

LIV OLIMPIADA FIZYCZNA (2004/2005). Stopień I, zadanie doświadczalne – D3.

Źródło: Komitet Główny Olimpiady Fizycznej – A. Wysmołek; *Fizyka w Szkole* nr 2, 2005.

Autor: Andrzej Wysmołek – Komitet Główny Olimpiady Fizycznej, IFD UW.

Nazwa zadania: Badanie strat energii kulki podczas odbicia od blatu stołu.

Działy: Mechanika, akustyka

Słowa kluczowe: zderzenie, czas, ruch, jednostajny, przyspieszony, opóźniony, prędkość, odbicie, energia kinetyczna, dźwięk, sygnał akustyczny, karta dźwiękowa, komputer, mikrofon, kulka, stalowa, ping pong.

Zadanie doświadczalne 3 – D3, zawody I stopnia części 2, LIV OF.

Masz do dyspozycji:

- stół z gładkim, twardym blatem (np. stół kuchenny pokrytym laminatem),
- komputer z kartą dźwiękową i mikrofonem oraz oprogramowaniem umożliwiającym rejestrowanie sygnałów akustycznych,
- piłeczkę pingpongową,
- kulkę stalową o średnicy 4 – 5 mm (np. z łożyska rowerowego).

Wyznacz, jaki procent energii kinetycznej traci piłeczka pingpongowa, a jaka kulka stalowa podczas odbicia od stołu. Zbadaj zależność tych strat od prędkości piłeczki (kulki) przed zderzeniem.

Uwaga!

1. Do rejestracji dźwięku oraz analizy przebiegów czasowych zarejestrowanych sygnałów możesz wykorzystać np. „Rejestrator dźwięku” dostępny w systemie Windows lub program „Oscyloskop” dostępny na płycie CD dołączonej do podręcznika J. Blinowski, W. Zieliński, „Fizyka z astronomią. Kształcenie w zakresie rozszerzonym”, tom. I, WSiP, Warszawa 2002 (i 2003, II wydanie).
2. Przyjmij, że przyspieszenie ziemskie g wynosi $9,81 \text{ m/s}^2$.

Rozwiązanie**Część teoretyczna**

Zadanie można rozwiązać nagrywając dźwięk emitowany podczas kolejnych zderzeń kulki ze stołem. Pomiędzy zderzeniami kulka (piłeczka) porusza się na przemian ruchem jednostajnie opóźnionym i przyspieszonym, zatem czas między zderzeniami i oraz $i + 1$ wynosi:

$$T_i = \frac{2V_{0i}}{g}. \quad (1)$$

Oznacza to, że prędkość tuż przed $i + 1$ zderzeniem jest równa:

$$V_i = \frac{gT_i}{2}, \quad (2)$$

Zatem maksymalna energia kinetyczna kulki (piłeczki) wyniesie:

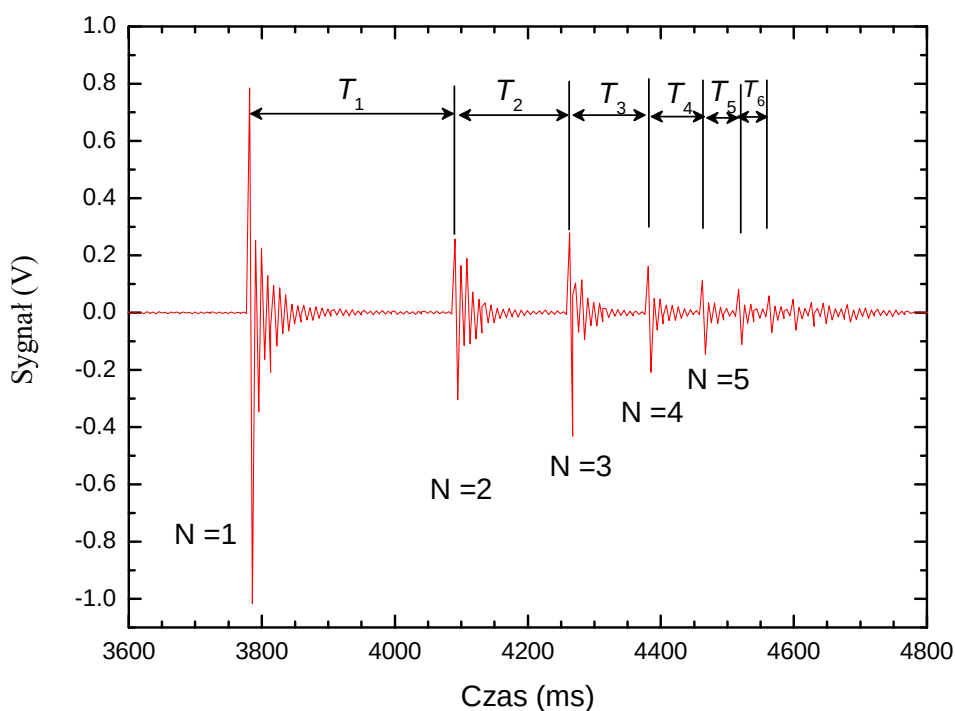
$$E_i = \frac{mg^2T_i^2}{8}. \quad (3)$$

