

PHYWE Systeme GmbH & Co. KG  
Robert-Bosch-Breite 10  
D-37079 Göttingen

Telefon +49 (0) 551 604-0  
Fax +49 (0) 551 604-107  
E-mail info@phywe.de

### Betriebsanleitung

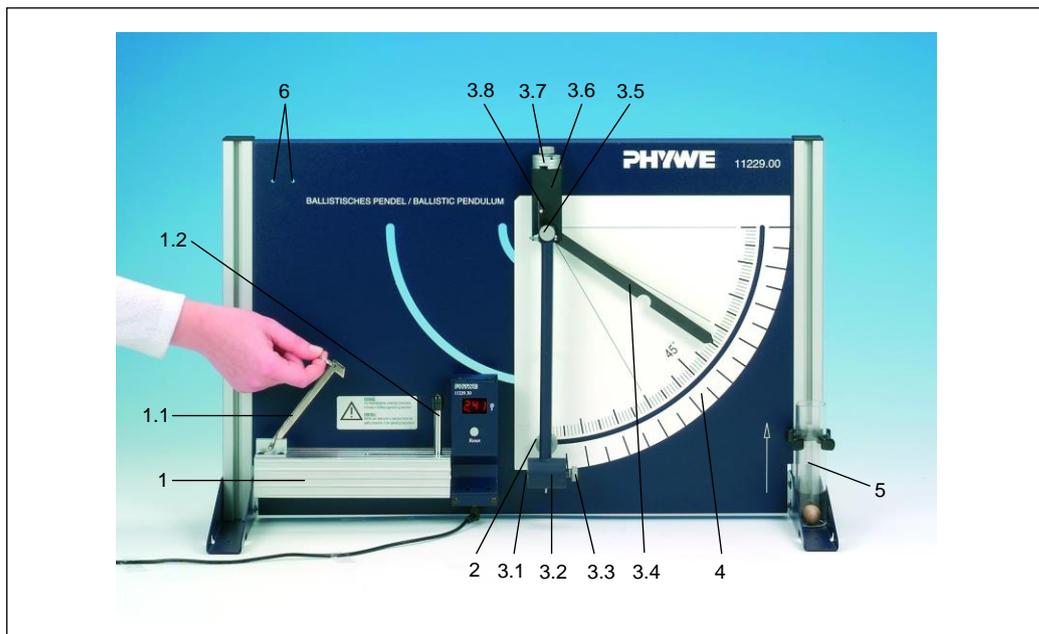


Abb. 11229-00 Wurfgerät / Ballistisches Pendel

## INHALTSVERZEICHNIS

- 1 SICHERHEITSHINWEISE
- 2 ZWECK UND EIGENSCHAFTEN
- 3 FUNKTIONS- UND BEDIENELEMENTE
- 4 HANDHABUNG
- 5 HINWEISE
- 6 GERÄTELISTE
- 7 GARANTIEHINWEIS
- 8 ENTSORGUNG

- Kugel am Ringmagneten des Bolzens ausschließlich bei nichtgespanntem Katapult aufsetzen.
- Niemals in das gespannte Katapult fassen.
- Während des Spannens und bei gespanntem Katapult niemals das Gesicht vor die Öffnung des Katapults bringen.
- Während des Experimentierens eine Schutzbrille tragen.

## 2 ZWECK UND EIGENSCHAFTEN

Als Wurfgerät dient ein dreistufiges Federkatapult, dessen Abschusswinkel zwischen  $0^\circ$  (horizontaler Wurf) und  $90^\circ$  (senkrechter Wurf) stufenlos variiert werden kann. Bei einem Abschusswinkel von  $45^\circ$  lassen sich Wurfweiten zwischen 2 und 3 m erreichen. Auf einem selbstschreibenden Schreibstreifen (siehe Geräteliste) können die Auftreffpunkte der Kugel markiert und zur Wurfweitenbestimmung benutzt werden. Mit wenigen Handgriffen kann das mitgelieferte ballistische Pendel vor der Mündung des Katapults so angebracht werden, dass die abgeschossene Kugel im Pendel stecken bleibt (unelastischer Stoß). Aus der Auslenkung des Pendels, die an der Demonstrationsskala ablesbar ist, lässt sich die Geschwindigkeit der Kugel berechnen.

## 1 SICHERHEITSHINWEISE



### Achtung!

- Vor Inbetriebnahme des Gerätes ist die Betriebsanleitung sorgfältig und vollständig zu lesen. Sie schützen sich und vermeiden Schäden an Ihrem Gerät.
- Das Gerät nicht in Betrieb nehmen, wenn Beschädigungen am Gerät sichtbar sind.
- Verwenden Sie das Gerät nur für den dafür vorgesehene Zweck.

