

# Olimpiadi di Fisica 2018

Nationaler Wettbewerb  
Experimentalteil

Donnerstag 12. April 2018

Liceo Statale "Medi"  
Senigallia (AN)

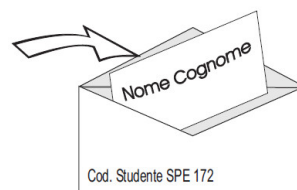
Bitte noch nicht umblättern!  
Warte bis du grünes Licht bekommst!

Anleitung:

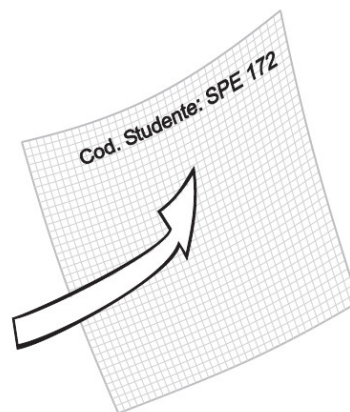
Zeit: 4 Stunden

1. Sobald Du die Erlaubnis hast, die Arbeit zu beginnen, schreibst Du Deinen **NAMEN und FAMILIENNAMEN** auf das **Kärtchen**, das Du zusammen mit den Blättern und den Umschlägen (groß und klein) erhalten hast. Gib das beschriftete Kärtchen in den kleinen Umschlag und verschließe ihn gut! Lege den kleinen Umschlag sofort in den großen Umschlag, mit dem Du am Schluss alle Blätter abgibst!

**Anschließend darfst Du KEINEN Namen mehr auf die Blätter und die Umschläge schreiben, sondern nur mehr deinen Schüler-Kenncode.**



2. Lies den Text der Aufgaben genau durch!
3. Schreibe auf jede Seite oben rechts deutlich deinen Schüler-Kenncode



Der Nationale Wettbewerb wird unterstützt von

Comune di  
Senigallia

Ministero dell' Istruzione  
dell'Università e della Ricerca

Liceo Statale  
"Medi" Senigallia

### **Allgemeine Anleitung**

*Lies den gesamten Text genau durch, bevor Du mit dem Aufbau beginnst!*

*Verwende nur das Material, das dir zur Verfügung gestellt wird!*

*Du musst keinen Laborbericht verfassen; beantworte die gestellten Fragen auf den entsprechenden Blättern!*

*Jede Antwort ist synthetisch und klar zu begründen, auch wenn dies nicht explizit in der Fragestellung steht! Wenn bei einer Frage Messwerte verlangt werden, dann müssen sie mit der entsprechenden Messunsicherheit angegeben werden, falls es nicht explizit anders verlangt wird!*

*Falls Du für die Verbesserung einer Messung wichtige Maßnahmen triffst, dann schreibe diese auf das entsprechende Antwortblatt!*

*Am Ende der Arbeit gibst Du alle Antwortblätter und die Vorschrift in den dafür vorgesehenen Umschlag!*

**P** **Exp**

## Stöße und Rückprall bei einem Pingpong-Ball

200 Punkte

**Einleitung**

Bei diesem Experiment untersuchst Du verschiedene physikalische Aspekte beim Stoß eines Pingpong-Balles, der auf ein waagrechtes Brettchen fällt und wieder zurückspringt. Das Brettchen ruht und hat eine sehr viel größere Masse als der Ball. Dieser Stoß ist sehr viel einfacher zu untersuchen als der Stoß eines Balles mit einem Pingpongschläger, den ein Spieler bewegt. Die Aufgabe, die wiederholte Messungen verlangt, besteht aus drei Teilen: Im ersten Teil wird die Verringerung der Geschwindigkeit beim Rückprall der Kugel untersucht, im zweiten und dritten Teil wird die sehr kurze Stoßzeit mit zwei unterschiedlichen Methoden bestimmt. Am Ende musst Du die Ursachen der systematischen Fehler bei der Messung der Stoßdauer bei den beiden unterschiedlichen Messverfahren aufzeigen.