Stąd względna strata energii kinetycznej przy kolejnych zderzeniach:

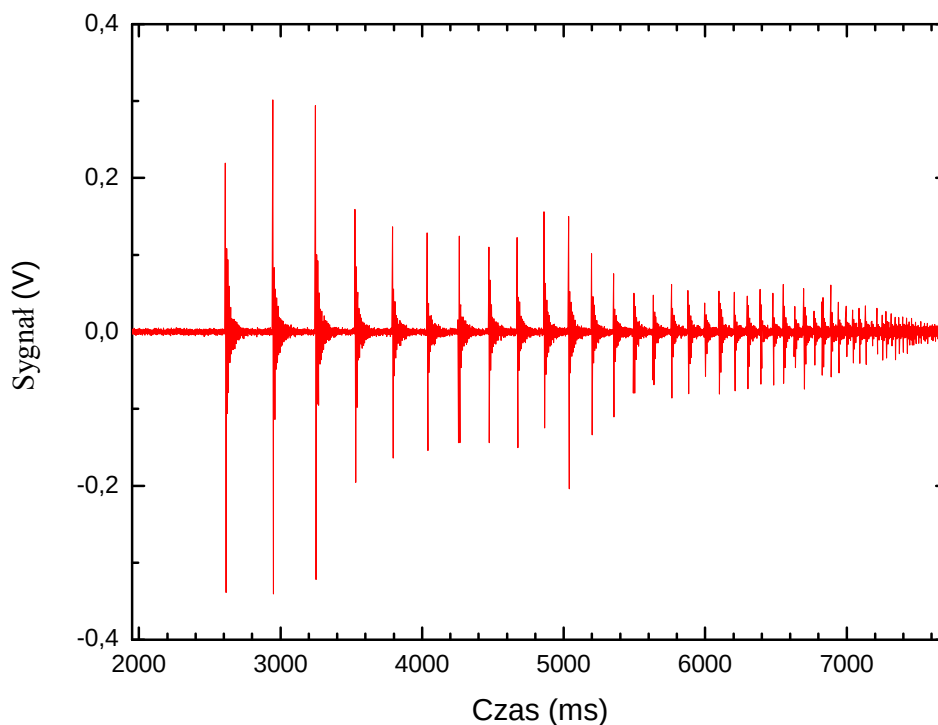
$$\eta_i = \frac{E_{i+1} - E_i}{E_i} = \frac{T_{i+1}^2 - T_i^2}{T_i^2}. \quad (4)$$

Część doświadczalna

Ustawiamy mikrofon możliwie blisko miejsca, w którym będziemy badać odbicia kulki (piłeczki) od stołu. Uruchamiamy program rejestrujący i puszczaemy kulkę z możliwie dużej wysokości na stół. Trzeba robić to tak, aby kulka nie uciekała ze stołu. Następnie odczytujemy czas, przy którym zarejestrowane zostały dźwięki odpowiadające kolejnym zderzeniom. W przypadku użycia najprostszego oprogramowania, np. programu rejestrator dźwięku oferowanego, przez system operacyjny Windows, robimy to „przewijając” zarejestrowany sygnał. Dokładniejsze pomiary można wykonać wykorzystując program „oscylloskop”, który pozwala na rejestrację zależności czasowej amplitudy sygnału od czasu w formie ciągu par liczb: czas (ms), wartość sygnału (V). Taki sygnał można potem analizować używając oprogramowania w rodzaju arkusz kalkulacyjny (np. Excel). Przykładowe zależności czasowe sygnałów zarejestrowanych w ten sposób przedstawione dla kulki stalowej oraz piłeczki pingpongowej są przedstawione na rys. 1 oraz rys. 2.



