

Ćwiczenie M5

Analiza zderzeń dwóch ciał sprężystych

M5.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest pomiar czasu zderzenia kul stalowych o różnych masach i prędkościach z nieruchomą, ciężką stalową przeszkodą.

M5.2. Zagadnienia związane z tematyką ćwiczenia

- Zasady dynamiki Newtona,
- siły zachowawcze,
- energia mechaniczna ciał,
- zasada zachowania energii,
- zasada zachowania pędu,
- masa zredukowana.

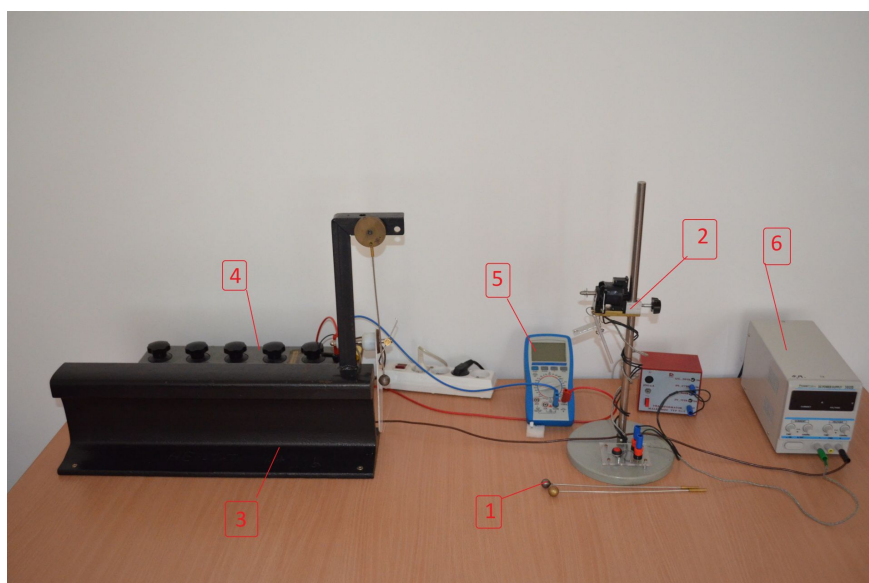
M5.3. Literatura

- [1] Halliday D., Resnick R., Walker J.: *Podstawy fizyki, cz. 1*, PWN, Warszawa.
- [2] Bobrowski Cz.: *Fizyka – krótki kurs*, WNT, Warszawa.
- [3] Szczeniowski S.: *Fizyka doświadczalna, cz. 1*, PWN, Warszawa.
- [4] *Metody wykonywania pomiarów i szacowania niepewności pomiarowych*, <http://ftims.pg.edu.pl/documents/10673/20436990/wstep.pdf>

M5.4. Przebieg ćwiczenia i zadania do wykonania

Układ doświadczalny

Rysunek M5.1 przedstawia zdjęcie układu, z zaznaczonymi podstawowymi elementami zestawu, zaś rysunek M5.2 schemat połączeń elektrycznych: **1** – stalowa kula (**K**), **2** – wspornik kuli (**W**), **3** – nieruchoma, ciężka przeszkoda (**T**) (tzw. tarcza - odcinek szyny kolejowej), **4** – kondensator (**C**) i rezystor (**R**), **5** – woltomierz (**V**), **6** – stabilizowany zasilacz prądu stałego (**U_o**).

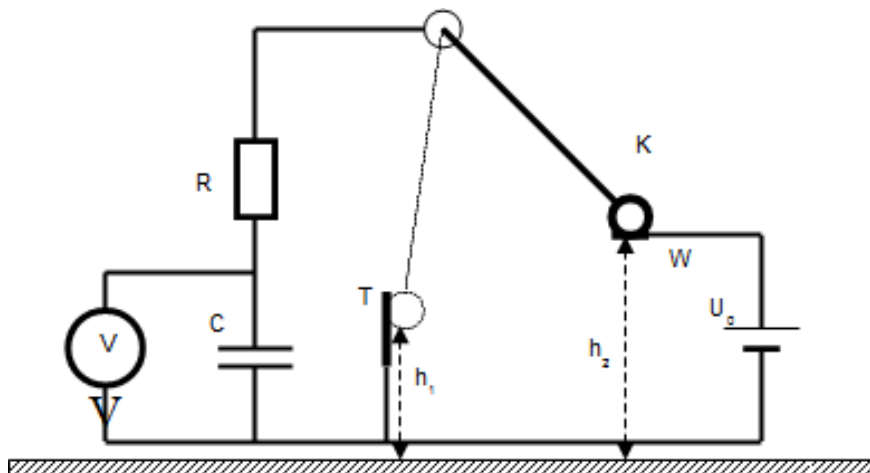


Rysunek M5.1. Zdjęcie układu pomiarowego

Przebieg doświadczenia

Do pomiaru czasu zderzenia metalowych ciał można wykorzystać zjawisko powstania między nimi kontaktu elektrycznego. Dobrą metodą jest zastosowanie układu kondensatora C , naładowanego do napięcia U_0 (rysunek M5.2) i rozładowywanego w czasie zderzenia przez opornik R . Podczas rozładowania, napięcie maleje wykładniczo z szybkością zależną od stałej czasowej RC :

$$U(t) = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}, \quad (\text{M5.1})$$



Rysunek M5.2. Schemat układu pomiarowego

gdzie U_0 – napięcie w chwili początkowej ($t = 0$), $U(t)$ – napięcie po czasie t , R – oporność obwodu, C – pojemność obwodu. Kula (**K**) w początkowej chwili spoczywa na wsporniku (**W**) zamykając obwód ładowania kondensatora. Kondensator (**C**) ładuje się do napięcia zasilania U_0 . Uwolniona kula zderza się z tarczą (**T**). W czasie zderzenia kondensator (**C**) jest zwierany poprzez opornik (**R**) i częściowo się rozładowuje.

