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

Dr hab. Czesław Kizowski
Instytut Fizyki, Uniwersytet Rzeszowski
Aleja Tadeusza Rejtana 16A, 35-959 Rzeszów

http://feniks.ujk.kielce.pl

http://fonon.univ.rzeszow.pl

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

Spis treści

S.7.01

Dlaczego jednocześnie możesz być w stanie spoczynku i ruchu?

Lista niezbędnych przedmiotów i materiałów:

Stolik uczniowski, czasomierze, 2 wahadła matematyczne (kulki uwiązane na nitkach),pręt o długości około 2m.

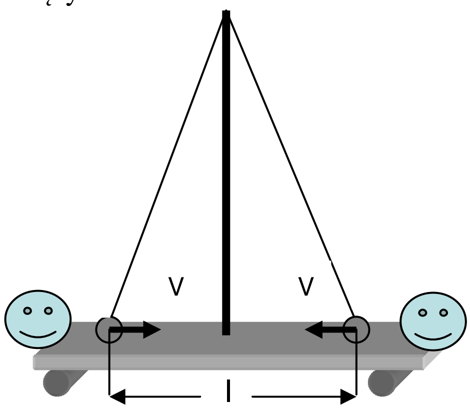
Procedura przeprowadzenia ćwiczenia, szacunkowy czas trwania: 60 min

Część 1 ćwiczenia

Na przymocowanym do blatu stolika uczniowskiego, pręcie o długości około 2m, wiszą na nitkach dwie kulki. Na stoliku siadają dwaj uczniowie.(rys.1.1).

Wychylają kulki odpowiednio do punktów 1 i 2 (kąty wychylenia są jednakowe) i puszczają je, mierząc jednocześnie czas, po którym kula 1 znajdzie w punkcie 2, zaś 2 w punkcie 1. Okazuje się, że kulki docierają do punktów 1 i 2 w jednakowym czasie (odstępy czasu między chwilą wypuszczenia i ich dotarciem do przeciwległych punktów są jednakowe).

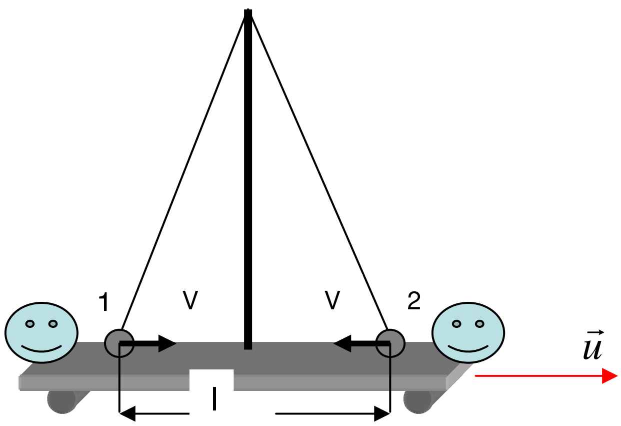
Wniosek: W układzie związanym ze stolikiem każda z kulek ma do przebycia taką samą drogę, i kulki docierają do siedzących uczniów równocześnie.



Rys.1.1 Przykład z ilustracji pokazuje prosty przypadek względności.

Część 2 ćwiczenia

Przesuwamy stolik z prędkością $\vec{u}$ względem klasy (rys.1.2). Siedzący na stoliku uczniowie wykonują czynności jak w punkcie 1.Uzyskane wyniki są identyczne z wynikami z eksperymentu 1.

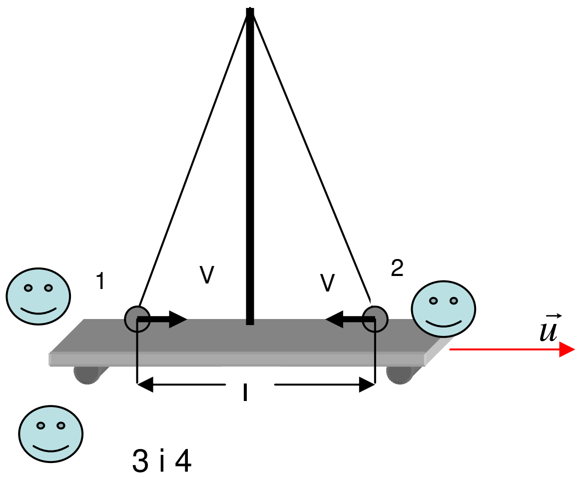


Rys.1.2.Co obserwują uczniowie siedzący na stoliku?

Wniosek: W układzie związanym ze stolikiem (porusza się on względem klasy z prędkością u) każda z kulek ma do przebycia taką samą drogę, i kulki docierają do siedzących uczniów równocześnie.

Część 3 ćwiczenia

Przesuwamy stolik z prędkością $\vec{u}$ względem klasy. Siedzący na stoliku uczniowie wykonują czynności jak w punkcie 1. Dodatkowo dwóch uczniów 3 i 4 , pozostających w spoczynku względem klasy obserwuje zachowanie się kulek.



Rys.1.3.Co mierzą uczniowie 3 i 4

Wyniki: W układzie związanym z klasą kulki docierają do siedzących uczniów równocześnie.
Uogólnienie wniosków:

Odstępy czasu między chwilą puszczenia kulek i ich dotarciem do siedzących uczniów na stoliku są takie same, tzn. kulki równocześnie puszczone dotrą do siedzących uczniów równocześnie w układach związanych z stolikiem i klasą.

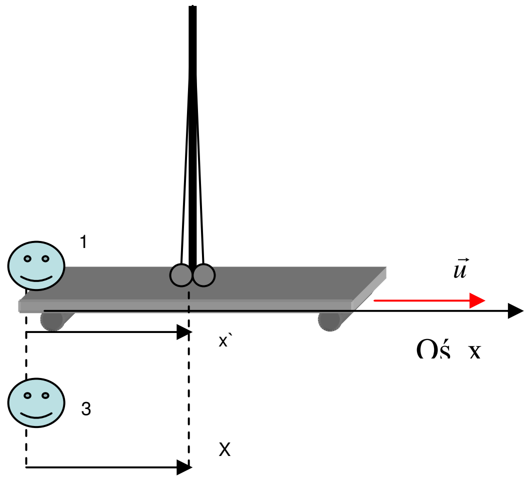
Ten fakt zauważył Galileusz i na jego podstawie formułował koncepcję absolutnego czasu, czasu płynącego tak samo dla wszystkich obserwatorów .

Część 4 ćwiczenia

Przesuwamy stolik z prędkością $\vec{u}$ względem klasy. Siedzący na stoliku uczeń 1 i stojący obok 3 obserwują kulki.

Prędkość kulki względem ucznia 1 wynosi zero, zaś względem ucznia 3 wynosi u.

Przesuwamy stolik z prędkością $\vec{u}$ względem klasy. Siedzący na stoliku uczeń 1 i stojący obok 3 obserwują kulki.



Rys.1.4 Dwa układy odniesienia

Prędkość kulki względem ucznia 1 wynosi zero, zaś względem ucznia 3 wynosi $\vec{u}$.

Wnioski: Jeżeli przyjmiemy, że zdarzenie czasoprzestrzenne w układzie inercjalnym związanym z uczniem stojącym 3 opisane jest przez współrzędne *x i t*, a w układzie inercjalnym przemieszczającym się 1 z prędkością u w kierunku osi x, są to odpowiednio *x'* i *t'*, to transformacja współrzędnych będzie opisana układem równań:

$$\begin{aligned} x' &= x - u \cdot t \\ t' &= t \end{aligned} \qquad (1)$$

Przy czym w chwili początkowej $t = 0$ początki obu układów odniesienia pokrywały się.

Powyższa transformacja (Galileusza) pozwala przeliczyć te same obserwacje dla różnych układów odniesienia. Transformacja Galileusza prowadzi do wniosku, że prędkości postrzegane przez różnych obserwatorów nie muszą być takie same, ale niezmienne pozostają odległości między punktami i odstępy czasu pomiędzy wydarzeniami.

Można, więc stwierdzić,

Wszystkie układy odniesienia poruszające się względem siebie ze stałą prędkością są równoważne.

Matematyczna postać transformacji Galileusza

Transformacja Galileusza wiąże współrzędne punktu w dwu układach odniesienia współrzędne x i x' równaniami:

$$x \to x' + u \cdot t + x_0 \qquad (2)$$

$$t \to t' + t_0 \qquad (3)$$

$$\begin{aligned} y &= y' \\ z &= z' \end{aligned} \qquad (4)$$

x , x' ,y ,y'., z, z' są współrzędnymi punktu **P** w jednym i drugim układzie współrzędnych, *u* jest prędkością, z jaką poruszają się dwa układy względem siebie.

Zbiór transformacji Galileusza tworzy grupę nazywaną grupą Galileusza. Z transformacji Galileusza wynika prawo składania prędkości.

$$\vec{v}' = \vec{v} - \vec{u} \qquad (5)$$

S.7.02

Koń ciągnie wóz i inne oddziaływania.

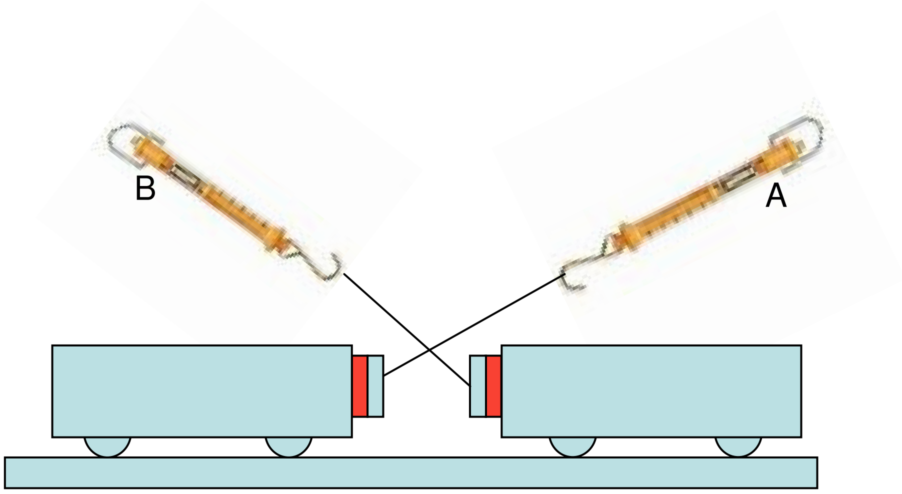
Lista niezbędnych przedmiotów i materiałów

Wózki, siłomierze, magnesy, waga laboratoryjna

Procedura przeprowadzenia ćwiczenia, szacunkowy czas trwania:

Część 1 ćwiczenia:

Magnesy przymocuj z przodu wózków. Wózki powinny się odpychać. Do każdego z wózków przymocuj siłomierz tak jak na rysunku. Ustaw wózki na szybie bądź na torze powietrznym. Gdy pociągniemy siłomierz zauważymy, że zarówno lewy jak i prawy wózek zaczną się poruszać. Dołączmy drugi siłomierz do prawego wózka. Staraj się teraz zbliżyć wózki do siebie. Obserwuj wskazania siłomierzy.



Rys.2.1 Pokaz oddziaływania wózków. Obserwuj wskazania siłomierzy.

Siłomierze pokazują siły o tej samej wartości. Zauważ, że każda z sił ma inny punkt przyłożenia. Wózek lewy jest odpychany przez wózek prawy i tę siłę pokazuje siłomierz A.

Wózek prawy jest odpychany przez wózek lewy i tę siłę pokazuje siłomierz B.

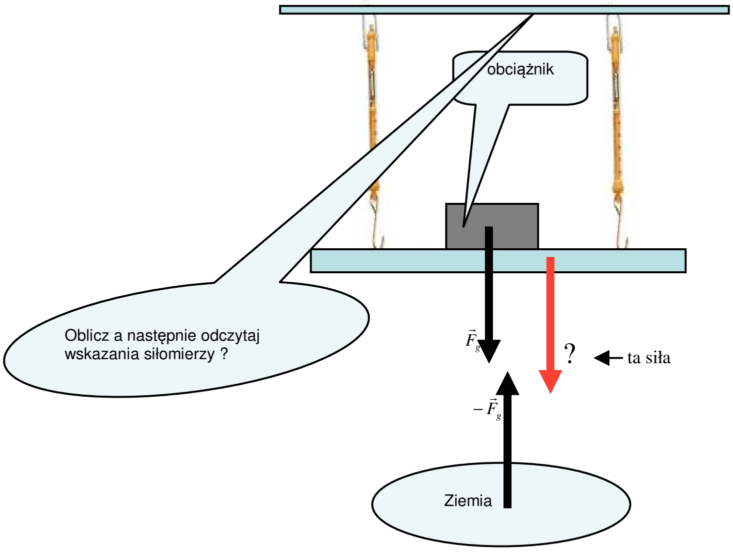
Wózki odpychają się siłami o jednakowych wartościach, ale o przeciwnym zwrotach.

Część 2 ćwiczenia: *Czy to też III zasada?*

Zestaw układ doświadczalny jak pokazuje rysunku niżej

Na poziomym pręcie umocowanym w statywach umocuj dwa siłomierze o zakresie 10N każdy (rys 2.2).Drugi koniec siłomierzy przywiąż do drewnianej deseczki. Na deseczce umieść obciążnik o masie 1kg.Oblicz, a następnie odczytaj wskazania siłomierzy?

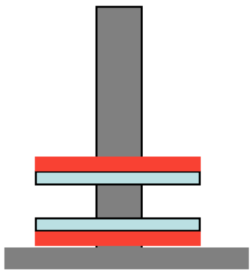
Zastanów się, czy wiesz, w jakim celu przygotowano dla Ciebie ten eksperyment?



Rys.2.2 Schemat doświadczenia

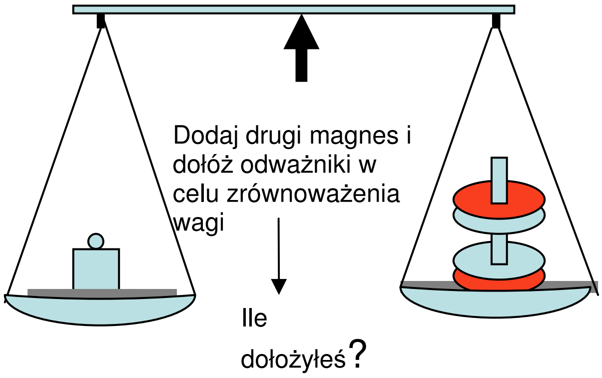
Część 3 ćwiczenia *Zastosuj III zasadę dynamiki*

Na podstawkę wykonana z drewna lub plastiku włóż dwa magnesy tak jak pokazuje rysunek 2.3. Magnesy odpychają się, ale pozostają względem siebie w spoczynku.



Rys.2.3 Pokaz oddziaływania magnesów

Następnie zważ górny magnes – tylko górny i zanotuj wartość.
Wreszcie na wagę połóż dolny magnes wraz z podstawką i zważ- zanotuj wartość.



Rys.2.4 Równoważenie wagi

Dyskusja zasad fizycznych demonstrowanych w ćwiczeniu:

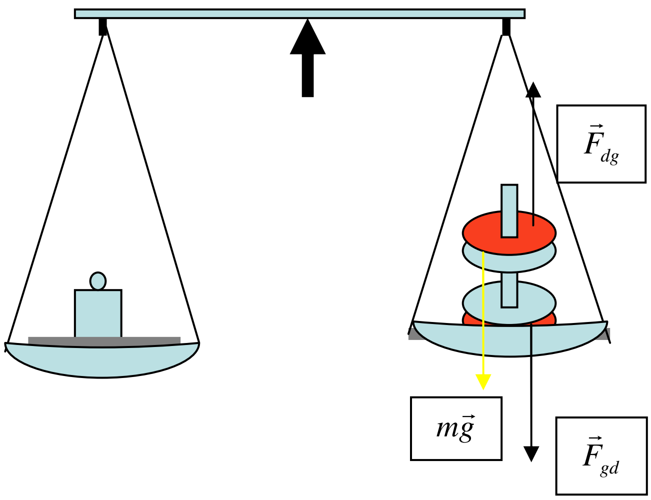
Część 2 ćwiczenia:

Jeżeli słuszna jest III zasada dynamiki to Ziemia przyciąga obciążnik o masie m siłą $\vec{F}_g$ zaś obciążnik Ziemię siłą $-\vec{F}_g$ i wartości tych sił są jednakowe. Jednocześnie obciążnik naciska na deseczkę pewną siłą i jeżeli pozostaje w spoczynku tu musi na niego działać siła o wartości F_{ig}, lecz przeciwnie zwrócona. Oczywiście wartość siły, z jaką naciska obciążnik na deseczkę wskazują siłomierze (od wartości siły wskazywanej przez siłomierze należy odjąć wartość siły ciężkości deseczki).

