

<b>Zad. M 09</b>	<b>I PRACOWNIA FIZYCZNA Instytut Fizyki US</b>
<b>Temat:</b>	<b>Badanie zderzeń sprężystych i niesprężystych na torze powietrznym</b>

Cel: Doświadczalne potwierdzenie zasady zachowania pędu dla zderzeń jednowymiarowych. Sprawdzenie zgodności wartości prędkości wózków po zderzeniach z teorią.

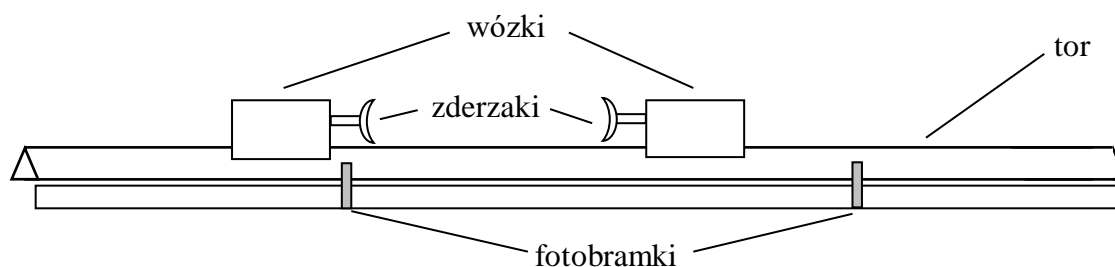
Przyrządy: tor powietrzny z dmuchawą, stoper elektroniczny połączony z fotobramkami, ślizgacze (wózki), zderzaki do zderzeń sprężystych (z gumkami, które powinny być napięte) i niesprężystych (z plasteliną i grotom), przesłony do fotobramek mocowane do ślizgaczy, obciążniki do ślizgaczy, waga, ołówki, miarka zwijana, suwmiarka o długości 50 cm.

## 1. ZAGADNIENIA

1. Zasada zachowania pędu i energii.
2. Zderzenia sprężyste i niesprężyste.

## 2. OPIS ZAGADNIENIA

### A. Wprowadzenie teoretyczne – zderzenia



Rys. 1. Schemat przyrządu pomiarowego. Do ślizgaczy mocowane są zderzaki i przesłony dla pomiaru czasu ruchu przez fotobramki, które są podłączone do stopera elektronicznego (nie zaznaczonego na rys.) mierzących czas z dokładnością 0,01 s (patrz Instrukcja stopera).

Tor powietrzny składa się z aluminiowego profilu o przekroju prostokątnym z nawierconymi otworami, umocowany jest na dwóch podstawach, które można regulować za pomocą śrub imbusowych. Do wytworzenia poduszki powietrznej służy dmuchawa z rurą łączącą. Dmuchawa jest zasilana napięciem 230 V z regulacją mocy dla wydmuchu powietrza. W skład wyposażenia toru wchodzi dwa odpowiednio wyprofilowane ślizgacze, zderzaki, przesłony i obciążniki.

Z prezentacją zderzeń i innych doświadczeń na znajdującym się w Pracowni torze powietrznym można zapoznać się ze strony producenta: <http://www.tabaszewski.com.pl/> (film: <https://youtu.be/jimFgJYfXsE>) lub [https://www.youtube.com/watch?v=ToW3U0RE\\_QM](https://www.youtube.com/watch?v=ToW3U0RE_QM) – Zderzenia cz. 2 Tor pow., T.Sowiński F UW.

Dla naszego przypadku ruchu 2 ślizgaczy na torze powietrznym, zgodnie z zasadą zachowania pędu  $\Delta \vec{p} = \vec{p}_k - \vec{p}_p = 0$ , gdzie

$$\vec{p}_p = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 \quad \text{a} \quad \vec{p}_k = m_1 \vec{v}'_1 + m_2 \vec{v}'_2.$$

Oznaczenia: indeks  $i = 1, 2$  odnosi się do wózka „1”, „2”, znak prim ( ' ) – odnosi się do wartości po zderzeniu a przed zderzeniem – bez prima; indeksy: p – początkowy, k – końcowy.

