



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Paweł Kogut

**Projekt eFizyka – Multimedialne środowisko nauczania
fizyki dla szkół ponad gimnazjalnych**

Wirtualne Laboratorium Fizyki

Ćwiczenie:

„Równia Pochyła”

(Instrukcja obsługi)

*Projekt współfinansowany przez Unię Europejską w ramach funduszu
społecznego POKL, priorytet III, działanie 3.3*

Warszawa 2015



Spis treści

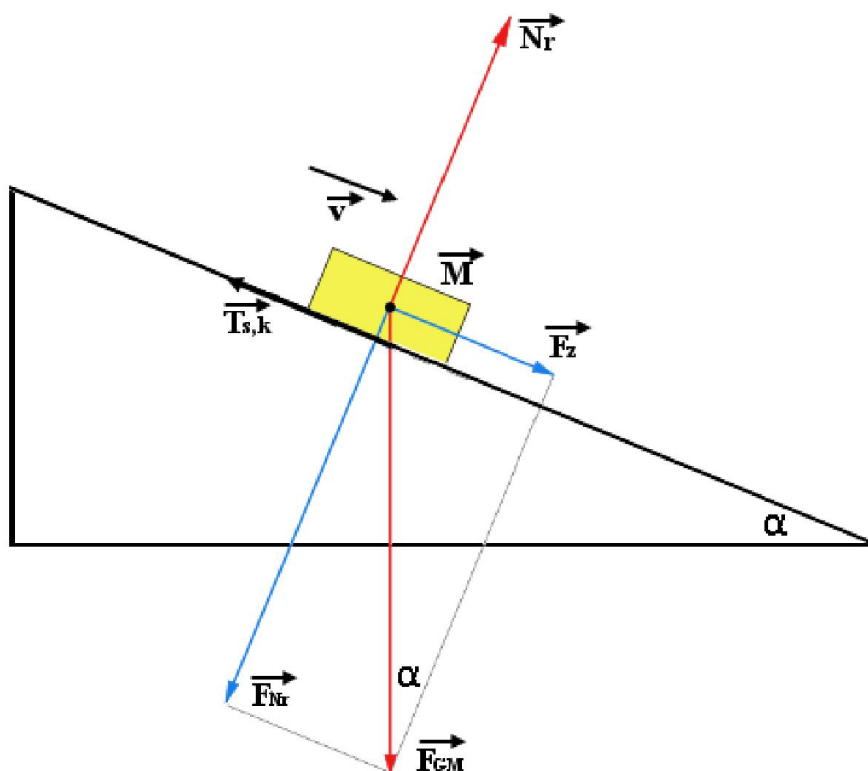
1. Cel Ćwiczenia	3
2. Wstęp Teoretyczny	3
3. Eksperyment	6
4. Wirtualne Ćwiczenie.....	8
4.1. Panel Użytkownika.....	8
4.2. Wykonanie ćwiczenia.....	10

1. Cel Ćwiczenia

W ćwiczeniu należy wyznaczyć współczynniki tarcia statycznego i kinematycznego korzystając z równań dynamiki i kinematyki ruchu ciała umieszczonego na równi pochyłej.

2. Wstęp Teoretyczny

Równia pochyła jest zaliczana do podstawowych maszyn prostych, która składa się z płaskiej powierzchni nachylonej pod kątem, tak przedstawia to rys. 1.



Rys. 1 Równia pochyła

Ciało o masie M umieszczone na równi pochyłej poddawane jest działaniu dwóch sił, siły ciężkości F_{GM} oraz tarcia T . Siła ciężkości rozkłada się na dwie siły, nacisku F_{Nr} i zsuwania F_z . Siła nacisku F_{Nr} jest skierowana prostopadle do nachylonej powierzchni równi i powoduje wywieranie nacisku, co prowadzi do pojawienia się reakcji równi N_r zgodnie z trzecim prawem dynamiki Newtona, która równoważy siłę nacisku. Siła zsuwająca wprowadza lub chce wprowadzić masę M w ruch, przy czym wartość siły a więc zgodnie z drugim prawem dynamiki Newtona przyspieszenie jest zależne od kąta nachylenia równi. Na masę M działa siła tarcia, która pojawia się wszędzie tam gdzie dwa ciała naciskają na siebie i pojawia się siła, która chce wprowadzić je

