# Ćwiczenie 1 Wyznaczanie gęstości cieczy za pomocą wagi Mohra, e-d mechanika cieczy

Podstawowym prawem hydrostatyki, określającym siłę wyporu, jest prawo Archimedesa[1].

**Prawo Archimedesa**

> Na każde ciało zanurzone w płynie (cieczy lub gazie) działa pionowa, skierowana ku górze siła wyporu. Wartość tej siły jest równa ciężarowi wypartego przez to ciało płynu.

Powyższe prawo można przedstawić wzorem (1):

$$F_W = \rho g V, \tag{1}$$

gdzie $F_W$ to siła wyporu, $\rho$ to gęstość płynu w którym zanurzone jest ciało, $g$ to przyspieszenie grawitacyjne, a $V$ to objętość wypieranego płynu (równa objętości części ciała zanurzonego w płynie).
Jak widać siła wyporu jest tym większa, im większa jest gęstość płynu, w którym zanurzone jest ciało – siła wyporu jest więc większa w rtęci niż w wodzie, w wodzie z kolei jest większa niż w powietrzu. Siła wyporu jest także tym większa, im większa jest objętość tej części ciała, która jest zanurzona w cieczy.

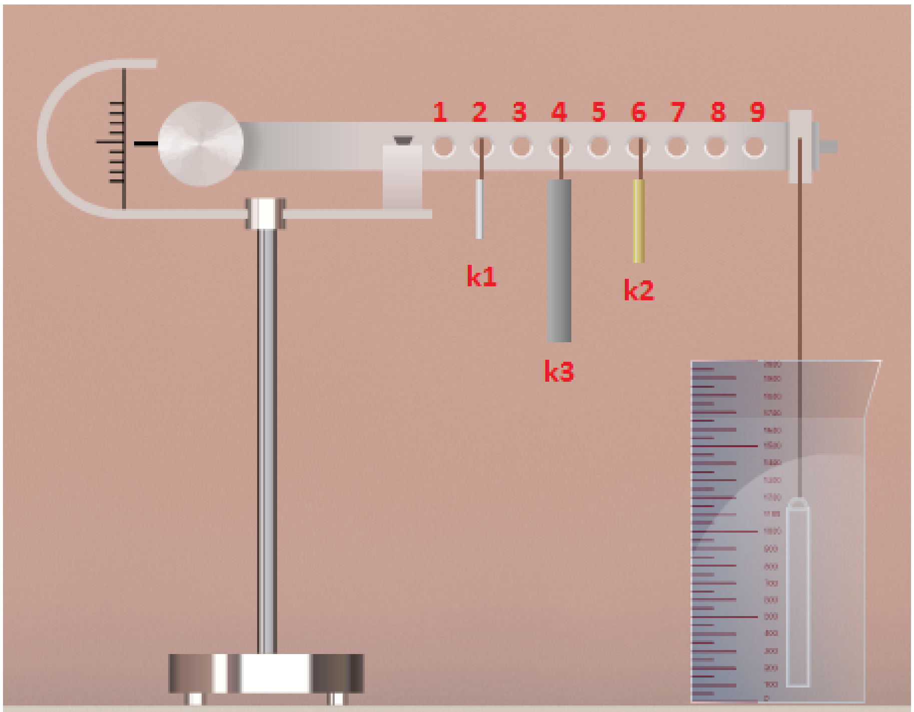
Zapewne nie raz widziałeś lub korzystałeś z wagi, dzięki której mogłeś wyznaczyć masę danego obiektu. Podstawą działania prostej wagi szalkowej jest zasada równoważenia sił – ciężaru odważników o znanej masie i ciężaru nieznanego ciała.