Verwende für die Fallbeschleunigung den lokalen Wert  $g = 9,80402 \text{ ms}^{-2}$

---

**1. Abnahme der Geschwindigkeit beim Rückprall****(55 Punkte)**

Lassen wir den Ball auf das Brettchen fallen, so erreicht er nach dem Rückprall eine kleinere Höhe als beim Start. Wenn die Starthöhe nicht ein halbes Meter überschreitet, können wir die Luftreibung vernachlässigen. Weiters vernachlässigen wir auch den Effekt einer kleinen Rotation, die wir dem Ball beim Loslassen mit unseren Fingern geben.

Wir bezeichnen das Verhältnis von  $v'$  (Geschwindigkeit des Schwerpunktes unseres Balles gleich nach dem Rückprall) und  $v$  (Geschwindigkeit knapp vor dem Aufprall) als *Rückkehrkoeffizient*  $e_v$ .

Es gilt:  $e_v = \frac{v'}{v}$

Dieser Koeffizient ist charakteristisch für ein Paar Ball-Brettchen, vorausgesetzt es gibt keine dauerhaften Verformungen des Balles.

Klebe auf das Brettchen eine Papierklebefolie, so dass es über die ganze Länge bedeckt ist. Auf dieser mit Papier bedeckten Zone prallt der Ball auf.

Klebe einen Teil des Papiermeterstabes mit transparentem Klebestreifen auf die Holzlatte! Mit dem gleichen Klebestreifen fixierst Du an der Holzlatte den kleineren Teil des Metallwinkels. Auf dem längeren Teil des Metallwinkels steht die Holzlatte. Damit die Anordnung stabiler wird, fixierst Du diesen Teil des Metallwinkels mit Papierklebestreifen am Tisch (siehe Abbildung 1 links).

Die Holzlatte dient als Kathetometer, also als Höhenmesser. Sie muss also senkrecht stehen (siehe Abbildung 1 rechts). Eine Wäscheklammer dient dazu, den Startpunkt des Balles anzuzeigen, ein Gummiband zeigt den höchsten erreichten Punkt nach dem Rückprall an. Baue mit zwei Büroklammern ein Senkblei. Binde sie an die Enden eines Fadens und befestige eine an der Wäscheklammer oder lege sie drauf. Die andere Büroklammer dient als Gewicht. Stelle damit sicher, dass die Holzlatte senkrecht steht!

Um den Rückkehrkoeffizienten zu bestimmen, misst Du die maximale Höhe nach dem Rückprall, wobei Du verschiedene Starthöhen wählst. 50 cm sollen beim Start nicht überschritten werden. Versuche den Ball nach dem Rückprall aufzufangen, sodass er nicht wieder auf dem Brettchen landet und dann auf den Boden fällt! Dazu gibst Du um das Brettchen ein wenig zerknülltes Papier einer Küchenrolle.