### 3 FUNKTIONS- UND BEDIENELEMENTE

Abb. 1 zeigt das für Messungen mit dem ballistischen Pendel zusammengebaute Gerät mit folgenden Funktions- und Bedienelementen:

- 1 Katapult  
Kann durch Lösen von zwei Rändelschrauben an der Rückseite des Geräts gelöst werden, um es für die Betriebsart „Wurfgerät“ an der drehbaren Winkelskala 4 zu befestigen.
- 1.1 Auslöser mit Bohrung zum Anknoten eines Zugfadens für eine sichere Freigabe des Schusses.
- 1.2 Spannhebel  
Vor dem Spannen des Katapults wird die Kugel zentriert am Ringmagneten des Bolzens befestigt; anschließend wird der Spannhebel bis zu der gewünschten Einrastung nach links gezogen.
- 2 Rändelschraube zur Fixierung der drehbaren Winkelskala 4 in der gewünschten Position.

#### 3 Ballistisches Pendel

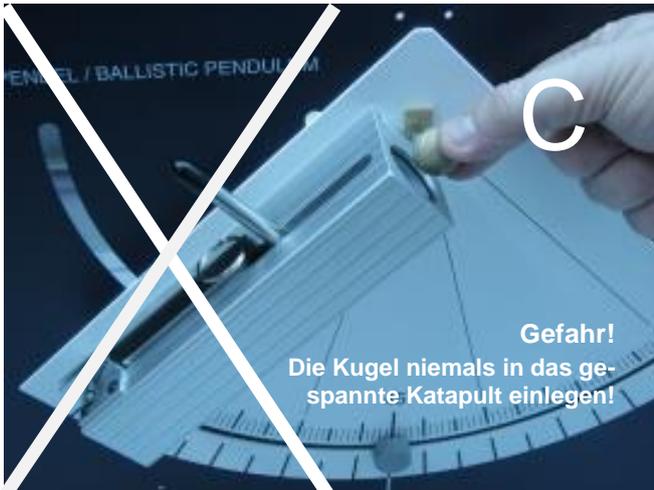
- 3.1 Konische Eintrittsöffnung des Pendels; bei hinreichender Energie (Spannstufen 2 und 3 des Katapults) wird die Kugel im Auffangkonus festgeklemmt (unelastischer Stoß).
- 3.2 Wahlweise angebrachte Zusatzgewichte (Schlitzgewichte) zur Veränderung der Pendeleigenschaften (Messbereichserweiterung); bei Nichtgebrauch werden die Gewichte in Position 3.7 auf dem Pendelträger aufbewahrt.
- 3.3 Rändelschraube zum Auswerfen der eingefangenen Kugel; die Schraube kann auch, wenn sie hinreichend weit eingedreht ist, das Einfangen der Kugel verhindern; auf diese Weise werden Messungen unter den Bedingungen des elastischen Stoßes möglich.
- 3.4 Schleppzeiger zur Anzeige der Maximalauslenkung des ballistischen Pendels.
- 3.5 Rändelschraube, nach deren Lösen der Schwinger des Pendels abgezogen werden kann; dies ist notwendig, um für die Auswertung die Masse und den Abstand des Schwerpunktes vom Drehpunkt zu bestimmen.
- 3.6 Pendelträger, kann nach Lösen von zwei Rändelschrauben an der Rückseite des Gerätes entfernt werden, was für die Betriebsart „Wurfgerät“ notwendig ist. Zur Aufbewahrung kann das Pendel dann mit Hilfe der Bohrungen 6 an der Rückseite der Trägerplatte befestigt werden.
- 3.7 Aufbewahrungsort für nicht benutzte Schlitzgewichte.
- 3.8 Feder zur Dämpfung des Zurückschlagens des Pendels gegen das Katapult; zur Messung der Schwingungsdauer des Pendels kann die Feder vorübergehend soweit nach vorne gedreht werden, dass die Bewegung nicht mehr durch den als Widerlager dienenden Stift blockiert wird. Achtung: Feder nach erfolgter Messung der Schwingungsdauer sofort wieder in die Ausgangsstellung bringen; ohne wirksame Dämpfungsfeder kann das zurückschlagende Pendel Beschädigungen verursachen.

