

Ćwiczenie M8

Badanie ciał na równi pochyłej – wyznaczanie współczynnika tarcia statycznego

M8.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest analiza sił działających na ciało spoczywające na równi pochyłej i badanie związków między nimi w przypadku braku tarcia oraz wyznaczenie współczynnika tarcia statycznego między równią i niegładką powierzchnią ciała.

M8.2. Zagadnienia związane z tematyką ćwiczenia

- Charakterystyka ruchu jednostajnego, jednostajnie zmiennego i niejednostajnie zmiennego,
- zasady dynamiki Newtona,
- ciało na równi pochyłej: rozkład sił działających na ciało, warunek równowagi ciała,
- zjawisko tarcia, współczynnik tarcia statycznego,
- metoda najmniejszych kwadratów.

M8.3. Literatura

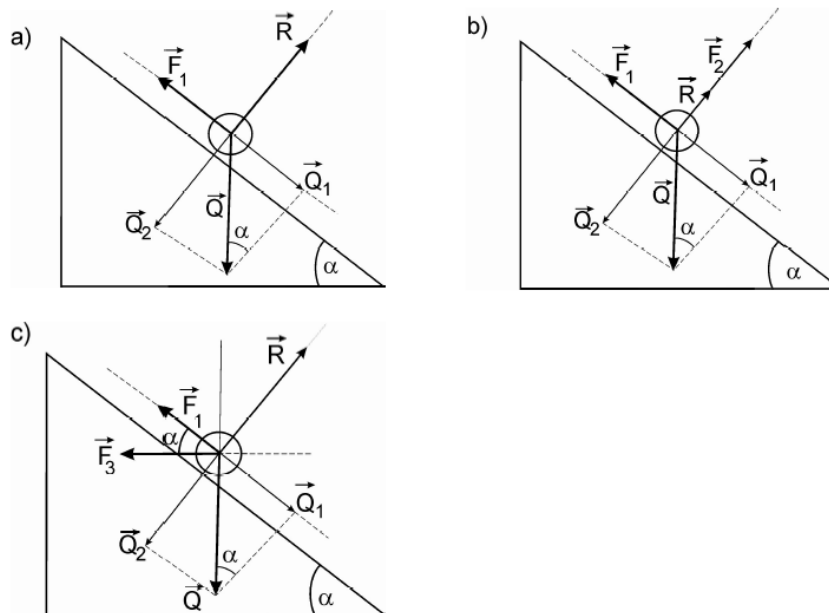
- [1] Halliday D., Resnick R., Walker J.: *Podstawy fizyki, cz. 1*, PWN, Warszawa.
- [2] Bobrowski Cz.: *Fizyka – krótki kurs*, WNT, Warszawa.
- [3] Szczeniowski S.: *Fizyka doświadczalna, cz. 1*, PWN, Warszawa.
- [4] Massalski J., Massalska M.: *Fizyka dla inżynierów cz. 1*, WNT, Warszawa.
- [5] *Metody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