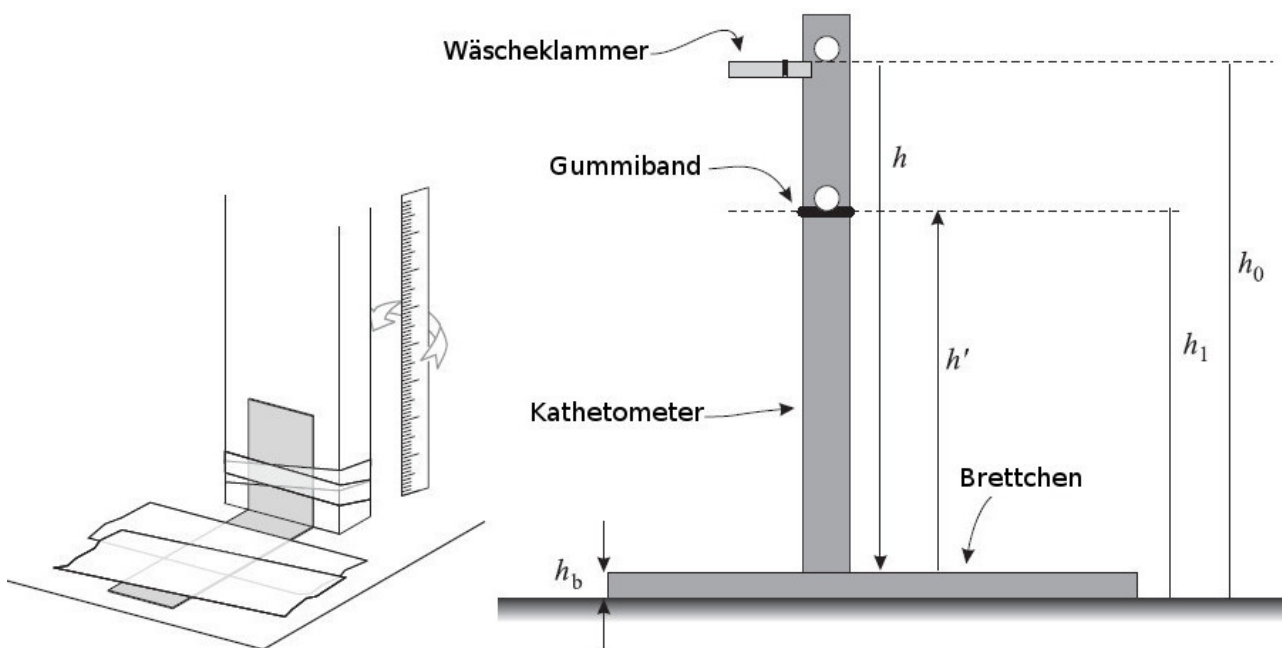


Abbildung 1: Die Abbildung links zeigt, wie das Kathetometer auf der Unterlage fixiert wird. Rechts sind die Bezeichnungen angegeben, die für die Höhen verwendet werden sollen. Als Referenzpunkt auf dem Ball kannst Du auch einen verwenden, der nicht in der Abbildung aufscheint.

Während es sehr leicht ist, die Starthöhe zu bestimmen, ist es sehr schwierig, die maximale Höhe nach dem Rückprall auf dem Kathetometer "im Flug" zu bestimmen. Es ist leichter, die Position eines Zeigers (z.B. Gummiband) auf dem Kathetometer mit einem bestimmten Punkt auf dem Ball zu vergleichen, wenn der Ball die größte Höhe erreicht.

- 1.1 - **Bestimme den Rückkehrkoeffizienten aus Messungen der Starthöhe, der maximalen Höhe nach dem Rückprall und eventuell anderer Größen. Notiere die Messdaten in einer Tabelle!**
- 1.2 - **Beschreibe Deine Vorgangsweise beim Experimentieren! Gib den von dir gewählten Referenzpunkt auf dem Ball an!**

## 2. Dauer des Stoßes - Größe des Abdruckes (50 Punkte)

Auch wenn der Aufprall augenblicklich erscheint, so hat er doch nicht die Dauer von 0, sondern nur eine sehr kurze Dauer. Diese wird durch die großen Kräfte beim Stoß bedingt, die zunächst die Bewegung bremsen und dann den Rückprall des Balles verursachen.

Ziehe die Handschuhe an und schwärze die Papierklebefolie auf dem Brettchen mit dem Kohlestift über eine Länge von 10 cm. Mache die Schicht gleich dick, indem Du mit einem Wattebausch darüberfährst.

Wenn der Ball auf die geschwärzte Fläche prallt, dann hinterlässt er an der Kontaktstelle eine runde Spur. In der Mitte ist ein schwärzerer Punkt (siehe Abbildung 2). Auch auf dem Ball bildet sich eine graue, "runde" Spur (Abbildung 3).