Ostatecznie można sformułować wniosek:, jeżeli obciążnik działa na deseczkę siłą {(na rysunku zaznaczona kolorem czerwonym). Dodać należy, że siła ta jest przyłożona do deseczki}, to deseczka oddziałuje na obciążnik siłą o tej samej wartości, lecz przeciwnie zwróconą. Dodajemy siła ta jest przyłożona do obciążnika.

Cześć 3 ćwiczenia

Kopiujemy rysunek 2.5 i zaznaczamy działające siły na układ złożony z wagi i magnesów.



Rys.2.5 Dolny magnes wraz z podstawką działa na wagę siłą ciężaru (podstawka + magnes).

Wkładając drugi magnes na podstawkę powodujemy oddziaływanie (odpychanie się) obu magnesów. Magnes dolny działa na górny siłą $\vec{F}_{dg}$, której wartość jest równa ciężarowi magnesu górnego $m\vec{g}$.

Górny magnes działa na dolny siłą $\vec{F}_{gd}$, której wartość należy wyznaczyć. Zauważamy, że stan równowagi uległ zmianie.

Aby przywrócić stan równowagi dokładamy na lewą szalkę obciążnik o masie m.

Możemywięc wysnuć wniosek:

> *Magnesy oddziałują(odpychają się) na siebie siłami równymi, co do wartości, lecz przeciwnie zwróconymi.*

S.7.03

Przyspieszenie czy prędkość - II zasada dynamiki

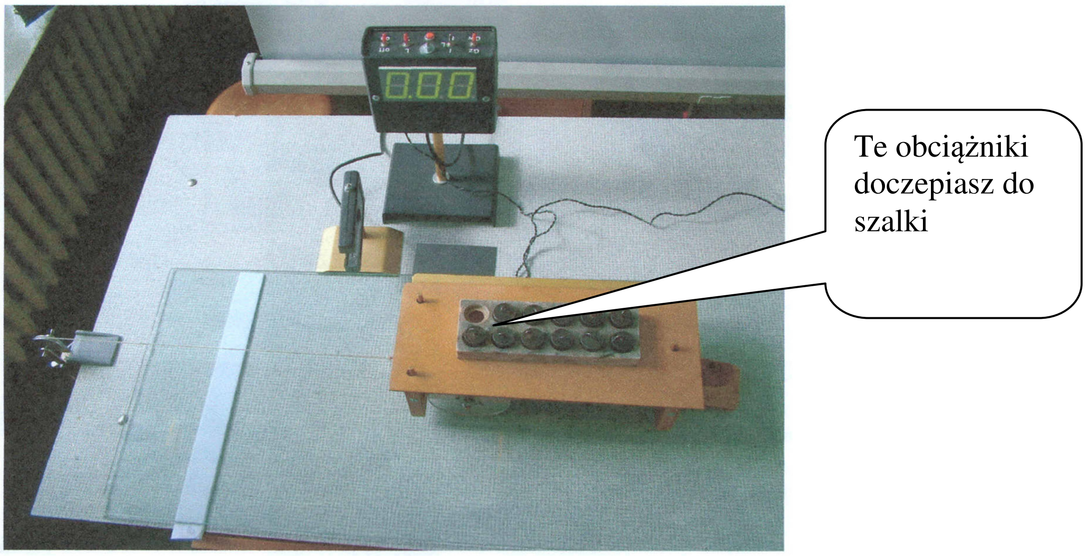
Lista niezbędnych przedmiotów i materiałów:

Tor powietrzny, wózki do toru, czasomierze, przymiar milimetrowy, szyba szklana, obciążniki, waga , odważniki, sznurek, poziomica.

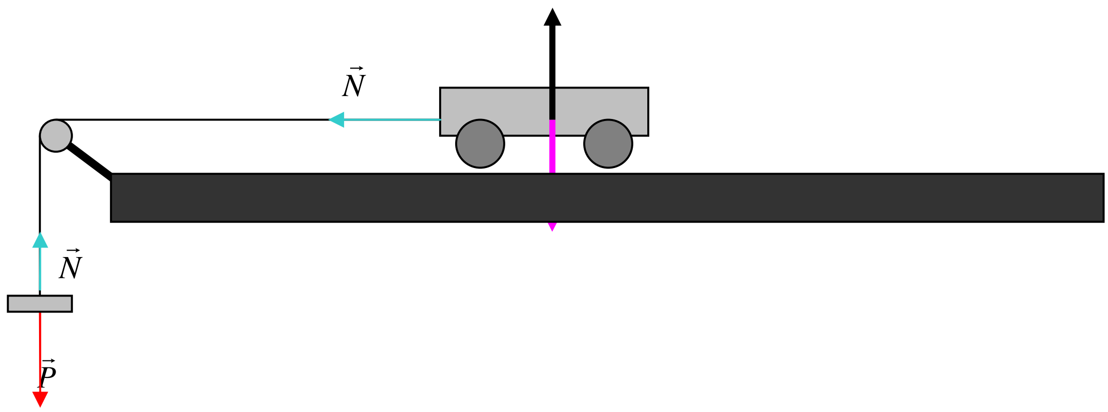
Procedura przeprowadzenia ćwiczenia, szacunkowy czas trwania:

Część 1 ćwiczenia:

Na szybie połóż wózek .Przyjmij stały odcinek drogi (np. 10 cm), dla którego będziesz dokonywać pomiarów. Zwiększ dwukrotnie, a potem trzykrotnie siłę działająca na wózek, doczepiając kolejno po jednym obciążniku. Wózek, szalka i leżące na nich odważniki stanowią układ ciał o pewnej masie(należy ją wyznaczyć), która ma być stała podczas doświadczenia. Zmontuj układ jak na zdjęciu.



Rys.3.1.Zdjęcie zestawu doświadczalnego



Rys.3.2 Zasada pomiaru i działania zestawu doświadczalnego

Na wózek o masie M działa tylko siła naprężenia nitki $\vec{N}$ i nadaje mu przyspieszenie $\vec{a}$, wobec tego napiszemy $\vec{N} = M\,\vec{a}$, (6)

Na szalkę działają siły $\vec{P}$ i $\vec{N}$, które nadają jej przyspieszenie $\vec{a}$ i wobec tego także można napisać, że $\vec{P} + \vec{N} = m\vec{a}$ (7)

Wstawiając (7) do (7) i uwzględniając fakt, że $N = Ma$ i $P - N = ma$ otrzymujemy

$P - Ma = ma$ (8)

Wpraw wózek w ruch, odczytuj i zapisuj w tabeli czas przejścia odcinka drogi dla kolejnych wartości obciążników.

Lp.	S, m	P, N	t, s	$a = \frac{1}{M+m} \cdot P$	$a = \frac{2S}{t^2}$
1. 2. 3.					

Tabela3.1 Tabela pomiarów

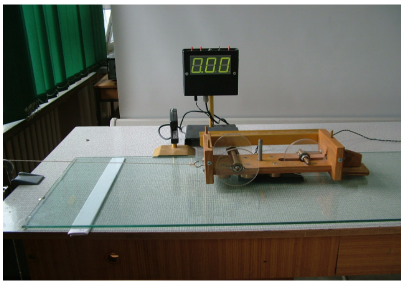
Zauważ, że (po pominięciu błędów pomiaru), jeżeli wartość siły zwiększyła się dwukrotnie to wartość przyspieszenie również zwiększyła się dwukrotnie. Gdy wartość siły zwiększyła się trzykrotnie to, wartość przyspieszenia wzrosła też trzykrotnie. itd .Można stwierdzić, że:

$$\vec{a} = \frac{1}{m} \cdot \vec{F} \qquad (9)$$

Przyspieszenie jest wprost proporcjonalne do działającej siły. Kierunek i zwrot przyspieszenia jest zgodny z kierunkiem i zwrotem działającej siły

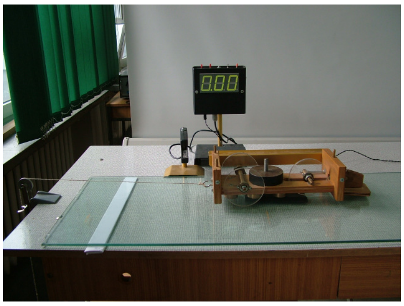
Część 2 ćwiczenia

Wprowadzanie pojęcie masy



m_1

Na szybie połóż wózek .
Przyjmij stały odcinek drogi (np. 10 cm), dla którego będziesz dokonywać pomiarów. Na szalce umieść obciążnik. Zmontuj układ jak na zdjęciu.
Zwiększ dwukrotnie, a potem trzykrotnie masę wózka. Wyznacz wartość przyspieszenia dla tych trzech przypadków.



m_2

Oblicz następujące wyrażenia

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1} \qquad \frac{m_1}{m_3} = \frac{a_3}{a_1} \qquad \frac{m_2}{m_3} = \frac{a_3}{a_2}$$

m_3

Stosunek wartości przyspieszeń ciał jest równy odwrotnemu stosunkowi ich mas.

$$m_1 a_1 = m_2 a_2 = m_3 a_3$$

Rys.3.3 Zdjęcie układu doświadczalnego

Pusty wózek uzyskał największe przyspieszenie, zaś ten, który miał dwa obciążniki najmniejsze. I tak jest zawsze niezależnie od ilości obciążników, które je zmuszają do ruchu (oczywiście do każdego podłączamy tyle samo obciążników). Każdy z wózków posiada pewną cechę jakościową, która je odróżnia od innych. Tę cechę nazywamy bezwładnością. Bezwładność jest jakościową cechą każdego ciała.

Z bezwładnością związana jest wielkość zwana masą.

Ciało o większej bezwładności ma większą masę, a więc to ciało, które uzyskało mniejsze przyspieszenie ma większą masę: Czyli masa wózka z 2 obciążnikami była trzy razy większa od masy wózka pustego. Jest to sposób ilościowy porównywania mas dwóch ciał.

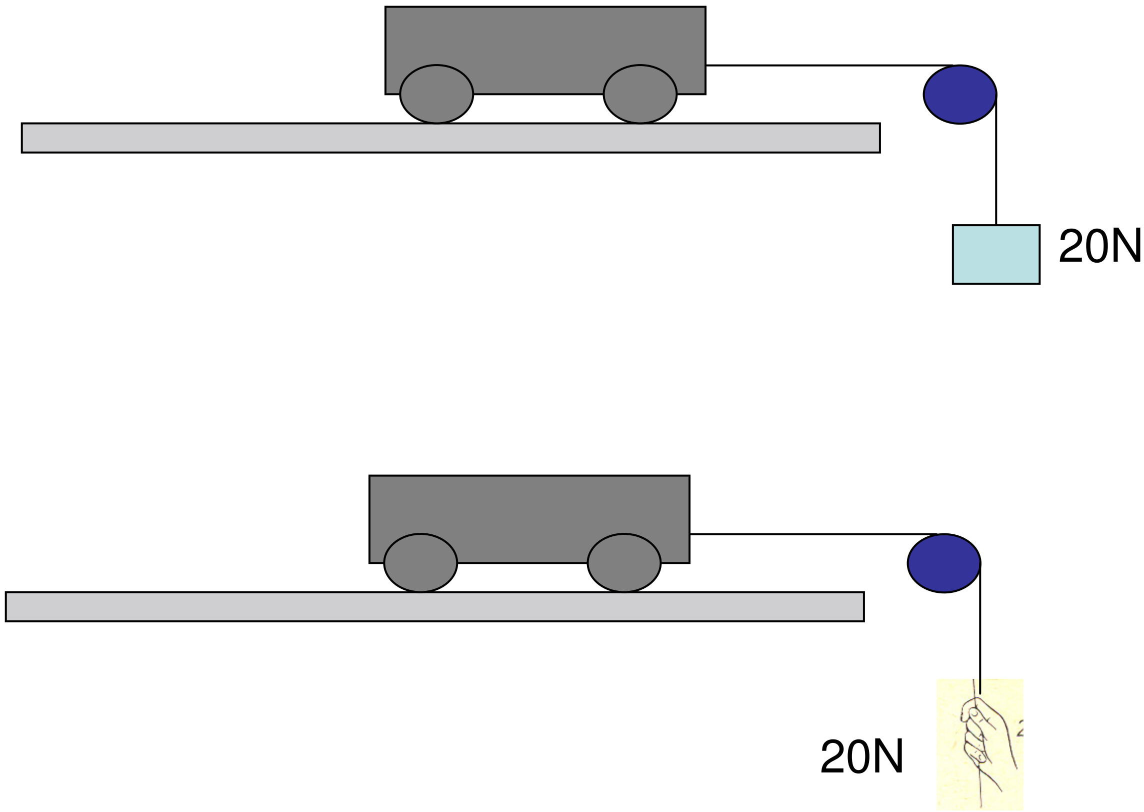
Wprowadzając jednostkę masy, np. 1kg, za którą przyjmuje się masę wzorca, możemy wyznaczyć masę każdego ciała w kilogramach.

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1} \qquad (10)$$

W tym przypadku prawo fizyczne wzajemnego oddziaływania, a mianowicie stały dla danej pary ciał stosunek wartości przyspieszeń, jakie uzyskują ciała na skutek oddziaływania jest podstawą wprowadzenia nowej wielkości fizycznej – masy .

Przykład sprawdzający :

Drugie prawo Newtona głosi, że jednakowe siły nadają ciałom o równych masach równe przyspieszenia. Dlaczego w takim razie prędkość wózka przedstawionego w górnej części rysunku poniżej zwiększa się wolniej, niż wózka przedstawionego w dolnej części rysunku, mino, że masy wózków są sobie równe? [24]



Rys.3.4 Wózki uzyskują różne przyspieszenia

Odpowiedź: W obu przypadkach siła wprawiająca w ruch wynosi 20N. Jednak w drugim przypadku nadaje ona przyspieszenie tylko wózkowi, podczas gdy w pierwszym – ciężar odważnika wprawia w ruch nie tylko wózek, ale i odważnik

I jeszcze jeden przykład [25]

Samochód wyścigowy jest wyposażony w odpowiedni silnik. Naciskając maksymalnie pedał gazu, kierowca powoduje działanie na samochód siły zwanej siłą ciągu. Dlaczego ten samochód nie może osiągnąć dowolnie dużej szybkości?

Aby zrozumieć ruch samochodu, spróbuj odpowiedzieć na kilka pytań:

1. Czy siła ciągu jest jedyną siłą działającą na ten samochód ?
2. Czy z własnych doświadczeń życiowych wiemy, od czego zależy wartość siły oporu powietrza?
3. Jak zmienia się wartość siły oporu powietrza ze wzrostem szybkości samochodu?
4. Jakim ruchem porusza się samochód?

S.7.04

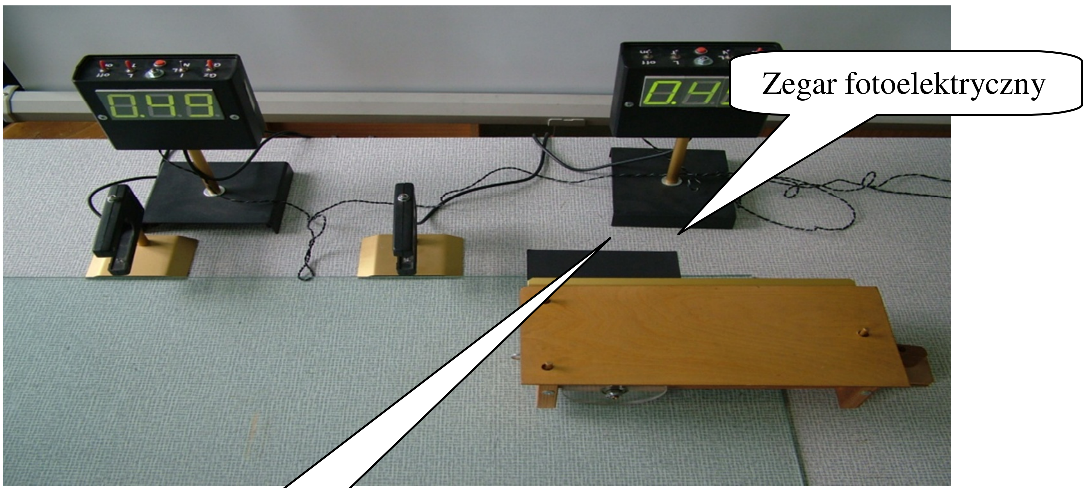
Prędkość poruszającego się ciała jest stała. - Wypadkowa sił wynosi zero?