Rys. 1

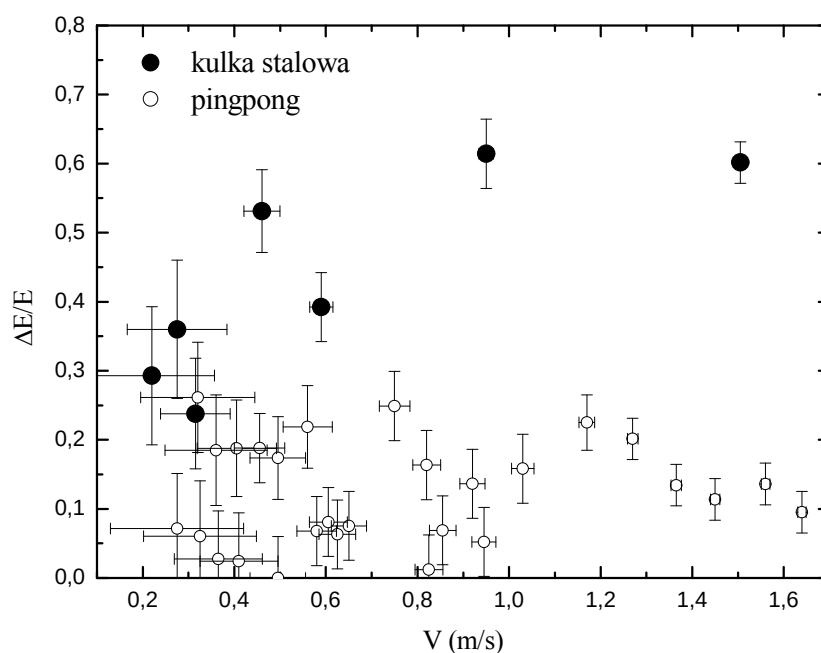


Rys. 2.

Na pierwszy rzut oka widać, że straty energii w przypadku kulki stalowej są znacznie większe niż w przypadku piłeczki pingpongowej. Przykładowe dane eksperymentalne uzyskane dla kuleczki stalowej zostały zebrane w Tabeli 1. Rys. 3 przedstawia zależności strat energii od prędkości dla kulki stalowej i piłeczki pingpongowej wyznaczone ze wzoru (4).

Tabela 1.

N	Czas, ms	T_i ms	$V_i = (1/2g)T$ m/s	$E/m = 1/2V_i^2$ (m/s) ²	$\Delta E/m$ (m/s) ²	η
1	3621	301	1,505	1,1325	0,681	0,60
2	3922	190	0,95	0,451	0,277	0,61
3	4112	118	0,59	0,174	0,068	0,39
4	4230	92	0,46	0,106	0,056	0,53
5	4322	63	0,315	0,050	0,012	0,24
6	4385	55	0,275	0,038	0,014	0,36
7	4440	44	0,22	0,024	0,007	0,29
8	4484	37	0,185	0,017		
9	4521					



Rys. 3

Na podstawie uzyskanych danych doświadczalnych można stwierdzić, że straty procentowe energii kinetycznej przy odbiciu w małym stopniu zależą od prędkości zderzenia. Dla kulki stalowej są one na poziomie 50% natomiast dla piłeczki pingpongowej ok. 15%. Znacznie większe straty energii dla kulki stalowej są związane z tym, że ze względu na większą masę i mniejszą średnicę, przy odbiciu powoduje ona znacznie większe, niż piłeczka pingpongowa, nieelastyczne odkształcenie powierzchni stołu.

Proponowana punktacja

Część teoretyczna

1. Pomysł wyznaczenia strat energii w oparciu o pomiar czasu pomiędzy kolejnymi zderzeniami do 5 pkt.
2. Wyprowadzenie wzorów (1) – (4) do 5 pkt.

Część doświadczalna

3. Wykonanie pomiarów czasu pomiędzy kolejnymi zderzeniami dla kulki stalowej i piłeczki pingpongowej do 6 pkt.
4. Sporządzenie wykresu do 2 pkt.
5. Uzyskanie poprawnego wyniku do 2 pkt.