Abbildung 2:



Abbildung 3:

Der Pingpong-Ball besteht aus einem Material, das spezielle Eigenschaften hat. Härte und Elastizität sind so beschaffen, dass sich der Ball beim Stoß verformt, aber gleich danach wieder seine ursprüngliche Form annimmt.

Aus den Größen der runden Spuren kann man die Dauer des Kontaktes bestimmen. Wir nehmen dazu an, dass die auf den Ball wirkende Kraft während der Kompression konstant sei. Auch beim Zurückkehren in die ursprüngliche Form soll die Kraft konstant sein. Beim Wechsel von der Kompression in die Dekompression erfolgt ein unstetiger Sprung. Diese stark vereinfachende Annahme erlaubt eine Abschätzung der Dauer des Stoßes.

### 2.1 - Lass den Ball so los, dass der Schwerpunkt ca. 25 cm fällt. Schreibe diese gewählte Fallhöhe auf!

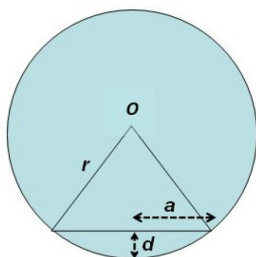


Abbildung 4:

Wir können uns vorstellen, dass der Ball sich zuerst abflacht, dann dort eine kleine Beule bildet und schließlich wieder in die ursprüngliche Kugelform zurückkehrt. Dabei wird der obere Teil nicht wesentlich deformiert (siehe nebenstehende Abbildung 4).

$r$  ist dabei der Radius des Balles,  $a$  der Radius der Spur,  $d$  die Verformung in vertikaler Richtung. Die Abbildung 4 ist nicht maßstabsgetreu!

Diese Verformung  $d$  gibt an, um wie viel sich der Punkt  $O$  nach unten verschoben hat, wobei  $O$  bis zum Aufprall das Zentrum des Balles war. Die Distanz  $d$  wird dann wieder nach oben zurückgelegt, wenn der Ball zur ursprünglichen Form zurückkehrt.

- 2.2 - **Untersuche die Spur auf dem Brettchen und / oder auf dem Ball. Falls der Abdruck rund ist, dann miss den Durchmesser  $2a$  und berechne die Verformung  $d$ ! Schreibe alle Messdaten in die Tabelle!**
- 2.3 - **Bestimme die gesamte Dauer  $t$  des Stoßes unter der Annahme konstanter Kräfte! Die Messunsicherheit für  $t$  ist nicht verlangt! Schreibe den Wert in der wissenschaftlichen Schreibweise mit der Anzahl an Ziffern, die Du als signifikant erachtest!**

### 3. Dauer des Stoßes Aufladen eines Kondensators (75 Punkte)

Im Schaltkreis der Abbildung 5 ist eine Batterie in Serie zu einem entladenen Kondensator geschaltet. Der Schalter  $T_1$  ist anfänglich offen (siehe Abbildung 5 links). Wenn der Schalter  $T_1$  für eine Zeit  $t$  schließt, wobei  $T_2$  offen ist, dann steigt die Potentialdifferenz (d.d.p.) an den Enden des Kondensators vom Anfangswert 0 auf den Wert  $U$ , und zwar nach folgender Gleichung:

$$U = U_p(1 - e^{-t/(RC)}) \quad (1)$$

wobei  $U_p$  die Spannung der Batterie ist,  $R = R_0 + R_P$  ( $R_0$  ist der Ohmsche Widerstand,  $R_P$  ist der innere Widerstand der Batterie und  $C$  die Kapazität des Kondensators). Der innere Widerstand  $R_P$  der Batterie ist  $(1,5 \pm 0,1)\Omega$ , der Ohmsche Widerstand  $R_0$  steht auf dem angebrachten Schildchen.