M8.4. Przebieg ćwiczenia i zadania do wykonania

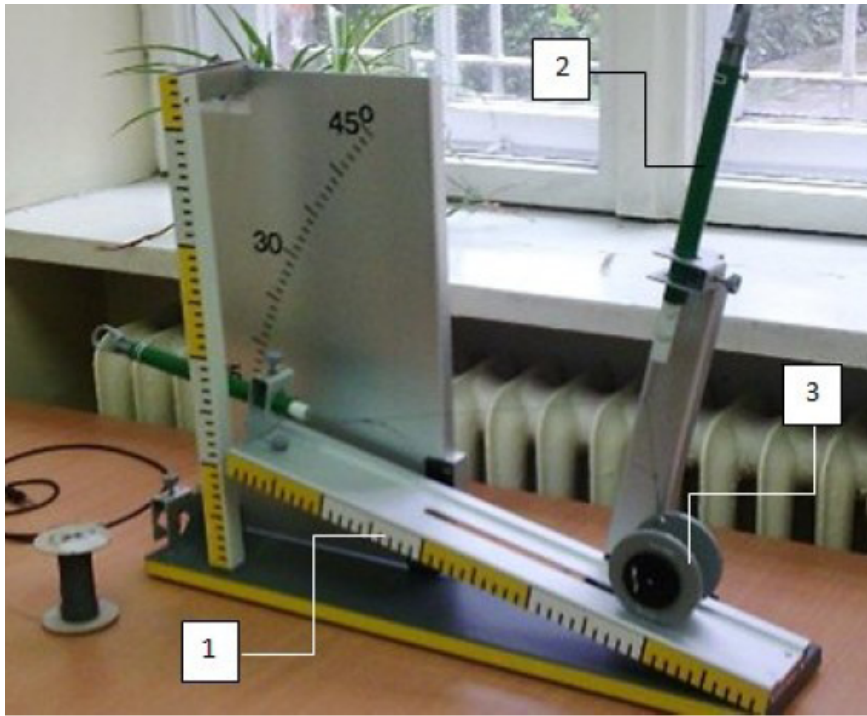
Układ doświadczalny 1: bez tarcia

Rysunek M8.1 przedstawia schemat, zaś rysunek M8.2 zdjęcie układu pomiarowego do analizy sił działających na ciało spoczywające na równi pochyłej i do badania związków między tymi siłami w przypadku, gdy możemy zaniedbać siły tarcia. Układ składa się z następujących elementów: **1** – modelu równi pochyłej o kącie nachylenia α z zakresu $15\text{--}45^\circ$ ze skalą kątową i liniową, **2** – dwóch siłomierzy do pomiaru sił zewnętrznych \vec{F}_1 , \vec{F}_2 i \vec{F}_3 , **3** – ciała o regulowanej masie: $m = 100\text{g} \pm 2\%$ lub $m = 150\text{g} \pm 2\%$ lub $m = 200\text{g} \pm 2\%$ (\vec{Q} – siła ciężkości ciała, \vec{R} – siła reakcji równi), **4** – uchwytów do siłomierzy, **5** – nici.

W trakcie pomiarów należy kontrolować wskazanie zerowe siłomierzy i starannie ustalać kierunki sił \vec{F}_1 (równoległa do powierzchni równi), \vec{F}_2 (prostopadła do powierzchni równi) i \vec{F}_3 (pozioma).



Rysunek M8.1. Schemat układu pomiarowego: a) działa dodatkowo siła równoległa \vec{F}_1 do powierzchni równi; b) działa dodatkowo siła równoległa \vec{F}_1 i prostopadła \vec{F}_2 do powierzchni równi; c) działa dodatkowo siła równoległa \vec{F}_1 do powierzchni równi i siła pozioma \vec{F}_3



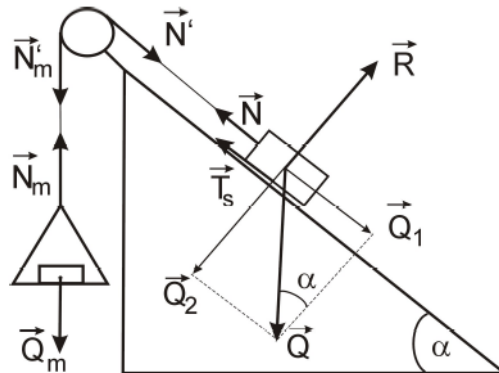
Rysunek M8.2. Zdjęcie układu pomiarowego: bez tarcia

Układ doświadczalny 2: z tarciem

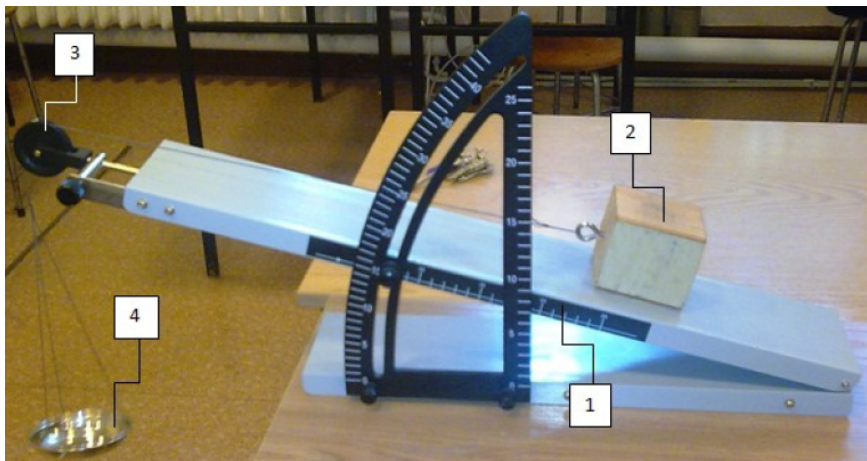
Rysunek M8.3 przedstawia schemat, zaś rysunek M8.4 zdjęcie układu pomiarowego do wyznaczenia współczynnika tarcia statycznego między powierzchnią równi i powierzchnią niegładkiego ciała na nim spoczywającego. Układ składa się z następujących elementów: **1** – modelu równi pochylej o kącie nachylenia α z zakresem $0\text{--}40^\circ$ ze skalą kątową i liniową, **2** – klocka o masie $m = 202 \pm 2$ g z czterema różnymi powierzchniami trącymi, **3** – bloczka, **4** – szalki o masie $m_s = 31 \pm 1$ g, **5** – zestawu odważników. W ćwiczeniu zakłada się, że nić jest nieważka i nierozciągliwa.

