KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Człowiek – najlepsza inwestycja

FENIKS

- długofalowy program odbudowy, popularyzacji i wspomagania fizyki w szkołach w celu rozwijania podstawowych kompetencji naukowo-technicznych, matematycznych i informatycznych uczniów

Pakiet nr 7: Ruch – instrukcje dla uczniów

dr Małgorzata Wysocka-Kunisz

Instytut Fizyki,
Uniwersytet Humanistyczno-Przyrodniczy
Jana Kochanowskiego w Kielcach,
ul. Świętokrzyska 15, 25-406 Kielce

Wersja UJK/1.0

Niniejszy tekst dotyczy realizacji pakietu na UJK. Materiał będzie aktualizowany w miarę poszerzania bazy aparaturowej pracowni uczelnianych.

- *długofalowy program odbudowy, popularyzacji i wspomagania fizyki w szkołach w celu rozwijania podstawowych kompetencji naukowo - technicznych, matematycznych i informatycznych uczniów*

Projekt współfinansowany jest ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Potencjalne zagrożenia, zasady BHP

Przy wykonywaniu wielu ćwiczeń konieczne jest zachowanie szczególnej ostrożności i przestrzeganie zasad bezpieczeństwa. Przy posługiwaniu się źródłami zasilania sieciowego, łatwopalnymi materiałami (np. denaturat lub nafta), grzałkami, gorącymi cieczami występuje zagrożenie dla zdrowia, a nawet życia. Przy wykonywaniu ćwiczeń w pracowniach należy przestrzegać obowiązującego w nich regulaminu BHP. Wykonywanie niektórych doświadczeń w domu jest możliwe, ale tylko po konsultacji z nauczycielem i pod nadzorem osoby dorosłej.

W związku z powyższym zaleca się przestrzeganie następujących zasad:

1) Nie wolno włączać zasilania sieciowego ani uruchamiać przyrządów doświadczalnych bez zgody prowadzącego zajęcia.
2) Elementy zestawów ćwiczeniowych należy łączyć zgodnie ze schematami podanymi w instrukcjach, szczególną uwagę zwracając na poprawność połączeń obwodów elektrycznych.
3) Wszystkie przyrządy i urządzenia należy stosować zgodnie z ich przeznaczeniem i zasadami ich stosowania (podanymi w instrukcjach obsługi). W razie potrzeby stosować rękawice, odzież ochronną lub inne niezbędne środki ochrony osobistej.
4) Należy zachować szczególną ostrożność podczas pracy z:
   a) grzejnikami i ciałami podgrzanymi do wysokiej temperatury,
   b) cieczami łatwopalnymi i odczynnikami chemicznymi,
   c) ostrymi narzędziami lub przedmiotami - w miarę potrzeby stosować rękawice ochronne,
   d) przedmiotami ciężkimi, kruchymi albo łatwo tłukącymi się,
   e) laserem - nie dopuścić do wprowadzenia wiązki światła do nieosłoniętego oka,
   f) izotopami promieniotwórczymi - preparaty należy prawidłowo umieszczać pod licznikiem.
5) Doświadczenia należy wykonywać w pomieszczeniach, w których jest zapewniona właściwa wentylacja.
6) O powstałych w czasie wykonywania ćwiczeń wątpliwościach należy informować prowadzącego zajęcia.

 Taka ikonka znajduje się przy ćwiczeniach wymagających zachowania ostrożności.

Opis toru ruchu

Cel ćwiczenia

………

Niezbędne przedmioty i materiały

Plastikowy krążek z otworami (lub butelka po syropie, recepturki), kreda, tablica.

Przebieg ćwiczenia

- Do obwodu krążka przytwierdzamy kawałek kredy i toczymy krążek po podstawie tablicy tak, by kreda była w ciągłym zetknięciu z powierzchnią tablicy. Obserwujemy pozostawiony przez kredę ślad.
- Mocujemy do tablicy krążek w jego środku z przytwierdzoną do obwodu krążka kredą. Obracamy krążek i obserwujemy ślad.
- Mocujemy kredę w środku krążka i ponownie toczymy krążek po podstawie tablicy tak, by kreda była w ciągłym zetknięciu z powierzchnią tablicy. Obserwujemy pozostawiony przez kredę ślad.

Obserwacje

Narysuj przybliżony wygląd śladu, jaki pozostawiła kreda na tablicy w pierwszej części doświadczenia.

Jak myślisz, w jaki sposób powstał taki kształt śladu?

Jaki ruch wykonuje kawałek kredy?

Jaki ślad pozostawia kreda, gdy obracamy krążek wokół jego środka?

Jaki ślad pozostawia podczas ruchu kreda umieszczona w środku krążka?

Ruch ciał w polu grawitacyjnym

Cel ćwiczenia

……

Niezbędne przedmioty i materiały

Pompa próżniowa, długa szklana (lub plastikowa) rura o długości około 1 m zakończona korkiem z zaworem, drobne przedmioty: piórko, koralik, metalowa kulka, korek itp., które znajdują się również w środku rury.

Przebieg ćwiczenia

- Bierzemy kilka drobnych przedmiotów i wypuszczamy z rąk z wysokości około 2 m. Obserwujemy ich ruch w czasie spadku na podłogę.
- Rurę z przedmiotami w środku obracamy tak, by zaobserwować ruch ciał w rurze w czasie swobodnego spadku. Ponawiamy kilkakrotnie obroty rury i za każdym razem obserwujemy spadające w niej ciała.
- Podłączamy rurę do pompy próżniowej i wypompowujemy z niej powietrze.
- Obracamy rurę kilkakrotnie i obserwujemy spadające ciała.

Obserwacje

W jaki sposób przedmioty spadają w powietrzu?

Co zaobserwowałeś po wypompowaniu powietrza?

Ruch wózka na równi

Cel ćwiczenia

………

Niezbędne przedmioty i materiały

Równia pochyła, wózek, drewniane klocki, gumki recepturki.

Przebieg ćwiczenia

- Na wózku stawiamy klocek na jego boku, o najmniejszej powierzchni.
- Wózek ustawiamy na górze równi pochyłej i delikatnie puszczamy. Obserwujemy zachowanie klocka.
- Na dole, w poprzek równi ustawiamy drugi klocek przeszkodę.
- Ponownie puszczamy wózek z klockiem ze szczytu równi i obserwujemy zachowanie klocka.
- Przymocowujemy klocek do wózka przy pomocy gumek recepturek i powtarzamy doświadczenie ze zderzeniem z przeszkodą.

Obserwacje

Jak zachowuje się klocek, który spokojnie zjeżdża z równi?

Jak zachowuje się klocek w chwili zderzenia z przeszkodą?

Z jakim zjawiskiem masz do czynienia w tym doświadczeniu?

Jaką rolę pełnią gumki, które przytrzymują klocek?

Gdzie znajduje zastosowanie taki wynik obserwacji?

Ruch wahadła na wózku

Cel ćwiczenia

………

Niezbędne przedmioty i materiały

Wózek z zamocowanym statywem w postaci pręta o wysokości około 25 cm, metalowa kulka na sznurku (małe wahadło), bloczek, ciężarki, szalka, równia pochyła, cienki sznurek.

Przebieg ćwiczenia

- Na stole ustawiamy wózek z zawieszonym na statywie wahadłem.
- Do wózka przywiązujemy sznurek, a sznurek przeciągamy przez bloczek przymocowany do krawędzi stołu i obciążamy go szalką.
- Ustawiamy na szalce taką ilość odważników, by wózek poruszał się ruchem jednostajnym i obserwujemy zachowanie wahadła.
- Dokładamy na szalkę odważniki i pozwalamy wózkowi poruszać się ruchem jednostajnie przyspieszonym i w czasie ruchu wózka obserwujemy wahadło.
- Zwiększamy liczbę odważników, a tym samym przyspieszenie wózka i ponownie obserwujemy zachowanie wahadła.
- Ustawiamy wózek z wahadłem na równi pochyłej, nachylonej pod niewielkim kątem i obserwujemy wahadło podczas zjazdu wózka z równi.
- Powtarzamy doświadczenie kilkakrotnie, za każdym razem zwiększając kąt nachylenia równi i obserwujemy wahadło.

Obserwacje

Jak zachowuje się wahadło, gdy wózek porusza się ruchem jednostajnym?

W jaki sposób zachowuje się wahadło w czasie ruchu wózka z przyspieszeniem?

Czy potrafisz wyjaśnić, dlaczego tak się dzieje?

Jak zachowuje się wahadło, gdy wzrasta kąt nachylenia równi? Dlaczego tak się dzieje?

Ruch wahadła przy swobodnym spadku

Cel ćwiczenia

………

Niezbędne przedmioty i materiały

Wahadło matematyczne o długości około 30 cm zawieszone na desce, która może poruszać się wzdłuż metalowych drutów rozciągniętych pionowo (pomiędzy sufitem, a podłogą), duża płaska gąbka jako zabezpieczenie na podłodze, drabina.

⚠ Uwaga! Czynności na wysokości. Zachowaj ostrożność. Zagrożenie upadkiem.

Przebieg ćwiczenia

- Deskę z wahadłem podnosimy wzdłuż drutów do góry używając w tym celu drabiny.
- Kulkę wahadła odchylamy od pionu, wprawiając wahadło w ruch i gdy kulka znajduje się w pozycji największego wychylenia, zwalniamy deskę, na której wisi wahadło. Obserwujemy wahadło w czasie spadku w dół.
- Ponownie podnosimy deskę z wahadłem w górę, powtarzamy doświadczenie, z tym, że teraz zwalniamy deskę, gdy wahadło przechodzi przez położenie równowagi. Obserwujemy wahadło w czasie spadku.