Ponieważ ruch jest prostoliniowy, więc mamy jedną składową pędu. Możemy zapisać zasadę zachowania pędu w postaci

$$\Delta p = m_1 \Delta v_1 + m_2 \Delta v_2 = 0, \text{ gdzie } \Delta v_i = v_i' - v_i, \quad i = 1, 2. \quad (1)$$

Stąd

$$\frac{m_2}{m_1} = \left| \frac{\Delta v_1}{\Delta v_2} \right|. \quad (2)$$

Zatem spełnienie zasady zachowania pędu sprowadza się do równości (2).

Oznaczmy przez

$$k = \frac{m_2}{m_1} - \text{wartość stosunku mas wyznaczona z ważenia wózków z akcesoriami}; \quad (3)$$

$$k' = \left| \frac{\Delta v_1}{\Delta v_2} \right| - \text{wartość stosunku mas wózków wyznaczona z zasady zachowania pędu, z (1)}. \quad (4)$$

Oznaczmy odległości między parami fotobramek dla pomiaru czasu ruchu  $i$ -tego wózka przez  $l_i, i = 1, 2$ . Zatem

$$k' = \frac{t_2 + t_2' l_1}{t_1 + t_1' l_2}. \quad (5)$$

Uwaga: Wskazane jest takie ustawienie odległości fotobramek aby  $l_1 = l_2$ .

Czyli doświadczenie potwierdzenie zasady zachowania pędu w naszym przypadku, zderzeń na torze powietrznym, sprowadza się do sprawdzenia równości:  $k = k'$ .

Prędkości ślizgaczy po zderzeniu wynoszą (można obliczyć lub patrz odnośniki literaturowe):

a) zderzenia niesprężyste

$$v' = \frac{v_1 + kv_2}{1+k}; \quad (6)$$

b) zderzenia doskonale sprężyste

$$v_1' = \frac{v_1(1-k) + 2kv_2}{1+k}, \quad (7a)$$

$$v_2' = \frac{v_2(k-1) + 2v_1}{1+k}. \quad (7b)$$

Wzory (6) – (7) mogą posłużyć do porównania z wartościami otrzymanymi z doświadczenia, sprawdzenia sprężystości zderzeń (obliczenia współczynnika restytucji).

## B. PRZEBIEG WYKONANIA ĆWICZENIA

1. Testowanie toru powietrznego:

a) Włączamy dmuchawę i kładziemy ślizgacz. Sprawdzamy czy ślizgacz swobodnie się przesuwa po torze. Utworzona poduszka powietrzna powinna zmniejszyć do minimum występujące opory ruchu przy minimalnej głośności dmuchawy. Regulacja nadmuchu powietrza z dmuchawy jest poprzez obrót pokrętki na obudowie.

**UWAGA: Nie można przesuwać ślizgaczy jeśli dmuchawa nie jest włączona i ślizgacze po torze swobodnie się nie przesuwiają.**

b) Wprawianie ślizgacza w ruch – ćwiczymy wystrzeliwanie jak z procy poprzez naciąg gumek na końcu toru, należy zachować umiar. Dostosowujemy naciąg gumek aby uzyskać zadawalające (odpowiednie do zderzeń) wartości prędkości. Możemy też rozpędzić ręcznie – należy popchnąć ślizgacz.