**Waga Mohra**

Waga Mohra to dwuramienna dźwignia przedstawiona na rysunku 3.1. Na jednym końcu (lewym) tej dźwigni w pobliżu jej osi obrotu znajduje się zamocowany na stałe ciężarek. Ramię części dźwigni znajdującej się po drugiej stronie (prawej) osi obrotu posiada zestaw dziewięciu otworów dzielących całe ramię na 10 równych części. Na końcu, czyli w 10 części ramienia, zawieszony jest szklany nurek. W otworach mogą być zawieszane ciężarki zwane konikami. Koniki oznaczone są jako $k_1$, $k_2$ i $k_3$. Stosunek ich mas ($k_1 : k_2 : k_3$) wynosi $1 : 10 : 100$. Numer otworu na ramieniu dźwigni (licząc od strony osi obrotu) określa odległość od osi obrotu, wyrażoną w dziesiątych częściach długości $L$ (gdyż całe ramię jest podzielone na 10 części). Dzięki czemu można wyznaczyć moment siły działający w dowolnym punkcie podwieszonych ciężarków. Jak wiadomo, moment siły to iloczyn wartości siły i ramienia siły, gdzie ramię siły to odległość pomiędzy osią obrotu, a punktem przyłożenia siły.

Układ wagi Mohra jest tak wyważony, że po zawieszeniu nurka w powietrzu całość znajduje się w stanie równowagi. Czyli, w stanie równowagi, momenty siły po jednej i drugiej stronie osi obrotu są takie same. Po zanurzeniu nurka w cieczy wzorcowej o znanej gęstości $\rho_w$ (np. w wodzie destylowanej), zacznie na niego działać siła wyporu równa (zgodnie z prawem Archimedesa) ciężarowi cieczy wypartej przez nurka. Spowoduje to wychylenie wagi z położenia równowagi. Aby przywrócić położenie równowagi, należy zawiesić koniki o odpowiednich masach w odpowiednich odległościach od osi obrotu.

[1] Archimedes z Syrakuz (287–212 p.n.e.) – grecki filozof przyrody i matematyk, urodził się i żył w Syrakuzach; autor traktatu o kwadraturze odcinka paraboli, był twórcą hydrostatyki i statyki, oraz prekursorem rachunku całkowego i różniczkowego, zajmował się również astronomią (opisał ruch planet wokół Ziemi); był wielkim wynalazcą (m.in. śruby Archimedesa, przenośnika ślimakowego, zegara wodnego, udoskonalił wielokrążek) i odkrywcą (m.in. jako pierwszy oszacował liczbę pi, przedstawił zasadę dźwigni i prawa równi pochyłej, wyprowadził pojęcie siły); według legendy odkrył siłę wyporu podczas kąpieli i wybiegł nago z wanny krzycząc „*Eureka!*” (co oznacza po grecku „*Znalazłem!*”).




Rysunek 3.1. Schemat wagi Mohra.

Optymalne rozmieszczenie koników $k_1$, $k_2$ i $k_3$ w odpowiednich otworach wagi Mohra znajdujemy doświadczalnie. Przyjmijmy, że miejsce zawieszenia ciężarka $k_1$ to $x_1$, $k_2$ to $x_2$ i $k_3$ to $x_3$. Po przywróceniu równowagi, moment siły wyporu, działającej na nurka zawieszonego w odległości $L$ od osi obrotu dźwigni, zostanie zrównoważony poprzez sumę momentów sił ciężkości działających na poszczególne koniki. Koniki są zawieszone w odległościach $x_1 \cdot \frac{L}{10}$, $x_2 \cdot \frac{L}{10}$, $x_3 \cdot \frac{L}{10}$ od osi obrotu dźwigni, gdzie za $x_1$, $x_2$ oraz $x_3$ podstawia się numer otworu. Równoważenie siły wyporu przez zawieszone koniki zostało przedstawione w równaniu (2).

$$\rho_w V g L = mg \cdot \left(\frac{x_3}{10} + \frac{1}{10} \cdot \frac{x_2}{10} + \frac{1}{100} \cdot \frac{x_1}{10}\right) \cdot L. \tag{2}$$

Rozważmy teraz zanurzenie nurka w cieczy o nieznanej gęstości $\rho$. Na nurka zacznie działać siła wyporu i waga zostanie wychylona z położenia równowagi. By uzyskać ponownie równowagę, należy ponownie zawiesić koniki w odpowiednich otworach ramienia dźwigni. Najlepsze rozmieszczenie koników znajdujemy doświadczalnie. Przyjmijmy oznaczenie $y_1$ dla miejsca zawieszenia nurka $k_1$, $y_2$ dla $k_2$ i $y_3$ dla $k_3$. Wtedy warunek równowagi będzie miał postać:

$$\rho V g L = mg \cdot \left(\frac{y_3}{10} + \frac{1}{10} \cdot \frac{y_2}{10} + \frac{1}{100} \cdot \frac{y_1}{10}\right) \cdot L. \tag{3}$$