Obserwacje

Jak zachowuje się wahadło, gdy zwolnimy deskę w momencie gdy kulka znajduje się w pozycji największego wychylenia?

Ile wynosi wówczas wartość prędkości kulki względem deski?

Czy potrafisz wyjaśnić takie zachowanie kulki?

Jak zachowuje się wahadło, gdy zawieszenie deski zwalniamy w chwili, gdy kulka wahadła przechodzi przez położenie równowagi?

Jaka jest wówczas wartość prędkości kulki?

Czy potrafisz wyjaśnić zachowanie kulki?

Spadek rozciągniętej sprężyny

Cel ćwiczenia

……

Niezbędne przedmioty i materiały

Spiralna sprężyna ze sprężystego drutu mosiężnego o grubości 2-3 mm, około 20 zwojach i średnicy zwoju około 15 cm, odważniki, duża płaska gąbka jako zabezpieczenie na podłodze, drabina.

⚠ Uwaga! Czynności na wysokości. Zachowaj ostrożność. Zagrożenie upadkiem.

Przebieg ćwiczenia

- Podnosimy spiralę za jeden koniec i obserwujemy ułożenie zwojów.
- Spiralę podnosimy wysoko pod sufit używając w tym celu drabiny (można stanąć na ławce) i upuszczamy ją z góry, obserwując w czasie spadku zwoje sprężyny.
- Doświadczenie możemy powtórzyć obciążając sprężynę obciążnikiem.

Obserwacje

Wyjaśnij przebieg doświadczenia.

Jak spadają przedmioty?

Cel ćwiczenia

………

Niezbędne przedmioty i materiały

Przyrząd do demonstracji niezależności ruchów.

Przebieg ćwiczenia

- Lekko odginamy pionową, metalową, płaską sprężynę i wkładamy kulkę dociskając ją do pionowej listewki znajdującej się na drewnianej deseczce.
- Ustawiamy drugą kulkę na poziomej deseczce tak, aby dotykała z drugiej strony do sprężyny, którą w stanie wygiętym utrzymuje metalowy bolec wysuwany od tylnej strony deseczki.
- Usuwamy bolec i obserwujemy ruch kulek.

Obserwacje

Co słyszysz? Czy kulki spadają jednocześnie?

Jakim ruchem poruszają się kulki?

Wyjaśnij na czym w tym przypadku polega zasada niezależności ruchów.

Równoległobok przemieszczeń

Cel ćwiczenia

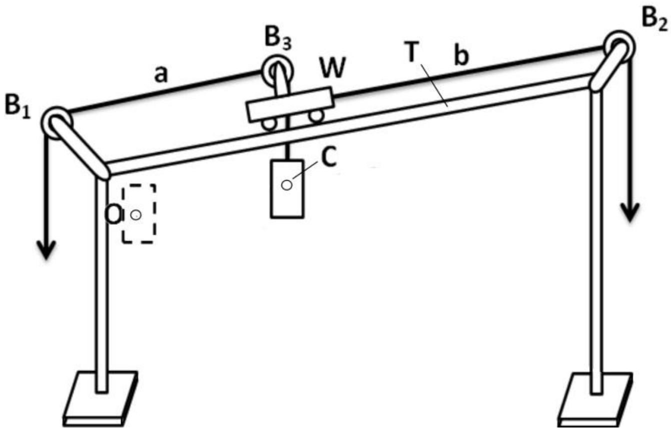
………

Niezbędne przedmioty i materiały

Dwa wysokie statywy z nachylonym do poziomu torem, wózek, bloczki, mocny, cienki sznurek, ciężarek. Doświadczenie wykonuje dwóch uczniów.

Przebieg ćwiczenia

- Stawiamy dwa wysokie statywy w odległości około 100 cm od siebie i umieszczamy pomiędzy nimi nachylony pod pewnym kątem do poziomu tor T (rysunek).



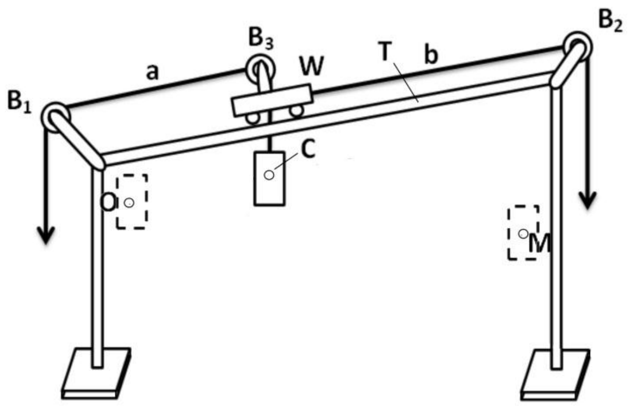
- Na torze ustawiamy wózek W z bloczkiem B_3, przez który przekładamy sznurek **a** z odważnikiem C. Drugi koniec sznurka przekładamy przez bloczek B_1.
- Do wózka przywiązujemy sznurek **b** i przekładamy go przez bloczek B_2.
- Umieszczamy wózek w najniższym miejscu toru i nie zmieniając położenia wózka pozwalamy ciężarkowi swobodnie opadać zwalniając powoli sznurek **a** trzymany w ręce. Obserwujemy ruch ciężarka.
- Powracamy z ciężarkiem do pozycji wyjściowej O ciągnąc go za sznurek przeciągnięty przez bloczek B_1.
- Ciągniemy teraz powoli za sznurek **b** i obserwujemy ruch ciężarka, po czym sprowadzamy wózek ponownie do dolnej pozycji wyjściowej O.

- Teraz równocześnie ciągniemy sznurek **b** (jeden uczeń) i zwalniamy powoli sznurek **a** (drugi uczeń). Oba ruchy należy zgrać, aby była zachowana płynność ruchu ciężarka C. Obserwujemy tor ruchu ciężarka.

Obserwacje

Opisz jaki wynik uzyskujesz wykonując opisane w doświadczeniu czynności.

Opisz, jakie ruchy może jeszcze wykonać ciężarek, by z dolnej pozycji wyjściowej O dotrzeć do pozycji końcowej M. Jak należy poruszać sznurkami?



Paradoksalny ruch środka ciężkości

Cel ćwiczenia

………

Niezbędne przedmioty i materiały

Przyrząd do demonstracji paradoksalnego ruchu środka ciężkości (podwójny stożek, równia zbudowana z dwóch prętów nieznacznie nachylonych do poziomu i rozbieżnych; w miarę wznoszenia się ku górze ich odległość wzrasta).

Przebieg ćwiczenia

- Kładziemy stożek na górze równi i obserwujemy jego ruch.
- Kładziemy stożek na dole równi i obserwujemy jego ruch.

Obserwacje

Wyjaśnij przebieg doświadczenia.

Czy potrafisz powiedzieć, dlaczego tak się dzieje?

Droga w ruchu jednostajnym

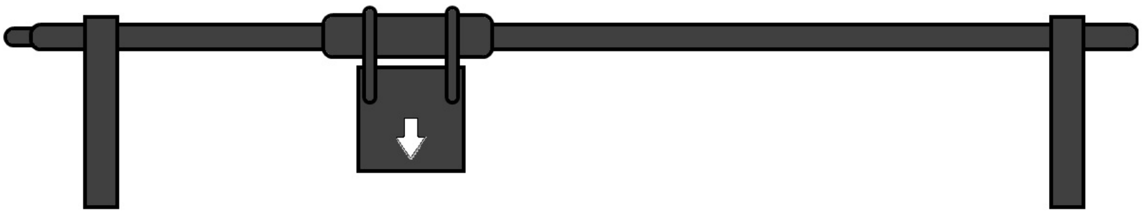
Cel ćwiczenia

……

Niezbędne przedmioty i materiały

Tor powietrzny z wyposażeniem, dmuchawa do toru powietrznego, kroplomierz (lub strzykawka bez tłoczka z krótką igłą), zabarwiona woda, papierowa taśma, linijka, poziomnica, małe, płaskie naczynie, stoper.

⚠ Dmuchawa do toru zasilana napięciem 230 V.



Przebieg ćwiczenia

- Ustawiamy tor powietrzny poziomo wykorzystując poziomnicę i łączymy z dmuchawą.
- Blisko jednego końca toru wieszamy wózek od toru powietrznego, a wzdłuż toru rozciągamy papierową taśmę.
- Do wózka przyczepiamy kroplomierz wypełniony zabarwioną wodą (pod kroplomierzem ustawiamy płaskie naczynie).
- W czasie, gdy wózek jest nieruchomy mierzymy kilkakrotnie odstęp czasu, jaki upływa pomiędzy kolejnymi kroplami oraz wyznaczamy jego wartość średnią (możemy również dopasować wahania taktomierza).
- Przytrzymujemy wózek ręką i włączamy dmuchawę.
- Puszczamy wózek, obserwujemy jego ruch i łapiemy go przy drugim końcu toru.
- Zmieniamy taśmę i trzykrotnie powtarzamy doświadczenie. Przy trzecim pomiarze zmieniamy ustawienie nadmuchu dmuchawy.
- Mierzymy odległości pomiędzy kroplami, a wyniki umieszczamy w tabeli.

