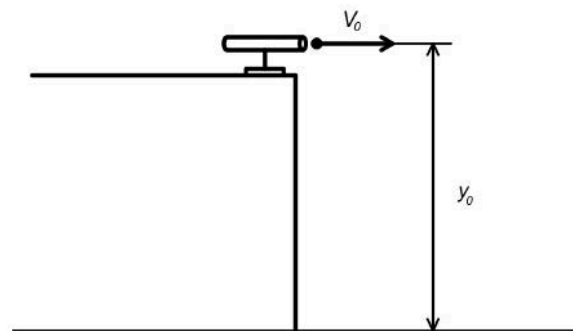
Benötigtes Material: 1 Zollstock, 1 Blatt weißes Papier, 1 Blatt Kohlepapier.

Die Überprüfung (Bewertung) der Ergebnisse erfolgt mit der Auswertung eines geraden Wurfes.

Schritt 1

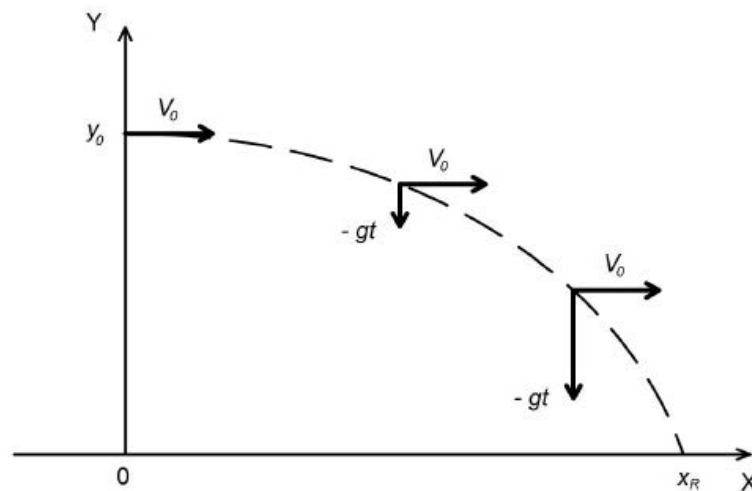
Lösen Sie die beiden Halteschrauben des Wurfgerätes und montieren es erneut um 180° gedreht. Stellen Sie das Gerät an die Kante eines stabilen Tisches. Achten Sie darauf, dass sich in der Wurfbahn keine Hindernisse oder Personen befinden (**Achtung: Verletzungsgefahr!**).

Messen Sie nun mit dem Zollstock den Abstand zwischen Fußboden und Mitte Austrittsöffnung des Wurfgerätes (y_0).



Schritt 2

Spannen Sie nun die Feder und positionieren eine Kugel im Wurfgerät. Lösen Sie anschließend einen Wurf aus. Legen Sie nun im Bereich des Aufpralls ein weißes Blatt Papier und darauf ein Blatt Kohlepapier, um den Aufschlagpunkt auf dem Papier zu markieren. Achten Sie darauf, dass sich das weiße Blatt Papier nicht während des Versuches nicht verschiebt. Sie können mit dem Zollstock den horizontalen Abstand x_R messen.



Die Bewegung des Projektils ergibt sich aus der Überlagerung von zwei Bewegungen (Superposition):

- Eine Horizontale Bewegung, mit konstanter Geschwindigkeit $v_x = v_0$
- Eine vertikale Geschwindigkeit mit konstanter Beschleunigung $-g$, wobei für die vertikale Geschwindigkeit gilt: $v_y = -gt$

Für die Bewegung in beide Richtungen (x und y) gilt:

$$x = v_0 t \qquad y = y_0 - \frac{1}{2} g t^2$$

Die Zeit t_R , die das Projektil benötigt um auf dem Boden aufzutreffen ($y=0$) lässt sich durch folgende Gleichung berechnen:

$$t_R = \sqrt{\frac{2 y_0}{g}}$$

Die Wurfweite x_R berechnet sich:

$$x_R = v_0 \sqrt{\frac{2 y_0}{g}}$$

Die Geschwindigkeit v_0 berechnet sich:

$$v_0 = x_R \sqrt{\frac{g}{2 y_0}}$$

Ballistisches Pendel Komplettsset - Best.- Nr. 1162031

Wiederholen Sie den Versuch mit unterschiedlichen Anfangsgeschwindigkeiten und vergleichen die Ergebnisse mit denen des ballistischen Pendels.

Hinweis:

Die tatsächliche Ausstattung des Versuchssets kann von der Abbildung in dieser Dokumentation leicht abweichen, da unsere Geräte ständig weiterentwickelt werden.