**UWAGA: Należy tak trzymać ślizgacz aby cały czas jego płozy były równoległe do toru**

**jezdnego – aby nie był przechylony na jedną stronę, również podczas ruchu po obciążeniu ślizgacza.**

- c) Sprawdzamy czy tor jest dobrze wypoziomowany tj. czy ślizgacz nie zjeżdża na jedną stronę. Jeśli zjeżdża, należy wyregulować ustawienie toru za pomocą śrub na których opiera się tor (odpowiednio je przekręcając kluczem imbusowym). W przypadku potrzeby zwrócić się do prowadzącego zajęcia.
  2. Testujemy działanie stopera i fotobramek (patrz instrukcja) poprzez ich przesłonięcie kartonikiem – najpierw, a po przetestowaniu kartonikiem – przesłoną ślizgacza przy jego przejeździe. Przełącznik zmiany trybu pracy w stoperze musi być w pozycji „dół”. Wówczas liczniki stopera – 2 górne i dwa dolne wyświetlacze, dla każdej z par fotobramek, wskazują czas od momentu zasłonięcia zewnętrznej fotobramki do zasłonięcia wewnętrznej (wyświetlacze zewnętrzne) i czasy od momentu zasłonięcia wewnętrznej fotobramki do zasłonięcia zewnętrznej (wyświetlacze wewnętrzne).
- UWAGI: Po przesłonięciu drugich, wewnętrznych fotobramek, zostają uruchomione liczniki wewnętrzne (drugi od góry i drugi od dołu. Jest to wynik działania programu procesora. Dopiero kiedy powtórnie przesłonimy te fotobramki (ślizgacz wraca), licznik się zeruje i pokazuje właściwy czas od momentu jego drugiego przesłonięcia. Po włączeniu stopera powinny się pojawić na wyświetlaczach „0”. Jeśli jest inaczej należy zresetować urządzenie przyciskiem RESET.
3. Przygotowanie wózków z akcesoriami i obciążnikami do doświadczeń.
    - a) Sprawdzenie – ślizgacze mają mieć przesłony z jednej strony dla zderzaków tego samego typu: dla zderzeń sprężystych – zderzaki z gumkami, zderzeń niesprężystych – grot i naczynko z plasteliną.
    - b) Zważenie ślizgaczy razem z dodatkowymi akcesoriami (zderzaki, przesłony) i obciążnikami – z dokładnością do 1 g. Dobrać obciążniki tak aby stosunki mas ślizgaczy były z dość dobrym przybliżeniem równe (ile wartości mas ustala prowadzący zajęcia):  
1:1; 1:1,5; 1:2; 1:2,5; 1:3.
  4. Zmierzyć odległość między fotobramkami – przyjmując potrzebną dokładność. Odległość dokładniej zmierzmy ustalając położenia ślizgaczy na torze gdy załącza się stoper. Można ołówkiem delikatnie zaznaczyć kreską położenia. Masz do dyspozycji miarkę zwijaną i długą suwmiarkę.
  5. ślizgacz wprawiamy w ruch, drugi pozostaje w spoczynku:
    - a) obserwujemy ruch ślizgaczy po zderzeniu;
    - b) zapisujemy czasy ruchu dla przesłonięć fotobramek przez ślizgacze.
  6. Oba ślizgacze wprawiamy w ruch – naprzeciw siebie (wystrzelujemy jak z procy poprzez naciąg – zachować umiar).
    - a) obserwujemy ruch ślizgaczy po zderzeniu;
    - b) zapisujemy czasy ruchu dla przesłonięć fotobramek przez ślizgacze.
  7. Punkty 5 i 6 wykonujemy dla kilku stosunków mas ślizgaczy: 1:1; 1:1,5; 1:2; 1:2,5; 1:3 zarówno dla zderzeń sprężystych jak i niesprężystych. Pomiary wykonujemy co najmniej 3 razy dla danego stosunku mas i różnych wartości początkowych szybkości.

UWAGI: Ile wartości stosunków mas ustala prowadzący zajęcia. Badanie zderzeń sprężystych i niesprężystych dla danego stosunku mas odbywa się poprzez zamianę miejscami ślizgaczy. Wówczas dla tego samego stosunku mas ślizgaczy należy uznać ślizgacz „1” i fotobramkę „1”

jako „2” a z nr „2” jako „1”.

Zwrócić uwagę na szczególne przypadki zapisane w Tabeli 2 i w miarę możliwości zrealizować je doświadczalnie – .

8. Badanie jakościowe zderzeń sprężystych bez włączonego stopera dla wózków o stosunku mas 1 : 1; 1 : 3; dokładnie obserwujemy ruch po wielokrotnych zderzeniach ślizgaczy. W miarę swoich możliwości realizujemy wybrane szczególne Z obserwacji sporządzamy notatkę i zapisujemy wnioski. Badanie takie możemy też wykonać dla kulek w tzw. kołysce Newtona. Kulki możemy też złączyć za pomocą plasteliny – jednak należy to zrobić z wyczuciem i umiarem.

UWAGI: Ślizgacz możemy wprowadzić w ruch z tą samą w przybliżeniu szybkością w jednym kierunku – po odbiciu pierwszego ślizgacza od zderzaka (zaczepionych gumek) na końcu toru, oba ślizgacze będą miały w przybliżeniu te same szybkości ale przeciwne zwroty. (Wprawianie ślizgacza w ruch z odpowiednią szybkością wymaga wprawy i nie należy się stresować jeśli efekty nie będą zadowalające).

