zajęcia otwarte z fizyki

DRUGA ZASADA DYNAMIKI NEWTONA

DOŚWIADCZENIA NA TORZE POWIETRZNYM

Instrukcja dla uczniów szkół ponadpodstawowych

WSTĘP

Celem doświadczenia jest sprawdzenie poprawności drugiej zasady dynamiki Newtona, poprzez wykonanie pomiarów z wykorzystaniem toru powietrznego.

Pod koniec XVII wieku Isaac Newton w dziele *Philosophiae naturalis principia mathematica* przedstawił prawo powszechnego ciążenia oraz prawa ruchu, które są podstawami mechaniki klasycznej. Nazywamy je Zasadami Dynamiki Newtona i można je sformułować w następujący sposób:

I. W inercjalnym układzie odniesienia, jeśli na ciało nie działa żadna siła lub siły działające równoważą się, to ciało pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym.

II. Jeśli siły działające na ciało nie równoważą się, ale są stałe, to ciało porusza się ruchem jednostajnie przyspieszonym, z przyspieszeniem wprost proporcjonalnym do siły wypadkowej, a odwrotnie proporcjonalnym do masy ciała. Kierunek i zwrot przyspieszania jest zgodny z kierunkiem i zwrotem siły wypadkowej. Współczynnikiem proporcjonalności między tymi dwoma wielkościami jest masa.

$$F = ma. \tag{1}$$

III. Jeżeli ciało A działa na ciało B pewną siłą to ciało B działa na ciało A siłą równą, co do wartości i kierunku, lecz przeciwnie zwróconą.

W doświadczeniu zajmiemy się sprawdzeniem poprawności drugiej zasady dynamiki. W pierwszej części sprawdzimy czy w ruchu jednostajnie przyspieszonym, przyspieszenie jest wprost proporcjonalne do działającej siły, natomiast w drugiej, czy jest odwrotnie proporcjonalne do masy.

$$a = F/m. \tag{2}$$

W ruchu jednostajnie przyspieszonym przyspieszenie a jest wprost proporcjonalne do zmiany prędkości Δv i odwrotnie proporcjonalne do zmiany czasu Δt.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}.$$

Nie jesteśmy w stanie bezpośrednio zmierzyć wartości przyspieszenia, dlatego w naszym doświadczeniu będziemy mierzyć drogę przebytą s przez wózek oraz czas trwania ruchu t.

WYDZIAŁ FIZYKI UNIWERSYTET WARSZAWSKI
Polskie Towarzystwo Fizyczne Oddział Warszawski
projekt współfinansuje miasto stołeczne Warszawa

Zależność ta opisana jest wzorem:

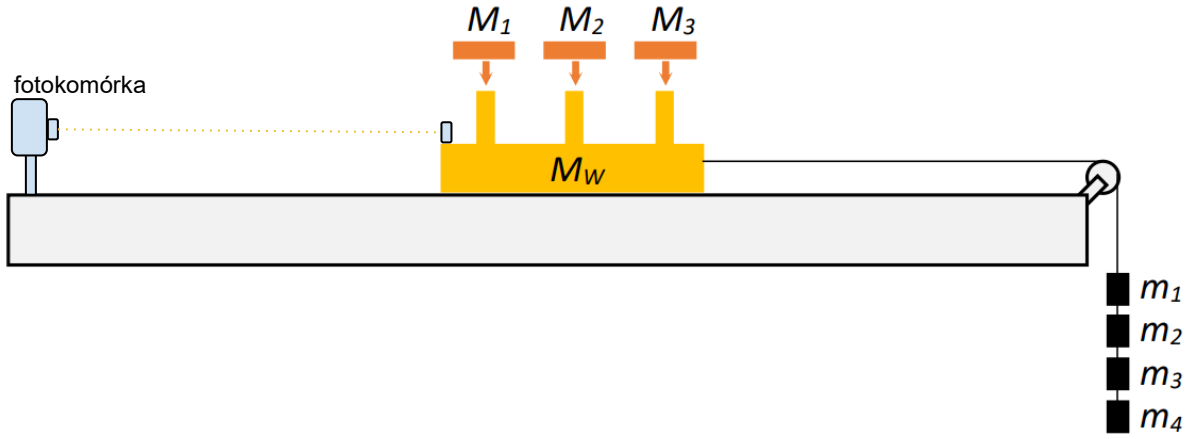
$$s(t) = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2, \qquad (3)$$

gdzie: s_0 - położenie początkowe wózka na torze powietrznym (ruch wózka nie rozpoczyna się przy fotokomórce, jest to właśnie odległość między fotokomórką a położeniem początkowym wózka), v_0 - prędkość początkowa wózka (w naszym przypadku powinna być równa 0), a - przyspieszenie wózka.

POMIARY

Układ pomiarowy składa się z:

- toru powietrznego z zamocowanym na końcu obrotowym bloczkiem,
- wózka z obciążnikami,
- nierozciągliwej nici,
- ciężarków do zawieszenia na nici,
- taśmy mierniczej,
- wagi elektronicznej,
- fotokomórki połączonej bezprzewodowo z komputerem.