Zadania do wykonania

M8.1. Dla różnych kątów nachylenia równi zmierzyć wartość siły \vec{F}_1 działającej w kierunku równoległym do powierzchni równi, przy której ciało pozostaje w spoczynku (rysunek M8.1a). Otrzymane wyniki przedstawić na wykresie w formie zależności $\vec{F}_1 = f(\sin \alpha)$, metodą graficzną i/lub metodą najmniejszych



Rysunek M8.3. Schemat układu pomiarowego w przypadku, gdy klocek rozpoczyna ruch w dół równi



Rysunek M8.4. Zdjęcie układu pomiarowego: z tarciem

kwadratów wyznaczyć współczynniki uzyskanej zależności liniowej i porównać je z wartościami teoretycznymi.

M8.2. Dla różnych kątów nachylenia równi zmierzyć wartość siły \vec{F}_2 działającej w kierunku prostopadłym do powierzchni równi, przy której spoczywające ciało odrywa się od równi (rysunek M8.1b). Otrzymane wyniki przedstawić na wykresie w formie zależności $F_2 = f(\cos \alpha)$, metodą graficzną i/lub metodą najmniejszych kwadratów wyznaczyć współczynniki uzyskanej zależności liniowej i porównać je z wartościami teoretycznymi.

- M8.3. Dla ustalonego kąta nachylenia równi wykonać pomiary siły \vec{F}_1 dla różnych wartości siły \vec{F}_3 (rysunek M8.1c). Otrzymane wyniki przedstawić na wykresie w formie zależności $F_1 = f(F_3)$, metodą graficzną i/lub metodą najmniejszych kwadratów wyznaczyć współczynniki uzyskanej zależności liniowej i porównać je z wartościami teoretycznymi.
- M8.4. Dla wybranych powierzchni bocznych klocka wyznaczyć współczynnik tarcia statycznego mierząc, przy stałym kącie nachylenia równi, masę odważników m , którą należy położyć na szalce, aby klocek rozpoczął ruch w dół lub w górę równi.
- M8.5. Dla wybranych powierzchni bocznych klocka wyznaczyć współczynnik tarcia statycznego mierząc, przy stałej masie odważników leżących na szalce, kąt α , przy którym klocek rozpoczyna ruch w dół lub w górę równi.

Uzupełnienie do zadań M8.4 - M8.5

Wymienione w zadaniach pomiary należy powtórzyć kilkakrotnie. W trakcie pomiarów należy zachować szczególną ostrożność przy zmianach kąta nachylenia równi i wymianie odważników. Nawet małe, niepożądane drgania wywierają znaczący wpływ na wyznaczane wartości m i α .

M8.5. Rachunek niepewności

Niepewności pomiaru sił F_1 , F_2 i F_3 oraz kąta nachylenia równi oceniamy w czasie wykonywania pomiarów na podstawie podziałki użytych siłomierzy i podziałki kątowej. Wyznaczone wartości nanosimy odpowiednio na wykresy.

Niepewność pomiaru współczynników odpowiednich zależności liniowych wyznaczamy metodą graficzną i/lub obliczamy jako niepewność standardową stosując odpowiednie wzory z metody najmniejszych kwadratów.

Niepewność pomiaru współczynnika tarcia statycznego (w zależności od wybranej metody analizy pomiarów) określamy jako maksymalną niepewność wielkości złożonej lub jako niepewność standardową.