Numer pomiaru n	Czas t od początku ruchu w sekundach	Położenie x (mierzone od początku ruchu) w mm, x = s	Droga przebyta w kolejnych przedziałach czasu $\Delta s = x_n - x_{n-1}$ w mm
Seria I			

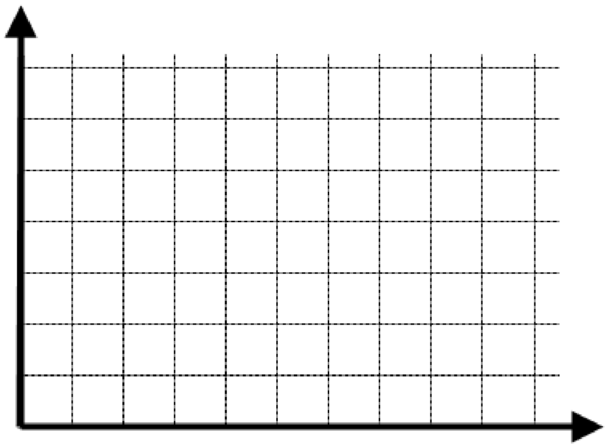
Seria II

Numer pomiaru n	Czas t od początku ruchu w sekundach	Położenie x (mierzone od początku ruchu) w mm, x = s	Droga przebyta w kolejnych przedziałach czasu $\Delta s = x_n - x_{n-1}$ w mm
Seria III			

- Obliczamy wartość średnią drogi przebytej w kolejnych przedziałach czasu dla każdej serii pomiarów.

Obliczenia

- Sporządzamy poniżej wykres zależności drogi przebytej przez wózek w funkcji czasu dla każdej serii pomiarów. (Dokładne wykresy sporządzamy na papierze milimetrowym.)
- Określamy niepewności pomiaru czasu i drogi.



Uzupełnij zdania:

W ruchu jednostajnym prostoliniowym wózek w kolejnych przedziałach czasu przebywa ……………………………… drogi.
Wykresem przebytej drogi od czasu jest ……………………………………………………………… .

Droga i szybkość w ruchu jednostajnym

Cel ćwiczenia

……

Niezbędne przedmioty i materiały

Zestaw do badania ruchu jednostajnego (rurka z pęcherzykiem powietrza, linijka), flamaster, zegarek z sekundnikiem (stoper lub taktomierz).

Przebieg ćwiczenia

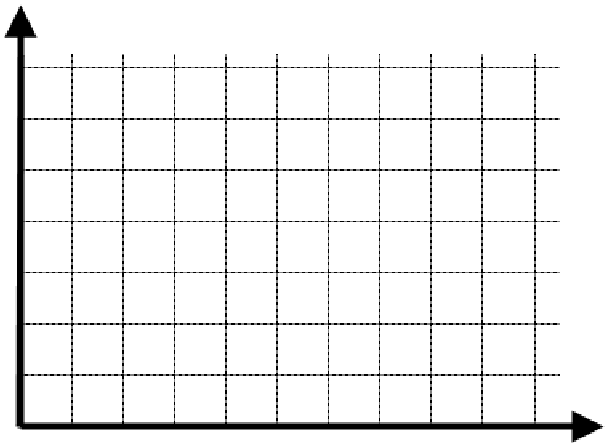
- Pochylamy rurkę i czekamy, aż pęcherzyk powietrza znajdzie się na jednym z jej końców.
- Ustawiamy rurkę pionowo tak, aby pęcherzyk znalazł się na dole.
- W jednakowych odstępach czasu (np. co 2 sekundy) zaznaczamy flamastrem na rurce położenie pęcherzyka (zawsze jego środek lub jeden z końców, ale zawsze ten sam).
- Obracamy rurkę i powtarzamy czynności kilkakrotnie (zaczynamy zawsze od tego samego końca), by jak najdokładniej zaznaczyć punkty na rurce.
- Przykładamy linijkę tak, by zero pokrywało się z pierwszym zaznaczonym punktem.
- Odczytujemy położenia x zaznaczonych punktów, a wyniki zapisujemy w tabeli.

Numer pomiaru n	Czas t od początku ruchu w sekundach	Położenie x w mm	Droga przebyta w kolejnych przedziałach czasu $\Delta s = x_n - x_{n-1}$	Szybkość w kolejnych przedziałach czasu $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$
1				
2				
3				
4				
5				
6				

- Wykonujemy obliczenia i uzupełniamy tabelę.
- Obliczamy szybkość średnią $v_{śr} = \frac{v_1 + \cdots + v_n}{n}$ na podstawie danych z ostatniej kolumny.
- Obliczamy niepewność maksymalną ze wzoru $\Delta v = \frac{v_{max} - v_{min}}{2}$.
- Zapisujemy wynik: $v = v_{śr} \pm \Delta v$.

Obliczenia

- Sporządzamy wykres s(t).



Drogi przebyte przez pęcherzyk powietrza w jednakowych odstępach czasu są …………………………………………… . Szybkości w kolejnych przedziałach czasu są ……………………………………………. . Naniesione na wykres punkty doświadczalne układają się ………………………………………………………………… .

Droga w ruchu jednostajnie przyspieszonym

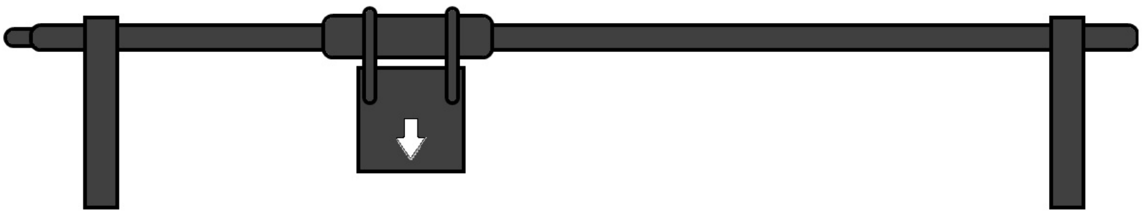
Cel ćwiczenia

....

Niezbędne przedmioty i materiały

Tor powietrzny z wyposażeniem, dmuchawa do toru powietrznego, kroplomierz (lub strzykawka bez tłoczka z krótką igłą), zabarwiona woda, papierowa taśma, linijka, małe, płaskie naczynie, stoper lub taktomierz.

⚠ Urządzenie zasilane napięciem 230 V.



Przebieg ćwiczenia

- Ustawiamy tor powietrzny pod niewielkim kątem do poziomu i łączymy z dmuchawą.
- Blisko podniesionego końca toru wieszamy wózek od toru powietrznego, a wzdłuż toru rozciągamy papierową taśmę.
- Do wózka przyczepiamy kroplomierz wypełniony zabarwioną wodą (pod kroplomierzem ustawiamy płaskie naczynie).
- W czasie, gdy wózek jest nieruchomy mierzymy stoperem kilkakrotnie odstęp czasu, jaki upływa pomiędzy kolejnymi kroplami oraz wyznaczamy jego wartość średnią (możemy również dopasować drgania taktomierza).
- Przytrzymujemy wózek ręką i włączamy dmuchawę.
- Puszczamy wózek, obserwujemy jego ruch i łapiemy go przy drugim końcu toru.
- Zmieniamy taśmę i powtarzamy czynności dla innego kąta nachylenia toru powietrznego.

- Mierzymy odległości pomiędzy kroplami, a wyniki umieszczamy w tabelach.

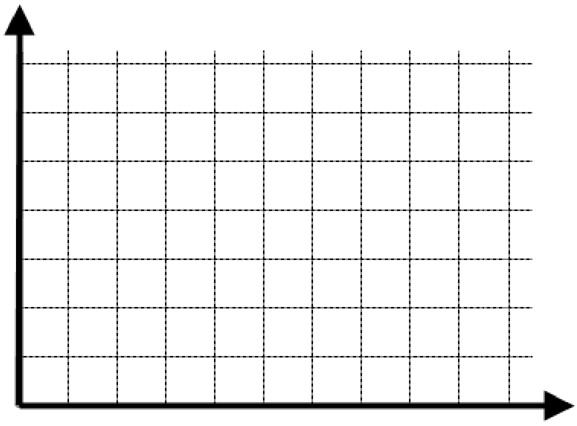
Pomiar dla I kąta nachylenia

Czas t od początku ruchu w sekundach	Położenie x (mierzone od początku ruchu) w cm, x = s	Droga przebyta w kolejnych odstępach czasu Δs w cm

Pomiar dla II kąta nachylenia

Czas t od początku ruchu w sekundach	Położenie x (mierzone od początku ruchu) w cm, x = s	Droga przebyta w kolejnych odstępach czasu Δs w cm

- Sporządzamy wykresy zależności drogi przebytej przez wózek w funkcji czasu (dokładne na papierze milimetrowym) dla każdego kąta nachylenia i określamy niepewności pomiaru czasu i drogi.



Obliczenia i wnioski

Czy potrafisz znaleźć jakieś prawidłowości dla dróg przebywanych w kolejnych odstępach czasu w obserwowanym ruchu?

Droga i przyspieszenie w ruchu jednostajnie przyspieszonym

Cel ćwiczenia

………

Niezbędne przedmioty i materiały

Zestaw do badania ruchu jednostajnego przyspieszonego (aluminiowa rynienka z podziałką, metalowe kulki, szklane kulki), flamaster, zegarek z sekundnikiem (stoper lub taktomierz), drewniany klocek.

Przebieg ćwiczenia

- Podstawiamy pod jeden z końców toru ruchu drewniany klocek.
- Ustawiamy na zerze skali metalową lub szklaną kulkę (tak, aby jej początek lub środek pokrywał się z zerem skali, a później konsekwentnie początek lub środek kulki obserwujemy).
- Włączamy taktomierz (ustawiony np. co 1 sekundę) i słysząc dźwięk puszczamy kulkę, odczytując lub zaznaczając położenie kulki po kolejnych sekundach ruchu.
- Doświadczenie powtarzamy kilka razy, by jak najdokładniej określić położenie kulki w kolejnych chwilach.

  lub
- Włączamy stoper i jednocześnie puszczamy kulkę.
- Zaznaczamy lub odczytujemy położenie kulki po pierwszej sekundzie ruchu.
- Czynność powtarzamy kilka razy tak, by jak najdokładniej określić położenie kulki.
- Następnie kilkakrotnie wyznaczamy położenie kulki po drugiej, trzeciej i kolejnych sekundach ruchu.
- Wyniki pomiarów zapisujemy w tabeli.