Rysunek 1. Schemat układu pomiarowego.

Masy obciążników wózka znajdziesz na schemacie przy stanowisku pomiarowym, dla pewności, korzystając z wagi możesz sprawdzić, czy podane wartości są poprawne.

POMIARY WSTĘPNE

Zważ i zanotuj masy:

- wózka M_W = ……...
- czterech ciężarków (drucików)

m_1 = …… m_2 = …… m_3 = …… m_4 = ……

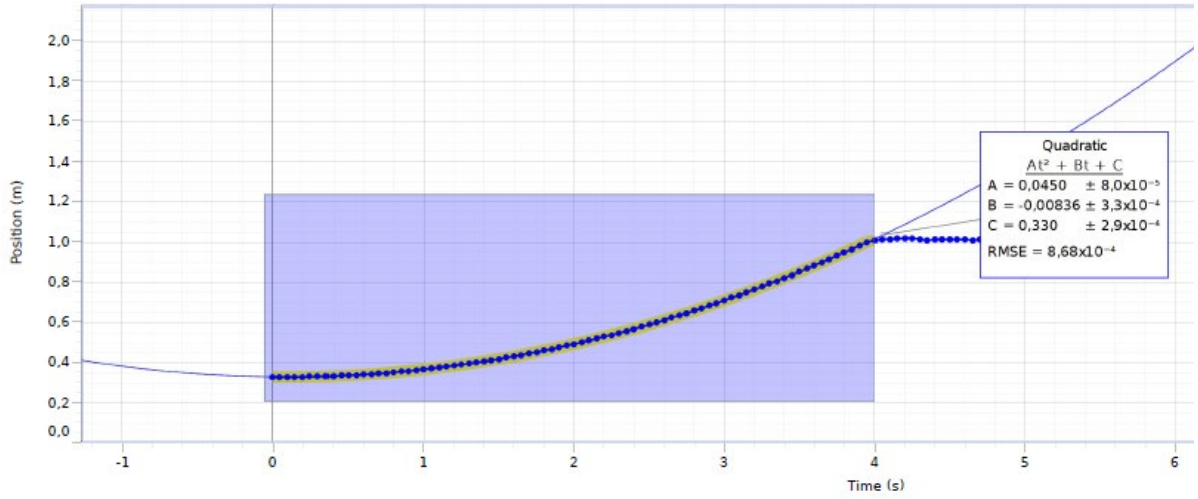
WYDZIAŁ FIZYKI UNIWERSYTET WARSZAWSKI
Polskie Towarzystwo Fizyczne Oddział Warszawski
projekt współfinansuje miasto stołeczne Warszawa

BADANIE PROPORCJONALNOŚCI PRZYSPIESZENIA OD DZIAŁAJĄCEJ SIŁY

Działająca na wózek siła jest równa sile ciężkości zawieszonego na sznurku ciężarka. Aby zmienić siłę działającą na układ wystarczy zmienić masę ciężarków napędzających nasz układ poprzez dokładanie kolejnych ciężarków:

$$F_i = m_i g.$$

W trakcie wykonywania ćwiczenia skorzystaj z programu *PASCO Capstone* zainstalowanego na komputerze, który znajduje się obok toru. Po otworzeniu programu sprawdź czy twoja fotokomórka jest podłączona z programem, w razie problemów poproś o pomoc asystenta. Kliknij w okno z napisem *Sensor data*, aby rejestrować odpowiednie dane. Do wykonania odpowiedniej analizy, niezbędne będą wykresy. Sam musisz zdecydować wykres jakiej zależności będzie najprostszy w analizie; na osi X wybierz *czas*, natomiast na osi Y wybierz *położenie*. Dla przykładu na rysunku 2 zamieszczono wykres zależności drogi od czasu w ruchu jednostajnie przyspieszonym. Po rozpoczęciu pomiaru zwolniono blokadę wózka i puszczono go swobodnie. Czas dojazdu do końca toru wynosił około 4 sekundy, po tym czasie widać brak zmiany położenia. Do przedziału, w którym wózek przyspieszał, dopasowano równanie kwadratowe odpowiadające równaniu (3). Otrzymane parametry równania kwadratowego odpowiadają kolejno A – połowie przyspieszenia wózka, B - prędkości początkowej, C - położeniu początkowemu. Każda z tych wielkości jest podana wraz z jej niepewnością. Zwróć uwagę na wybór odpowiednich jednostek. Najwygodniejsze będzie stosowanie jednostek podstawowych układu SI.



Rysunek 2. Wykres zależności położenia od czasu w ruchu jednostajnie przyspieszonym z dopasowaną krzywą.

Twoim zadaniem jest wykonanie podobnej analizy dla różnych sił rozpędzających wózek. W tej części doświadczenia nie zmieniamy masy wózka, w każdym kolejnym pomiarze zwiększamy siłę działającą na wózek (siłę ciężkości ciężarków) zawieszając na nici kolejne ciężarki. Dla każdego ustawienia wykonujemy 3 pomiary.