Dzieląc stronami równanie (3) przez (2), otrzymamy:

$$\rho = \rho_w \frac{y_3 + \frac{y_2}{10} + \frac{y_1}{100}}{x_3 + \frac{x_2}{10} + \frac{x_1}{100}}, \tag{4}$$

gdzie $x_1$, $x_2$ i $x_3$ to numery otworów, w których zawieszono odpowiednie koniki tak, by uzyskać równowagę dla cieczy o znanej gęstości $\rho_w$; $y_1$, $y_2$ i $y_3$ to numery otworów, w których zawieszono odpowiednie koniki by uzyskać równowagę dla cieczy o nieznanej gęstości.

Jak widać ze wzoru (4), do obliczenia gęstości cieczy nie jest potrzebna znajomość wartości objętości nurka, wartości mas, ani odległości koników od osi obrotu – wystarczą tylko miejsca podwieszenia koników i stosunek mas używanych koników.

✔ Wybierz z menu „Narzędzia” zakładkę „Wyznaczanie gęstości cieczy”, a następnie wybierz komponenty potrzebne do przeprowadzenia doświadczenia: wagę Mohra, zlewkę, koniki, nurka, butelkę z wodą destylowaną (która będzie cieczą odniesienia), dwie dowolne butelki z cieczami i dwie butelki z nieznanymi cieczami.
✔ Możesz również wybrać zestaw barwników do jajek, umożliwiający zabarwienie bezbarwnych cieczy, dzięki czemu ciecze stają się lepiej widoczne, co ułatwia odczyt. Barwienie cieczy następuje poprzez przeciągnięcie myszą wybranego barwnika nad naczynie z bezbarwną cieczą. Uwaga! Możemy barwić tylko ciecze znajdujące się w U-rurce lub zlewce – nie da się zabarwić cieczy w butelce.
✔ Podnieś nurka ze stołu i przeciągnij go myszą na koniec ramienia dźwigni wagi Mohra.
✔ Wlej wodę destylowaną do zlewki. Uwaga! Cieczą odniesienia może być dowolna ciecz.

**Zastanów się** Przed uruchomieniem doświadczenia zastanów się, w którą stronę przechyli się waga po wlaniu cieczy? Uzasadnij swoją odpowiedź.

✔ Uruchom doświadczenie.

**Zastanów się** Zanim zaczniesz wieszać koniki zastanów się, gdzie powinny one wisieć, aby uzyskać równowagę. Czy będą to położenia bliżej nurka, czy bliżej osi obrotu? Sprawdź doświadczalnie wpływ miejsca zwieszenia tego samego konika na wychylenie wagi.

✔ Zawieś koniki w takich położeniach, aby waga uzyskała położenie równowagi.
✔ Po zrównoważeniu wagi zapisz numery otworków, w których zostały zawieszone koniki. Dane te przydadzą ci się do dalszych obliczeń.
✔ Zmień ciecz w zlewce na jedną ze znanych cieczy. Powtórz doświadczenie dla znanej cieczy i zanotuj numery otworków.
✔ Korzystając ze wzoru (4) i wyników pomiarów dla wody destylowanej, oblicz gęstość danej cieczy.
✔ Czy otrzymana wartość gęstości zgadza się z wartością podaną w „Tablicach fizycznych”? Jeżeli występuje rozbieżność wyników, zastanów się jaka jest jej przyczyna?
✔ Teraz do zlewki wlej jedną z nieznanych cieczy (najlepiej tę, którą badałeś w poprzednim rozdziale).
✔ Przeprowadź analogiczne pomiary i oblicz gęstość tej cieczy.
✔ Czy otrzymana gęstość zgadza się z wartością wyliczoną w poprzednim zadaniu? Jeżeli nie, to jak myślisz, która metoda jest bardziej dokładna? Skąd mogą wynikać rozbieżności?