Lista niezbędnych przedmiotów i materiałów:

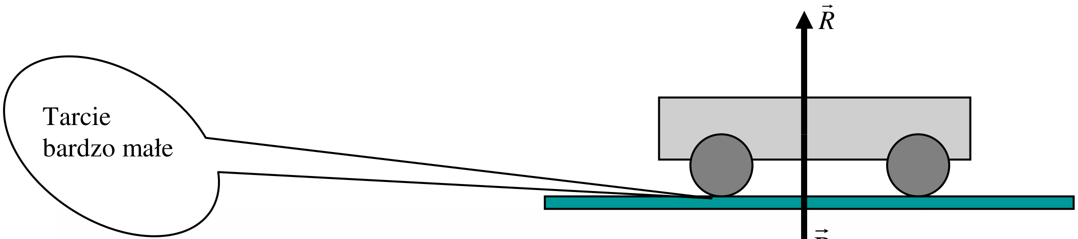
tor pneumatyczny (czyli powietrzny) lub szyba szklana , wózek, 2 bramki z fotokomórkami, 2 zegary elektroniczne lub sekundomierze, poziomnica

Część 1 ćwiczenia:

Ustaw dwa zegary fotoelektryczne wzdłuż szyby oraz wózek z odcinkiem drogi (10 cm), jak na zdjęciu.



Rys.4.1 Zdjęcie zesta świadczalnego



Rys.4.2 Wyważanie toru bądź poziomowanie szyby, czynność bardzo ważna

Uczniowie:

- wyważają dokładnie tor powietrzny
- na wózku przymocowują pasek czarnego kartonu o długości 30cm
- kilkakrotnie puszczają wózek z różnymi prędkościami na torze powietrznym i obserwują jego ruch oraz czas pokazywany przez zegary,
- zapisują czasy pokazywane przez zegary,
- obliczają prędkość.

Pamiętamy, aby w czasie przejścia przez bramkę fotozegara, na wózek nie działały żadne siły.

Odczytaj i zanotuj czas na zegarach fotoelektrycznych w tabeli. Należy to powtórzyć wiele razy by nauczyć się nadawać wózkowi prędkość o stałej wartości

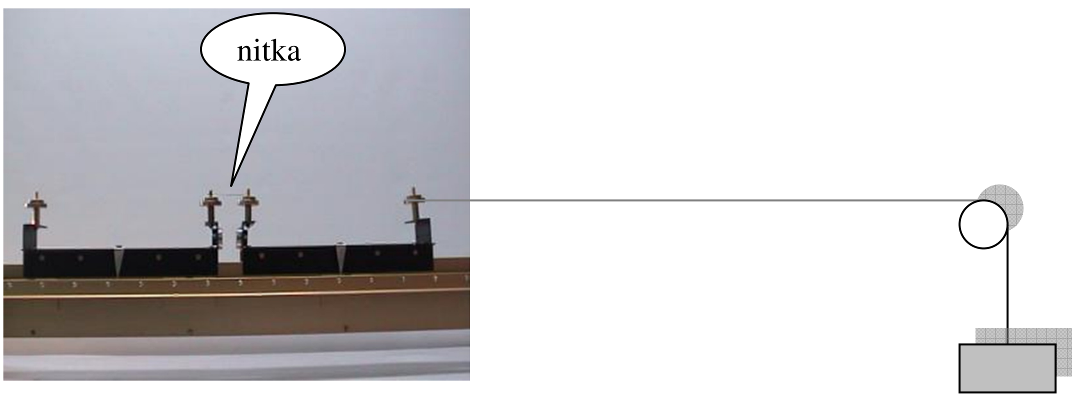
Lp.	droga s ,cm	t_1 ,s - czas odczytany z 1. zegara	t_2 ,s - czas odczytany z 2. zegara
1	30	0,64	0,64
2		0,77	0,77
3		0,85	0,85
4		1,03	1,03
5		1,13	1,12

Tab.4.1 Przykładowe wyniki eksperymentu

Część 2 ćwiczenia

Dwa dostosowane do toru powietrznego wózki rys.4.3 , połączone są ze sobą cienką nitką. Do wózka pierwszego przywiązujemy sznurek i przerzucając go przez krążek łączymy z obciążnikiem. Po zwolnieniu obciążnika wózki, połączone ze sobą cienką nitką, poruszają się po torze powietrznym ruchem jednostajnie przyspieszonym, prawie bez tarcia. Szacujemy wartość przyspieszenia(Oczywiście dla obu wózków jednakowa).

Wózki ustawiamy w pozycji początkowej i obserwujemy ruch wózków od momentu, gdy łączącą je nitkę przepalimy.



Rys.4.3 Zdjęcie wózków oraz schemat eksperymentu

Dyskusja zasad fizycznych demonstrowanych w ćwiczeniu:

Część 1 ćwiczenia

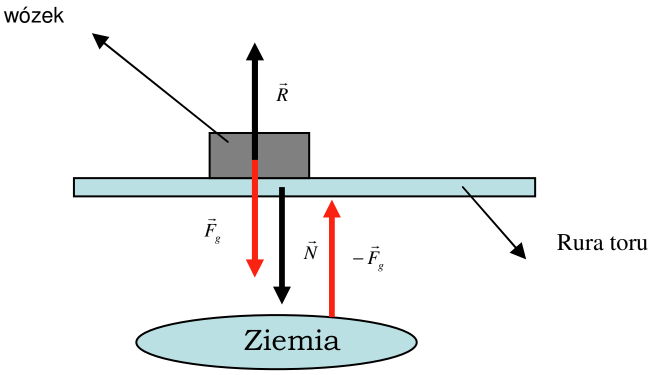
Istotą toru powietrznego jest to, że pomijamy tarcie i analizujemy ruchy wózków bez tarcia. Możemy tak postąpić, ponieważ: (porównaj rozważania niżej)

Narysujmy wektory sił działających w układzie. Na wózek działa siła grawitacji $\vec{F}_g$, wózek naciska na rurę toru siłą $\vec{N}$ i zgodnie z III zasadą dynamiki rura oddziałuje na wózek siłą $\vec{R}$. W związku z powyższym, jeżeli napiszemy, że

$$\vec{F}_g = \vec{N} \tag{11}$$

otrzymujemy związek

$$\vec{F}_g + \vec{R} = 0 \tag{12}$$



$\vec{F}_g = \vec{N}$

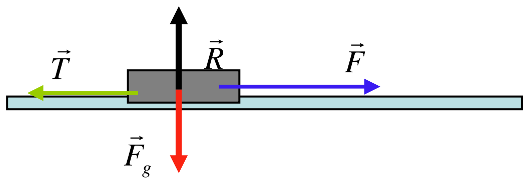
$\vec{N} = -\vec{R}$

czyli

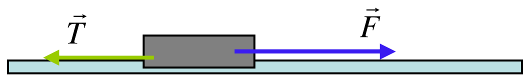
$\vec{F}_g + \vec{R} = 0$

Dalej, jeżeli uwzględnimy fakt, że $\vec{F}_g = -\vec{R}$

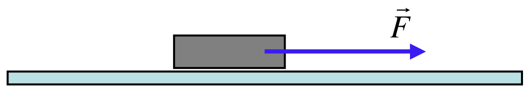
możemy narysować, że



powietrze unosi wózek



więc wózek porusza się już bez tarcia i na niego może działać siła pociągowa.



Po wpisaniu do tabeli czasów, jakie pokazywały zegary możemy wyliczyć prędkości V_1 i V_2 (poniżej znajdują się wartości przykładowe)

$$V_2 = \frac{s}{t_2}$$

$$V_{2,1} = \frac{30cm}{0,64s} = 46,88\frac{cm}{s}$$

$$V_{2,2} = \frac{30cm}{0,77s} = 38,96\frac{cm}{s}$$

$$V_{2,3} = \frac{30cm}{0,85s} = 35,29\frac{cm}{s}$$

$$V_{2,4} = \frac{30cm}{1,03s} = 29,13\frac{cm}{s}$$

$$V_{2,5} = \frac{30cm}{1,12s} = 26,79\frac{cm}{s}$$

$$V_1 = \frac{s}{t_1}$$

$$V_{1,1} = \frac{30cm}{0,64s} = 46,88\frac{cm}{s}$$

$$V_{1,2} = \frac{30cm}{0,77s} = 38,96\frac{cm}{s}$$

$$V_{1,3} = \frac{30cm}{0,85s} = 35,29\frac{cm}{s}$$

$$V_{1,4} = \frac{30cm}{1.03s} = 29,13\frac{cm}{s}$$

$$V_{1,5} = \frac{30cm}{1,12s} = 26,55\frac{cm}{s}$$

i niepewności pomiarowe

Zestawiamy wyniki łącznie niepewnościami. W naszym przykładzie dla pierwszej pary wyników otrzymujemy

$$V_{1,1} = V_{2,1} = 46,88\frac{cm}{s} \pm 0,89\frac{cm}{s}$$

ponieważ Δs=0,1cm a Δt=0,01s.

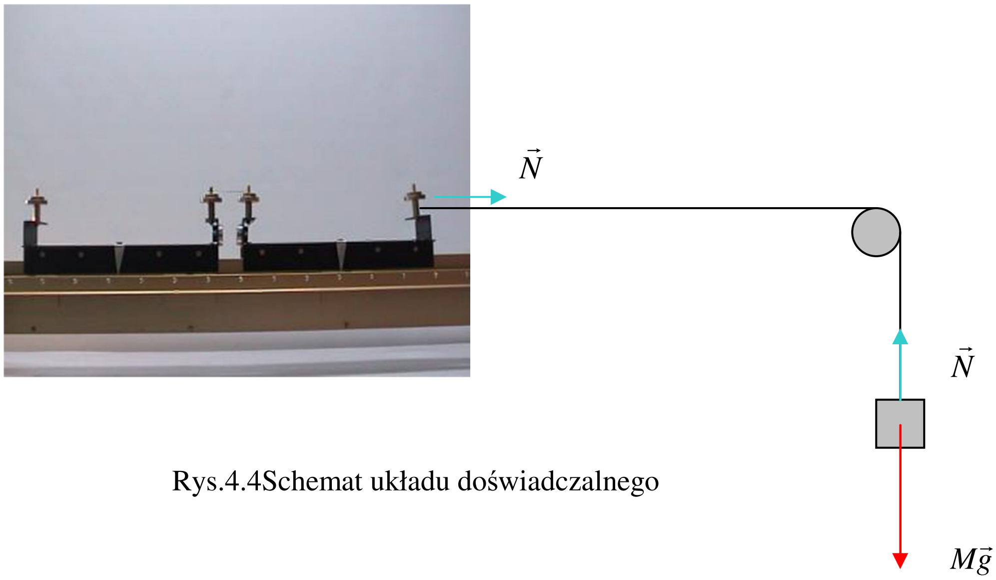
Jeżeli wyliczone prędkości V_1 i V_2 są jednakowe (jak w naszych czterech pierwszych przypadkach), lub prawie jednakowe (jak w naszym ostatnim przypadku), to badane ruchy wózka są ruchami jednostajnymi prostoliniowymi, W pierwszym przypadku, gdy wózek z drogą równą 30cm przejechał pierwszą bramkę pierwszy zegar pokazał 0,64s, a gdy po krótkiej chwili przejechał przez drugą bramkę drugi zegar również pokazał 0,64s, co jest dowodem na to, że wózek cały czas poruszał się ze stałą prędkością. Analogicznie jest w pozostałych sytuacjach, choć w każdym z tych pięciu ruchów wózek poruszał się z inną prędkością, ale w czasie trwania ruchu prędkość nie zmieniała się – była stała.

Jakie czynniki mogą mieć wpływ na zakłócenie czynności badawczych?

Aby doświadczenie było przeprowadzone prawidłowo należy bardzo dokładnie wywarzyć tor powietrzny. Jeżeli jest on źle ustawiony wózek będzie przyspieszał albo zwalniał.

Część 2 ćwiczenia

Na układ wózków posiadających masę 2m działa siła naciągu nitki zgodnie z poniższym schematem



Rys.4.4Schemat układu doświadczalnego

Zgodnie ze schematem wózki uzyskają przyspieszenie

$$\vec{a} = \frac{\vec{N}}{2m} \qquad (13)$$

Jeżeli nitkę przepalimy na wózek prawy zacznie działać mniejsza siła naciągu, ponieważ drugi wózek zostaje odłączony i przez co uzyska ten wózek większe przyspieszenie.

Na wózek lewy nie działa żadna siła, więc obserwujemy jego ruch jednostajny prostoliniowy.

Nasuwa się wniosek, jeżeli na ciało nie działa siła lub wypadkowa sił wynosi zero ciało porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym .

S.7.05

Dlaczego pęd jest stały ?

Lista niezbędnych przedmiotów i materiałów:

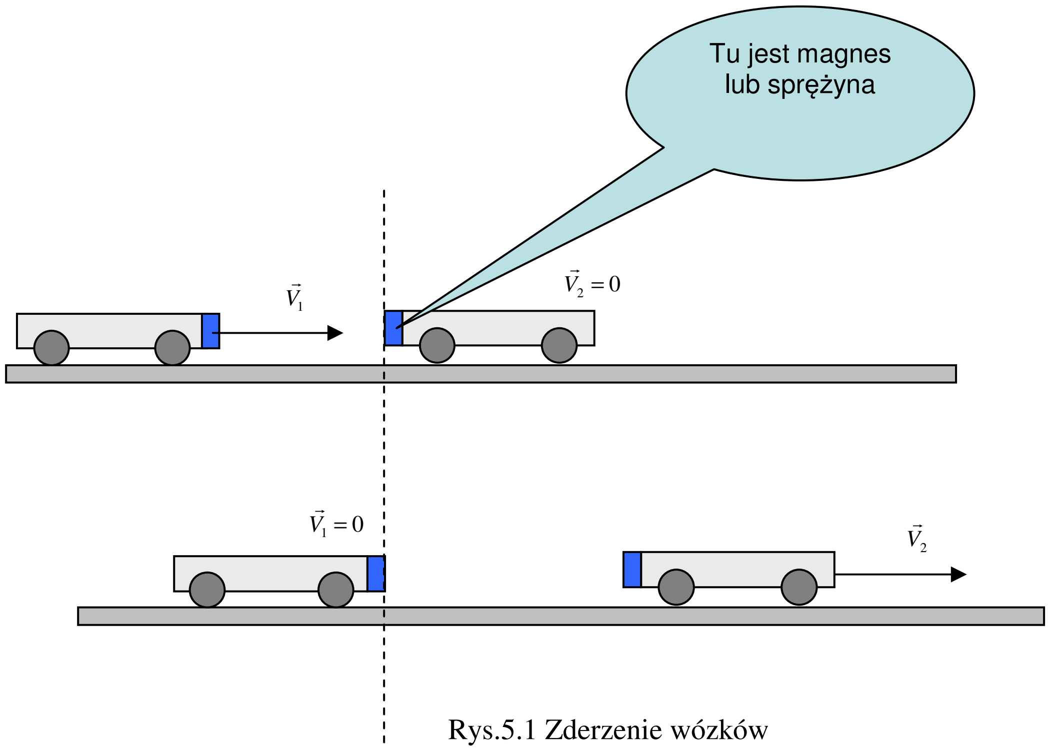
Wózki , przymiar liniowy, stoper lub czasomierz elektroniczny z bramką ,szyba ,tor powietrzny, balonik, armatka z korkiem, szyba szklana o grubości 5mm, plastelina, magnesy, igła bądź szpilka, dwa wahadła matematyczne (kulki stalowe na nitkach).

Stopień zaawansowania, wymagana wiedza ucznia:

Podstawowy; pojęcia: siła, pęd, siła wypadkowa, ruch prostoliniowy, prędkość jako wektor, dodawanie wektorów w różnych przypadkach.

