



Physik-Olympiade 2022 Finalrunde

Aarau, 19.3.2022

Experiment 1 Restitutionskoeffizient

Dauer: 90 Minuten Maximale Punktzahl: 24

Erlaubte Hilfsmittel

Taschenrechner ohne Formelspeicher Schreib- und Zeichenmaterial

Wir werden unterstützt durch

Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation DECTRIS Dectris AG Deutschschweizerische Physikkommission VSMP / DPK **EMPA** EMPA - Materials Science & Technology Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne **ETH** ETH Zurich Department of Physics Fondation Claude & Giuliana ERNST GÖHNER STIFTUNG Ernst Göhner Stiftung, Zug HASLERSTIFTUNG Hasler Stiftung, Bern Metrohm Metrohm Stiftung, Herisau ■ Neue Kantonsschule Aarau **6** NOVARTIS Novartis Société Valaisanne de Physique **SATW** Swiss Academy of Engineering Sciences SATW Swiss Physical Society ■ Università della Svizzera italiana u[⋄] Universität Bern FB Physik/Astronomie Universität Zürich FB Physik Mathematik

Material

- Stativ
- 2 Kreuzmuffen
- 2 Stangen
- 2 Wäscheklammern
- 2 Balltypen (Squash-Ball (schwarz) und Gummiball; von jedem Typ 3 Stück; wir nehmen an, dass diese jeweils identisch sind)
- Infrarot-Thermometer
- Massstab
- Karton

- Schere
- Aufwischpapier
- Klebeband
- Schieblehre
- Waage
- Eiswasser
- Heisses Wasser
- Becher
- Löffel

Hinweise

- Zuerst Aufgabenstellung ganz durchlesen/studieren. Plane dein Experiment!
- Melde dich, falls ein Ball wegspickt, oder du mehr Wasser brauchst. Du darfst deinen Platz nicht ohne Erlaubnis verlassen!

Aufgabe

Für die Geschwindigkeiten eines Balls vor (v_1) und nach (v_2) einem elastischen Aufprall gilt näherungsweise: $v_2 = C v_1$, wobei C nicht von v_1 und v_2 abhängt. Andere Parameter, wie zum Beispiel die Temperatur des Balles oder die Beschaffenheit der Aufprallfläche, können C aber beeinflussen. In diesem Experiment lassen wir den Ball immer von der Tischfläche abprallen.

- 1. (12 Pt.) Bestimme C für beide Balltypen bei einer fixen Temperatur von etwa 30°C. Schätze ausserdem den Fehler ab. Ist die Annahme, dass C unabhängig von der Geschwindigkeit ist, gerechtfertigt?
- 2. (12 Pt.) Bestimme C für beide Balltypen bei mindestens 5 Temperaturen. Es reicht, wenn du C bei jeweils einer Geschwindigkeit bestimmst. Stelle deine Resultate geeignet dar und beschreibe die Temperaturabhängigkeit von C. Ist die Temperaturabhängigkeit für beide Balltypen gleich?

Deine Lösung muss enthalten

- Klare Darlegung der Theorie für die Auswertung der Messdaten
- Beschreibung der Messmethode, Skizzen der Versuchsaufbauten, Hervorhebung wichtiger Punkte
- Bei Teil 1: Begründung der erreichten Messgenauigkeit, Fehlerrechnung

Gebrauchsanweisung Thermometer

Drücke den Abzug, um das Gerät einzuschalten und Messungen vorzunehmen. Linker Knopf: schaltet Laser ein und aus. Mit dem Laser ist **Vorsicht** geboten. **Richte den Laserstrahl nie auf eine Person.** Lass den Laser bei den Messungen ausgeschaltet. Rechter Knopf: Bildschirmbeleuchtung. Roter Knopf: Umschalten zwischen Celsius und Fahrenheit. Nach 20s schaltet sich das Gerät automatisch ab.