Badania można przeprowadzić stosując kule o różnych masach, przy różnych prędkościach zderzenia. Rodzaje kul, ich energię (wysokość punktu startu) i wartości oporu R określa prowadzący ćwiczenie. Przed rozpoczęciem właściwych pomiarów należy określić wysokości h_1 i h_2 , które posłużą do wyznaczenia względnej prędkości ciał przed zderzeniem. Następnie należy zmierzyć za pomocą woltmierz (V) napięcia U_0 naładowanego kondensatora, a następnie napięcia U_τ na kondensatorze tuż po zderzeniu.

Uwaga: Wszystkie pomiary należy wykonać kilkakrotnie, przy tym samym napięciu zasilania U_0 .

Zadania do wykonania

M5.1. Dla wybranego materiału zbadać zależność napięcia na kondensatorze tuż po zderzeniu, U_τ , od wartości rezystancji R .

M5.2. Wykorzystując zależność $\ln \frac{U_0}{U_\tau} = f\left(\frac{1}{R}\right)$, metodą najmniejszych kwadratów i/lub metodą graficzną wyznaczyć czas zderzenia kuli z tarczą.

M5.3. Oszacować parametry zderzenia: x_m i F_m .

M5.4. Przeprowadzić analizę wpływu prędkości i/lub rodzaju materiału na czas zderzenia.

M5.5. Zakładając, że siła opóźniająca samochód w czasie zderzenia z drzewem jest stała, oszacować przyspieszenie działające na kierowcę oraz czas zderzenia samochodu. Dane: prędkość samochodu tuż przed zderzeniem $V_0 = 72$ km/h, masa kierowcy $m = 100$ kg, droga przebyta przez samochód w czasie zderzenia $s = 1$ m.

Uzupełnienie do zadania M5.2

Czas, podczas którego ciała pozostają w kontakcie, nazywamy czasem zderzenia. Czas zderzenia wyznaczamy korzystając z liniowej relacji między $\ln \frac{U_0}{U_\tau}$ a $\frac{1}{R}$ postaci:

$$\ln \frac{U_0}{U_\tau} = \frac{\tau}{RC} \quad (\text{M5.2})$$

wynikającej z wyrażenia (M5.1).

Uzupełnienie do zadania M5.3

W czasie zderzenia następuje odkształcenie ciał, a ruch środków mas tych ciał jest ruchem zmiennym. Z pewnym przybliżeniem można założyć, że siła F oddziaływania między ciałami zależy liniowo od względnego przemieszczenia środków mas x . Takie uproszczenie pozwala na obliczenie maksymalnego zbliżenia x_m oraz maksymalnej siły działającej w układzie F_m :

$$F = -kx = \mu \frac{d^2x}{dt^2}, \quad (\text{M5.3})$$

$$\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}, \quad (\text{M5.4})$$

$$x_m = \frac{\tau V_m}{\pi}, \quad (\text{M5.5})$$

$$F_m = \frac{\pi \mu V_m}{\tau}, \quad (\text{M5.6})$$

gdzie V_m – względna prędkość ciał przed zderzeniem, τ – czas zderzenia, μ – masa zredukowana dwóch ciał o masach m_1 i m_2 . W przypadku, gdy jedno z ciał posiada dużo większą masę (np. zderzenie ze ścianą, z masywną szyną), masa zredukowana jest masą ciała uderzającego. Prędkość zderzenia należy wyznaczyć na podstawie pomiarów wysokości h_1 i h_2 , wykorzystując zasadę zachowania energii:

$$mg(h_2 - h_1) = \frac{mV_m^2}{2}, \quad (\text{M5.7})$$

skąd

$$V_m = \sqrt{2g(h_2 - h_1)}. \quad (\text{M5.8})$$

Należy podkreślić, że parametry zderzenia x_m i F_m są wartościami przybliżonymi, gdyż rzeczywisty przebieg zderzenia ciał jest bardziej złożony. W czasie zderzenia odkształcenia powstające na styku ciał przemieszczają się w całej objętości ze skończoną prędkością, a ich wielkość zależy w istotny sposób od kształtu i własności sprężystych materiału zderzających się ciał.

M5.5. Rachunek niepewności

Niepewność U_0 , U_τ , R i C oceniamy w trakcie pomiarów na podstawie zakresu i klasy użytych przyrządów pomiarowych. Niepewność czasu zderzenia obliczamy stosując odpowiednie wzory metody najmniejszych kwadratów. Niepewność parametrów zderzenia obliczamy jako niepewność wielkości złożonej.