- 4 Winkelskala zum Ablesen der Maximalauslenkung des ballistischen Pendels. In der Betriebsart „Wurfgerät“ wird das Katapult mit den zugehörigen Rändelschrauben an zwei Bohrungen (in Abb. 1 durch die Pendelstange verdeckt) an der Skale befestigt. Durch Drehen der Skale kann nach Lösen der Feststellschraube 2 der Abschusswinkel zwischen  $0^\circ$  und  $90^\circ$  eingestellt werden.
- 5 Rohr zur Aufbewahrung der Kugeln; zur Freigabe wird das Rohr nach oben (Pfeil) gezogen.
- 6 Bohrungen zur Befestigung des Pendels an der Rückseite bei Nichtgebrauch.

Für quantitative Messungen sollte ausschließlich mit der Stahlkugel geschossen werden. Die Holzkugel kann mit Hilfe ihres Eisenkerns ebenfalls auf dem Bolzen des Katapults befestigt werden. Sie dient dazu, den Einfluss einer kleineren Kugelmasse in qualitativer Weise deutlich zu machen.



**Hinweis:** Bild A und B zeigen das Katapult in nichtgespanntem Zustand. Bild C zeigt das Katapult in gespanntem Zustand.



Vorgeschriebener Bedienungsablauf:

### 1. Schritt: Kugel in das Katapult laden.

Die Kugel muss mittig zum Ringmagneten des Bolzens positioniert werden, sodass sie haftet. Wird die Holzkugel (329066) verwendet, so ist der Eiseneinsatz in Richtung des Ringmagneten zu drehen, damit die Kugel mittig haftet.

**Vorsicht:** Ist die Kugel nicht zentriert zum Bolzen gehalten, können Schäden am Katapult auftreten.

### 2. Schritt: Spannen des Katapults.

Haftet die Kugel am Bolzen des Katapults, so kann das Katapult gespannt werden.

**Vorsicht:** Niemals eine Kugel in ein gespanntes Katapult einlegen!

## 4 HANDHABUNG

### 4.1 Montage

Aus verpackungstechnischen Gründen wird das Gerät im teilweise zerlegten Zustand angeliefert. Wir empfehlen, das Gerät zunächst gemäß Abb. 1 zusammenzubauen. Es sollte auch bei Nichtgebrauch in dieser Form aufbewahrt werden, da dann alle Teile unverlierbar zusammengefügt sind. Zunächst werden die beiden Vierkantprofile seitlich an die Trägerplatten montiert und dann die Füße angeschraubt. Ein passender Inbus-Schlüssel liegt dem Gerät bei. Anschließend wird das komplette Pendel 3 mit Hilfe der beiden mitgelieferten Rändelschrauben befestigt. An die Bohrung des Auslösehebels knotet man einen Faden in Form einer Schlaufe an. Damit ist das Gerät als ballistisches Pendel betriebsbereit.

### 4.2 Geschwindigkeitsmessungen mit dem ballistischen Pendel

Das Gerät soll zum Experimentieren grundsätzlich mit zwei Schraubzwingen befestigt sein um Messfehler durch Rutschbewegungen zu vermeiden. Zunächst überzeugt man sich davon, dass die Rändelschraube 3.3 soweit heraus gedreht ist, dass die Kugel in der Pendelöffnung sicher festgehalten wird. Dazu drückt man die Kugel von Hand mit mäßiger Kraft in die Öffnung 3.1; die Kugel darf dann bei nach unten zeigender Öffnung nicht herausfallen. Zur Entnahme der Kugel lenkt man das Pendel um etwa 45° aus und dreht die Schraube soweit hinein, bis die Kugel herausfällt. Danach dreht man die Schraube wieder um etwa zwei Umdrehungen heraus. Bevor man die Feder am Wurfgerät spannt, fixiert man die Stahlkugel am Haltemagneten des Bolzens. Dann

zieht man den Bolzen bis zum zweiten oder zum dritten Rastpunkt zurück. (Der erste Rastpunkt eignet sich in der Regel nicht, weil die Energie der Kugel zum sicheren Festklemmen im Pendel zu gering ist.) Man überzeugt sich nun davon, dass das Pendel ruht und der Schleppzeiger annähernd auf null zeigt, ohne dabei den Mitnahmestift des Pendels zu berühren. Nach diesen Vorbereitungen wird der Schuss durch Ziehen des Arretierhebels ausgelöst. Die Amplitude der Pendelschwingung kann am Schleppzeiger 3.4 abgelesen werden.