Part 1

If we let a ball fall from height h_1 (measured from the bottom of the ball) and the ball bounces back to height h_2 ,

we have $v_i = \sqrt{2gh_i}$ and therefore $\sqrt{h_1}$. We will therefore let the balls fall from different heights and measure how high they bounce. In order to obtain precise measurements, we make use of the clothespins and the cardboard. We attach one of the clothespins to the pole to be able to let the balls fall from a constant height (precision 1mm). Out of the cardboard we build a rack and attach it to the pole at approximately the height we expect the ball to bounce (Figure 1).

During measurement, as soon as the ball passes the rack, we slide a piece of cardboard on the rack into the trajectory of the ball. This requires good coordination. If the ball bounces high enough, it will touch the cardboard. We lift or lower the rack depending on whether the ball touched it or not. We adjust the rack to a height where the cardboard is touched in 50% of the cases and take this height as our measured value. In order to determine the precision of the bouncing height,

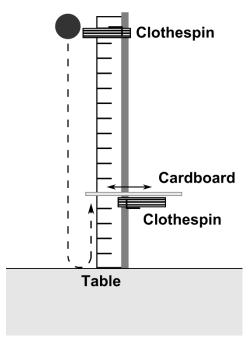


Figure 1: Experimental Setup

we let a rubber ball at 30°C fall from $h'_1 = 73.3$ cm (h'_1 is measured from the top of the ball) and apply are measuring procedure 5 times to determine the bouncing height. We take the difference between the largest and the lowest value as an estimate of the absolute error for all of the experiment. (This is a simplification.)

h'2/Cm	59.6	59.3	59.7	59.2	59.6

Therefore, with this measuring method we obtain an uncertainty of 5mm. This is more precise than just measuring by eye.

Now we measure the bouncing height for the two kinds of balls for five dropping heights in the range of 30-70cm.

Squash ball (diameter 40 mm):

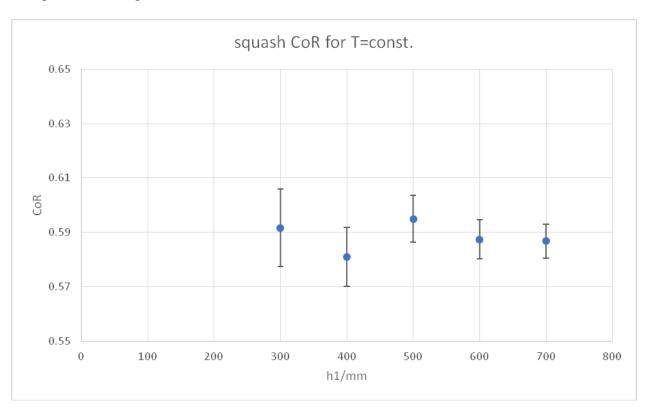
T					С	ΔC
°C	h'_1/mm	h'_2/mm	h_1/mm	h_2/mm		
30		281	700	241	0,587	0,004
30		247	600	207	0,587	0,004
30		217	500	177	0,595	0,005
30		175	400	135	0,581	0,007
30		145	300	105	0,592	0,009
Total					0.59	0.01

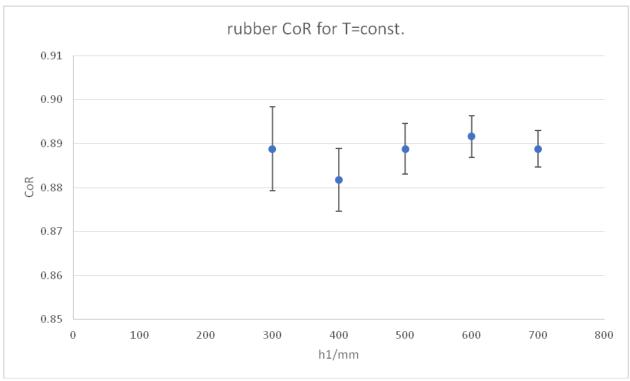
Rubber ball (diameter 25 mm):

T		Í			С	ΔC
°C	h'_1/mm	h'_2/mm	h_1/mm	h_2/mm		
30		578	700	553	0,889	0,003
30		502	600	477	0,892	0,003
30		420	500	395	0,889	0,004
30		336	400	311	0,882	0,004
30		262	300	237	0,889	0,006
Total					0.89	0.01

The error for C is calculated as The error is indeed a constant. $\Delta C = \frac{1}{2} C \sqrt{\left(\frac{\Delta h_1}{h_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta h_2}{h_2}\right)^2}$. We see that the coefficient of restitution is indeed a constant.