✔ Wybierz z „Narzędzi” wodę morską 1 oraz wodę morską 2. W jednej z butelek znajduje się woda z Bałtyku, natomiast w drugiej woda z Morza Martwego.
✔ Wybierz jedną z cieczy i wlej ją do zlewki.
✔ Zawieś nurka i uruchom program.
✔ Postaraj się doprowadzić wagę do równowagi.
✔ Powtórz pomiar dla drugiej cieczy.
✔ Czy takich wyników się spodziewałeś? Dlaczego woda z Bałtyku zachowuje się inaczej niż woda z Morza Martwego?
✔ Możesz powtórzyć pomiary dla pozostałych cieczy.

**Okres drgań**

Wzór na okres drgań wahadła fizycznego ma postać:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mdg}}, \tag{5}$$

gdzie $I$ – moment bezwładności ciała względem osi obrotu, $m$ – masa ciała, $g$ – przyspieszenie ziemskie, $d$ – odległość od punktu zawieszenia do środka masy.

Poprzez analogię do wahadła matematycznego, powyższy wzór można zapisać jako:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l_0}{g}}, \tag{6}$$

gdzie $g$ – przyspieszenie ziemskie, $l_0$ – długość zredukowana wahadła i ma postać

$$l_0 = \frac{I}{md}, \tag{7}$$

gdzie $I$ – moment bezwładności ciała względem osi obrotu, $m$ – masa ciała, $d$ – odległość od punktu zawieszenia do środka ciężkości.

By otrzymać wzór na moment bezwładności, musimy przekształcić wzór (5). Po prostych operacjach matematycznych otrzymamy:

$$I = \frac{mdg}{4\pi^2}T^2, \tag{8}$$

gdzie $m$ – masa bryły, $d$ – odległość punktu zawieszenia od środka masy, $g$ – przyspieszenie ziemskie, $T$ – okres drgań wahadła.
Dodatkowo, musimy wziąć pod uwagę twierdzenie Steinera[2], które brzmi następująco:

**Twierdzenie Steinera**

> Moment bezwładności bryły sztywnej względem dowolnej osi jest równy sumie momentu bezwładności względem osi równoległej do danej i przechodzącej przez środek masy bryły oraz iloczynu masy bryły i kwadratu odległości między tymi dwiema osiami.

Powyższe twierdzenie da się opisać wzorem:

$$I = I_0 + md^2, \tag{9}$$

gdzie $I$ – moment bezwładności względem dowolnej osi, $I_0$ – moment bezwładności względem osi przechodzącej przez środek masy, $m$ – masa bryły, $d$ – odległość między osiami.

**Badanie stalowego pręta**

✔ Na początek z zakładki „Moment bezwładności" wybierz dowolny stalowy pręt.
✔ Zważ go.
✔ Wyznacz środek masy.
✔ Wybierz punkt zaczepienia w okolicach końca pręta.
✔ Zawieś pręt i odchyl go o mały kąt.
✔ Zmierz okres podstawowy drgań pręta.
✔ Korzystając ze wzoru (8), oblicz moment bezwładności względem wybranej osi obrotu.

[2] Jacob Steiner (1196-1863) – szwajcarski matematyk i fizyk; profesor uniwersytetu w Berlinie; jeden z twórców geometrii rzutowej, sformułował twierdzenie mechaniki i wytrzymałości materiałów opisujące znajdowanie momentu bezwładności.

✔ Teraz, korzystając ze wzoru (9), sprawdź poprawność twierdzenia Steinera. Wartość momentu bezwładności pręta względem osi przechodzącej przez jego koniec wynosi $I = \frac{1}{3}mL^2$.

**Badanie dowolnych brył**

✔ Z zakładki „Moment bezwładności" wybierz figurę płaską: drewniany kwadrat.
✔ Zważ ją.
✔ Wyznacz jej środek masy.
✔ Wybierz dowolny punkt zaczepienia bryły w pewnej odległości $d$ od środka masy.
✔ Zawieś bryłę i odchyl ją o mały kąt.
✔ Zmierz okres podstawowy drgań bryły.
✔ Korzystając ze wzoru (8), oblicz moment bezwładności względem wybranej osi obrotu.
✔ Teraz korzystając ze wzoru (9) i wyznacz moment bezwładności względem środka masy figury płaskiej.
✔ Swój wynik porównaj z poniższą tabelą.