Czas t od początku ruchu w sekundach	Położenie x w cm ($s = x$)	Wartość przyspieszenia a w cm/s² $a = \frac{2s}{t^2}$	Droga przebyta w kolejnych odstępach czasu Δs w cm

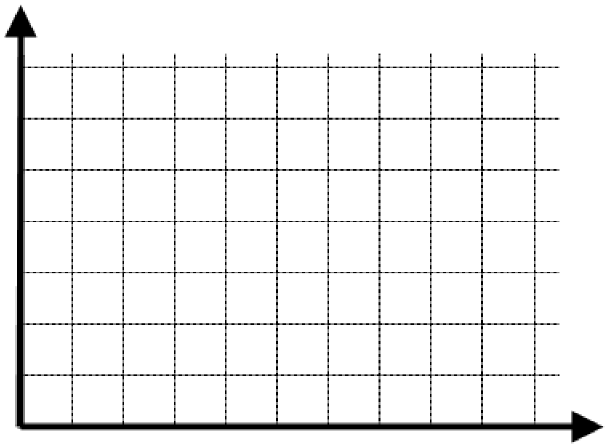
- Wykonujemy obliczenia przyspieszenia w celu uzupełnienia tabeli.

Obliczenia

- Obliczamy średnią wartość przyspieszenia $a_{śr} = \frac{a_1 + \dots + a_n}{n}$.
- Obliczamy niepewność maksymalną ze wzoru $\Delta a = \frac{a_{max} - a_{min}}{2}$.
- Zapisujemy wynik: $a = a_{śr} \pm \Delta a$.

Obliczenia

- Sporządzamy wykres zależności drogi przebytej przez kulkę od początku ruchu s(t).



- Obliczamy stosunek $\Delta s_1 : \Delta s_2 : \Delta s_3 : \ldots$

Napisz co zaobserwowałeś?

Ruch jednostajnie przyspieszony a II zasada dynamiki

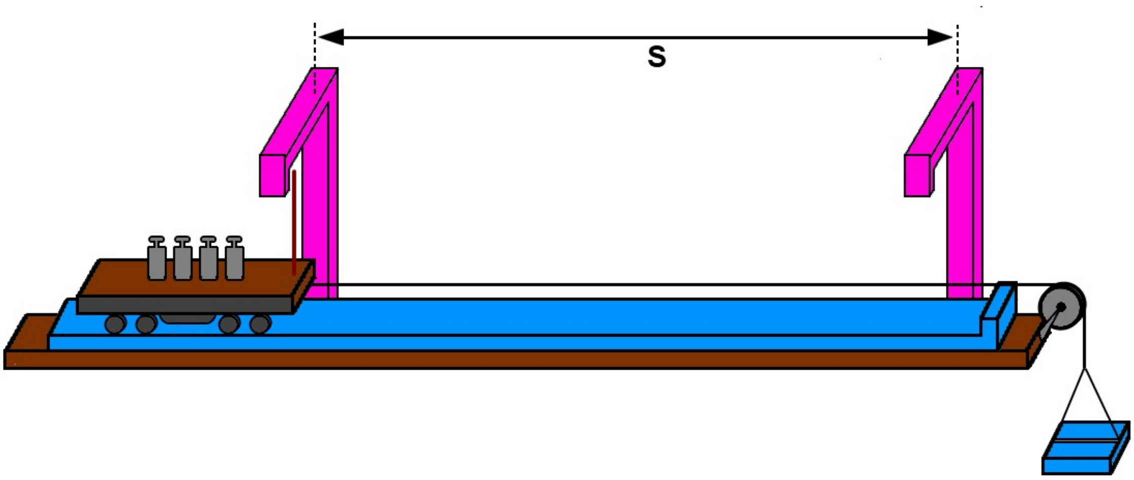
Cel ćwiczenia

………

Niezbędne przedmioty i materiały

Zestaw do mechaniki (ciężki wózek na łożyskach tocznych z zestawu do mechaniki z metalowym pionowym bolcem lub paskiem kartonu, gładki tor, bloczek, sznurek o długości około 2 m, kilka odważników o masie 50 g lub 100 g, zestaw odważników) lub tor powietrzny z wózkiem, czasomierze elektroniczne z fotobramkami, przymiar metrowy, szalka z zestawu do mechaniki, waga, czarny karton, poziomnica.

⚠ Urządzenie zasilane napięciem 230 V.



Przebieg ćwiczenia

I. Wyznaczenie zależności wartości przyspieszenia z jakim porusza się układ o stałej masie od wartości siły, która ten ruch powoduje i sprawdzenie, czy wartość przyspieszenia z jakim porusza się układ jest wprost proporcjonalna do wartości siły będącej przyczyną ruchu.
   - Poziomujemy tor ruchu wózka, tak by ustawiony na nim wózek pozostawał w spoczynku.
   - Przywiązujemy do wózka jeden koniec sznurka, a drugi przeciągamy przez bloczek.

- Do zwisającego końca sznurka przywiązujemy szalkę (można ją zastąpić jednym z odważników z haczykiem).
- Na wózku ustawiamy kilka odważników.
- Na szalce umieszczamy odważnik z zestawu i sprawdzamy czy lekko popchnięty wózek porusza się ruchem jednostajnym.
- Określamy i mierzymy długość drogi, po której będzie poruszał się wózek i ustawiamy fotobramki; pierwszą tuż przed bolcem (lub przyklejonym do wózka kartonem), a drugą na końcu wyznaczonego odcinka drogi.
- Przytrzymujemy wózek i jeden z odważników umieszczonych na nim przekładamy na szalkę (druga osoba).
- Włączamy czasomierze, puszczamy wózek, i mierzymy czas, w którym wózek przebywa wyznaczoną drogę.
- Zapisujemy w tabeli masę m_s przeniesionego odważnika i zmierzony czas.
- Przekładamy kolejno odważniki i za każdym razem mierzymy czas, w którym wózek porusza się na zaznaczonej drodze. Za każdym razem zapisujemy w tabeli sumaryczną masę przełożonych odważników i zmierzony czas ruchu.

Nr pomiaru	Droga s w m	Czas t w s	Przyspieszenie $a = \frac{2s}{t^2}$	Masa odważników m_s w kg	Siła $F = m_s g$ w N	$\frac{a}{F}$ w 1/kg

- Dla każdego z pomiarów obliczamy wartość przyspieszenia $a = \frac{2s}{t^2}$.

Obliczenia

Dla chętnych:

- Określamy niepewności pomiarowe Δs, Δt przyjmując za wartości niepewności wartość działki elementarnej użytego przymiaru i dokładność czasomierza elektronicznego.
- Szacujemy niepewność Δa metodą NKP

$$\Delta a = \frac{a_{max} - a_{min}}{2} = \frac{1}{2}\left[\frac{2(s+\Delta s)}{(t-\Delta T)^2} - \frac{2(s-\Delta s)}{(t+\Delta t)^2}\right]$$

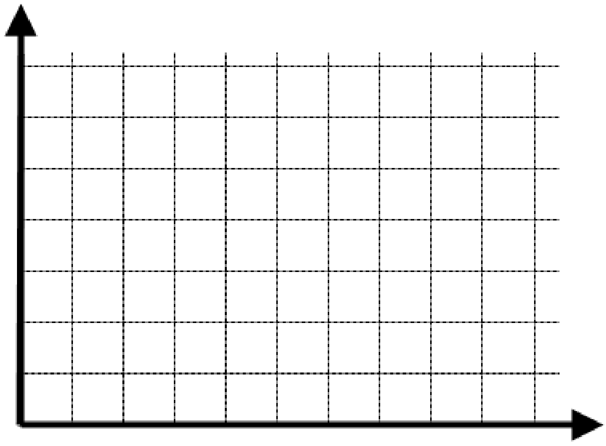
lub UML

$$\frac{\Delta a}{a} = \frac{\Delta s}{s} + s\frac{\Delta t}{t}, \text{ a stąd } \Delta a = a\left(\frac{\Delta s}{s} + s\frac{\Delta t}{t}\right).$$

- Obliczamy wartość siły $F = m_s g$, gdzie g oznacza wartość przyspieszenia ziemskiego.
- Dla każdego z wykonanych pomiarów obliczamy wartość ilorazu $\frac{a}{F}$ i porównujemy te wartości.
- Obliczamy wartość średnią otrzymanych ilorazów.

Obliczenia

- Wartości a oraz F (dla chętnych: wraz z prostokątami niepewności) przedstawiamy w układzie współrzędnych *a, F* i do otrzymanych punktów dopasowujemy graficznie prostą.



II. Wyznaczenie współczynnika proporcjonalności między wartością przyspieszenia z jakim porusza się układ, a wartością siły będącej przyczyną ruchu.

- Wyznaczamy całkowitą masę m układu ważąc razem wózek, szalkę, sznurek, odważniki z wózka i szalki.
- Porównujemy całkowitą masę układu i obliczamy wartość $\frac{1}{m}$ z wartością średnią ilorazu $\frac{a}{F} = \overline{c}$ wyliczoną w poprzedniej części ćwiczenia.
- Określamy na podstawie narysowanego wykresu *a(F)* współczynnik kierunkowy dopasowanej prostej i porównujemy z wartością obliczonego $\frac{1}{m}$.

Obliczenia

Uzupełnij zdanie:

Wynik doświadczenia pokazuje, że przyspieszenie a, z jakim porusza się układ jest wprost proporcjonalne do wartości ……………………………., która ruch ten powoduje, a współczynnik proporcjonalności równy jest odwrotności ……………..………….. układu.