Część 1 ćwiczenia:

Na torze powietrznym lub gładkim blacie(może być szyba szklana) stoi wózek.
Drugi wózek o masie równej pierwszemu posiadający prędkość v_1 , zderza się ze stojącym

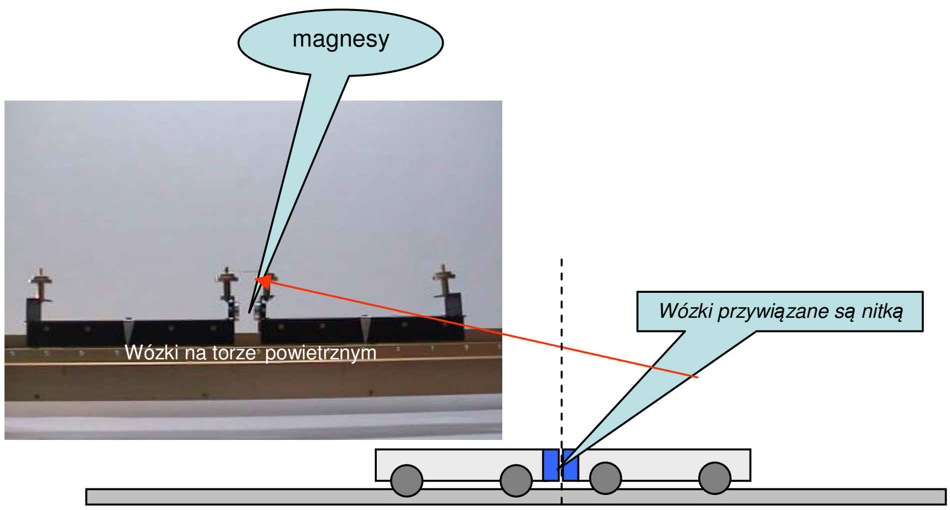


Rys.5.1 Zderzenie wózków

W wyniku zderzenia wózek, który się poruszał, zatrzymuje się, a ten, który stał – porusza się.
Mierząc czas ruchu pierwszego i drugiego wózka oraz drogę, można obliczyć wartość prędkości każdego z nich. Okaże się, że była jednakowa !!

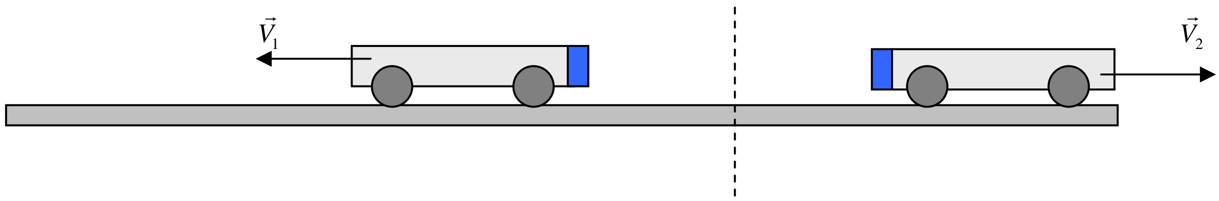
Część 2 ćwiczenia:

Ustaw dwa wózki o jednakowych masach tak jak pokazuje rysunek i zdjęcie powyżej. Połącz wózki nitką. Odznacz na torze albo szybie jednakowy odcinki drogi po obu stronach.



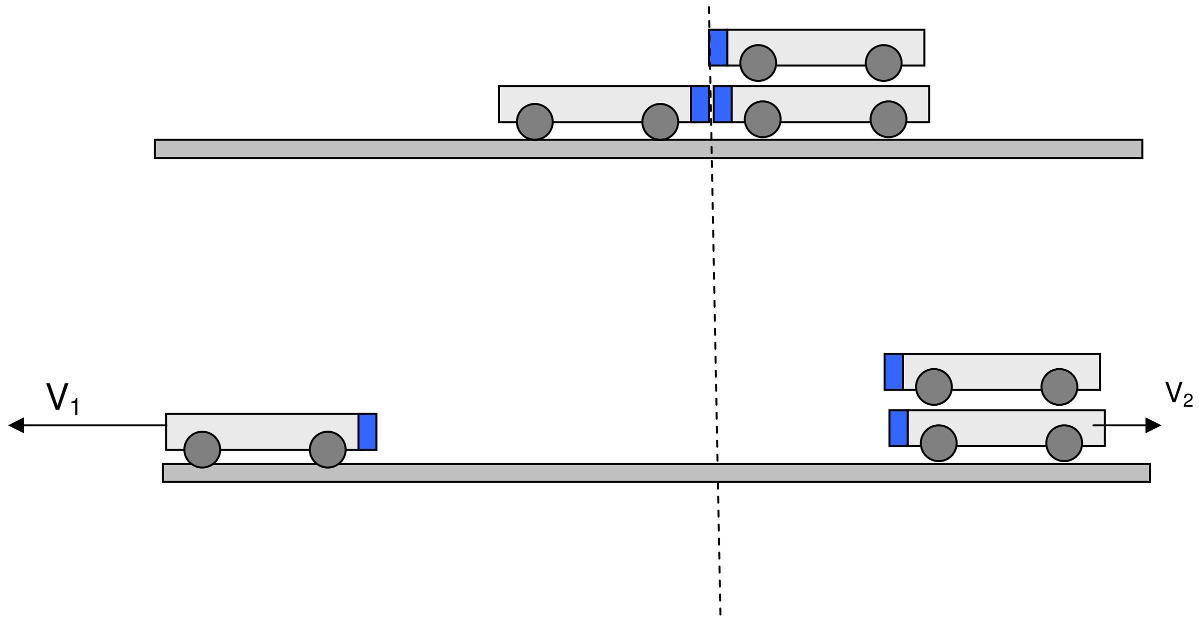
Rys.5.2 Wózki rozjadą się i pokonają te zaznaczone odcinki drogi

Następnie nitkę przepal – wózki rozjadą się i pokonają te zaznaczone odcinki drogi w tym samym czasie. Oznacza to, że ich prędkość była jednakowa, co do wartości.



Część 3 ćwiczenia:

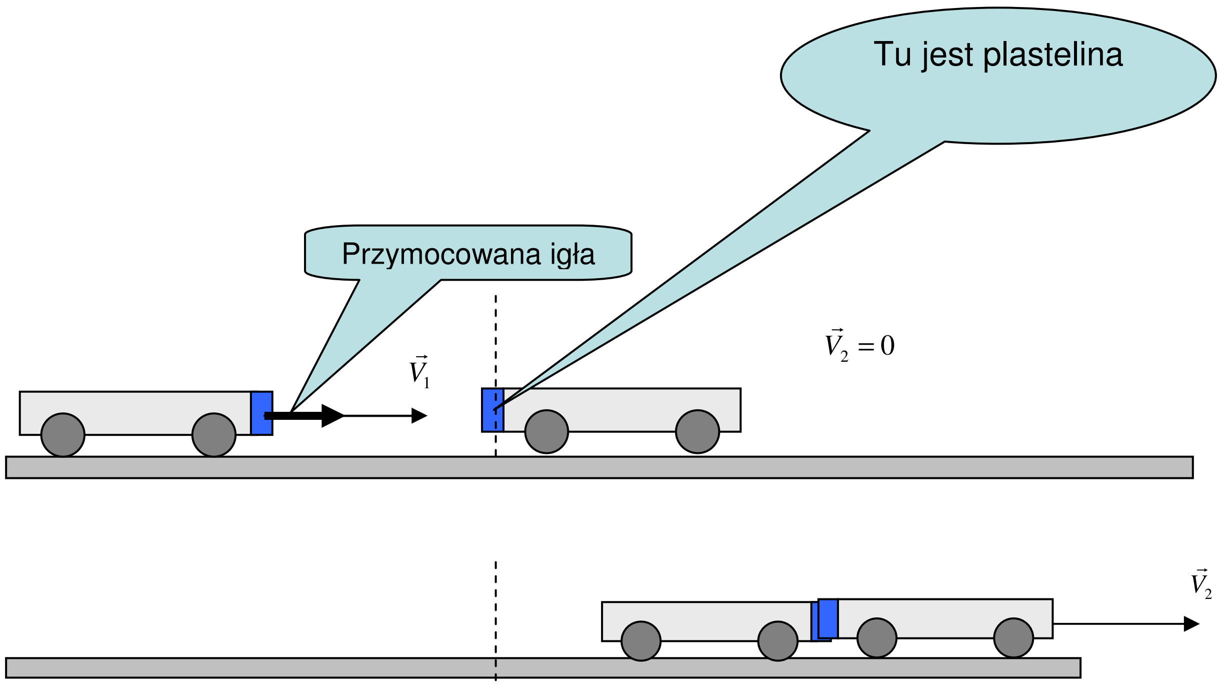
Ustaw trzy wózki o jednakowych masach tak jak pokazuje rysunek poniżej. Połącz wózki nitką. Odznacz na torze albo szybie jednakowy odcinki drogi po obu stronach. Następnie nitkę przepal – wózki rozjadą się i pokonają te zaznaczone odcinki drogi w różnym czasie. Okazuje się, że ten, który miał masę dwa razy większą, uzyskał prędkość, dwa razy mniejszą.



Rys.5.3 Wózek o masie dwa razy większej, uzyskał prędkość dwa razy mniejszą.

Część 4 ćwiczenia:

Na torze powietrznym lub gładkim blacie (może być szyba szklana) stoi wózek.
Drugi wózek o masie równej pierwszemu posiadający prędkość V_1, zderza się ze stojącym



Rys.5.3 W wyniku zderzenia wózki zlepiają się

W wyniku zderzenia wózki zlepiają się i razem poruszają się prawą stronę

Mierząc czas ruchu pierwszego i obu wózków po zlepieniu się, oraz drogę, można obliczyć wartość prędkości. Jest ona dwukrotnie mniejsza dla zlepionych wózków od prędkości wózka pierwszego

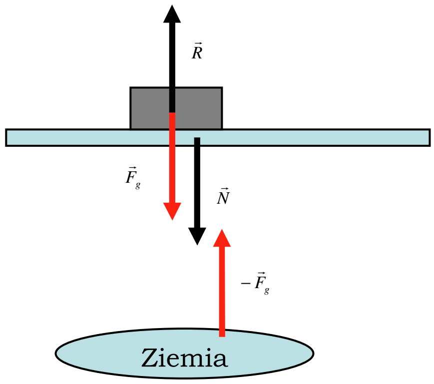
Dyskusja zasad fizycznych demonstrowanych w ćwiczeniu:

Masa wózka	Prędkość przed zderzeniem	Prędkość po zderzeniu	Nr eksperymentu
M	V1 , V2=0	V1=0 , V2 ; V1=V2	1
M	V1=0 , V2=0	V1 , V2 ; V1=V2	2
m, 2m	V1=0 , V2=0	V1 , V2 ; V1=2V2	3
m , m	V1 , V2=0	V=2V1	4

Zestawienie wyników eksperymentu w tabeli 5.1

Wniosek :   Prędkość wózków po zderzeniu zależała od ich masy

Analiza wyników



Rys.5.4 Wektory sił

We wszystkich eksperymentach ruch odbywał się wzdłuż jednej prostej.

Siła ciężkości była równoważona przez nadmuch toru, bądź siłę sprężystości podłoża (rysunek powyżej).

Wózki oddziaływały ze sobą w momentach zderzeń.

Oprócz sił występujących w momentach zderzeń nie działały inne siły.

Każdy wózek posiadał pęd $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$ (15)

Przeanalizujmy pęd układu wózków oddziałujących w przeprowadzonych eksperymentach.
Oznaczmy:

P_p - pęd układu wózków przed oddziaływaniem,

P_k - pęd układu wózków po oddziaływaniu.

W eksperymencie 1, jeden wózek poruszał się, drugi stał w miejscu. Pęd początkowy układu był równy pędowi pierwszego wózka.

Po zderzeniu wózki wymieniły się pędami.

W eksperymencie 2 pęd początkowy układu był równy zeru, bo oba wózki spoczywały. Po przepaleniu nitki wartości prędkości były równe, a ponieważ masy też były jednakowe, więc wartości pędów jednakowe.

Pędy te miały przeciwne zwroty, a więc ich suma wektorowa też była równa zeru. Zatem pęd układu po oddziaływaniu był równy pędowi przed oddziaływaniem.

W doświadczeniu 3 pęd początkowy również był równy zeru, bo wózki stały w miejscu.

Po przepaleniu nici pęd jednego wynosił: $\vec{p}_1 = m \cdot \vec{v}_1$ (16)

Drugiego zaś odpowiednio $\vec{p}_2 = 2 \cdot m \cdot \vec{v}_2$ (17)

Zatem $\vec{p}_2 + \vec{p}_1 = 0$ (18)

W doświadczeniu 4 pęd początkowy układu – to pęd pierwszego wózka, pęd końcowy – to pęd wózków połączonych. Wartości tych pędów były takie same.

S.7.06

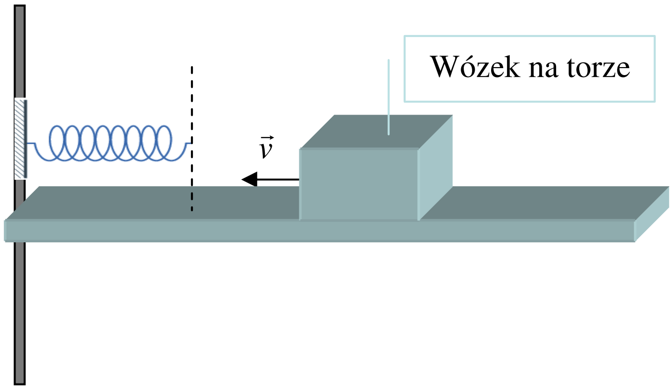
Energia nie znika?

Lista niezbędnych przedmiotów i materiałów:

Tor powietrzny, wózek, sprężyna, czasomierz, przymiar milimetrowy, koło Maxwella, sześć wahadeł matematycznych, szyba szklana, poziomnica, obciążnik 1kg,

Część 1 ćwiczenia

Do statywu umocowanego do stołu przywiązana jest duża sprężyna. Naprzeciw niej w pewnej odległości na torze powietrznym stoi wózek obciążony dodatkowo ciałem o masie 1kg.



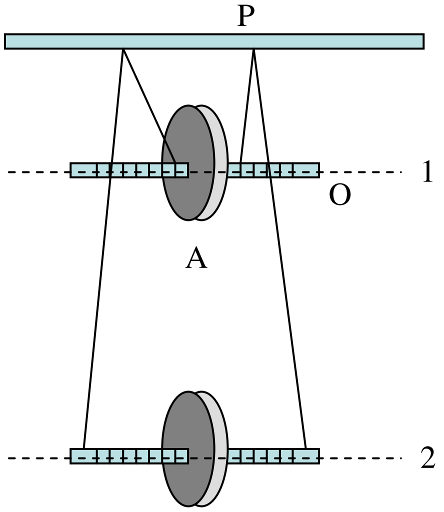
Rys. 6.1.Schemat eksperymentu

Popchnięty w kierunku sprężyny wózek zgniata ją tracąc, do chwili zatrzymania, całkowicie swą energię kinetyczną. Sprężyna spręża się, przez co zwiększa się jej energia potencjalna sprężystości. Z kolei sprężyna rozprężając się rozpędza wózek. Energia kinetyczna wózka przechodzi w energię potencjalną sprężyny i na odwrót.

Wyznaczamy prędkość wózka przed zgnieceniem sprężyny, oraz prędkość, jaką uzyska po rozprężeniu sprężyny. W tym eksperymencie wartość energii układu podczas jego trwania nie ulega zmianie.