w wzajemny ruch. Siła tarcia zawsze hamuje ruch i jest skierowana przeciwnie do kierunku ruchu. Jest ona proporcjonalna do siły nacisku F_{Nr} , przy czym współczynnik proporcjonalności określa się jako współczynnik tarcia. Siła tarcia nie jest stała, jest ona zależna od tego czy masa M się porusza czy nie. Wyróżnia się tarcie statyczne, gdy ciało się nie porusza (ponieważ siła zsuwająca jest mniejsza od siły tarcia statycznego), oraz tarcie kinetyczne gdy ciało się porusza (gdy siła zsuwająca pokonuje siłę tarcia statycznego). W momencie, w którym ciało zaczyna się poruszać siła tarcia zmniejsza się ze względu na zmianę współczynnika tarcia, który określa się jako współczynnik tarcia kinetycznego. Współczynnik tarcia statycznego jest zawsze większy od współczynnika tarcia kinetycznego, a tym samym siła tarcia statycznego jest większa od tarcia kinetycznego. Można zatem stwierdzić, że trudniej jest wprawić ciało w ruch, niż podtrzymywać ten ruch. Dla przedstawionego układu można wypisać następujący układ sił,

$$\begin{aligned} F_{Nr} &= N_r = Mg \cos(\alpha), \\ T_{s,k} &= f_{s,k} Mg \cos(\alpha), \\ F_{GM} &= Mg, \\ F_z &= Mg \sin(\alpha), \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie $f_{s,k}$ – współczynnik tarcia statycznego lub kinetycznego. Stan układu jest zależny od tego czy siła zsuwająca jest większa czy mniejsza od siły tarcia statycznego,

- $F_z \leq T_s \rightarrow$ masa M stoi w miejscu
- $F_z > T_s \rightarrow$ masa M zaczyna zjeżdżać w dół równi a tarcie statyczne przechodzi do tarcia kinetycznego.

W przypadku gdy ciało się porusza można zapisać następujące równanie ruchu klocka,

$$\begin{aligned} F_a &= Mg \sin(\alpha) - f_k Mg \cos(\alpha) = Ma, \rightarrow \\ a &= [\sin(\alpha) - f_k \cos(\alpha)]g. \end{aligned} \quad (2)$$

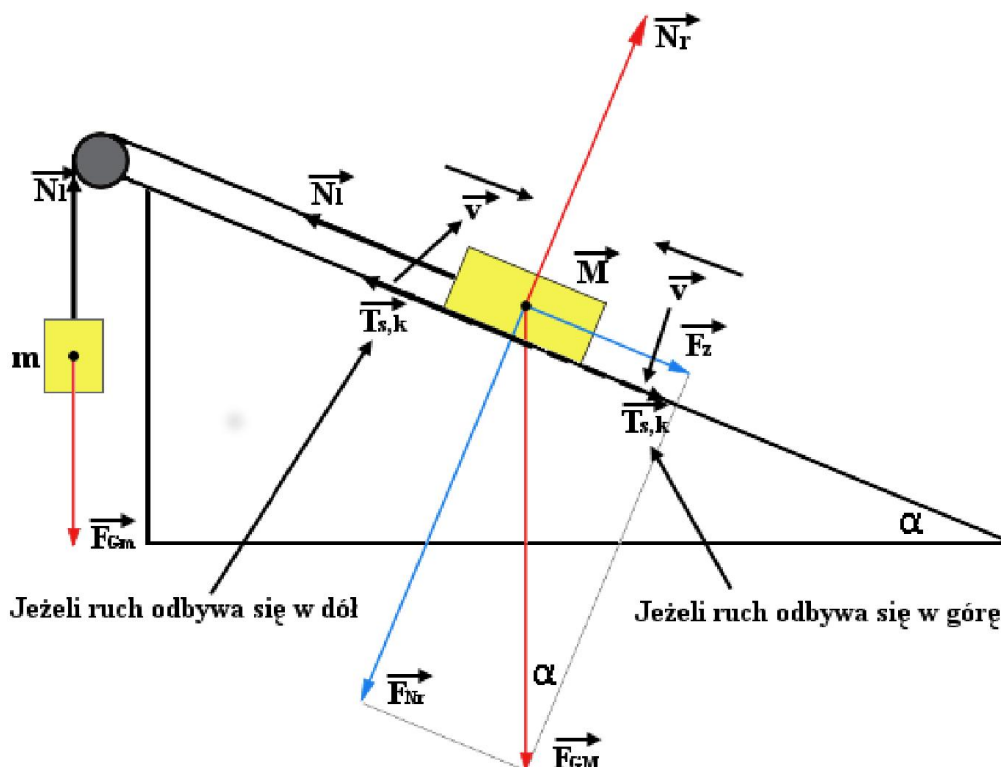
Droga jaką pokona klocek o masie M , przy założeniu, że przed rozpoczęciem ruchu stał w miejscu jest równa,

$$\Delta S = \frac{at^2}{2}. \quad (3)$$

Na podstawie pomiaru kąta nachylenia oraz drogi jaką klocek pokona w danym czasie t można wyznaczyć współczynnik tarcia kinetycznego przekształcając powyższe wzory do postaci,

$$f_k = \operatorname{tg}(\alpha) - 2 \frac{\Delta S}{gt^2} \frac{1}{\operatorname{Cos}(\alpha)}. \quad (4)$$