Ruch jednostajny po okręgu

Cel ćwiczenia

………

Niezbędne przedmioty i materiały

Przyrząd do badania ruchu jednostajnego po okręgu (lub plastikowa, metalowa lub szklana rurka o długości około 20 cm, kawałek cienkiego, mocnego sznurka o długości około 1 m, kulka plasteliny o średnicy 3-4 cm, mały spinacz biurowy), linijka, stoper, siłomierze o zakresach (0-3) N i (0-10) N, szpileczka.

⚠ Możliwość uderzenia się. Zachowaj szczególną ostrożność podczas obrotów.

Przebieg ćwiczenia

Doświadczenie wykonuje dwóch uczniów.

Przygotowanie przyrządu:

- Przewlekamy sznurek przez rurkę.
- Na jednym końcu sznurka przywiązujemy spinacz i wokół niego formujemy kulkę z plasteliny. Na drugim końcu sznurka robimy pętelkę.

Wykonanie doświadczenia:

- Za pomocą siłomierza mierzymy wartość ciężaru $F_{c\ kulki}$, a na tej podstawie obliczamy jej masę ($m = F_c / g$).
- Ustalamy promień okręgu r_1, po którym będzie poruszać się kulka.
- Na sznurku przy dolnym końcu rurki wbijamy poziomo szpilkę w celu ustalenia długości promienia i mierzymy linijką r_1 (druga osoba).
- Do dolnej pętelki sznurka zaczepiamy siłomierz i trzymając jedną ręką siłomierz, a drugą rurkę, wprawiamy kulkę w ruch jednostajny po okręgu.
- Odczytujemy wartość siły dośrodkowej $F_{dśw}$, wskazywaną przez siłomierz.
- Wyniki wpisujemy do tabeli.
- Mierzymy czas $t_{1,1}$ trwania 10 obiegów (druga osoba).
- Wyznaczamy okres $T_{1,1} = t_{1,1} /10$ i częstotliwość ruchu $\nu_{1,1} = 1/ T_{1,1}$.

- Nie zmieniając promienia okręgu, zmieniamy częstotliwość i ponownie mierzymy wartość siły dośrodkowej i czas $t_{1,2}$ trwania 10 obiegów.
- Doświadczenie (obie serie pomiarów) powtarzamy dla innego promienia okręgu r_2. Staramy się by okresy ruchów były takie same, ale nie jest to warunek konieczny.

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">Promień okręgu r (m)</th><th colspan="2" rowspan="2">Czas t trwania 10 obiegów (s)</th><th colspan="2" rowspan="2">Okres T (s)</th><th colspan="2" rowspan="2">Częstotliwość ν (1/s)</th><th colspan="2">Siła dośrodkowa (N)</th></tr>
<tr><th>Zmierzona $F_{dśw}$</th><th>Obliczona F_{obl}</th></tr>
<tr><td rowspan="2">r_1</td><td rowspan="2"></td><td>$t_{1,1}$</td><td></td><td>$T_{1,1}$</td><td></td><td>$\nu_{1,1}$</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>$t_{1,2}$</td><td></td><td>$T_{1,2}$</td><td></td><td>$\nu_{1,2}$</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">r_2</td><td rowspan="2"></td><td>$t_{2,1}$</td><td></td><td>$T_{2,1}$</td><td></td><td>$\nu_{2,1}$</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>$t_{2,2}$</td><td></td><td>$T_{2,2}$</td><td></td><td>$\nu_{2,2}$</td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

- Obliczamy wartości siły dośrodkowej dla kolejnych wartości okresu T ze wzoru $F_{obl} = \frac{4\pi^2 mr}{T^2}$.

Obliczenia

Dla chętnych:

- Określamy niepewności pomiarowe: Δr, ΔT, ΔF, Δm.
- Wyznaczamy niepewność F_{obl} metodą NKP

  $$\Delta F_{obl} = 2\pi^2 \left[\frac{(m+\Delta m)(r+\Delta r)}{(T-\Delta T)^2} - \frac{(m-\Delta m)(r-\Delta r)}{(T+\Delta T)^2}\right]$$

  lub UML

  $$\frac{\Delta F}{F_{obl}} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta r}{r} + 2\frac{\Delta T}{T}.$$

- Porównujemy wartości obliczone z wartościami zmierzonymi w poszczególnych przypadkach.
- Dyskutujemy, czy wartości obliczone mieszczą się w granicach niepewności wartości zmierzonych siłomierzem i co jest przyczyną ewentualnych rozbieżności wyników.

Rzut poziomy

Cel ćwiczenia, opis

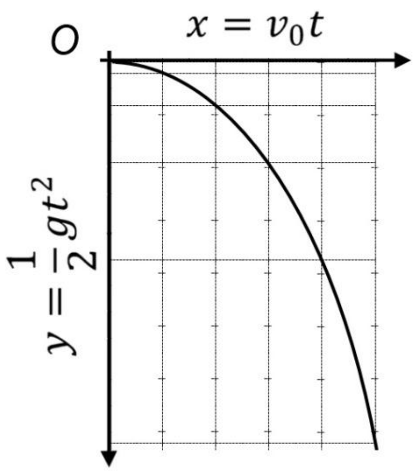
……

Kulce znajdującej się na wysokości H nad podłogą nadajemy prędkość początkową w kierunku poziomym o wartości v_0. Kulka porusza się jednocześnie dwoma ruchami. W kierunku poziomym ruchem jednostajnym z prędkością $\overrightarrow{v_0}$ – zgodnie z pierwszą zasadą dynamiki – gdyż w tym kierunku nie działa na nią żadna siła. W kierunku pionowym kulka spada swobodnie, ponieważ działa na nią siła ciężkości. W każdej chwili ruchu kulka ma dwie prędkości: poziomą $\overrightarrow{v_0}$ i pionową $\vec{g}t$, których wypadkową możemy obliczyć korzystając z twierdzenia Pitagorasa: $v_t = \sqrt{v_0^2 + (gt)^2}$.

Kierunek wektora prędkości v_t, tworzy z poziomem kąt α, którego tangens wynosi $tg\alpha = \frac{gt}{v_0}$.

Jak widzimy z tego wzoru, w miarę upływu czasu rośnie wartość funkcji tangens, a tym samym kąt α. Zmienia się wartość i kierunek prędkości, a to znaczy, że ruch odbywa się po linii krzywej, którą jest gałąź paraboli.

Droga przebyta w czasie t w kierunku poziomym $x = v_0 t$, a w kierunku pionowym $y = \frac{1}{2}gt^2$. Jeśli w ruchu poziomym czas t wyrazimy w zależności od drogi x oraz prędkości v_0, to droga w kierunku pionowym $y = \frac{1}{2}g\frac{x^2}{v_0^2}$. Krzywa będąca obrazem graficznym takiego równania jest parabolą.



W doświadczeniu postaramy się właśnie pokazać, że tor pocisku jest parabolą. W tym celu będziemy mierzyli drogę x w kierunku poziomym i odpowiadającą jej drogę y w kierunku pionowym, tworząc iloraz $\frac{x^2}{y}$. Iloraz ten, w myśl ostatniego równania $\frac{x^2}{y} = \frac{2v_0^2}{g}$ powinien być wielkością stałą (stałe g i v_0).

Niezbędne przedmioty i materiały

Przyrząd do badania rzutu poziomego – pistolet osadzony na statywie, stalowe i drewniane kule, pionowy ekran (tablicę), kreda lub węgiel, przymiar metrowy, kartka w formacie A1 białego lub szarego papieru, flamaster, magnesy lub taśma klejąca.

⚠ Możliwość uderzenia. Zachowaj szczególną ostrożność podczas strzałów z pistoletu.

Przebieg ćwiczenia

- Przed pistoletem ustawiamy tablicę z przymocowaną do niej kartką papieru.
- Zaznaczamy na kartce poziomą linią wysokość, na której znajduje się pistolet (poziom zerowy).
- Odsuwamy tablicę na odległość 30 cm od pistoletu i strzelamy do niej kulą posmarowaną węglem lub kredą. Zaznaczamy, to miejsce flamastrem.
- Nie zmieniając ustawienia pistoletu umieszczamy ekran kolejno w odległościach x = 40, 50, 60 cm (dopóki kulka nie zbliży się do powierzchni podłogi) i za każdym razem strzelamy w tablicę. Zaznaczamy ślady flamastrem.
- Mierzymy odległość y od zaznaczonego poziomu, czyli od zera, dla każdego zaznaczonego śladu, czyli dla każdej odległości ekranu od pistoletu. Wyniki umieszczamy w tabeli.

x w cm	y w cm	x^2	$\frac{x^2}{y}$	Wartość średnia $\frac{x^2}{y}$
30				
40				
50				
60				
70				
80				

- Obliczamy wielkości potrzebne do uzupełnienia tabeli i wartość średnią z wyników w kolumnie $\frac{x^2}{y}$.
- Korzystając z zależności $\frac{x^2}{y} = \frac{2v_0^2}{g}$ obliczamy wartość v_o.
- Określamy niepewności pomiarowe i dyskutujemy, co miało wpływ na wyniki pomiarów.

Obliczenia

Rzut ukośny

Cel ćwiczenia, opis

………

W celu zademonstrowania rzutu ukośnego posłużymy się pistoletem do rzutów, z którego będziemy strzelać rożnymi kulkami. Kulkom będziemy nadawać prędkość początkową $\overrightarrow{v_0}$, pod kątem α do poziomu.