Remark: In order to heat the balls to 30°C one can knead them or put them in warm water. Kneading them is faster though. The temperature should be measured every time before letting the ball fall. The thermometer should be placed as close to the ball as possible, because the measuring area grows with larger distance.





Part 2

The different temperatures can be obtained by mixing warm and cold water or letting the balls cool down/heat up gradually. In this part we choose the dropping height at 500 cm. We find this height most convenient for the measuring procedure.

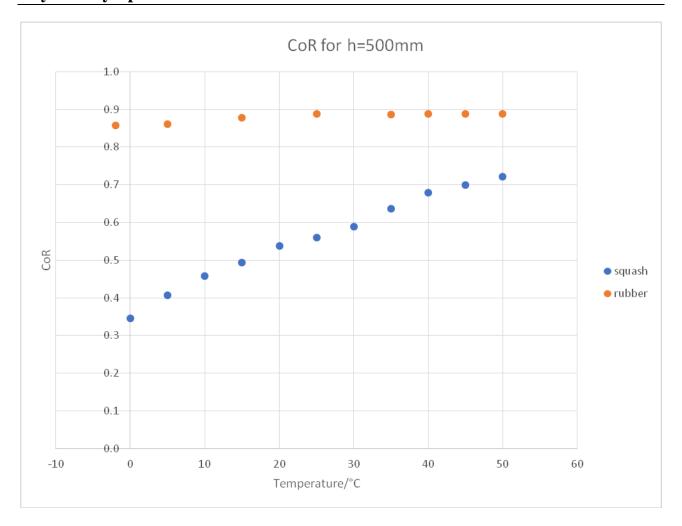
Squash ball (diameter 40 mm):

T					С
°C	h'_1/mm	h'_2/mm	h_1/mm	h_2/mm	
50		300	500	260	0,721
45		285	500	245	0,700
40		270	500	230	0,678
35		243	500	203	0,637
30		213	500	173	0,588
25		197	500	157	0,560
20		185	500	145	0,539
15		162	500	122	0,494
10		145	500	105	0,458
5		123	500	83	0,407
0		100	500	60	0,346
-2					

Rubber ball (diameter 25 mm):

T					С
°C	h'_1/mm	h'_2/mm	h_1/mm	h_2/mm	
50		420	500	395	0,889
45		419	500	394	0,888
40		420	500	395	0,889
35		418	500	393	0,887
30			500		
25		420	500	395	0,889
20			500		
15		410	500	385	0,877
10			500		
5		395	500	370	0,860
0			500		
-2		393	500	368	0,858

For the rubber ball we do not observe any clear temperature dependence of the coefficient of restitution (almost constant compared to the squash ball). For the squash ball, however, the coefficient of restitution increases approximately linearly in the chosen temperature range. Since the coefficient of restitution must lie between 0 and 1 (energy conservation), it cannot grow linearly for arbitrary large temperatures.