| **Figura płaska** | **Moment bezwładności** | **Oznaczenia** |
|---|---|---|
| Kwadrat | $I_0 = \frac{1}{6} m a^2$ | a – długość boku kwadratu |
| Prostokąt | $I_0 = \frac{1}{12} m (a^2 + b^2)$ | a, b – długości boków prostokąta |
| Trójkąt prostokątny | $I_0 = \frac{1}{18} m (a^2 + b^2)$ | a, b – dlugości boków trójkąta |
| Trójkąt równoboczny | $I_0 = \frac{1}{12} m a^2$ | a – długość boku trójkąta |
| Koło | $I_0 = \frac{1}{2} m r^2$ | r – długość promienia koła |
| Obręcz | $I_0 = m r^2$ | r – długość promienia obręczy |
| Pierścień | $I_0 = \frac{1}{2} m (R^2 + r^2)$ | R, r – długości promieni pierścienia |
| Elipsa | $I_0 = \frac{1}{4} m (a^2 + b^2)$ | a, b – długości półosi elipsy |
| Cienki pręt | $I_0 = \frac{1}{12} m L^2$ | L – długość pręta |

Tablica 1: Tabela momentów bezwładności różnych figur płaskich, względem osi przechodzącej przez środek masy.

By otrzymać wzór na przyspieszenie ziemskie, musimy przekształcić wzór (5). Po prostych operacjach matematycznych otrzymamy:

$$g = \frac{4\pi^2 l_0}{T^2}, \tag{10}$$

gdzie $l_0$ to długość zredukowana wahadła i ma postać:

$$l_0 = \frac{I}{md}, \tag{11}$$

przy czym $I$ – moment bezwładności ciała względem osi obrotu, $m$ – masa ciała, $d$ – odległość od punktu zawieszenia do środka ciężkości.

✔ Wybierz z „Narzędzi” taką bryłę, której znasz moment bezwładności.
✔ Wyznacz środek masy, o ile nie zrobiłeś tego w poprzednich ćwiczeniach.
✔ Wybierz punkt zaczepienia poza środkiem masy.
✔ Zmierz linijką odległość punktu zawieszenia od środka masy.
✔ Zawieś bryłę i odchyl ją o mały kąt.
✔ Uruchom doświadczenie i zmierz okres podstawowy drgań wahadła.
✔ Podstaw zmierzone wartości do wzoru (10).
✔ Czy tą metodą otrzymałeś wartość przyspieszenia grawitacyjnego Ziemi zgodną z wartością tablicową?
✔ Jaki duży pełniłeś błąd? Wyznacz różnicę pomiędzy twoim pomiarem, a wartościami tablicowymi. Jak sądzisz, z czego może on wynikać?
✔ Ćwiczenie powtórz, tym razem spróbuj zmierzyć wartość przyspieszenia grawitacyjnego na dwóch innych planetach.

# Ćwiczenie 4 Ruch obrotowy bryły sztywnej - wahadło Oberbecka, e-d bryła sztywna

Wszystkie elementy potrzebne do wykonania ćwiczenia znajdziesz w „Narzędziach” w podzakładce WAHADŁO OBERBECKA.

**Wahadło Oberbecka**

Wahadłem Oberbecka[3] nazywamy bryłę sztywną tworzoną z układu czterech prętów stalowych wkręconych w cylinder o określonym promieniu, który może się swobodnie obracać. Pręty tworzą równoramienny krzyżak, którego ramiona są prostopadłe do siebie i który może się obracać względem osi przechodzącej przez środek cylindra i punktu krzyżowania się ramion. Na prętach zamocowane są stalowe obciążniki w kształcie krążków, które mają możliwość mocowania w różnej odległości od cylindra. Dodatkowo, do cylindra zamocowana jest linka, na końcu której wisi ciężarek, umożliwiając wzbudzenie wahadła.

✔ Wybierz z Narzędzi potrzebne elementy układu, w tym cztery obciążniki.
✔ Ustaw obciążniki w połowie ramion.
✔ Przy pomocy narzędzia „Linijka”, przy w pełni rozwiniętej nici zmierz odległość od dna ciężarka do mniejszego cylindra. Zanotuj tę długość.
✔ Ustaw dowolne nawinięcie linki.