Jeśli prędkość początkową kulki rozłożymy na składowe w kierunkach poziomym i pionowym, to możemy przyjąć, że kulka porusza się równocześnie dwoma ruchami w dwóch kierunkach. Wzdłuż osi x kulka ma prędkość $\overrightarrow{v_{ox}}$, i z tą prędkością oddala się z miejsca wyrzucenia ruchem jednostajnym, gdyż w tym kierunku nie działa żadna siła. Równocześnie porusza się pionowo rzutem pionowym do góry z prędkością początkową $\overrightarrow{v_{oy}}$. Złożenie obu ruchów pozwala obliczyć wielkości opisujące rzut ukośny. Zasięg rzutu x_{max} jest drogą przebytą w czasie, w którym ciało wznosi się w pionie na maksymalną wysokość H i spada, z powrotem na ten sam poziom. Wiemy, że w rzucie pionowym w górę, czas wznoszenia jest równy czasowi spadania $t_s=t_w$, tak więc czas rzutu ukośnego wynosi $2t_s$. Czas spadania swobodnego jest równy $t_s = \frac{v_{oy}}{g} = \frac{v_o sin\alpha}{g}$, wobec tego zasięg rzutu x_{max} wynosi $x_{max} = v_{ox}2t_s = v_o cos\alpha \frac{2v_o sin\alpha}{g} = \frac{2v_o^2 sin\alpha cos\alpha}{g} = \frac{v_o^2 sin2\alpha}{g}$. Maksymalną wysokość, na jaką wzniesie się ciało, obliczamy z zasady zachowania energii $mgH = \frac{mv_{oy}^2}{2}$, skąd $H = \frac{v_o^2 sin^2\alpha}{2g}$.

Niezbędne przedmioty i materiały

Przyrząd do badania rzutu ukośnego – pistolet osadzony na statywie, dwie stalowe kule o różnych masach, drewniana kula, pionowy ekran (tablica), kreda (węgiel), przymiar metrowy, flamaster, kartka papieru.

⚠ Możliwość uderzenia. Zachowaj szczególną ostrożność podczas strzałów z pistoletu.

Przebieg ćwiczenia

- Przed pistoletem ustawiamy tablicę ścieralną (lub tablicę z przymocowaną do niej kartką papieru).
- Ustawiamy pistolet pod kątem 15^0, który jest jednocześnie kątem prędkości początkowej $\overrightarrow{v_0}$ od poziomu.

- Zaznaczamy na kartce poziomą linią wysokość, na której znajduje się wylot lufy pistoletu (poziom zerowy).
- Odsuwamy tablicę na odległość 10-20 cm od pistoletu i strzelamy do niej kulą stalową posmarowaną węglem lub kredą. Zaznaczamy, to miejsce flamastrem i stawiamy liczbę porządkową 1.
- Nie zmieniając kąta ustawienia pistoletu umieszczamy ekran kolejno w odległościach x = 30, 40, 50, 60 cm (dopóki kulka nie zbliży się do powierzchni podłogi) i za każdym razem strzelamy w tablicę. Zaznaczamy ślady flamastrem i przypisujemy punktom kolejne liczby porządkowe.
- Strzelamy raz jeszcze i określamy zasięg rzutu x_{max}.
- Mierzymy odległość y od zaznaczonego poziomu, czyli od zera, dla każdego zaznaczonego śladu, czyli dla każdej odległości ekranu od pistoletu. Wyniki umieszczamy w Tabeli 1.
- Powtarzamy czynności zmieniając kąt ustawienia pistoletu.
- Rysujemy wykresy y(x) na jednym układzie współrzędnych (najlepiej na papierze milimetrowym).
- Na podstawie narysowanych wykresów szacujemy maksymalną wysokość wznoszenia dla każdego kąta pod którym ustawiony był pistolet.

Obliczenia

Tabela 1.

x w cm	y w cm				
	15^0	30^0	45^0	60^0	75^0
10					
20					
30					
40					
50					
60					
70					
x_{max}					
H					

- Ustawiamy kąt na 45^0 i powtarzamy doświadczenie dla trzech różnych kul. Wyniki wpisujemy do Tabeli 2.

Tabela 2.

x w cm	y w cm		
	Kulka ……………..	Kulka ……………..	Kulka ……………..
10			
20			
x_{max}			
H			

- Rysujemy na papierze milimetrowym wykresy y(x) na jednym układzie współrzędnych dla każdej z kulek.
- Na podstawie narysowanych wykresów szacujemy maksymalną wysokość wznoszenia dla każdej kulki.
- Odpowiadamy na pytanie, od czego zależy zasięg rzutu i wysokość wznoszenia oraz dla jakiego kąta zasięg rzutu jest największy.
- Określamy niepewności pomiarowe i dyskutujemy, co miało wpływ na wyniki pomiarów.

Obliczenia i notatki

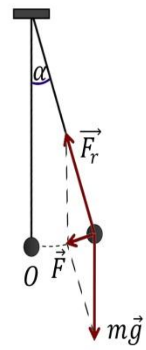
Ruch harmoniczny. Wahadło matematyczne

Cel ćwiczenia, opis

……

Wahadłem matematycznym nazywamy ciało o masie m i o niezmiernie małej objętości (czyli punkt materialny), zawieszone na nieważkiej i nierozciągliwej nici o długości *l.* W praktyce za wahadło matematyczne możemy uznać ciało, którego wymiary liniowe są znacznie mniejsze od długości nici.

W położeniu równowagi ciężar ciała $m\overrightarrow{g}$ zrównoważony jest siłą reakcji nici $\overrightarrow{F_R}$. Jeśli ciało wychylimy z położenia równowagi, te dwie siły już się nie równoważą, a ich wypadkowa $\vec{F}$ powoduje ruch w stronę położenia równowagi. Wartość siły wypadkowej możemy znaleźć porównując trójkąt sił i trójkąt utworzony przez odchyloną o kąt α od pionu nić. Kąty o ramionach odpowiednio równoległych są równe, zatem $\frac{F}{mg} = \sin\alpha$, a stąd $F = mg\sin\alpha$.



Jeśli założymy, że $\sin\alpha \approx \alpha$ (w radianach) dla małych kątów, wtedy $F = mg\alpha$, ale $\alpha = \frac{x}{l}$ (miara łukowa kąta), więc wartość siły $F = mg\frac{x}{l} = \frac{mg}{l}x$.

Jeśli przyjmiemy, że siła $\vec{F}$ jest zwrócona w stronę położenia równowagi, w lewo, więc jej współrzędna F_x jest ujemna $F_x = -F = -\frac{mg}{l}x$. Cały ułamek $\frac{mg}{l}$ jest stały, bo nić jest z założenia nierozciągliwa. Zatem ruch wahadła jest ruchem harmonicznym, przy czym

$\frac{mg}{l} = k$. Teraz możemy łatwo wyliczyć okres drgań takiego wahadła $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}, T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$.

Przy dużych kątach wychylenia wahadło matematyczne nie porusza się ruchem harmonicznym, gdyż $\sin\alpha \neq \alpha$.

Niezbędne przedmioty i materiały

Zestaw z wahadłem matematycznym, stoper, przymiar metrowy.

Przebieg ćwiczenia

- Mierzymy długość nici wahadła od środka kulki do punktu zawieszenia.
- Odchylamy kulkę od położenia równowagi o kąt nie większy niż 5 stopni.

- Puszczamy wahadło i w momencie powrotu do punktu, z którego wahadło startowało włączamy stoper i jednocześnie rozpoczynamy liczenie od zera.
- Mierzymy czas trwania 100 okresów wahadła.
- Pomiary powtarzamy trzykrotnie.
- Doświadczenie powtarzamy dla innego kąta wychylenia i innej długości nici.
- Wyniki zapisujemy w tabeli.

Długość wahadła w mm	Kąt wychylenia wahadła	Czas trwania 100 pełnych wahnięć w s	Okres w s	Średnia wartość T w s	Stosunek l/T^2	Średnia wartość l/T^2	Przyspieszenie ziemskie g
		$t_{11}=$					
		$t_{12}=$					
		$t_{13}=$					
		$t_{21}=$					
		$t_{22}=$					
		$t_{23}=$					
		$t_{31}=$					
		$t_{32}=$					
		$t_{33}=$					

- Przeprowadzamy obliczenia w celu uzupełnienia tabeli i obliczamy wartość g ze wzoru $g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}$.

Obliczenia

- Określamy niepewności pomiarowe Δl i ΔT i szacujemy niepewność pomiaru metodą NKP lub UML (dla zaawansowanych).

Oscylator harmoniczny

Cel ćwiczenia, opis

……

Okres ruchu drgającego ciała zawieszonego na sprężynie jest wprost proporcjonalny do pierwiastka kwadratowego z jego masy i opisany wzorem $T = 2\pi\sqrt{\frac{m_{o+sz}+\frac{1}{3}m_{spr}}{k}}$.

Zgodnie z tym dla danej sprężyny stosunek $\frac{T^2}{m_{o+sz}+\frac{1}{3}m_{spr}} = \frac{4\pi^2}{k} = const.$

Możemy również napisać, że $T^2 = \frac{4\pi^2}{k}\left(m_{o+sz} + \frac{1}{3}m_{spr}\right)$, a stąd

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{k}m_{o+sz} + \frac{4\pi^2}{3k}m_{spr},$$

gdzie:

m_{o+sz} – masa odważnika i szalki,

m_{spr} – masa sprężyny,

k – współczynnik sprężystości sprężyny.

Powyższe równanie ma postać równania prostej w postaci $T^2 = am + b$, skąd możemy obliczyć k i m_{spr} na podstawie wzorów: $a = \frac{4\pi^2}{k}$ i $b = \frac{4\pi^2}{3k}$. Współczynniki a i b można wyliczyć ma podstawie zebranych w tabeli danych metodą regresji liniowej lub na podstawie otrzymanego wykresu pamiętając, że tangens kąta nachylenia otrzymanej prostej równy jest współczynnikowi a, zaś wartość b określa punkt przecięcia prostej z osią Y.