Część 2 ćwiczenia:

Koło Maxwella składa się z metalowego krążka K osadzonego na osi O. Na osi, po obu stronach krążka, nawinięte są symetrycznie nitki, których jedne końce przymocowane są do osi, drugie końce do poziomego pręta P osadzonego w uchwytach. Za pomocą koła Maxwella można pokazać przechodzenie energii potencjalnej wzniesionego koła (pozycja 1) w energię kinetyczną ruchu postępowego i obrotowego koła. Koło opada z pozycji 1 do 2, a następnie wznosi się, ale trochę niżej niż do pozycji 1 ze względu na straty na inne rodzaje energii.



$$E_c = mgh$$

$$E_c = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2}$$

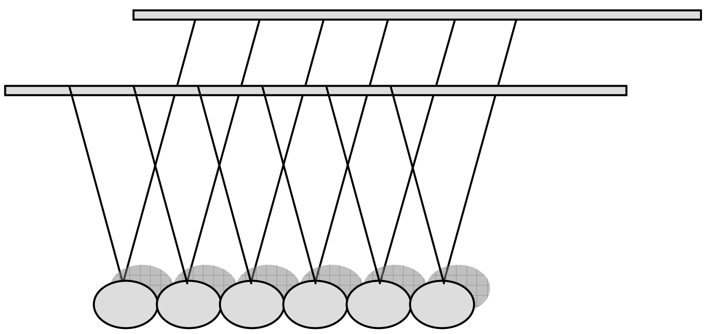
Rys.6.2 Koło Maxwella

Energia kinetyczna wzrasta(prędkość rośnie) w miarę spadania koła. Z faktu, że wzrosła energia kinetyczna, możemy od razu wywnioskować o zmaleniu energii potencjalnej - bo suma tych dwóch składników musi być stała. I w ten sposób możemy np. obliczyć energię kinetyczna ruchu obrotowego koła. Z zasady wynika, że jeśli znamy całkowitą energią w pewnym momencie, a następnie tylko jeden ze składników w innym momencie, to możemy obliczyć wartość tego brakującego składnika.

Część 3 ćwiczenia:

Na poziomych prętach zawieszonych jest sześć stalowych kul. Każda kula wisi na dwóch nitkach, aby wahania odbywały się w jednej płaszczyźnie. Część kul można umieścić w gniazdach w bocznej ramie rys.6.3 stawiamy dwie kule. Po odchyleniu jednej z nich puszczamy ją. W chwili uderzenia zatrzymuje się ona, a druga odskakuje na prawie tę samą wysokość jak była pierwsza. Następnie kula druga uderza w pierwszą i zatrzymuje się, zaś odskakuje kula pierwsza itd.

Następnie pozostawiamy wszystkie kule. Po odchyleniu skrajnej lewej kuli i puszczeniu jej, odskakuje ostatnia prawa kula, a lewa pozostaje w spoczynku (pozostałe kule są w spoczynku). Jeżeli odchylić dwie kule z lewej strony, to po zderzeniu odskoczą dwie kule z prawej strony. Jeżeli odchylić trzy kule z lewej strony, to po zderzeniu odskoczą trzy kule z prawej strony. Jeżeli natomiast odchylimy cztery kule z lewej strony, to po zderzeniu odskoczą także cztery kule z prawej strony.



Rys. 6.3 Centralne zderzenia stalowych kul

Jak można wyjaśnić efekt eksperymentu z punktu widzenia zasady zachowania energii i pędu?

Dyskusja zasad fizycznych demonstrowanych w ćwiczeniu:

Część 1 ćwiczenia:

Tor powietrzny lub szyba musi być dokładnie wypoziomowana. Na początku eksperymentu nadajemy wózkom prędkość. Oczywiście jej wartość jest stała. Można ją wyznaczyć mierząc przebyta drogę i czas i którym ta droga została przebyta. Wózek uderza w sprężynę posiadając energię kinetyczną $E_k = \frac{mV^2}{2}$ i zatrzymuje się po sprężeniu sprężyny bardzo krótki odstęp czasu. W procesie sprężania zmniejsza się energia kinetyczna wózka by w chwili maksymalnego sprężenia przyjąć wartość zero. Jednocześnie zwiększa się energia potencjalna sprężyny $E_p = \frac{kx^2}{2}$ i przyjmuje wartość maksymalną w chwili, gdy sprężyna jest ściśnięta najwięcej. Po czym obserwujemy, że sprężyna się rozpręża udzielając przyspieszenia wózkowi, co powoduje zmianę prędkości. W chwili maksymalnego rozprężenia sprężyna przestaje oddziaływać z wózkiem, w związku z tym wartość jego prędkości nie ulega zmianie. Wózek porusza się ruchem jednostajnym. Obliczamy wartość prędkości swobodnego wózka. Oczywiście eksperyment należy wykonać kilka razy by można było wysnuć wniosek - energia wózka przed oddziaływaniem ze sprężyną i po tym procesie nie ulega zmianie.

Część 2 ćwiczenia:

Energia potencjalna koła Maxwella na początku wynosi $E_p = mgh$. Po czasie t energia kinetyczna ruchu obrotowego i postępowego wynosi $E_k = \frac{mV^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2}$, gdzie *V* oznacza prędkość liniową środka koła. W najniższym położeniu koło osiąga największą prędkość w ruchu obrotowym i znów zaczyna się nawijać na nici. W zjawisku tym widzimy zamianę energii potencjalnej koła $E_p = mgh$, na energię kinetyczną ruchu obrotowego $E_{k,obr} = \frac{I\omega^2}{2}$. Można pokazać, że w całym procesie w całkowitej energii niewielki wkład ma energia kinetyczna ruchu postępowego

Część 3 ćwiczenia:

Zderzenie tych kul można uważać za sprężyste zderzenie centralne. Spełnione są, zatem zasady zachowania energii i pędu. W związku z tym energia kul przed zderzeniem będzie taka sama jak przed zderzeniem. Stąd po zderzeniu, jeżeli ich pewna ilość była wychylona, pozostałe były nieruchome tyle samo się odchyli w lewo unosząc pęd i energię.

Uzasadnimy to następująco:

Napiszemy równanie energii i wartości pędu dla dwu kul zderzających się

$$\begin{aligned} m_1 v_1 &= m_1 v_1' + m_2 v_2' \\ \frac{m_1 v_1^2}{2} &= \frac{m_1 v_1'^2}{2} + \frac{m_2 v_2'^2}{2} \end{aligned} \tag{19}$$

$$\begin{aligned} v_1' &= \frac{m_1 v_1 - m_2 v_2'}{m_1} \\ m_1 v_1^2 &= m_1 \left(\frac{m_1 v_1 - m_2 v_2'}{m_1} \right)^2 + m_2 v_2'^2 \end{aligned} \tag{20}$$

$$m_1 v_1^2 = \frac{m_1^2 v_1^2 - 2m_1 m_2 v_1 v_2' + m_2^2 v_2'}{m_1} + m_2 v_2'^2 \tag{21}$$

$$m_1 v_1^2 = m_1 v_1^2 - 2m_2 v_1 v_2' + \frac{m_2^2}{m_1} v_2'^2 + m_2 v_2'^2 \tag{22}$$

$$v_2'^2 \left(\frac{m_2^2}{m_1} + m_2 \right) - 2m_2 v_1 v_2' = 0 \tag{23}$$

$$v_2' = \frac{2m_2 v_1}{\frac{m_2^2 + m_1 m_2}{m_1}} = \frac{2m_2 m_1 v_1}{m_2 (m_1 + m_2)} = \frac{2m_1 v_1}{m_1 + m_2} \tag{24}$$

Jeżeli masy kul są jednakowe otrzymujemy, że $v_2' = v_1$ oraz $v_1' = 0$.

Jeżeli teraz obok kuli drugiej znajdzie się trzecia do niej przylegająca to nastąpi ich oddziaływania. Możemy napisać równanie energii i pędu w postaci

$$m_2 v_2' = m_2 v_2'' + m_3 v_3' \tag{25}$$

$$\frac{m_2 v_2'^2}{2} = \frac{m_2 v_2''^2}{2} + \frac{m_3 v_3'^2}{2} \tag{26}$$

$$v_3' = \frac{2m_2 v_2'}{m_2 + m_3} = \frac{2m_2 \frac{2m_1 v_1}{m_1 + m_2}}{m_2 + m_3} = \frac{4m_1 m_2 v_1}{(m_1 + m_2)(m_2 + m_3)} \tag{27}$$

Gdy także założymy, że masy są jednakowe otrzymamy $v_3' = v_1$ itd. Zawsze prędkość ostatniej odchylonej kuli będzie równa prędkości kuli pierwszej o ile masy kul są jednakowe.

Odchylmy teraz n kulek w prawo.

Z zasady zachowania wynika, że

$$\boxed{\begin{aligned} & n\frac{mv_1^2}{2} + 0 = z\frac{mv_2^2}{2} + 0 \\ & nm\vec{v}_1 + 0 = zm\vec{v}_2 \end{aligned}} \tag{28}$$

$$\boxed{\begin{aligned} & n\frac{mv_1^2}{2} = z\frac{mv_2^2}{2} \\ & nmv_1 = zmv_2 \end{aligned}} \tag{29}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{nv_1^2 = zv_1^2}{nv_1 = nv_2} \quad \Rightarrow \quad v_1 = v_2 \tag{30}$$

$$\downarrow$$

$$nmv_1 = zmv_1 \quad \Rightarrow \quad n = z \tag{31}$$

S.7.07

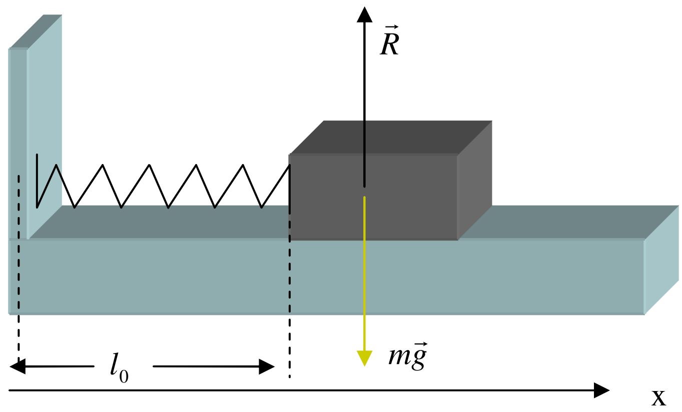
Badanie ruchu pod wpływem siły sprężystości

Lista niezbędnych przedmiotów i materiałów:

Komputer z programem Microsoft Excel, pisak, rolki papieru, sprężyna, tor pneumatyczny (czyli powietrzny), wózek, bramka z fotokomórką, zegar elektroniczny, poziomnica, czasomierz, wahadło sprężynowe, obciążniki, przymiar milimetrowy.

Część 1 ćwiczenia:

Na torze powietrznym umieszczamy wózek z przymocowaną sprężyną tak jak pokazuje rysunek 7.1



Rys.7.1 Wózek na torze powietrznym z przymocowaną sprężyną

Do wózka przywiązujemy siłomierz i rozciągamy sprężynę do wartości l w kierunku dodatnim osi x). Zgodnie z prawem Hooke'a zacznie działa na nią siła

$$F = k(l - l_0) \qquad (32)$$

gdzie k jest współczynnikiem sprężystości i ma wymiar $\frac{N}{m}$.

Jeżeli do końca rozciągniętej sprężyny przymocujemy ciało o masie m, to zacznie na nie działać siła $F = -k(l - l_0)$ (33)

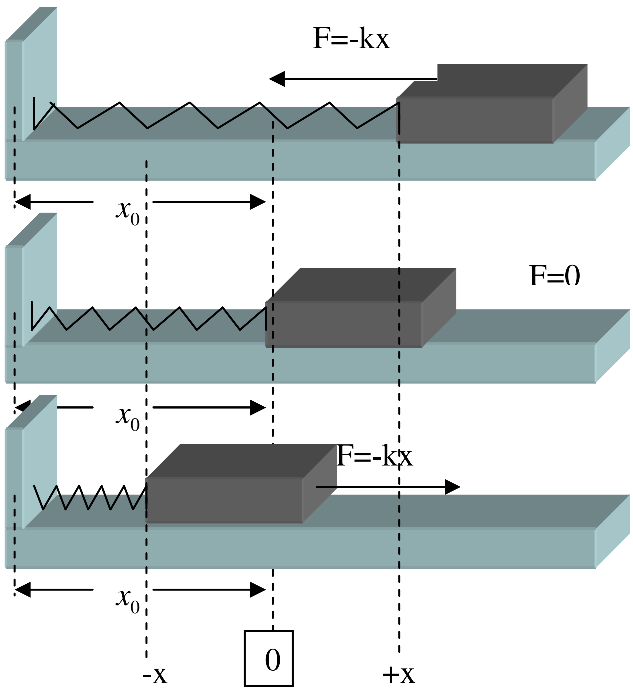
zgodnie z III prawem Newtona.

Jeżeli położenie sprężyny będziemy określali względem położenia, w którym długość sprężyny wynosi l_0 np. $x = l - l_0$ możemy napisać, że

$$F = -kx. \qquad (34)$$

Siłę o takiej postaci nazywamy harmoniczną, zaś ruch przez nią wywołany nazywamy harmonicznym.

Jeżeli ciało o masie m przesuniemy do położenia x_0 i następnie w chwili t=0 zwolnimy, to będzie ono poruszać się ruchem harmonicznym. Mówimy, że to ciało wykonuje drgania wokół położenia równowagi.

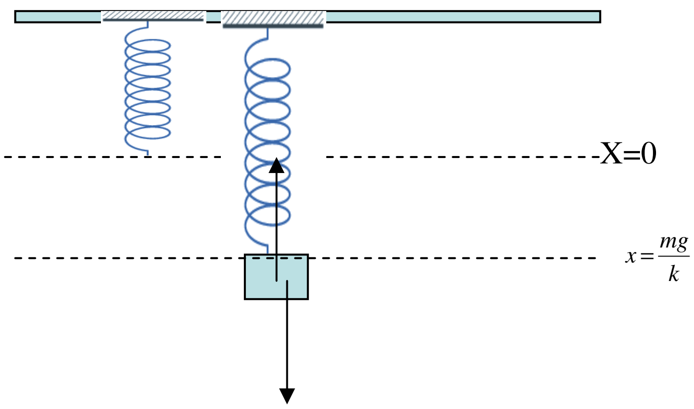


Rys.7.2 Wózek przesuwa się po rurze toru prawie bez tarcia. Przedstawiona jest siła, jaką sprężyna działa na ciało w każdym z trzech przypadków.

Mierzymy czas 10 drgań i obliczamy okres. Pamiętamy o niepewnościach pomiarowych.

Część 2 ćwiczenia:

Sprężynę wraz z umocowanym wózkiem lub innym ciałem o tej samej masie wieszamy na statywie.[5]



Rys.7.3 Położenie równowagi statycznej po obciążeniu ciałem o masie m wynosi $x = \frac{mg}{k}$

Mierzymy okres 10 drgań i obliczamy okres drgań. Porównujemy okresy drgań uzyskane w obu doświadczeniach .Wartości okresów drgań są jednakowe.

W świetle wyniku można, więc pominąć jednorodne pole grawitacyjne przy analizie ruchu drgającego. Jedyną zmiana to przesunięcie punktu odniesienia z $x = 0$ do $x_0 = x - \frac{mg}{k} = 0$ (35)

Można, więc sformułować wniosek, że okres drgań zależy tylko od masy ciała i współczynnika sprężystości sprężyny.

Możemy powyższy wniosek napisać w formie wyrażenia

$$T = A \cdot k^{x} \cdot m^{y}\,, \qquad (36)$$

A stały współczynnik, *x i y* nieznane wykładniki , zaś *k* ma wymiar $\frac{N}{m}$.

W oparciu o analizę wymiarową napiszemy:

$$T^{1} = \left(m^{1} \cdot T^{-2}\right)^{x} \cdot m^{y} \qquad (37)$$

a stąd, dla $T \to \; 1 = -2x \quad \Rightarrow x = -\frac{1}{2}$ (38)

dla $m \to 0 = x + y \Rightarrow \; y = -x \Rightarrow \; y = \frac{1}{2}$ (39)

ostatecznie

$$T = A \cdot k^{-\frac{1}{2}} \cdot m^{\frac{1}{2}} = \frac{A}{\sqrt{k}} \cdot \sqrt{m} \qquad (40)$$

Stałą A wyznaczymy z doświadczenia w sposób wskazany niżej.