W eksperymentalnym układzie do wyznaczania tarcia statycznego dokłada się dodatkową masę odważnika m połączoną z Masą na równi M za pomocą linki i kołowrotka tak jak pokazano to na rys. 2. Masa m ma wprowadzić dodatkowy opór do siły zsuwającej F_z , aby można było precyzyjniej ustalić kąt dla, którego masa M zaczyna się poruszać.



Rys. 2 Równia pochyła z masą dociążającą

W zaprezentowanym układzie z rys. 2 można wypisać następujące siły,

$$\begin{aligned} F_{Nr} &= N_r = Mg \operatorname{Cos}(\alpha), \\ T_{s,k} &= f_{s,k} Mg \operatorname{Cos}(\alpha), \\ F_{GM} &= Mg, \\ F_z &= Mg \operatorname{Sin}(\alpha), \\ F_{Gm} &= N_l = mg, \end{aligned} \quad (5)$$

Stan przedstawionego układu można podzielić na dwa przypadki, w którym ciało się porusza bądź nie. W przypadku, w którym ciało się nie porusza, na masę M działa siła tarcia statycznego,

której kierunek jest zależny czy równowaga siły zsuwającej i siły ciężkości odważnika chce poruszyć masę M w górę czy w dół równi,

$$F_z < N_l \wedge v = 0 \Rightarrow F_z - N_l - T_s < 0,$$

$$F_z > N_l \wedge v = 0 \Rightarrow N_l - F_z - T_s < 0.$$

Aby ciało zaczęło się poruszać musi dojść do równowagi siły wywierającej ruch i siły tarcia statycznego co może zajść wtedy gdy spełniające są następujące warunki,

- Masa M zaczyna poruszać się w dół równi,

$$Mg \sin(\alpha) - mg - f_s Mg \cos(\alpha) = 0, \rightarrow$$

$$f_s = \frac{m}{M} \frac{1}{\cos(\alpha)}, \quad (6)$$

- Masa M zaczyna poruszać się w górę równi,

$$mg - Mg \sin(\alpha) - f_s Mg \cos(\alpha) = 0, \rightarrow$$

$$f_s = \frac{m}{M} \frac{1}{\cos(\alpha)} - \frac{1}{\sin(\alpha)}. \quad (7)$$

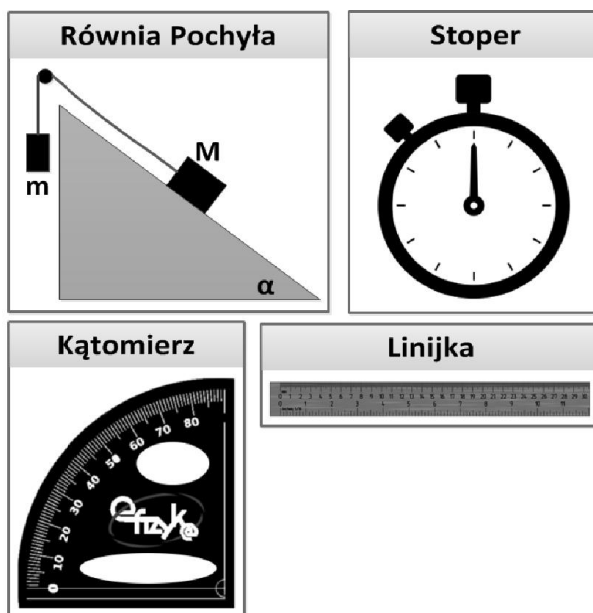
Współczynnik tarcia statycznego można zatem wyznaczyć na podstawie wyznaczenia takiego kąta nachylenia, przy którym ciało zaczyna się poruszać w górę lub w dół.