WYDZIAŁ FIZYKI UNIWERSYTET WARSZAWSKI
Polskie Towarzystwo Fizyczne Oddział Warszawski
projekt współfinansuje miasto stołeczne Warszawa

Po dopasowaniu odpowiednich krzywych uzupełnij tabelę 1 otrzymanymi parametrami.

Tabela 1. Wyniki pomiarów pierwszej części doświadczenia

masa m ciężarka (kg)	siła F (N) $F=mg$	przyspieszenie z niepewnością $a \pm u$ (m/s^2)	waga $w= 1/u^2$ (s^4/m^2)	średnia wartość przyspieszenia $a_{śr}$ (m/s^2)	niepewność średniej wartości przyspieszenia $u_{aśr}$ (m/s^2)
		±			
		±			
		±			
		±			
		±			
		±			
		±			
		±			
		±			
		±			
		±			
		±			

Mając niepewności wartości przyspieszenia, średnią wartość przyspieszenia możemy obliczyć ze wzoru na średnią ważoną:

$$a_{śr} = \frac{w_1 \cdot a_1 + w_2 \cdot a_2 + w_3 \cdot a_3}{w_1 + w_2 \cdot + w_3},$$

gdzie: a_i - kolejne wartości przyspieszenia, w_i - wagi obliczone z zależności:

$$w_i = \frac{1}{u_i^2},$$

gdzie u_i jest niepewnością przyspieszenia a_i.

Niepewność średniej wartości przyspieszenia obliczymy korzystając z równania:

$$u_a = \frac{1}{\sqrt{w_1^2 + w_2^2 + w_3^2}}.$$

Otrzymane wyniki przedstaw na wykresie na papierze milimetrowym (lub korzystając z programu *PASCO*) w postaci zależności przyspieszenia od siły $a(F)$ i do zgromadzonych danych dopasuj prostą.

Wyznacz równanie tej prostej $y = Ax + B$. Jeśli użyłeś papieru milimetrowego, to na podstawie niepewności zaznaczonych na rysunku oszacuj niepewność dopasowania parametru A.

$A =$ ..... $B =$ .....

Otrzymany współczynnik kierunkowy (A) to odwrotność masy wózka.

$M_W =$ ..... $\frac{1}{A} =$ .....

Czy otrzymane wartości są ze sobą zgodne? Jeśli nie, jaki mogą być tego przyczyny?

BADANIE PROPORCJONALNOŚCI PRZYSPIESZENIA OD ODWROTNOŚCI MASY

Masa wózka jest sumą masy samego wózka, podstawki do obciążenia wózka oraz założonych odważników do obciążenia wózka. Aby zmienić masę wózka wystarczy umieszczać kolejne ciężarki na wózku. Dla wybranej siły działającej na wózek zmieniając kolejno masę wózka wyznacz trzykrotnie przyspieszenie wózka, zapisz je w tabeli 2, podobnie jak w poprzedniej części ćwiczenia.

Otrzymane wyniki przedstaw na wykresie na papierze milimetrowym (lub korzystając z programu *PASCO*) w postaci zależności przyspieszenia od odwrotności masy wózka $a\left(\frac{1}{M}\right)$ i do zgromadzonych danych dopasuj prostą.

Wyznacz równanie tej prostej $y = Ax + B$. Otrzymany współczynnik kierunkowy (A) to siła działająca na wózek. Jeśli użyłeś papieru milimetrowego, to na podstawie niepewności zaznaczonych na rysunku oszacuj niepewność dopasowania parametru A.

$F =$ ..... $A =$ .....

WYDZIAŁ FIZYKI UNIWERSYTET WARSZAWSKI
Polskie Towarzystwo Fizyczne Oddział Warszawski
projekt współfinansuje miasto stołeczne Warszawa

Czy otrzymany współczynnik A jest zgodny ze siłą ciężkości obliczoną na podstawie zmierzonej masy ciężarka? Jeśli nie, to czym może być spowodowana ta nieścisłość?

Tabela 2. Wyniki pomiarów drugiej części doświadczenia

masa M wózka (kg)	odwrotność masy wózka $\frac{1}{M}$ $\left(\frac{1}{\text{kg}}\right)$	przyspieszenie z niepewnością $a \pm u$ (m/s^2)	waga $w = 1/u^2$ (s^4/m^2)	średnia wartość przyspieszenia $a_{śr}$ (m/s^2)	niepewność średniej wartości przyspieszenia $u_{aśr}$ (m/s^2)
		±			
		±			
		±			
		±			
		±			
		±			
		±			
		±			
		±			
		±			
		±			
		±			

Czy na podstawie otrzymanych wykresów i porównanych wartości współczynników z wartościami mierzonymi jesteś w stanie potwierdzić słuszność II zasady dynamiki Newtona?

Opracowanie:
M. Filipek, A. Drabińska

WYDZIAŁ FIZYKI UNIWERSYTET WARSZAWSKI
Polskie Towarzystwo Fizyczne Oddział Warszawski
projekt współfinansuje miasto stołeczne Warszawa