1. Mierzymy czas 50 drgań sprężyny i obliczamy okres dla masy $m_{1.}$(np. wieszamy na sprężynie jeden obciążnik 50 g).
2. Podobny pomiar przeprowadzamy dla kilku następnych obciążników i mierzymy każdorazowo okres drgań.
3. Rysujemy wykres zależności $T^2=B\,m$ i obliczamy z tego wykresu wartość B
4. Wstawiając wyrażenie $T^2=Bm$ do wyrażenia (40) otrzymujemy
5. $B \cdot m = \frac{A^{2}}{k} \cdot m\,,$ a stąd $A = \sqrt{B \cdot k}$ (41)

Okazuje się, że po wstawieniu wartości do ostatniego wzoru otrzymujemy $A \approx 6{,}28$

Z tego wynika, że okres drgań sprężyny z przymocowanym ciałem wynosi

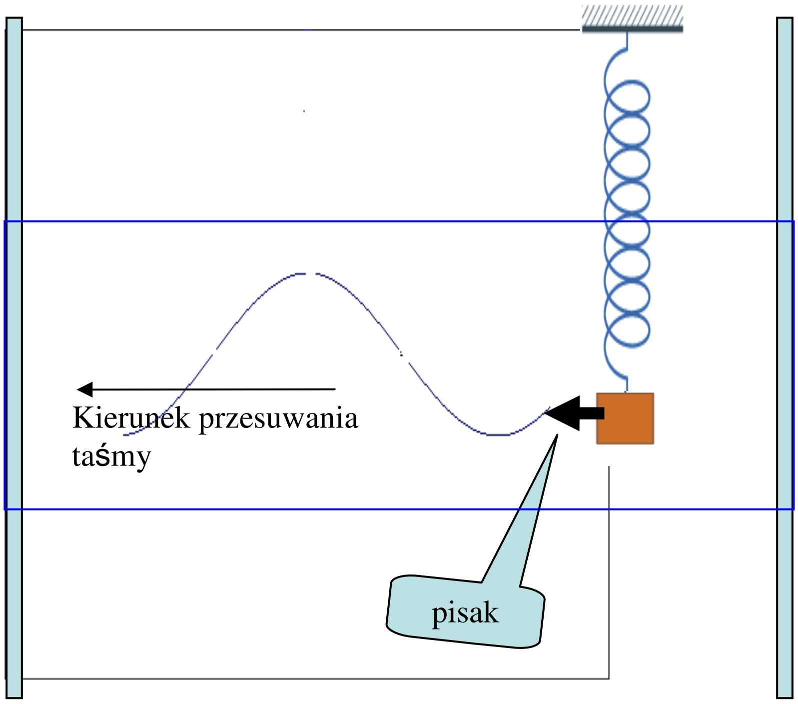
$$T = 6{,}28\sqrt{\frac{m}{k}} \qquad \text{lub} \qquad T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \qquad (42)$$

zaś częstość drgań wynosi

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{k}{m}} \qquad (43)$$

Część 3 ćwiczenia:

Do ciała zawieszonego na sprężynie przymocowujemy pisak w taki sposób by mógł kreślić linie na papierowej taśmie tak jak pokazuje rys 4



Rys.7.4 Kształt krzywej rysowanej przez pisak. Krzywa harmoniczna - cosinusoida

Jeżeli ciało o masie m przymocujemy do sprężyny i wychylimy z położenia równowagi do położenia x_0 i następnie chwili t = 0 puścimy, to będzie ono wykonywać ruch drgający harmoniczny a położenie będzie się zmieniało w czasie zgodnie ze wzorem

$$x = x_0 \cos(\omega t) \quad \text{gdzie} \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{k}{m}}. \qquad (44)$$

Analizując ruch zauważamy, że prędkość zmienia się w tym ruchu zgodnie ze wzorem $v=v_0\sin\omega t$ gdzie v_0 oznacza max wartość (amplitudę) prędkości, która jak potwierdzają eksperymenty zależy od amplitudy wychylenia (x_0 - max. wychylenie) oraz częstości ω.
Możemy to napisać następująco

$$V_0=A\,(x_0)^a\,\omega^b \qquad (45)$$

Uwzględniając fakt, że wymiar prędkości jest postaci $L^1\,T^{-1}$,oraz częstości T^{-1} napiszemy zgodnie z analizą wymiarową wyrażenie

$$L^1\,T^{-1}=(\,L)^a\,(T^{-1})^b \qquad (46)$$

a stąd $a=1$ i $b=1$ czyli $V_0=x_0\,\omega$ (47)

wobec tego $V=V_0\sin(\omega\,t) = x_0 \cdot \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot \sin\sqrt{\frac{k}{m}} \cdot t$ (48)

Na koniec sformułujemy wyrażenie na siłę, która wywołuje ruch drgający.Zestawmy następujące wyrażenia:

$$F= -k\,x,\ \ x=x_0 \cos(\omega\, t)\ \ \text{oraz}\ \ \omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \tag{49}$$

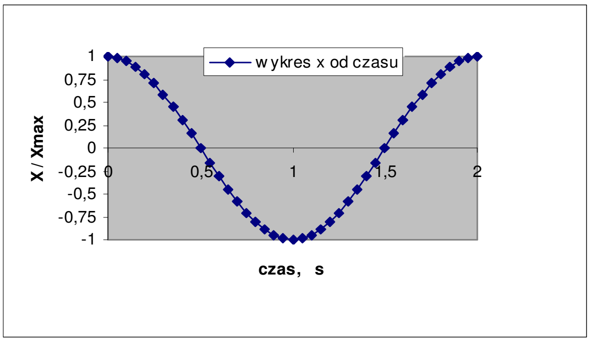
otrzymujemy, że

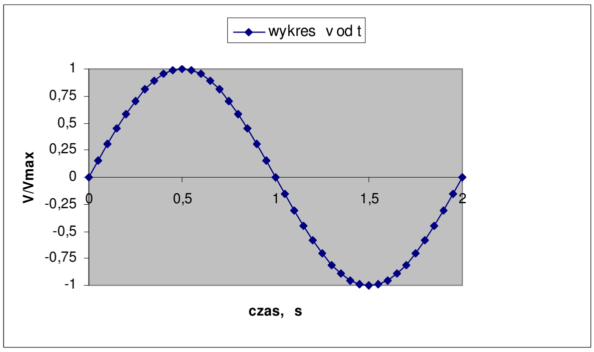
$$F= -k\, x_0 \cos(\omega\, t) \quad oraz\ \ k=\omega^2 m\,, \tag{50}$$

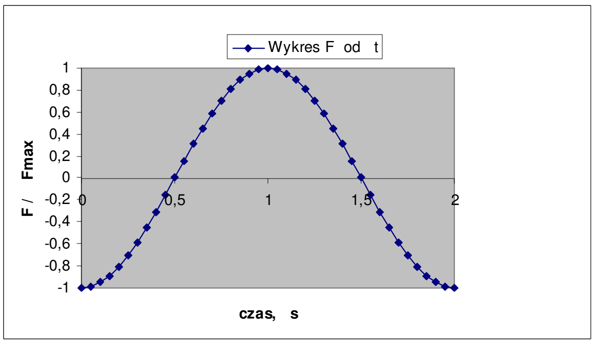
czyli

$$F= -\,\omega^2 m x_0 \cos(\omega\, t) \tag{51}$$

Wykresy zależności wychylenia, prędkości oraz siły od czasu w ruchu harmonicznym przedstawiają rysunki poniżej





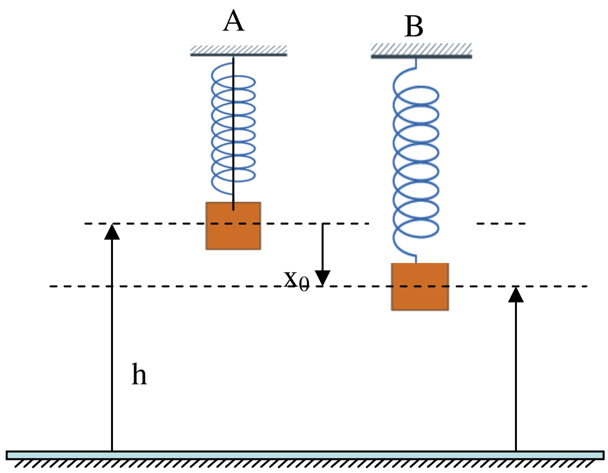


Rys.7.5 Wykresy zależności wychylenia, prędkości oraz siły od czasu w ruchu harmonicznym

Część 4 ćwiczenia:

Na sprężynie mocujemy ciało o masie m i umieszczamy na statywie. W położeniu A ciało jest, przy pomocy nitki umocowane do statywu, w taki sposób, by sprężyna nie była rozciągana. W tym położeniu, energia układu, jeżeli pominiemy masę sprężyny, wynosi

$E_p = mgh$



Rys 7.5. Jeżeli przepalimy nitkę, ciało przesunie się niżej o odległość x_0.

Jeżeli przepalimy nitkę, ciało przesunie się niżej o odległość x_0. W tym położeniu energia potencjalna grawitacji wynosi *mg (h – x₀).* Wiedząc, że energia nie może zniknąć musimy napisać, mgh - *mg (h – x₀) =energia potencjalna sprężyny(piszemy potencjalna, ponieważ układ nie porusza się).*W analizowanym przypadku wartość siły sprężystości zmienia się w granicach od zera do kx_0 i biorąc pod uwagę, że zmiana energii nastąpiła na sposób pracy możemy napisać

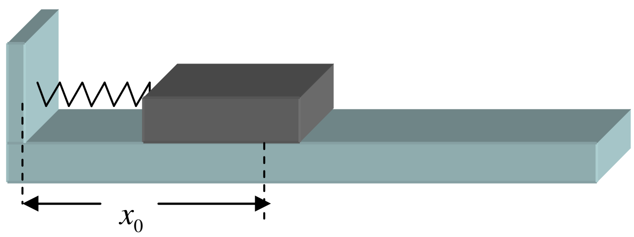
$$\Delta E = W = F_{śr} \cdot x_0 = \frac{1}{2} k x_0 \cdot x_0 = \frac{1}{2} k x_0^2 \qquad (52)$$

Otrzymany wzór potwierdzimy w eksperymencie.
Przyrządy :

- tor pneumatyczny, (czyli powietrzny),
- wózek,
- bramka z fotokomórką,
- zegar elektroniczny,
- poziomica.
- sprężyna

Na torze powietrznym umieszczamy wózek. Do wózka przymocowujemy pasek czarnego kartonu o długości 30cm, który umożliwia nam pomiar prędkości wózka.

Obok wózka umieszczamy sprężynę(o znanym współczynniku sprężystości), która jednym końcem przylega do wózka. Drugi koniec sprężyny przyczepiamy do statywu by nie zmieniał swego położenia. Sprężamy sprężynę o znaną wartość i przywiązujemy nitką .Nitkę przepalamy.



Rys.7.6.Schemat eksperymentu

Pod wpływem rozprężanej sprężyny, wózek będzie się poruszał na torze powietrznym. Zapisujemy wskazania zegarów i obliczmy prędkość, a następnie energię kinetyczną uzyskaną przez wózek.

Formułujemy wniosek:

Energia potencjalna sprężyny (energia potencjalna sprężystości) jest wprost proporcjonalna do kwadratu wychylenia (ściśnięcia) sprężyny.

Dyskusja zasad fizycznych demonstrowanych w ćwiczeniu:

Część 4 ćwiczenia:

Ściskamy sprężynę o znaną wartość np., 5cm, 7,5cm oraz 10 cm. Dla poszczególnych wartości ściśniętej sprężyny obliczamy prędkość, jaką uzyska wózek, a następnie energię kinetyczną. Jeżeli zestawimy wartości x *i* E_k otrzymujemy

Dla

x_1 E_{k1}

x_2 $E_{K2} = 2{,}25E_{k1}$

x_3 $E_{k3} = \quad 4E_{k1}$

Jeżeli uznajemy, że energia potencjalna sprężystości zamienia się w energię kinetyczną , to z powyższego zestawienia wynika, że energia zawarta sprężynie jest zależna od wartości sprężenia tzn. $E_p \sim x^2$ i wobec tego sformułowane wyżej wyrażenie w postaci

$$\Delta E = \frac{kx_0^2}{2} \tag{53}$$

określa wartość energii potencjalnej sprężystości

S.7.08

II prawo Newtona dla ruchu obrotowego

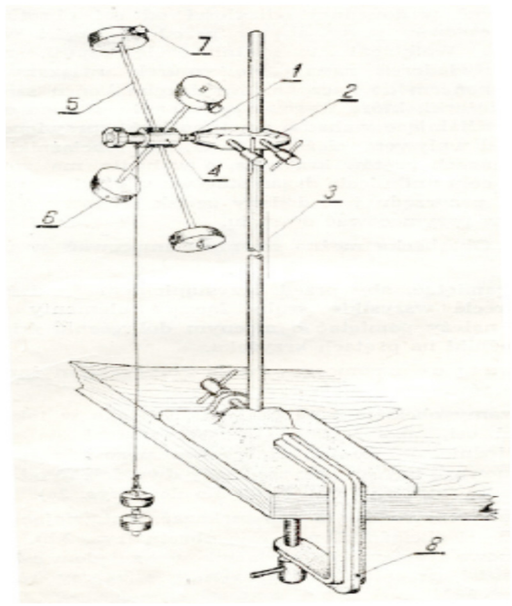
Lista niezbędnych przedmiotów i materiałów:

Wahadło Oberbecka lub tarcza do badania ruchu obrotowego, stoper, obciążniki, przymiar milimetrowy, suwmiarka, nić.

Część 1 ćwiczenia.

Na stalowej osi (l) rys.8.1, którą można umocować za pomocą łącznika (2) na statywie (3), jest osadzona na łożyskach kulkowych krótka grubościenna tuleja (4).W nią są wkręcone cztery stalowe pręty (5), tworząc prostokątny i równoramienny krzyżak. Na każdym pręcie znajduje się obciążnik (6) zaopatrzony w śrubę zaciskową (7).Obciążniki dają się przesuwać wzdłuż prętów i zamocowywać w dowolnej odległości od osi obrotu. Tuleja, w której są osadzone pręty, ma w przedniej części wgłębienie oraz haczyk. Wgłębienie to spełnia rolę szpuli, na którą w czasie doświadczeń nawija się sznurek uwiązany uprzednio jednym końcem do haczyka. Na drugim końcu sznurka zawiesza się ciężarki, które wprawiają wahadło w ruch obrotowy.

Prawidłowo działające wahadło powinno być wprawione w ruch obrotowy pod wpływem ciężarka o masie 50g, gdy obciążniki są ustawione na końcach prętów krzyżaka, a wahadło ma równowagę obojętną. W celu uniknięcia drgań statywu w czasie obracania się wahadła, do przyrządu jest dodany zacisk śrubowy (8), którym można statyw przymocować do stołu



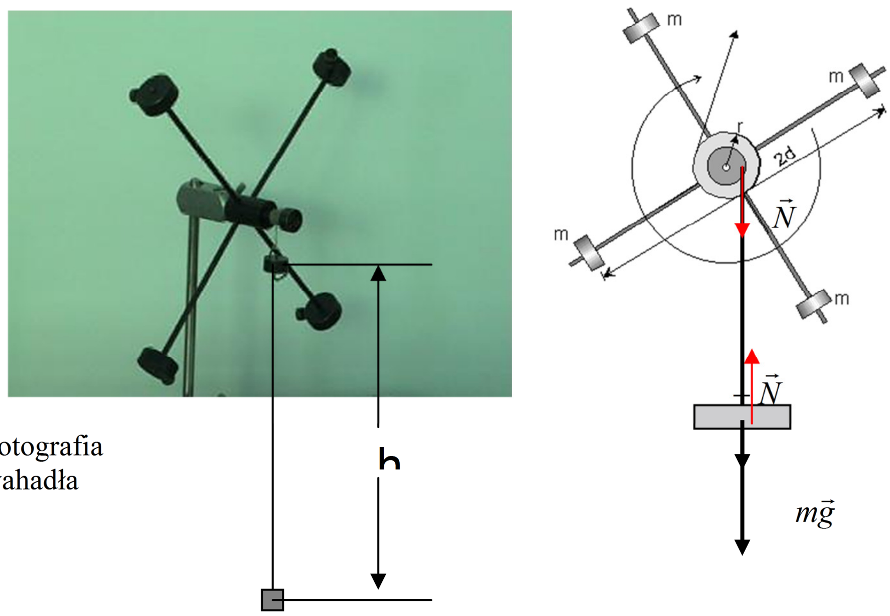
Rys.8.1 Model wahadła, Oberbecka

Przyrząd (wahadło Oberbecka) umożliwia pośredni pomiar przyspieszenia kątowego układu (cztery pręty z obciążnikami) obracającego się przy różnych ustalonych wartościach momentu bezwładności oraz momentu siły.

Zarówno moment bezwładności układu, jak i moment siły przyłożony do układu możemy zmieniać w sposób skokowy. Moment bezwładności układu zmieniamy przesuwając tulejki (o masie m) wzdłuż prętów krzyżaka.