**Hinweis:** Durch die funktionsbedingt notwendige Reibung des Schleppzeigers wird die Amplitude etwas zu klein gemessen. Es empfiehlt sich daher, mit derselben Federspannung einen zweiten und einen dritten Schuss auf das ruhende Pendel abzugeben, ohne dabei den Schleppzeiger zurückzustellen. Wenn der Schleppzeiger nicht mehr weiterbewegt wird, dann kann man davon ausgehen, dass der angezeigte Winkel nicht durch Reibung verfälscht ist. Andernfalls sind weitere Schüsse notwendig. Noch schneller kommt man zum Ziel, wenn man den Schleppzeiger beim ersten Schussversuch auf 90° einstellt und den Ausschlag abschätzt. Bei der folgenden Messung stellt man den Zeiger auf einen Winkel ein, der geringfügig kleiner ist als der beobachtete Ausschlag, so dass der Schleppzeiger gerade noch berührt wird.

Sollte der Ausschlag  $\varphi$  größer als 90° sein, so ist der Messbereich durch Umsetzen der Schlitzgewichte (4 x 10 g) von ihrem Aufbewahrungsort 3.7 an das untere Ende des Pendels 3.2 zu erweitern.

Zur Auswertung benötigt man neben dem Ausschlag  $\varphi$  die folgenden Werte:

1.  $m$  = Masse der Kugel
2.  $M$  = Masse des schwingenden Teils des Pendels einschließlich der eingefangenen Kugel
3.  $r$  = Abstand zwischen Drehachse und Schwerpunkt des Pendels mit der eingefangenen Kugel
4.  $r_b = 0,240$  m = Abstand zwischen Drehachse und Mittelpunkt der eingefangenen Kugel
5.  $g$  = Erdbeschleunigung
6.  $T$  = Schwingungsdauer des Pendels mit eingefangener Kugel

Um die Masse  $M$  des Pendels zu bestimmen, wird die Rändelschraube 3.5 entfernt und der Schwinger des Pendels abgenommen und gewogen. Anschließend bestimmt man den Schwerpunkt, indem man die Pendelstange in der Schlaufe eines Fadens solange verschiebt, bis sie sich annähernd im Gleichgewicht befindet. Der Abstand zwischen dem Aufhängepunkt und der Achse der Lagerbohrung ist  $r$ .

Die gesuchte Geschwindigkeit der Kugel berechnet sich nach der folgenden Formel:

$$v = \frac{m+M}{m} \cdot \frac{r}{r_b} \cdot \frac{g \cdot T}{2\pi} \cdot \sqrt{2 \cdot (1 - \cos \varphi)}$$

### 4.3 Elastischer Stoß zwischen Kugel und Pendel

Wenn man die Schraube 3.3 nach dem Auswerfen der Kugel nicht wieder zurückdreht, wird die Kugel beim nächsten Schuss an der Schraube elastisch reflektiert. Es stellt sich dabei die Frage, ob der Pendelausschlag dabei größer oder kleiner sein wird als beim unelastischen Stoß. Das Experiment zeigt beim elastischen Stoß eine größere Auslenkung. Erklärung: Der Gesamtimpuls muss nach beiden Stoßformen gleich groß sein. Beim elastischen Stoß wird die Kugel mit einem negativen Impuls reflektiert, der durch einen größeren positiven Impuls des Pendels kompensiert werden muss. Zusätzlich wird der Ausschlag des Pendels noch vergrößert, weil seine Masse um den Betrag  $m$  kleiner ist als beim unelastischen Stoß.

### 4.4 Umbau zum Wurfgerät (Abb. 3)

Zunächst schraubt man das Katapult von der Trägerplatte ab, indem man die beiden Rändelschrauben von der Geräte-rückseite aus löst. Dann entfernt man auch den Pendelträger 3.6 durch Lösen seiner beiden Rändelschrauben. Nach der Abnahme des Pendels werden zwei zuvor von der Pendelstange verdeckte Bohrungen in der Winkelskala 4 frei. Hier wird das Katapult mit der Öffnung nach oben zeigend angeschraubt. Nach Lösen der Feststellschraube 2 kann der Abschusswinkel zwischen  $0^\circ$  und  $90^\circ$  verstellt werden. Das nicht benutzte Pendel kann mit Hilfe der Bohrungen 6 an der Rückseite der Trägerplatte befestigt und aufbewahrt werden.



Abb. 3: Wurfgerät

### 4.5 Messung von Wurfweiten mit dem Wurfgerät

Für diese Messungen ist es unerlässlich, die Füße des Geräts mit Schraubzwingen an der Tischfläche zu befestigen, weil das Gerät beim Spannen und Schießen sonst verrutscht. Man wähle für die Experimente mit dem Wurfgerät einen Ort, wo niemand durch die bis zu 3 m weit fliegende Kugel getroffen werden kann und keine Gegenstände beschädigt werden können. Man beachte auch, dass die Kugel nach dem Auftreffen auf einer Unterlage hochspringen und ihren Weg fortsetzen kann.