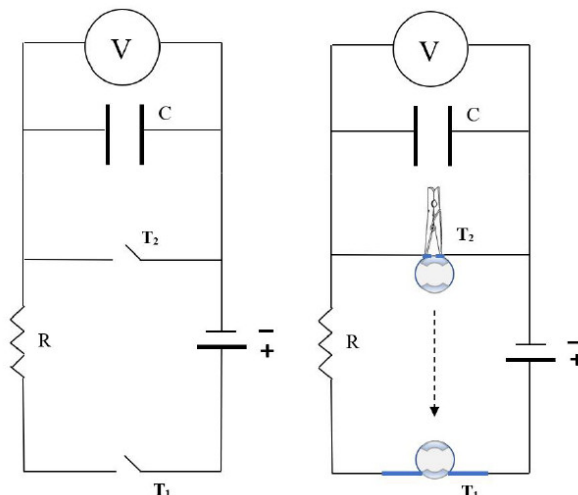


Abbildung 5:



Abbildung 6:

Falls wir den Schaltkreis so aufbauen, dass  $T_1$  (bei offenem  $T_2$ ) geschlossen bleibt, wenn der Ball in Kontakt mit der Unterlage ist, dann kann man aus der Messung der Spannung zwischen den Enden des Kondensators die Dauer  $t$  des Kontaktes ermitteln.

Wenn  $T_2$  geschlossen wird, dann wird der Kondensator kurzgeschlossen und die Spannung zwischen seinen Enden wird 0 (siehe Abbildung 5 rechts).

Klebe 3 oder 4 Streifen oder ein Rechteck der selbstklebenden Alufolie auf den Ball, ohne dass Falten bleiben! Dadurch entstehen leitende Abschnitte (siehe Abbildung 6).

Um den Schalter  $T_1$  zu bauen, schneidest Du zwei Rechtecke mit den ungefähren Maßen 5 cm x 7 cm der selbstklebenden Alufolie zurecht. Klebe sie in einem Abstand von 1 mm voneinander auf das Brettchen. Ein Teil der Flächen stehen über das Brett hinaus. Biege die überstehende Folie an den klebenden überstehenden Teilen zusammen (mit der Klebeseite nach innen!)! Der Abstand dient als Schalter, der beim Kontakt mit dem Aluminium des Balles geschlossen wird. Die gummierte Seite der Alufolie ist nicht leitend.

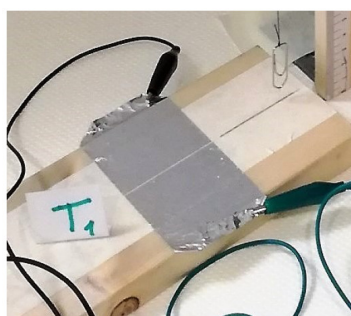


Abbildung 7:

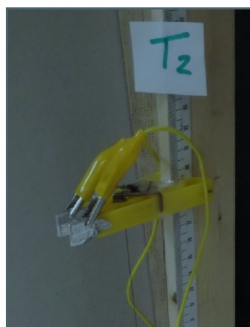


Abbildung 8:

Drücke die Krokodilklemmen nicht in den Klebstoff, da der Klebstoff auf den Zähnchen die Leitfähigkeit verringern würde.

Um  $T_2$  zu bauen überziehst Du die beiden Schenkel der Wäscheklammer mit der Aluminiumfolie, wobei sich die beiden Folienteile nicht berühren dürfen (siehe Abbildung 8).

Auch dieser Schalter wird durch den Kontakt mit den leitfähigen Teilen der Kugel geschlossen, und zwar vor jedem Fall.

Baue den Schaltkreis wie in Abbildung 9 nach dem Schaltplan der Abbildung 5 auf!

In der Abbildung sind der Kondensator und der Widerstand über ein Kabel verbunden. In unserem Fall sind der Kondensator und der Widerstand aber bereits verbunden!

Wenn  $T_2$  geschlossen ist, dann ist der Kondensator kurzgeschlossen und das Voltmeter, das an den Kondensator angeschlossen ist, zeigt 0 an.

Vermeide es, gleichzeitig  $T_1$  und  $T_2$  zu schließen, da sich sonst die Batterie rasch entlädt!