3. Eksperyment

Celem eksperymentu jest wyznaczenie współczynnika tarcia kinetycznego oraz statycznego przy wykorzystaniu równi pochyłej. W skład układu eksperymentalnego wchodzi,

- Równia pochyła z regulacją kąta nachylenia,
- Klocek o masie M ,
- Odważnik o masie m ,
- Linijka,
- Kątomierz,
- Stoper.

Układ pomiarowy został przedstawiony na rys. 3.



Rys. 3 Schemat układu pomiarowego

a) Wyznaczanie współczynnika tarcia kinetycznego

W celu wyznaczenia współczynnika tarcia kinetycznego postępuj zgodnie z następującymi krokami,

1. Ustaw klocek o masie M na równi oraz wyzeruj stoper,
2. Zmierz kąt nachylenia równi kątomierzem,
3. Określ punkt, do którego ma przemieścić się klocek na równi i zmierz odległość linijką,
4. Włącz stoper i jednocześnie zwolnij klocek,
5. Zanotuj czas, po którym klocek dotrze do określonego punktu na równi pochyłej,
6. Jeżeli klocek nie chce się poruszyć zwiększ kąt nachylenia i powtórz czynności,
7. Wyznacz wartość współczynnika tarcia kinetycznego ze wzoru (4),
8. Pomiar powtórz kilka razy i wyznacz średnią z przeprowadzonych pomiarów.

b) Wyznaczanie współczynnika tarcia statycznego

W celu wyznaczenia współczynnika tarcia statycznego postępuj zgodnie z następującymi krokami,

1. Ustaw klocek o masie M na równi pochyłej i załóż masę odważnika m ,
2. Ustaw kąt nachylenia równi przy której klocek się nie porusza,

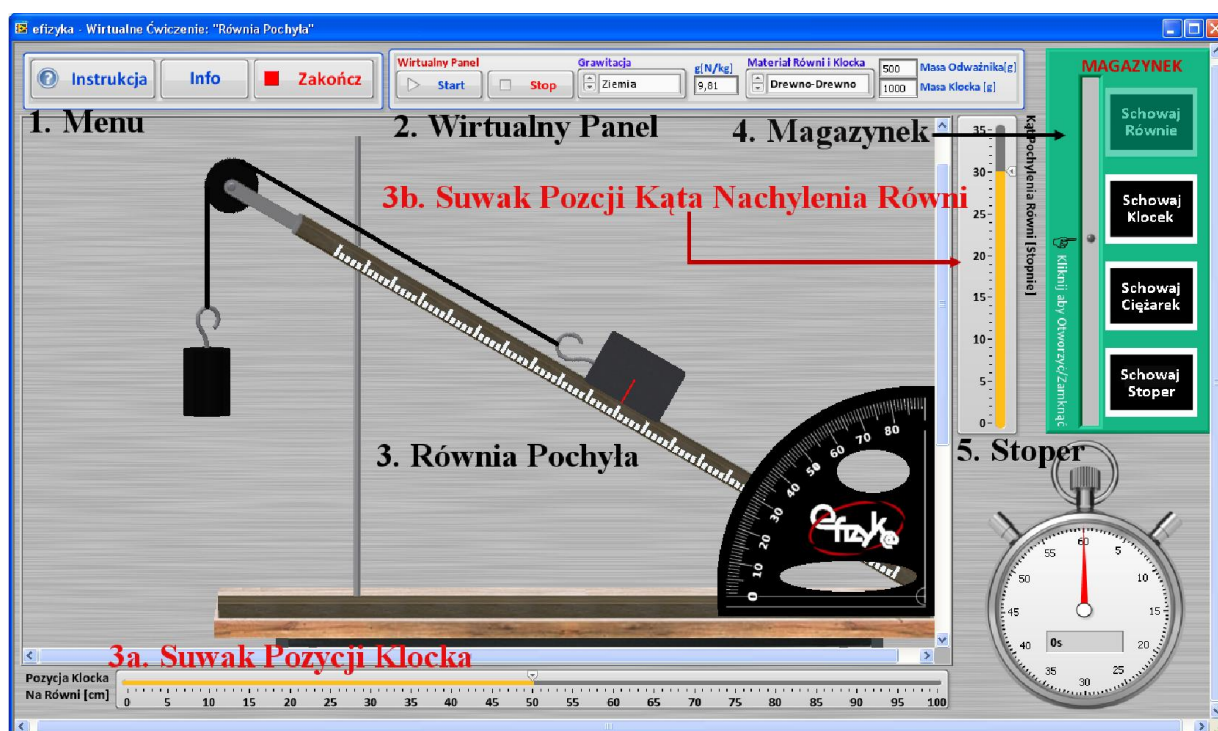
3. Zwiększaj lub zmniejszaj kąt nachylenia równi do momentu aż klocek zacznie się poruszać w dół lub w górę równi,
4. Zanotuj kąt, przy którym klocek rozpoczął się poruszać i wyznacz współczynnik tarcia statycznego ze wzoru (6) lub (7),
5. Powtórz eksperyment kilka razy i wyznacz średnią z pomiarów.