### 3. OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW

- A. *Dane i wyniki pomiarowe przedstawić w postaci tabeli lub innej wg własnej propozycji*

$k$	Lp. dla $k$	$v_1$	$v_2$	$v_1'$	$v_2'$	$k'$	$\varepsilon$	$\varepsilon/k$	$v_1'/v_{1t}$	$v_2'/v_{2t}$
								%	%	%
1	1									
...	...									

gdzie  $\varepsilon = k - k'$ ,  $v_{it}$  ( $i = 1, 2$ ) – wartości obliczone na podstawie wzorów (6) – (7).

Uwaga: Celem unaocznienia odchyleń sporządzić wykres  $\varepsilon/k$  dla wykonanych pomiarów.

- B. *Niepewności pomiaru*

Wskazać źródła niepewności pomiaru, przeprowadzić analizę niepewności pomiaru.

Dla doświadczalnego potwierdzenia zasady zachowania pędu – równości (2)  $k = k'$ , badań zderzeń na torze powietrznym skorzystać z kryterium zgodności wyników pomiarów

$$|\bar{k} - \bar{k}'| \leq u(\bar{k}) + u(\bar{k}'). \quad (8)$$

Wartości średnie  $\bar{k}$  odnoszą się do stałego stosunku  $m_2/m_1$  wartości mas ślizgaczy w zderzeniach sprężystych czy niesprężystych.

- C. *Zestawienie wyników i niepewności pomiaru.*

4. **Dokonać dyskusji wyników, porównać otrzymane wartości z wartościami teoretycznymi; zapisać wnioski i uwagi dotyczące doświadczenia.**

## LITERATURA

1. Piekara A., *Mechanika ogólna*. Warszawa, PWN 1987 – wyd. 7 (lub inne), §51, §52.
2. Wróblewski A. K., Zakrzewski J. A., *Wstęp do fizyki*, t. 1. Warszawa, PWN 1984 – wyd. 2 (lub inne) rozdz. VI p. 4.1, 4.3.
3. Zadanie z OF: *Badanie zderzeń stalowych kulek*. [http://www.of.szc.pl/pdf/0OF2D\\_roz616.pdf](http://www.of.szc.pl/pdf/0OF2D_roz616.pdf)
4. *Stoper sześciokanałowy*. <http://dydaktyka.fizyka.szc.pl/eopis.php?wyswietl=eksperyment&id=121>
5. Aplikacja: *Zderzenia wózków na torze powietrznym*. <http://dydaktyka.fizyka.szc.pl/plik/tor2.exe> (na stronie w zakładce „zajęcia”).

### Tabele

Odległości między fotobramkami, dokładność przyrządu pomiarowego, pomiary  $\times \dots$

$$l_1 = \dots \qquad l_2 = \dots$$

Masy wózków z akcesoriami i przesłonami z dokładnością do 1 g.

$$m_1 = \dots \qquad m_2 = \dots$$

Tabela 1. Dane pomiarowe czasów ruchu wózków i prędkości

Lp.	k	Przed		Po	
		$t_1$	$t_2$	$t_1'$	$t_2'$
		s	s	s	s
1					
2					
3					
...					

Jeśli wózek jest nieruchomy wpisujemy „-” co będzie odpowiadać wartości „0” dla „v”.

Tabela 2. Przypadki szczególne dla zderzeń doskonale sprężystych

Lp.	k	Przed zderzeniem		Po zderzeniu	
		$v_1$	$v_2$	$v_1'$	$v_2'$
1	1	$v$	0	0	$+v$
2	1,5	$2v$	$-3v$	$-2v$	$+3v$
3	1,5	$3v$	$-2v$	$-v$	$+4v$
4	2	$2v$	$-v$	0	$+3v$
5	2	$v$	$-2v$	$-v$	$+2v$
6	3	$v$	$-3v$	$-v$	$+3v$
7	3	$v$	$-v$	0	$2v$
8	$\infty$	$v$	0	$-v$	0

Znak „-” oznacza zwrot przeciwny do przyjętego za dodatni.

Sprawdzić zgodność z wzorami (7) i/lub z aplikacją: <http://dydaktyka.fizyka.szc.pl/plik/tor2.exe> na stronie w zakładce „zajęcia”.

Rozszerzyć tabelę o inne szczególne przypadki – wg własnego uznania.