Schreibe auf das Antwortblatt den Wert des Widerstandes, der auf dem Schildchen steht!

Dieser Wert ist mit einer Messgenauigkeit von  $\pm 0,7 \Omega$  behaftet!

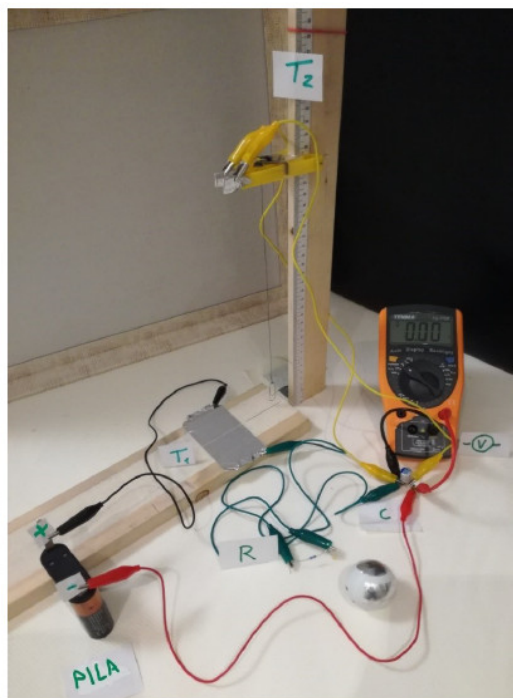


Abbildung 9:



**ACHTUNG!** Es handelt sich um einen Elektrolytkondensator. Sein Dielektrikum reagiert empfindlich auf die Richtung des internen elektrischen Feldes. Die beiden Pole sind auf der Außenseite angegeben. Das freie Beinchen (das ist der metallische Draht auf der blauen Seite) ist der negative Pol und wird mit dem negativen Pol der Batterie verbunden!



**FALLS DER KONDENSATOR FALSCH ANGESCHLOSSEN WIRD, KANN ER EXPLODIEREN. VERWENDE SCHUTZBRILLEN UND HALTE ABSTAND!**

Schalte das Multimeter mit der Taste "POWER" ein. Das Messgerät wurde bereits so eingestellt, dass es als Voltmeter für Gleichspannung mit einem Messbereich von 20 V dient. Miss mit dem Voltmeter die Spannung  $U_P$  an den Enden der Batterie und schreibe den Messwert in das Antwortblatt!

Baue den Schaltkreis auf, indem Du die Batterie, Kondensator + Widerstand und  $T_1$  in Serie schaltest!

Gib den Kondensator mit dem Widerstand in das Plastiksäckchen; die Anschlusskabel schauen noch heraus. Verkleinere etwas die Öffnung des Säckchens und fixiere es auf dem Tisch mit einem Klebestreifen, ohne es zuzukleben.

**Setze die Schutzbrillen auf!**

Schließe das Voltmeter parallel zum Kondensator an!

Schließe auch  $T_2$  parallel zum Kondensator an! Schließe den Kontakt  $T_2$  mit dem Ball um den Kondensator kurzzuschließen. Dadurch wird der Kondensator entladen. Stelle beim Voltmeter den Bereich 2 V ein! Es schaltet sich nach 10 Minuten von selbst aus, wenn in der Zwischenzeit keine Taste gedrückt wird. Du kannst es einschalten, indem Du zwei Mal die Einschalttaste drückst.

Befestige die Wäscheklammer (Schalter  $T_2$ ) so, dass der Ball aus einer Höhe von 25 cm über dem Schalter  $T_1$  herunterfällt. Um genauer die Position des Balles über dem Spalt zwischen den beiden



Streifen zu bestimmen, ist es ratsam, das Senkblei wie in Abbildung 9 zu verwenden!