Niezbędne przedmioty i materiały

Sprężyna, odważniki o masie 0,25 kg, przymiar, stoper. Masa szalki m_{sz} wynosi 0,30 kg.

⚠ Ciężkie odważniki i sprężyna. Zachowaj ostrożność w czasie ruchu wahadła i nakładania odważników.

Przebieg ćwiczenia

- Obciążamy szalkę odważnikiem o masie 0,25 kg i mierzymy stoperem czas trwania 20 drgań oscylatora. Stoper włączamy w momencie przejścia szalki przez położenie równowagi i dalej liczymy w momencie kolejnych przejść wahadła przez ten punkt.
- Pomiar powtarzamy trzykrotnie.

- Dokładamy kolejne odważniki aż do 3 kg i wyznaczamy dla każdego obciążenia czas trwania 20 drgań oscylatora.
- Wyniki zapisujemy w Tabeli 1.

Tabela 1.

Masa odważnika m_o w kg	Czas trwania 20 okresów $t_i = 20\ T$ w s			$t_{śr}$	T	T^2	k	m_s
	t_1	t_2	t_3					
0,25								
0,50								
0,75								

- Obliczamy wartości $t_{śr}$, T i T^2 w tabeli w celu narysowania wykresu.

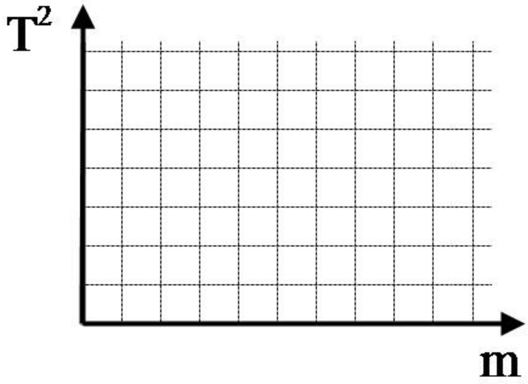
Obliczenia

- W celu zbadania zależności amplitudy drgań od czasu trwania ruchu, dla stałej masy obciążamy szalkę masą m_0 = 2 kg i mierzymy amplitudę drgań A od czasu t = 0 do 20 min. Wartości t i A rejestrujemy co 20 s w przedziale 0 - 3 min., pozostałe pomiary odczytujemy co 1 min. Amplituda początkowa A_0 powinna wynosić w przybliżeniu 10 cm. Pomiary zapisujemy w Tabeli 2.

Tabela 2.

Lp.	Czas t	Amplituda A w cm
	20 s	
	40 s	
	60 s	
	80 s	
	100 s	
	120 s	
	140 s	
	160 s	
	180 s	
	4 min = 240 s	
	5 min = 300 s	
	20 min = 1200 s	

- Na podstawie danych z Tabeli 1 sporządzamy wykres $T^2 = f(m)$ (najlepiej na papierze milimetrowym). Uwzględniamy masę szalki ($m = m_{o+sz}$).

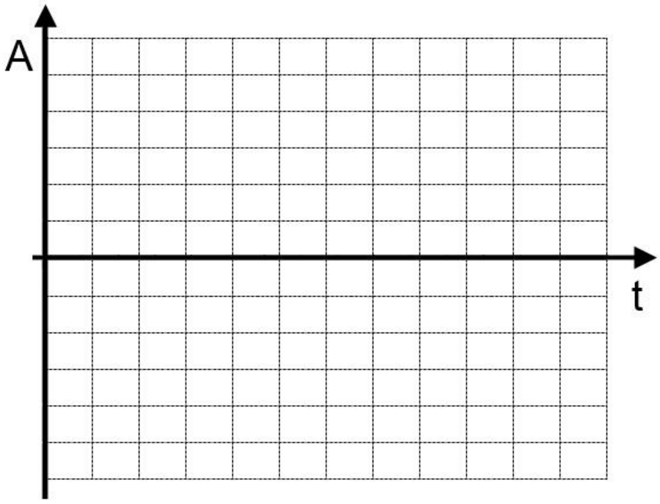


- Wiedząc, że zależność na wykresie opisana jest równaniem $T^2 = am + b$ obliczamy na podstawie wykresu współczynniki kierunkowe prostej (a i b).

  Bardziej zaawansowani mogą na podstawie danych z tabeli, wyznaczyć współczynniki a i b metodą regresji liniowej (można obliczenia wykonać, z użyciem gotowych formuł, na kalkulatorze).

Obliczenia

- Znając wartość współczynnika a obliczamy stałą k sprężyny (korzystamy ze wzoru $a = \frac{4\pi^2}{k}$) i uzupełniamy Tabelę 1.
- Znając wartość współczynnika b i stałą k obliczamy masę efektywną sprężyny m_s i uzupełniamy Tabelę 1.
- Sporządzamy wykres A = f(t) (najlepiej na papierze milimetrowym).



- Określamy niepewności pomiarowe.

Obliczenia

Wahadło fizyczne

Cel ćwiczenia, opis

………

Wahadłem fizycznym nazywamy dowolną bryłę sztywną zawieszoną na poziomej osi nie przechodzącej przez jej środek masy. Jeżeli bryłę taką odchylimy od położenia równowagi o niewielki kąt, to poruszać się będzie ruchem wahadłowym, harmonicznym o pewnym okresie T, przy czym siłą decydującą o ruchu będzie ciężar wahadła przyłożony do jego środka ciężkości. Ruch wahadłowy bryły możemy uważać za szczególny przypadek ruchu obrotowego zmiennego według praw ruchu harmonicznego.

Dla wahadła fizycznego stosuje się taki sam wzór na okres wahań jak dla wahadła matematycznego $T = 2\pi\sqrt{\frac{l_0}{g}}$, z tą różnicą, że l_o we wzorze oznacza długość wahadła matematycznego, które jest zsynchronizowane w czasie z wahadłem fizycznym. Jest to tzw. długość zredukowana.

Wahadło rewersyjne to specjalnie skonstruowane wahadło fizyczne, które pozwala na dokładny pomiar l_o.

Możemy udowodnić, że jeżeli w wahadle fizycznym środek wahań A uczynimy osią obrotu, to punkt O, czyli poprzednia oś obrotu, stanie się obecnie środkiem wahań, to okresy drgań w obu przypadkach będą jednakowe ($T_O = T_A$). Niech C będzie środkiem masy układu leżącym na prostej OA. Na podstawie twierdzenia Steinera moment bezwładności względem osi O określa wyrażenie $I_0 = I_c + ma^2$, gdzie I_c oznacza moment bezwładności względem osi przechodzącej przez środek masy. Okres wahań względem osi O możemy zapisać w postaci $T_O = 2\pi\sqrt{\frac{I_c+ma^2}{mga}}$, gdzie a jest odległością środka masy C od osi obrotu. Jeśli zawiesimy wahadło na osi przechodzącej przez punkt A, to okres $T_A = 2\pi\sqrt{\frac{I_c+mb^2}{mgb}}$, gdzie b jest odległością środka masy od punktu zawieszenia. Jeśli na podstawie przeprowadzonych pomiarów okresy spełniają równość $T_O = T_A$ to po porównaniu wzorów otrzymamy $I_c(a-b) = mab(a-b)$. Równanie to wyznacza takie położenie środka masy wahadła, które zapewnia równość okresów. Jest to możliwe, gdy $a = b$ (środek masy w połowie długości odcinka OA; mało prawdopodobne dla wahadła rewersyjnego, dlatego nie bierzemy go pod uwagę) lub $a \neq b$ i otrzymujemy po skróceniu przez $(a - b)$, że $I_c = mab$. Po podstawieniu tej zależności do wzorów na okresy znajdujemy $T_A = T_O = 2\pi\sqrt{\frac{a+b}{g}}$.

Zależność ta stwierdza, że okres wahań wahadła fizycznego jest taki sam, jak okres wahań wahadła zredukowanego długości $l_o = a + b$.

Wahadło rewersyjne jest to ciało sztywne, mające takie dwie osie obrotu I i II, że okresy wahań względem nich są jednakowe. Znajdując doświadczalnie wzajemną odległość tych osi oraz okres wahań wahadła względem każdej z nich, wyznaczamy przyspieszenie ziemskie według wzoru

$$g = \frac{4\pi^2(a+b)}{T^2},$$

gdzie $l = a + b$ jest długością wahadła zredukowanego.

Wahadło rewersyjne to ciężka, długa, stalowa sztaba z podziałką, na której znajdują się dwa ruchome, ciężkie, metalowe dyski (soczewki). Jedną z nich (mniejszą) pozostawiamy nieruchomą, a drugą przesuwamy wzdłuż sztaby i odczytujemy jej położenie. Przez przesuwanie soczewki zmieniamy położenie środka masy wahadła, a więc i okres wahadła. Osie obrotu I i II, to nieruchomo zamocowane pryzmaty znajdujące się w stałej od siebie odległości, którą mierzymy z dużą dokładnością (zwykle jest po prostu podana). Przesuwając dużą soczewkę i zmieniając osie obrotu znajdujemy takie położenie soczewek, przy którym okresy wahań względem obu osi są jednakowe.

Niezbędne przedmioty i materiały

Wahadło rewersyjne, stoper, długa linijka, papier milimetrowy.

⚠ Bardzo ciężki przedmiot. Zachowaj szczególną ostrożność przy zmianie zawieszenia wahadła.