Moment siły zmieniamy nawijając nitkę na jeden z dwóch krążków, lub zmieniając liczbę obciążników przywiązanych do drugiego końca nici .

Spadające obciążniki wprawiają ten układ w ruch obrotowy.



Fotografia wahadła

Model wahadła

Rys.8.2 Fotografia wahadła i jego model

- przyspieszenie możemy wyznaczyć bardzo prosto,
- po nawinięciu nitki na dany krążek mierzymy wysokość h obciążnika nad podłogą,
- pozwalamy następnie obciążnikowi spadać i mierzymy czas spadania t,
- końcowa prędkość ruchu postępowego jest równa

$$V = \frac{2h}{t} \quad , \tag{54}$$

- mierzymy promień krążka r, stąd znajdujemy końcową prędkość kątową

$$\omega = \frac{2h}{r \cdot t}, \tag{55}$$

- przyspieszenie kątowe określa wzór

$$\varepsilon = \frac{\omega}{t} = \frac{2h}{r \cdot t^2} \quad , \tag{56}$$

- siłą działającą na układ (wahadło) jest siła naprężenia nitki, na której wisi obciążnik.

- wartość tej siły wynosi

$$mg - ma \tag{57}$$

(m oznacza masę obciążnika),

czyli $$F = m\left(g - \frac{2h}{t^2}\right) \tag{58}$$

i zatem można napisać, że

$$M = F \cdot r = m\left(g - \frac{2h}{t^2}\right) \cdot r \tag{59}$$

Ustalenie zależności przyspieszenia kątowego wahadła od wartości działającej siły przy stałym jej ramieniu.

Nawijamy nić na szpulę wahadła i przytrzymujemy obciążnik o masie 100g w górnym położeniu. Następnie puszczamy obciążnik i czasomierzem mierzymy jego czas spadania. Zgodnie z wyżej przedstawionymi wzorami obliczamy przyspieszenie kątowe. Powtarzamy doświadczenie z obciążnikiem 200g i obliczamy przyspieszenie kątowe.

Wypełniamy tabelę i wykonujemy wykres zależności przyspieszenia kątowego od wartości przyłożonego momentu siły

m, g	h, m	t, s	r, m	M, Nm	ε, $\frac{1}{s^2}$

Porównujemy stosunki $\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{M_1}{M_2}$. (60)

Na podstawnych wyników formułujemy ogólny wniosek dotyczący zależności przyspieszenia kątowego wahadła od momentu siły w postaci

$$\vec{\varepsilon} = \frac{1}{I}\vec{M} \tag{61}$$

czyli II prawo Newtona dla ruchu obrotowego

Część 2 ćwiczenia:

Moment bezwładności wahadła Oberbecka obliczymy wykorzystując rozważania energetyczne całego układu.

W chwili początkowej, gdy wahadło spoczywa, całkowita energia mechaniczna układu jest równa energii potencjalnej obciążnika

$$E_{C1} = m\,g\,h \tag{62}$$

Obciążnik spada i w chwili, gdy znajduje się on tuż nad powierzchnią podłogi całkowita energia mechaniczna układu jest równa energii kinetycznej ruchu postępowego ciężarka i energii kinetycznej ruchu obrotowego wahadła, czyli

$$E_{C2} = \frac{m\upsilon^2}{2} + \frac{I_0\omega^2}{2} \tag{62}$$

gdzie I_0 jest momentem bezwładności wahadła

Prawo zachowania energii mechanicznej zapiszemy, więc w postaci

$$\frac{m\upsilon^2}{2} + \frac{I_0\omega^2}{2} - m\,g\,h = 0 \tag{63}$$

Po przekształceniach zapiszemy moment bezwładności

$$I_0 = mr^2\left(\frac{2gh}{\upsilon^2} - 1\right) \tag{64}$$

lub

$$I_0 = mr^2\left(\frac{gt^2}{2h} - 1\right) \tag{65}$$

gdzie m oznacza masę obciążnika, r promień szpuli, h wysokość spadania obciążnika, zaś t czas spadania obciążnika.

Nawijamy nić na szpulę o promieniu r i przytrzymujemy obciążnik o masie m=100g w górnym położeniu. Puszczamy obciążnik i mierzymy czas spadania t.

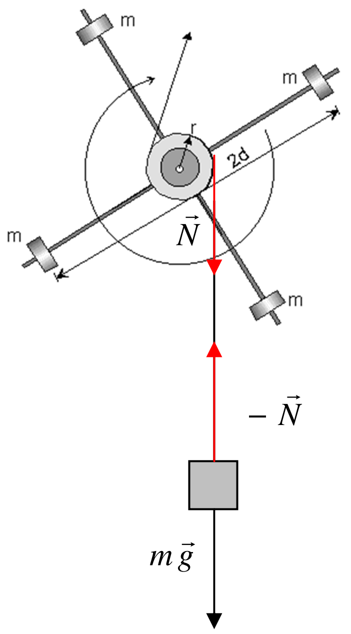
Podstawiamy obliczone wartości do wyrażenia na I_0.

wartość momentu bezwładności możemy teraz podstawić wzoru na II zasadę dynamiki Newtona dla ruchu obrotowego i sprawdzić zgodność uzyskanych wyników - pamiętać należy o niepewnościach pomiarowych!!!!.

Dyskusja zasad fizycznych demonstrowanych w ćwiczeniu:

Część 1 ćwiczenia:

Przyspieszenie kątowe ε ciała obracającego się pod wpływem momentu siły M jest wprost proporcjonalne do tego momentu i równe $\varepsilon = \frac{1}{J} M$ gdzie J nosi nazwę momentu bezwładności



Rys.8.3 Schemat doświadczenia

W tym przypadku moment siły M działający na wahadło jest równy

$$M = N \cdot r\,. \tag{66}$$

N oznacza siłę naciągu nici. Siłę naciągu wyznaczamy na podstawie II zasady dynamiki Newtona:

$$a = \frac{mg - N}{m} \tag{67}$$

skąd

$$N = m\,(g - a) \tag{68}$$

i ostatecznie

$$N = m(g - \frac{2h}{t^2}) \tag{69}$$

Jeżeli przyspieszenie a będzie wielokrotnie mniejsze od przyspieszenia swobodnego spadku można przyjąć, że

$$N = mg \;\text{ i }\; M = mgr \tag{70}$$

S.7.09

Dlaczego możliwa jest jazda rowerem? – obroty i piruety

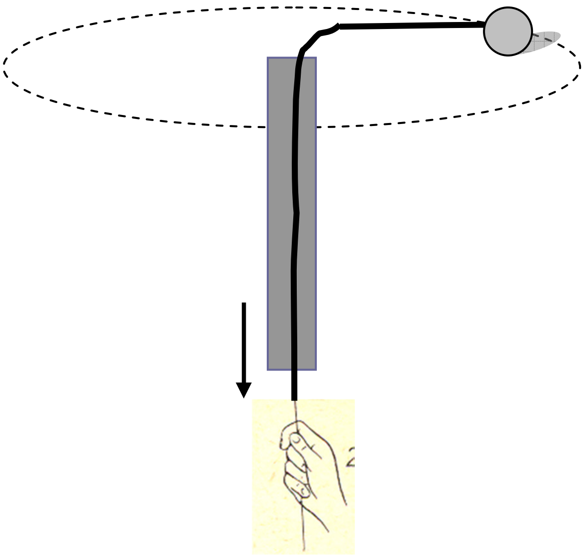
Lista niezbędnych przedmiotów i materiałów:.

Przyrząd do sprawdzania słuszności zachowania momentu pędu, przymiar milimetrowy, czasomierz, statyw, kulka na nitce, rurka szklana lub metalowa, kulka metalowa, stolik obrotowy, koło rowerowe, linka stalowa

Procedura przeprowadzenia ćwiczenia, szacunkowy czas trwania:

Część 1 ćwiczenia:

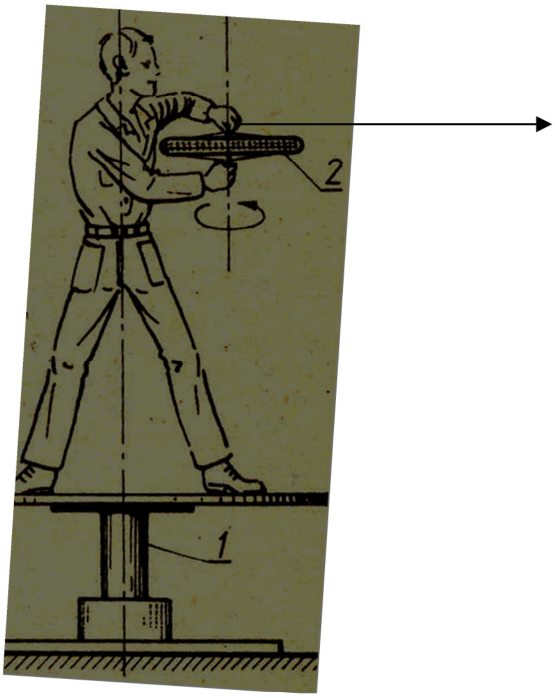
Przez rurkę przeciągamy nić z przymocowaną kulką i wprawiamy w ruch obrotowy w płaszczyźnie poziomej (rys. 1) Przy wciąganiu nitki do rurki moment siły F, działającej na ciało, jest równy zeru. Zmniejsza się przy tym moment bezwładności I względem osi obrotu, a prędkość kątowa ω rośnie. Iloczyn momentu bezwładności i prędkości kątowej kulki ma jednak stałą wartość $I \cdot \omega = const$



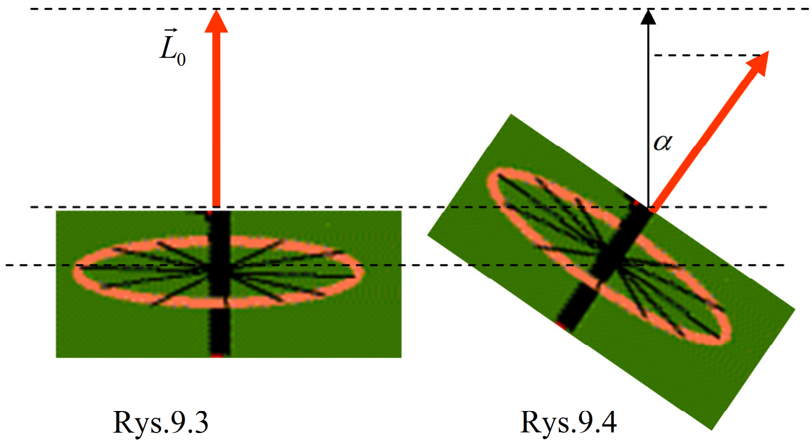
Rys.9.1 Zmieniamy promień okręgu, po którym porusza się kulka

Część 2 ćwiczenia:

Na stoliku obrotowym stoi demonstrator trzymający wirujące koło rowerowe. Przewidzieć, jak zachowa się układ ciał (demonstrator, stolik obrotowy i koło rowerowe) w czasie, gdy demonstrator podejmie próbę zmiany kierunku osi wirującego koła ? Obracający się stolik wraz z demonstratorem można w tym przypadku uważać za układ odosobniony



Rys. 9.2 1 - stolik obrotowy, 2 koło rowerowe

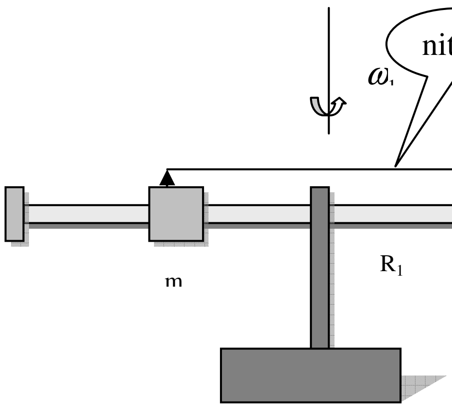


Rys.9.3 Rys.9.4

Rysunki 9.3 i 9.4 przedstawiają koło z zaznaczonymi wektorami momentami pędu w chwili początkowej (rys.9.3) i końcowej (rys 9.4)

Część 3 ćwiczenia:

W celu sprawdzenia zasady zachowania pędu można wykorzystać przyrząd do sprawdzania tej zasady. Urządzenie to składa się się z lekkiego pręta obracającego się niemal bez tarcia wokół pionowej osi. Na pręcie w równych odległościach od osi obrotu, osadzone są dwa obciążniki jednakowych masach Rys.9.5



Rys.9.5 Schemat przyrządu.[7]

- przyrząd do sprawdzenia zasady zachowania momentu pędu umieszczamy w uchwycie. Obciążniki łączymy nitką i ustawiamy symetrycznie względem osi obrotu,
- wprawiamy w ruch obrotowy pręt z obciążnikami i mierzymy czas, w którym wykonają one kilka obrotów,
- przepalamy nitkę i mierzymy czas, w jakim obciążniki wykonają tyle samo obrotów, co poprzednio,
- powtarzamy doświadczenie kilkakrotnie,
- szacujemy niepewności pomiarowe.

Dyskusja zasad fizycznych demonstrowanych w ćwiczeniu:

Część 1 ćwiczenia:

Przy wciąganiu nitki do rurki moment siły F, działającej na ciało, jest równy zeru, ponieważ kierunek siły pokrywa się kierunkiem osi obrotu. Zmniejsza się promień okręgu, po którym porusza się kulka, więc zmniejsza się przy tym moment bezwładności $I=mr^2$ względem osi obrotu, a prędkość kątowa ω rośnie. Iloczyn momentu bezwładności i prędkości kątowej kulki ma jednak stałą wartość

$$I \cdot \omega = const \qquad (71)$$

Część 2 ćwiczenia:

Początkowy całkowity moment pędu $\vec{L}_o$ pochodzi od wirującego koła. Następnie oś obrotu koła zostaje obrócona od pionu o kąt α.W tym celu potrzebny jest pewien moment siły, który w naszym przypadku jest momentem siły wewnętrznej układu. (Nie może zmienić momentu pędu układu, zmienia tylko dla koła). Moment pędu koła zmienia się o $\Delta\vec{L}$ jak pokazano na rysunku 2 i ta zmiana odnajduje się w obrocie człowieka trzymającego koło. Człowiek uzyskuje moment równy $\Delta\vec{L}$. Koło obraca się teraz dookoła nowej osi skierowanej po katem α do pionu. Wynika z tego, że człowiek zacznie obracać się zgodnie z obrotem koła.

Można, więc sformułować wniosek w postaci następującego zdania:

Jeżeli wypadkowy moment działających na ciało sił zewnętrznych jest równy zeru, to moment pędu nie ulega zmianie.

$$\sum_{i=1}^{n} \vec{M}_z = 0 \qquad \rightarrow \qquad \vec{L} = const \tag{72}$$

$$\text{Gdzie } \sum_{i=1}^{n} \vec{M}_z = \sum_{i=1}^{n} \vec{r}_i \times \vec{F}_i \tag{73}$$

zaś $\vec{L} = I \cdot \vec{\omega}$ (74)

a I oznacza moment bezwładności układu

Część 3 ćwiczenia:

Podczas obrotów wokół osi moment pędu ciała $\vec{L}$ jest zachowany, jeśli wypadkowy moment sił zewnętrznych $\vec{M}$ względem osi obrotu jest równy zeru:

$$\vec{L} = J \cdot \vec{\omega} = const. \qquad Jeśli \quad \vec{M} = 0 \tag{75}$$

Po wprawieniu przyrządu w ruch obrotowy wartość momentu pędu całego układu wynosi

$$L_1 = J_1 \cdot \omega_1 = \left(2mR_1^2 + J_p\right)\omega_1 \tag{76}$$

gdzie J_p oznacza moment bezwładności pręta, jego wartość wynosi

$$J_p = \frac{1}{12} M \cdot l^2 \ . \tag{77}$$

Urządzenie jest tak zbudowane by $L_1 = 2mR_1^2 \omega_1$ (78)

tzn. moment bezwładności pręta zaniedbujemy.

Prędkość $\omega_1 = \dfrac{2\pi n}{t_1}$ (79)

Po przepaleniu nitki obciążniki zajmą inne położenie ze względu na działanie siły bezwładności odśrodkowej i zmieni się moment bezwładności układu

$$L_2 = 2mR_2^2 \omega_2 \ . \tag{80}$$

Jeżeli w tym doświadczeniu obowiązuje zasada zachowania momentu pędu to możemy napisać

$$2mR_1^2 \cdot \frac{2\pi n}{t_1} = 2mR_2^2 \frac{2\pi n}{t_2} \tag{81}$$

A stąd wynika , że należy sprawdzić czy wyrażenia $\dfrac{R_1^2}{t_1}$ i $\dfrac{R_2^2}{t_2}$ są równe.