Sorge dafür, dass der Kondensator vor jedem Fall entladen ist, indem Du ihn mit dem Ball mit  $T_2$  kurzschließt. Wenn der Ball beim Aufprall auf das Brettchen den Schaltkreis schließt, dann wird der Kondensator aufgeladen. Anderenfalls bleibt die Anzeige des Voltmeters gleich und die Messung ist zu wiederholen.

Miss mindestens 20 solcher Spannungen. Dabei werden diese Spannungen in einem gewissen Intervall liegen.

Der Kondensator lädt sich nur, während der Schaltkreis geschlossen ist. Die Dauer kann auch nicht mit der Dauer des Stoßes übereinstimmen. Unter der Berücksichtigung dieser Möglichkeit musst Du diejenigen Spannungen auswählen, die wahrscheinlich aufgrund der Koinzidenz von Schalterschließung und Stoß gemessen wurden.

- 3.1 - **Schreibe die Anzeige des Voltmeters auf, wenn eine Messung erfolgreich erfolgt ist und der Kondensator aufgeladen wurde!**
  
- 3.2 - **Welchen Wert/ welche Werte wählst Du zur Berechnung der Stoßdauer? Welches Kriterium hast Du für die Wahl verwendet?**
  
- 3.3 - **Bestimme aus der Gleichung (1) den Ausdruck der Zeit  $t$  für die Ladung des Kondensators:  $t = f(U, U_P, R, C)$  und berechne die Dauer des Stoßes für den Wert / die Werte den / die Du gewählt hast! Die Messunsicherheit für die Zeit  $t$  ist nicht verlangt! Schreib den Wert in der wissenschaftlichen Schreibweise an und gib nur die Ziffern an, die Du für signifikant hältst!**

4. Ursache für systematische Fehler für die Dauer eines Stoßes (20 Punkte)  
Betrachte die beiden Messverfahren in Hinblick auf die gemessene Dauer eines Stoßes!

- 4.1 - **Gib kurz an, welche Ursachen deiner Meinung nach durch systematische Fehler die Messwerte bei den zwei Vorgehensweisen beeinflusst haben! Sind es Fehler nach oben oder nach unten?**

\_\_\_\_\_

**Material**

Die Materialien sind aufgrund ihrer Verwendung oder aufgrund der Reihenfolge beim Versuch gruppiert:

- Pingpong-Ball mit Durchmesser  $(4,00 \pm 0,05)$  cm
- Unterlage für den Rückprall
  - Holzbrettchen
  - Klebeband aus Papier der Breite 5 cm
  - Papier einer Küchenrolle, das um die Rückprallzone gelegt wird
- Kathetometer
  - Holzleiste
  - Meterstab aus Papier
  - durchsichtiger Klebestreifen
  - Haltewinkel
  - Wäscheklammer als Zeiger
  - Gummiband als Zeiger
  - Faden und zwei Büroklammern für das Senkblei
- Aufprall mit Abdruck (2. Teil)
  - Kohlestift
  - Wattebausch
  - Radiergummi
  - Geodreieck
  - Einweghandschuhe
  - Reinigungstuch
- Stoß mit Kondensatoraufladung (3. Teil)
  - Aluminium-Klebeband der Breite 5 cm und der Länge von ca. 20 cm
  - 4,5 V-Batterie
  - Kondensator mit Widerstand in Serie verlötet. Die Kapazität beträgt  $560 \mu\text{F}$  ( $\pm 10\%$ ) und steht auf dem Kondensator; der Widerstand steht auf dem Etikett, das am Widerstand hängt ( $\pm 0,7 \Omega$ ).
  - Multimeter
  - 7 Kabel mit Krokodilklemmen
  - Wäscheklammer als Schalter
  - Schere
  - durchsichtiges Plastiksäckchen
  - Schutzbrillen
- auf dem Pult liegt Millimeterpapier

Ausarbeitung:



Diese Unterlagen können unter Angabe der Quelle weiterverwendet werden, außer für kommerzielle Zwecke.

Übersetzung: Matthias Ratering und Klaus Überbacher, Realgymnasium Meran