Das Laden und Spannen des Katapults sowie die Auslösung des Schusses ist in Abschnitt 4.2 ausführlich beschrieben. Man achte darauf, den Auslöser zügig herauszuziehen, um eine gute Reproduzierbarkeit der Wurfweiten zu erzielen. Auf der Zielfläche befestigt man (z.B. mit Klebeband) ein Stück des empfohlenen Schreibstreifens zur Markierung der Auftreffpunkte der Kugel.

Sorgt man dafür, dass der Abschusspunkt und die Zielebene auf gleicher Höhe liegen, so gilt für die Wurfweite  $s$  als Funktion des Abschusswinkels  $\Phi$  die Formel

$$s = \frac{v_0^2}{g} \cdot \sin 2\Phi$$

Wählt man  $\Phi = 45^\circ$  für die größte Wurfweite, so kann man für diesen Winkel aus der gemessenen Wurfweite die Anfangsgeschwindigkeit  $v_0$  der Kugel berechnen.

$$v_0 = \sqrt{s \cdot g}$$

Als Zielebene mit der erforderlichen Höhe eignet sich die untere Plattform des Tisches mit zwei Demonstrationsebenen.

### 4.6 Wartung

Das Pendellager ist bei Bedarf mit einem geeigneten Schmiermittel zu behandeln. Das gleiche Mittel, das auch als Korrosionsschutz wirkt, sollte gelegentlich in das Katapult gesprüht werden.

## 5 GERÄTELISTE

Das Gerät besteht aus den folgenden auch einzeln lieferbaren Komponenten:

Wurfgerät	11229-10
Ballistisches Pendel, Zusatz zum Wurfgerät	11229-20

Enthaltenes Zubehör:

Stahlkugel, $d = 19$ mm	02502-01
Holz-kugel mit Eisenkern	

Folgendes Experimentiermaterial empfehlen wir für Messungen mit dem Gerät:

Schreibstreifen 1 Rolle, 25 m	11221-01
Schraubzwingen (2 Stück)	02014-00
Tisch mit zwei Demonstrationsebenen	02076-03
Waage bis 200 g	

Zur direkten Messung der Anfangsgeschwindigkeiten der Kugel:

Geschwindigkeitsmessaufsatz	11229-99
-----------------------------	----------

## 6 TECHNISCHE DATEN

<b>Wurfgerät</b>	<b>11229-10</b>
Schusswinkel	0... $90^\circ$
Skaleneinteilung	$1^\circ$
Maximale Schussweite	3 m
Abmessungen (mm)	600 x 385
Masse	ca. 6 kg
<b>Ballistisches Pendel, Zusatz zum Wurfgerät</b>	<b>11229-20</b>
Masse	ca. 0,3 kg

Aufgrund der Geometrie der Messeinrichtung können Messfehler im Bereich eines für ein didaktisches Gerät üblichen statistischen Fehlers auftreten.

## 7 GARANTIEHINWEIS

Für das von uns gelieferte Gerät übernehmen wir innerhalb der EU eine Garantie von 24 Monaten, außerhalb der EU von 12 Monaten. Von der Garantie ausgenommen sind: Schäden, die auf Nichtbeachtung der Bedienungsanleitung, unsachgemäße Behandlung oder natürlichen Verschleiß zurückzuführen sind.

Der Hersteller kann nur dann als verantwortlich für Funktion und sicherheitstechnische Eigenschaften des Gerätes betrachtet werden, wenn Instandhaltung, Instandsetzung und Änderungen daran von ihm selbst oder durch von ihm ausdrücklich hierfür ermächtigte Stellen ausgeführt werden.

## 8 ENTSORGUNG

Die Verpackung besteht überwiegend aus umweltverträglichen Materialien, die den örtlichen Recyclingstellen zugeführt werden sollten.



Dieses Produkt gehört nicht in die normale Müllentsorgung (Hausmüll). Soll dieses Gerät entsorgt werden, so senden Sie es bitte zur fachgerechten Entsorgung an die unten stehende Adresse.

PHYWE Systeme GmbH & Co. KG  
Abteilung Kundendienst  
Robert-Bosch-Breite 10  
D-37079 Göttingen

Telefon +49 (0) 551 604-274  
Fax +49 (0) 551 604-246