4. Wirtualne Ćwiczenie

Wirtualne ćwiczenie „Równia Pochyła” jest symulacją doświadczenia wyznaczania współczynników tarcia kinetycznego i statycznego, które zostało przedstawione i omówione w punktach 2 i 3.

4.1. Panel Użytkownika

Na rys. 4 przedstawiono widok okna głównego programu, na którym widać interfejs użytkownika wraz z wirtualną aparaturą pomiarową.



Rys. 4 Widok ekranu interfejsu użytkownika

Elementy interfejsu użytkownika zostały opisane w poniższych punktach 1-5.

1. Menu

Menu składa się z trzech przycisków za pomocą których możesz zrealizować następujące operacje,

- „Zakończ” – kończy działanie programu,
- „Info” – otwiera powitalne okno informacyjne na temat projektu efizyka,
- „Instrukcja” – otwiera instrukcję obsługi przeprowadzanego ćwiczenia w PDF¹,

2. Wirtualny Panel

Wirtualny umożliwia dobranie warunków eksperymentu oraz na sterowanie ruchem klocka na równi,

- Przycisk „Start” – rozpoczyna (umożliwia) ruch klocka na równi i rozpoczyna odmierzenie czasu przez stoper,
- Przycisk „Stop” – zatrzymuje ruch klocka na równi,
- Pole wyboru „Grawitacja” – umożliwia wybór warunków ciężenia dla eksperymentu,
- Pole „g[N/kg]” – wyświetla aktualną wartość przyspieszenia grawitacyjnego w N/kg,
- Pole wyboru „Materiał Równi i klocka” – umożliwia wybór materiału z jakiego wykonana jest równia i klocek, każdy zestaw posiada inne współczynniki tarcia statycznego i kinetycznego,
- Pole „Masa Odważnika [g]” – wyświetla aktualną masę odważnika w g oraz umożliwia na jej zmianę w granicy 100g-10000g,
- Pole „Masa Klocka [g]” – wyświetla aktualną masę klocka w g oraz umożliwia na jej zmianę w granicy 100g-10000g.

3. Równia Pochyła

Pole to składa się z pola rysunku, na którym znajduje się układ równi pochyłej, oraz dwóch suwaków sterujących,

- 3a. – za pomocą tego suwaka możemy ustawić oraz odczytać pozycję klocka wzdłuż równi,
- 3b. – za pomocą tego suwaka możemy ustawić kąt nachylenia równi.

¹ Aby instrukcja mogła być otwarta na komputerze musi być zainstalowane oprogramowanie do przeglądania plików pdf

4. Magazynek

Symuluje schowek, w którym znajduje się aparatura pomiarowa. W celu umieszczenia danego przyrządu pomiarowego na stole laboratoryjnym należy, otworzyć magazynek za pomocą przycisku wskazanego przez rączkę, oraz kliknąć na zdjęcie przedstawiające dany przyrząd.

5. Stoper

W skład stopera wchodzi, stoper z wyświetlaczem analogowym i cyfrowym. Czas jest mierzony względem czasu wykonywania się aplikacji z krokiem 25ms, a nie czasu rzeczywistego. Do obsługi stopera służą przyciski z wirtualnego panelu,

- „Start” – zeruje wskazania i włącza działanie stopera,
- „Stop” – wyłącza odmierzenie czasu, ale nie kasuje ostatniego wskazania.

4.2. Wykonanie ćwiczenia

Rozpoczynając ćwiczenie należy umieścić oprzyrządowanie na stole laboratoryjnym, które należy wyciągnąć z magazynku. Do pomiaru współczynnika tarcia kinetycznego potrzebne są równia pochyła, klocek oraz stoper, a do wyznaczania współczynnika tarcia statycznego równia pochyła, klocek oraz odważnik. W celu wykonania ćwiczenia należy ustawić warunki eksperymentu na wirtualnym panelu oraz pozycję początkową klocka i kąt nachylenia równi. Następnie należy wcisnąć przycisk „Start” i wykonać procedury pomiarowe opisane w punkcie 3. Pozycję klocka i kąt nachylenia równi należy odczytać z suwaków 3a i 3b.