Przebieg ćwiczenia

- Wyznaczamy odległość *d* między ostrzami.
- Zawieszamy wahadło na ostrzu I.
- Przesuwamy ruchomą masę (soczewkę) na odległość 10 cm od osi obrotu wahadła i wyznaczyć czas 20 pełnych wahnięć *t*. Wynik zapisujemy w Tabeli 1.
- Obliczamy okres jednego wahnięcia $T_{11} = t / 20$.
- Przesuwamy soczewkę na odległość 20 cm i ponownie wyznaczamy czas 20 wahnięć.
- Powtarzamy czynności przesuwając soczewkę co 10 cm, aż do 90 cm i wyznaczamy za każdym razem czas dwudziestu wahnięć. Uzupełniamy Tabelę 1.

Tabela 1

Położenie masy *b* (cm)	Zawieszenie I		Zawieszenie II	
	Czas trwania 20 okresów (s)	Okres wahań (s)	Czas trwania 20 okresów (s)	Okres wahań (s)
10				
20				
30				
40				
50				
60				
70				
80				
90				

- Obliczamy okresy wahań T_{12} , T_{13} , T_{14} , ... itd.
- Zawieszamy wahadło na ostrzu II i powtarzamy pomiary zmieniając położenie dużej soczewki co 10 cm.
- Obliczamy okresy wahań T_{21} ,T_{22} , T_{23} , ... itd.
- Sporządzamy na papierze milimetrowym (w jednym układzie współrzędnych) wykresy zależności okresów wahań od położenia *b* ruchomej masy *T(b)*, dla zawieszenia na ostrzu I i na ostrzu II.
- Odczytujemy współrzędną b_0 (odciętą) miejsca przecięcia wykreślonych krzywych wyznaczającą takie położenie mas, przy których odległość między ostrzami *d* jest długością zredukowaną *l* wahadła rewersyjnego.
- Odczytujemy współrzędną T_0 (rzędna) punktu przecięcia krzywych wyznaczającą okres wahadła rewersyjnego.
- Wyznaczamy ponownie czas 100 wahnięć (t_I i t_{II}) przy zawieszeniu na ostrzu I i na ostrzu II dla położenia mas odpowiadającemu punktowi b_0 i obliczamy odpowiednie okresy T_I i T_{II}. Uzupełniamy Tabelę 2.
- Obliczamy wartość średnią $T_{śr}$.
- Obliczamy przyspieszenie ziemskie *g*.

Tabela 2

Zawieszenie I		Zawieszenie II	
Czas trwania 100 okresów t_I (s)	Okres wahań T_I (s)	Czas trwania 100 okresów t_{II} (s)	Okres wahań T_{II} (s)
$T_{\acute{s}r} = \frac{T_I + T_{II}}{2}$			
$g = \frac{4\pi^2 l}{T_{\acute{s}r}^2}$			

Obliczenia

Dla zaawansowanych:

- Określamy niepewności pomiarowe pomiarów bezpośrednich.
- Szacujemy niepewność pomiaru metodą najmniej korzystnego przypadku (NKP) lub uproszczoną metodą logarytmiczną (UML).
- Odpowiadamy na pytanie, jakie czynniki wpływają na wartość niepewności pomiarowej i jakie są sposoby jej zmniejszenia?

Obliczenia

Zasada zachowania momentu pędu w ruchu po okręgu

Cel ćwiczenia, opis

……

Opis dla zaawansowanych

Siły wewnętrzne nie mogą zmienić całkowitego momentu pędu układu ciał. Jeśli nie zadziała zewnętrzny moment siły, to całkowity moment pędu układu pozostaje stały.

Słuszność zasady zachowania momentu pędu sprawdzimy obserwując mały ciężarek poruszający się w płaszczyźnie poziomej po okręgu o dość dużym promieniu o promieniu r_1 z prędkością liniową v_1, odpowiadającą prędkości kątowej ω_1. Po pewnym czasie ciągniemy sznurek w dół, zmniejszając promień okręgu, po którym krąży ciężarek. Siła F działająca za pośrednictwem sznurka na ciężarek, nie może zmienić jego momentu pędu, ponieważ jej moment względem osi pionowej (wzdłuż rurki, przez którą przeciągnięty jest sznurek) jest równy zero. Jeśli promień okręgu zataczanego przez ciężarek zmniejszy się do wartości r_2, wartość prędkości liniowej wzrośnie do v_2, a wartość prędkości kątowej do ω_2.

Wartości energii kinetycznych odpowiadające prędkościom v_1 i v_2 można przedstawić w następujący sposób:

$E_{k1} = \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}mr_1^2\omega_1^2 = \frac{1}{1}I_1\omega_1^2$, $E_{k2} = \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2}mr_2^2\omega_2^2 = \frac{1}{1}I_2\omega_2^2$

Momenty pędu wynoszą:

$L_1 = r_1mv_1 = mr_1^2\omega_1 = I_1\omega_1$, a $L_2 = r_2mv_2 = mr_2^2\omega_2 = I_2\omega_2$

Ponieważ moment pędu nie zmieni się $L_1 = L_2$, więc po porównaniu powyższych równań można napisać:

$r_1mv_1 = r_2mv_2$, a stąd $v_2 = \frac{r_1}{r_2}v_1$

lub $I_1\omega_1 = I_2\omega_2$, a $\omega_2 = \frac{I_1}{I_2}\omega_1$.

Stosunek energii kinetycznych wynosi:

$\frac{E_{k2}}{E_{k1}} = (\frac{r_1}{r_2})^2 = \frac{I_1}{I_2}$. Wartość energii kinetycznej wzrośnie $(\frac{r_1}{r_2})^2 = \frac{I_1}{I_2}$ razy.

Siła F nie zmienia momentu pędu, ale wykonując pracę związaną ze zbliżeniem ciężarka do osi obrotu, zwiększa jego energię kinetyczną.

Niezbędne przedmioty i materiały

Przyrząd do badania ruchu po okręgu (lub plastikowa rurka o długości około 20 cm, kawałek cienkiego, mocnego sznurka o długości około 1 m, kulka stalowa, mały ciężarek lub nakrętki).

⚠ Możliwość uderzenia się. Zachowaj szczególną ostrożność podczas obrotów.

Przebieg ćwiczenia

- Mały ciężarek przyczepiamy do sznurka.
- Sznurek przeciągamy przez rurkę i przytrzymujemy pod rurką.
- Poruszamy rurką tak, aby ciężarek zaczął krążyć w płaszczyźnie poziomej po okręgu o dość dużym promieniu.
- Następnie zmniejszamy promień, po którym krąży ciężarek pociągając sznurek w dół i obserwujemy ciężarek.

Obserwacje

Opisz przebieg doświadczenia.

Uzupełnij zdanie:

Zauważamy, że w miarę zmniejszania promienia okręgu po którym krąży ciężarek prędkość liniowa i kątowa ciężarka ……………………………... .

Dla zaawansowanych

Wyjaśnij i uzasadnij przebieg doświadczenia korzystając z informacji i wzorów przedstawionych w opisie ćwiczenia.

Zasada zachowania momentu pędu na obrotowym stoliku

Cel ćwiczenia, opis

………

Opis dla zaawansowanych

Zaobserwujemy konsekwencje zasady zachowania momentu pędu w sytuacji, gdy siły wewnętrzne mogą zmieniać moment bezwładności bryły (oczywiście nie jest ona wtedy bryłą sztywną). Człowiek, trzymający w rozłożonych rękach hantle, stojący na stoliku (lub siedzący na fotelu) może obracać się z małym tarciem dookoła pionowej osi. Działając zewnętrznym momentem siły, wprawiamy stolik wraz z człowiekiem w ruch obrotowy z niezbyt wielką prędkością kątową ω_1. Wartość momentu pędu nadanego układowi (stolik z człowiekiem i ciężarkami) wyniesie: $L_1 = I_1\omega_1$. Następnie obracający się człowiek przyciąga do tułowia ręce z hantlami, zmniejszając tym samym moment bezwładności układu do wartości I_2. Zauważymy znaczny wzrost wartości prędkości kątowej do $\omega_2 > \omega_1$. Wartość momentu pędu $L_2 = I_2\omega_2$. Ponieważ w trakcie ruchu nie działał na układ żaden zewnętrzny moment sił (z wyjątkiem nieznacznego momentu siły oporów ruchu, który powoli zmniejsza moment pędu całego układu), zasadę zachowania momentu pędu możemy zapisać: $L_1 = L_2$, a stąd $I_1\omega_1 = I_2\omega_2$. Przekształcając wzór możemy wyliczyć wartość prędkości kątowej:

$$\omega_2 = \frac{I_1}{I_2}\omega_1.$$

Ponieważ $I_1 > I_2$ i $\omega_2 > \omega_1$ możemy powiedzieć, że przy zmniejszaniu momentu bezwładności rośnie wartość prędkości kątowej układu.

Niezbędne przedmioty i materiały

Stolik obrotowy lub fotel obrotowy, hantle, dwóch uczniów.

⚠ Możliwość przewrócenia. Zachowaj szczególną ostrożność podczas obrotów na stoliku obrotowym.

Przebieg ćwiczenia

- Wchodzimy na stolik obrotowy (lub siadamy na krześle obrotowym).
- Bierzemy do rąk hantle i trzymając je rozkładamy ręce na ich całą szerokość.
- Wprawiamy stolik wraz z uczniem w ruch obrotowy z niewielką prędkością (tę czynność wykonuje druga osoba).

- Zachowując ostrożność przyciągamy w trakcie obracania się ręce z hantlami do tułowia, a po chwili ponownie rozkładamy ręce. Czynności te powtarzamy jeszcze dwa razy.
- Obserwujemy obroty ucznia stojącego na stoliku.

Obserwacje

Opisz, co zaobserwowałeś.

Dla zaawansowanych

Wyjaśnij i uzasadnij przebieg doświadczenia korzystając z informacji i wzorów przedstawionych w opisie ćwiczenia.

Notatki

Notatki

Notatki