Gesamtpunktzahl: 24 Punkte

- 1. Teilaufgabe 1 (12)
 - a. Richtige Formel für C (1):
 - b. Versuchsaufbau/-ablauf sinnvoll beschrieben (2):
 - i. Alle verwendeten Messgrössen beschrieben (h1, h2, T) (1)
 - ii. Sinnvolle Skizze (0.5)
 - iii. Vorgehen Höhenmessungen detailliert beschrieben (insbesondere Springhöhe) (0.5)
 - c. Pro Ball (4.5):
 - i. Messpunkte bei mindestens 5 verschiedenen Höhen (0.5):
 - 1. 5 Höhen: (0.5)
 - 2. 4 Höhen: (0.25)
 - 3. <4 Höhen: (0)
 - ii. Messbereich ausgenutzt (0.25):
 - 1. 35-65 cm
 - iii. Messpunkte sinnvoll verteilt (0.5):
 - iv. Sinnvolle Messdaten (1):
 - 1. Realistische Werte für Höhe/(Geschwindigkeit) (0.6):
 - a. (0) Falls: Springhöhe grösser als Fallhöhe,
 Geschwindigkeiten/Höhen über Messbereich, etc. und
 Resultate nicht gestrichen wurden.
 - 2. Realistische Fehler (0.4):
 - a. Fallhöhe: 1-3mm (0.2)
 - b. Springhöhe: 4-10mm (0.2)
 - v. Bestimmung von C (1.5):
 - Entweder Graphisch oder Rechnung (Lösungsweg ersichtlich, sonst (0))
 - a. Falls graphisch:
 - i. Fehlende/Falsche Achsenbeschriftung, Achseneinteilung je (-0.25)
 - 2. C konstant mit Fallhöhe (modulo Fehlerbalken) (0.5)
 - a. Fehlerbalken erst unten nötig

- 3. Squash: Mittelwert in $C = 0.59 \pm 0.01$
 - a. 0.6-0.58: (1)
 - b. 0.62-0.56: (0.5)
 - c. 0.64-0.54: (0.25)
 - d. Rest: (0)
- 4. Flummi: Mittelwert in $C = 0.88 \pm 0.01$
 - a. 0.89-0.87: (1)
 - b. 0.91-0.85: (0.5)
 - c. 0.93-0.83: (0.25)
 - d. Rest: (0)
- vi. Fehlerabschätzung von C (0.5):
 - 1. sinnvolle Methode: (0.5, aber für beide Bälle zusammen)
 - a. Gaussian, Beträge,
 - 2. Absoluter Fehler: 0.03-0.01: (0.25) (0 ohne Rechnungsweg)
- vii. C unabhängig von v (0.25):
 - 1. Konsistent mit Messdaten: (0.25)
- 2. Teilaufgabe 2 (12)
 - a. Versuchsaufbau/-ablauf sinnvoll beschrieben (2):
 - i. Gewählte Höhe (0.5)
 - ii. Wie werden die Temperaturen erreicht: (1)
 - iii. Zeitpunkt der Temperaturmessung kurz vor/nach Hüpfen: (0.5)
 - b. Pro Ball (4.75):
 - i. Mindestens 5 Messpunkte (Temperatur) (0.5):
 - 1. 5 Messpunkte: (0.5)
 - 2. 4 Messpunkte: (0.25)
 - 3. <4 Messpunkte: (0)
 - ii. Messbereich ausgenutzt (0.25):
 - 1. Mind. 35°C Differenz
 - iii. Messpunkte sinnvoll verteilt (0.5):

- iv. Sinnvolle Geschwindigkeit (0.5):
 - 1. Fallhöhe Mindestens 40cm
 - 2. Fallhöhe konstant (+/- Fehler) mindestens pro Ball
- v. Sinnvolle Messdaten (1.25):
 - 1. Realistische Werte für Höhe/Geschwindigkeit (0.5):
 - a. (0) Falls: Springhöhe grösser als Fallhöhe,
 Geschwindigkeiten/Höhen über Messbereich, etc. und
 Resultate nicht gestrichen wurden.
 - 2. Realistische Temperatur (0.75)
 - a. Achtung Fahrenheit
- vi. (Graphische) Darstellung (1):
 - Fehlende/Falsche Achsenbeschriftung, Achseneinteilung je (-0.25)
 - 2. Falsche Punkte je (-0.25)
- vii. Temperaturabhängigkeit von C (0.75):
 - 1. (-0.25) Für jeden Punkt der nicht +/- 0.01 (CoR) für Gummiball und +/- 0.05 (CoR) für Squashball um die Mulö ist.
- c. Temperaturabhängigkeit gleich für beide Typen (0.5):
 - i. Abhängigkeit nicht gleich und nur falls konsistent mit Messdaten (und solche vorhanden sind). (0.5)