**Uwaga!**

Zakładamy, że linka ślizga się bez tarcia po cylindrze umieszczonym z prawej strony. Dodatkowo zakładamy, że linka jest nierozciągliwa.

**Zastanów się**

Przed uruchomieniem wahadła zastanów się, czy będzie się ono poruszało zgodnie z drugą zasadą dynamiki ruchu obrotowego.

**II zasada dynamiki ruchu obrotowego**

Niech $O$ będzie pewną nieruchomą osią przechodzącą przez bryłę sztywną. Jeżeli na naszą bryłę, o momencie bezwładności $I$ liczonym względem osi $O$, działa wypadkowy moment siły, o składowej $M$ wzdłuż osi $O$, to w wyniku tego bryła będzie się obracać względem osi $O$ z przyspieszeniem kątowym $\varepsilon$, takim że:

$$\varepsilon = \frac{M}{I},$$

gdzie $\varepsilon$ – przyspieszenie kątowe, $M$ – moment siły, $I$ – moment bezwładności względem osi $O$.

**Pomiar przyspieszenia**

✔ Uruchom doświadczenie, klikając na przycisk URUCHOM.
✔ Stoperem zmierz czas w jakim ciężarek „opadł” i wrócił do pozycji początkowej.
✔ Kilkakrotnie powtórz pomiar i uśrednij wynik.
✔ Wstaw wartości do wzoru na przyspieszenie liniowe na obwodzie bloczka

$$a_o = \frac{2h}{{t_s}^2}, \tag{12}$$

gdzie $h$ – droga jaką pokonał ciężarek opadając w dół, $t_s$ – średni czas. Powyższy wzór można wyprowadzić ze wzoru na drogę w ruchu jednostajnie przyspieszonym, przy założeniu, iż prędkość początkowa była równa zeru.

**Uwaga!**

Pamiętaj, że nie mierzysz stoperem czasu $t_s$, lecz czas, w którym ciężarek pokonuje dwukrotnie naszą drogę $h$, która jest równa długości nawiniętej linki. Zatem mierzysz $2t_s$.

✔ Odwołując się do zależności kinematycznych w ruchu obrotowym, oblicz przyspieszenie kątowe $\varepsilon$.

[3] Anton Oberbeck (1846–1900) – niemiecki fizyk; profesor uniwersytetu w Halle; badał drgania, prądy wirowe i przewodnictwo elektryczne w gazach,cieczach i cienkich warstwach.

Potrzebna zależność to:

$$\varepsilon = \frac{a_o}{r_o}, \tag{13}$$

gdzie $r_o$ – promień cylindra.

✔ Powtórz ćwiczenie dla różnych długości nawiniętej nitki.
✔ Zmierzone i wyliczone wartości wpisz do tabeli, a następnie wykreśl zależności $\varepsilon(t_s)$ i $\varepsilon(h)$.
✔ Czy takich wyników się spodziewałeś? Uzasadnij.

**Wpływ momentu bezwładności na ruch obrotowy wahadła**

✔ Wybierz z „Narzędzi” potrzebne elementy układu, w tym wahadło stalowe, cztery stalowe masy i ciężarek. Opcjonalnie możesz także wybrać linijkę.
✔ Ustaw obciążniki (masy) na końcach ramion.
✔ Ustaw dowolne nawinięcie linki.
✔ Uruchom doświadczenie klikając na przycisk URUCHOM.
✔ Stoperem zmierz czas w jakim ciężarek „opadł” i wrócił do pozycji początkowej.
✔ Podobnie jak w ćwiczeniu wyżej, korzystając ze wzorów (12) i (13) oblicz przyspieszenie liniowe i kątowe.
✔ Nie zmieniając nawinięcia linki, zmień położenie obciążników.
✔ Powtórz pomiary.
✔ Czy potrafisz opisać, jaki wpływ ma rozmieszczenie obciążników na przyspieszenie układu?
✔ Powtórz pomiary, wymieniając tym razem masy na inne stalowe. Zauważ, że drugi zestaw stalowych obciążników nie różni się masą a jedynie rozmiarami elementów. Czy taka zmiana wpłynie znacząco na zachowanie się całego układu?
✔ Powtórz pomiary, tym razem dla tylko dwóch obciążników w układzie.
✔ W jaki sposób rozkład masy wpływa na układ? Odpowiedź uzasadnij.
✔ Przeprowadź kolejne doświadczenie, tym razem zmieniając wahadło i masy na drewniane. W jaki sposób teraz zachowuje się układ?

# Ćwiczenie 5 — Wyznaczanie współczynnika tarcia statycznego, e-d równia pochyła

✔ Wybierz z narzędzi dowolny drewniany klocek z nakładką, nakładkę na równię, linkę, plastikowy bloczek oraz ciężarki. Zmontuj zestaw.

**Ustalony kąt, zmienna masa**

✔ Ustal pewien kąt nachylenia równi $\alpha$ tak, aby klocek się nie poruszał.
✔ Zmieniaj wagę podwieszonych ciężarków do momentu, gdy klocek na równi zacznie poruszać się ku dołowi. Zapisz ich masę $m$.
✔ Współczynnik tarcia statycznego $\mu_s$ możesz wyznaczyć ze wzoru

$$\mu_s = \mathrm{tg}\alpha - \frac{m}{M\cos\alpha}, \tag{14}$$

gdzie $m$ to masa podwieszonych ciężarków, natomiast $M$ to masa klocka. Powyższy wzór możesz wyprowadzić wiedząc, że na klocek i ciężarki, do momentu kiedy układ zacznie się poruszać, działają następujące siły:

$$\begin{cases} am = N - mg \\ aM = Mg\sin\alpha - \mu_s Mg\cos\alpha - N, \end{cases}$$

przy czym $N$ jest siłą napięcia linki.
✔ Zmieniaj teraz wagę podwieszonych ciężarków do momentu, gdy klocek na równi zacznie poruszać się ku górze. Zanotuj masę ciężarków $m'$.
✔ Współczynnik tarcia statycznego $\mu_s$ możesz wyznaczyć ze wzoru

$$\mu_s = \frac{m'}{M\cos\alpha} - \mathrm{tg}\alpha, \tag{15}$$

gdzie $m'$ to masa podwieszonych ciężarków, natomiast $M$ to masa klocka. Naturalnie, $m \neq m'$. Powyższy wzór możesz wyprowadzić wiedząc, że na klocek i ciężarki, do momentu kiedy układ zacznie się poruszać, działają następujące siły:

$$\begin{cases} am' = -N + m'g \\ aM = -Mg\sin\alpha - \mu_s Mg\cos\alpha + N. \end{cases}$$

✔ Czy otrzymałeś takie same wyniki?
✔ Powtórz pomiary, przyjmując inny początkowy kąt nachylenia równi.

**Ustalona masa, zmienny kąt**

✔ Ustal teraz masę, jaka będzie podwieszona na stałe na zwisającej lince.
✔ Ustal pewien kąt początkowy, dla którego klocek na równi spoczywa.
✔ Zwiększaj kąt nachylenia równi aż do momentu, gdy klocek zacznie się zsuwać. Zapisz wartość kąta. Współczynnik możesz obliczyć ze wzoru (14), podstawiając za $m$ masę podwieszonych ciężarków.
✔ Zmniejszaj kąt wychylenia równi aż do momentu, gdy klocek zacznie się wsuwać. Zanotuj wartość kąta. Współczynnik tarcia statycznego możesz obliczyć ze wzoru (15) wstawiając za $m'$ masę zwisających ciężarków.
✔ Jeśli nie byłeś w stanie wykonać obu wariantów ćwiczeń (ruch ku dołowi, ruch ku górze) w obu metodach, przeprowadź jeszcze raz doświadczenia zmieniając warunki początkowe, tzn. kąt w pierwszym przypadku oraz masę w drugim.
✔ Powtórz ćwiczenie, przyjmując inną zwisającą masę. Czy otrzymałeś takie same rezultaty?
✔ Używając opcji POKAŻ ROZKŁAD SIŁ możesz sprawdzać, czy uzyskałeś wynik zgodny z faktyczną wartością współczynnika.
✔ Czy jesteś w stanie zaproponować prostszą metodę pomiaru współczynnika tarcia statycznego?