Należy dokładnie szacować w tym eksperymencie niepewności pomiarowe.

S.7.10

Modelowanie własności pola grawitacyjnego

Lista niezbędnych przedmiotów i materiałów:

Przyrząd do modelowania własności pola grawitacyjnego lub w przypadku braku przyrządu na mocnej ramie rozciągamy elastyczny materiał, siłomierz, kulka o masie 100g, spadkownica elektroniczna, pistolet do rzutów, przymiar milimetrowy.

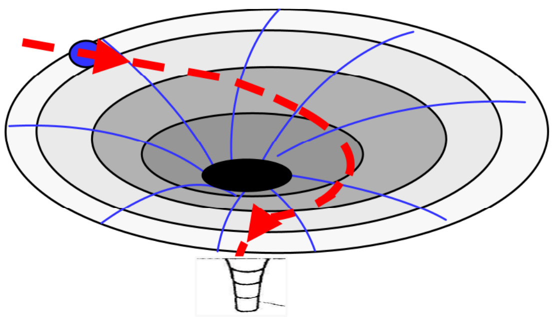
Procedura przeprowadzenia ćwiczenia, szacunkowy czas trwania:

Modelowanie pola grawitacyjnego

Zasada działania przyrządu:

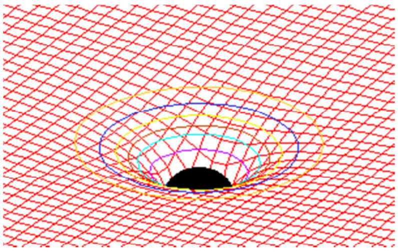
Powierzchnia przyrządu – hiperboloida obrotowa $y = -\frac{A}{x}$ ma tę własność, że ciało umieszczone na tej powierzchni doznaje działania siły analogicznej do siły grawitacji.

Rys.10.1 Przyrząd do modelowania własności pola grawitacyjnego



Rys.10.2 Zasada działania przyrządu - schematycznie

Ciało umieszczone na tej powierzchni wykonuje analogiczne ruchy jak ciało umieszczone w rzeczywistym polu grawitacyjnym(por. rysunek 2)



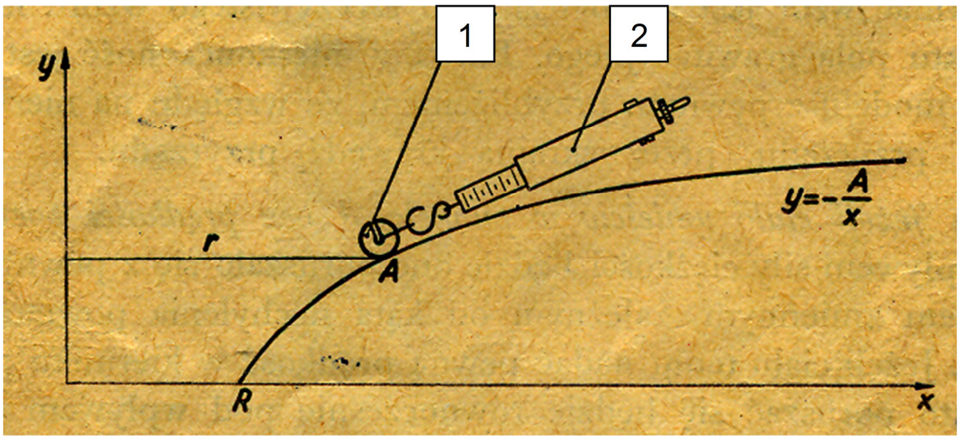
Rys.10.3 Zakrzywienie przestrzeni wokół źródła grawitacji [5]

Model ten pozwala wykonać szereg eksperymentów .

Część 1 ćwiczenia:

Zależność siły grawitacyjnej od odległości od środka masy wytwarzającej pole

Na powierzchni przyrządu umieszczamy ciało(1) (np. kulkę) o masie około 100g i łączymy z siłomierzem(2) rys.10.4. Przesuwając siłomierz w kierunku dodatnim osi x zauważamy, że wskazania siłomierza wyraźnie maleją wraz z oddalaniem się ciała od środka

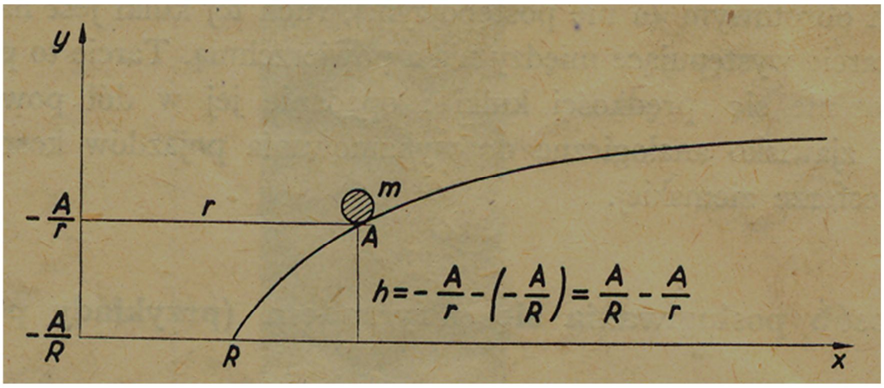


Rys.10.4.Przesuwanie ciała po powierzchni przyrządu

Z rysunku jasno wynika, że na ciało działa siła o zwrocie i kierunku zwróconym ku środkowi przyrządu i to niezależnie od ustawienia przyrządu. Jeżeli przyjmiemy, że w środku znajduje się ciało wytwarzające pole grawitacyjne to na inne ciało umieszczone w pobliżu działa siła przyciągania- zawsze!

Jeżeli odłączymy siłomierz od ciała zauważymy, że ciało porusza się wzdłuż krzywej geodezyjnej (kształt krzywej modeluje powierzchnia przyrządu) ku środkowi. Gdybyśmy powiększyli znacznie powierzchnię przyrządu to przebywając na niej obserwowaliśmy na niewielkim obszarze ruch prostoliniowy

Część 2 ćwiczenia
Energia potencjalna ciała



Rys.10.5. Obliczanie energii potencjalnej ciała umieszczonego na wysokości *h* nad powierzchnią np. Ziemi

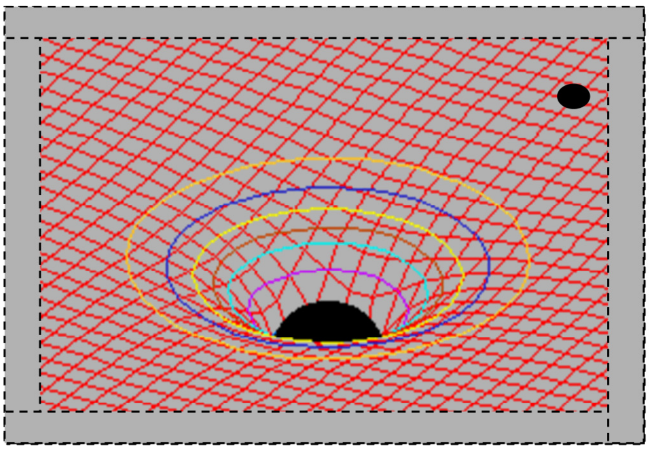
Umieszczamy kulkę na powierzchni przyrządu jak pokazuje powyższy rysunek. Obliczamy wartość energii, jaką posiada kulka

$$E_p = mgh = mg\left[-\frac{A}{r} - \left(-\frac{A}{R}\right)\right] = mg\left(\frac{A}{R} - \frac{A}{r}\right) = mgA\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r}\right) \qquad (82)$$

Jeżeli przyjmiemy, że w nieskończoności energia potencjalna przyjmuje wartość zero to możemy napisać

$$E_p = -\frac{mgA}{r} \qquad (83)$$

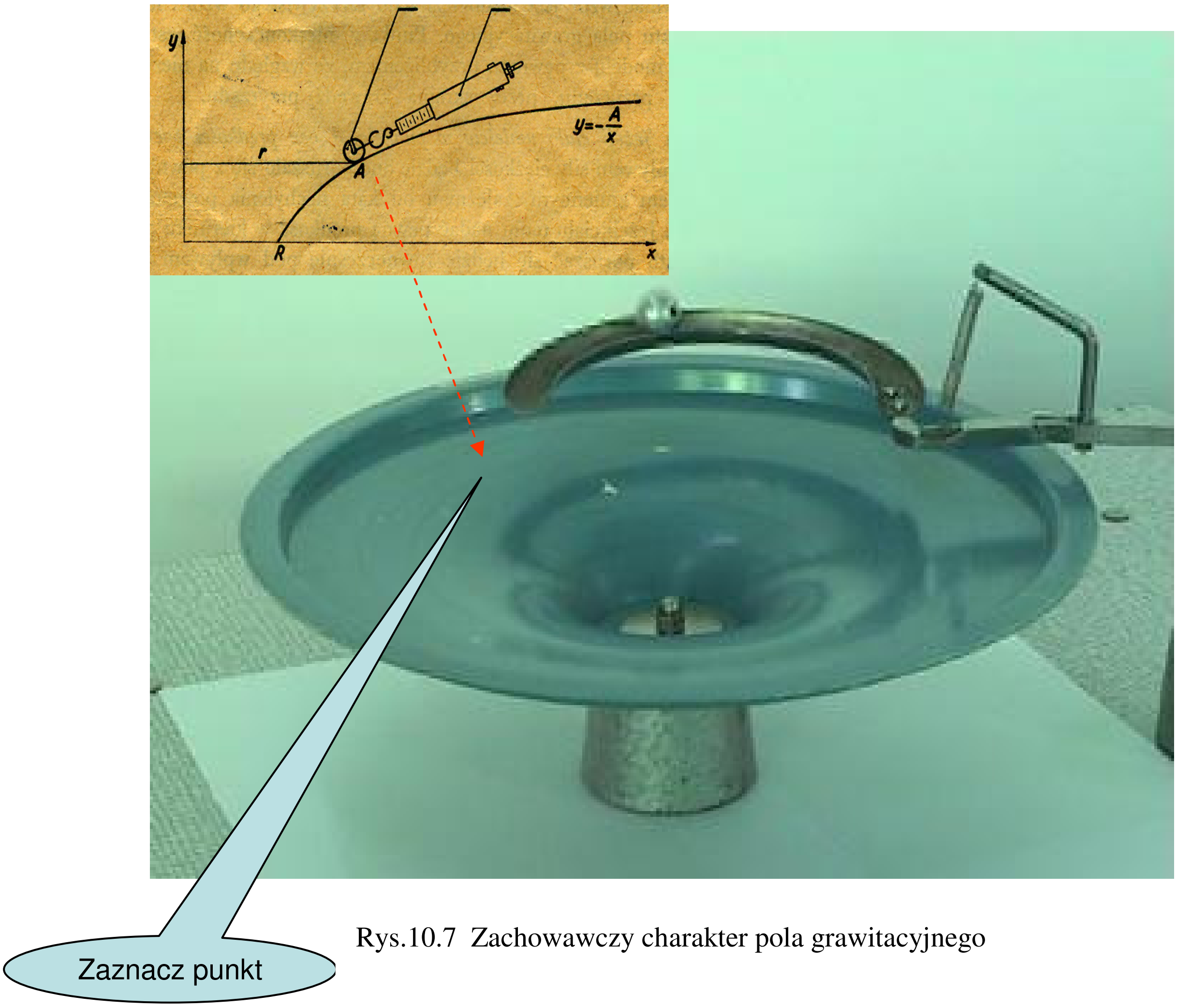
Gdy nie posiadasz wymienionego wyżej przyrządu wykonaj inny wg. następującego przepisu: Na mocnej ramie rozciągnij elastyczny materiał i połóż w środku dość ciężki obciążniki lub kulę i sprawdź, co się dzieje, jeżeli na tym rozciągniętym i elastycznym materiale w pobliżu dużej kuli położymy drugą kulę o mniejszej masie?



Rys.10.6 Model pola grawitacyjnego wykonany z elastycznego materiału

Część 3 ćwiczenia:

Zachowawczy charakter pola grawitacyjnego



Rys.10.7 Zachowawczy charakter pola grawitacyjnego

na powierzchni przyrządu i umieść tam kulkę z zamocowanym siłomierzem. Przesuwaj następnie kulkę po dowolnej drodze by w końcu umieścić ją z powrotem w punkcie wyjściowym. Oblicz jej energię potencjalną na początku eksperymentu i na końcu.

Co zauważyłeś ? …….
Jeżeli odkryłeś ? pewną prawidłowość --- sformułuj ją!!!!!

Nie martw się? -- nie masz przyrządu –zrób własny !!
Sposób wykonania podano na stronach niniejszego opracowania !!

Dyskusja zasad fizycznych demonstrowanych w ćwiczeniu:

Część 1 ćwiczenia:

Weźmy pod uwagę ciało o masie M . Niech ciało ma kształt kuli. W celu zbadania siły grawitacyjnej, jaką wywiera to ciało na otaczające je ciała, umieścimy w odległości x od jego środka małe ciało o masie m (tzw. ciało próbne). Stwierdzamy, że na ciało próbne działa siła przyciągania F (np. jabłko spada na Ziemię), o wartości $F = G\frac{m \cdot M}{x^2}$, skierowana ku środkowi ciała. Gdybyśmy ciało próbne odsunęli od źródła pola , to stwierdzamy, że w tym innym punkcie działa siła mniejsza niż w punkcie początkowym, ale posiadająca ten sam kierunek.

W otoczeniu jakiegokolwiek ciała przestrzeń posiada własność, że w każdym jej punkcie na ciało próbne działa siła grawitacyjna. Każde ciało posiadające masę wytwarza pole grawitacyjne.

Część 2 ćwiczenia:

Z doświadczenia życia codziennego wiadomo, że ciało znajdujące się w polu grawitacyjnym na pewnej wysokości *h* pozbawione podparcia, spada na niższy poziom zwiększając przy tym energię kinetyczną. Jeżeli wyjdziemy z zasady zachowania energii musimy zauważyć, że ciało posiadało pewien zasób energii, która traciło podczas spadania. Mamy prawo, więc stwierdzić - na wysokości h ciało posiadało energię związaną z jego położeniem – energię potencjalną grawitacji.

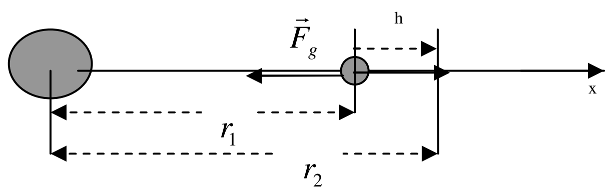
Obliczmy wartość zmiany energii potencjalnej, gdy zmienia się o h odległość ciała próbnego od źródła pola.

Wyobraźmy teraz sobie, że chcemy przesunąć nasze ciało z jednego miejsca w przestrzeni w inne. Ze względu na fakt, że podczas przesuwania na nasze próbne ciało działa grawitacji, będziemy musieli wykonać pewną pracę przeciwko tej sile, aby skutecznie
ciało przesunąć. Ponieważ jednak w każdym momencie działająca siła może mieć inną wartość, a nawet kierunek i zwrot, to w ogólności praca ta będzie zależała od drogi, jaką wybierzemy, aby ciało przesunąć z jednego miejsca w drugie.

Biorąc pod uwagę twierdzenie o pracy i energii napiszemy $\Delta E = W$ i obliczmy wartość wykonanej pracy w procesie przesuwania ciała. Podczas przesuwania ciała zmienia się wartość siły.

$$F_{śr} = \sqrt{F_1 \cdot F_2} = \sqrt{\frac{(GMm)^2}{r_1^2 \cdot r_2^2}} = \frac{GMm}{r \cdot r_{21}} \quad (84)$$

Zwrot siły grawitacji jest przeciwny do przesunięcia Rys.10.8



Rys.10.8 Oddziaływanie grawitacyjne dwóch kulek

Wobec tego, że ruch jest jednostajny możemy napisać

$$W = \frac{GmM}{r_1 r_2} \cdot (r_2 - r_1) = \frac{GmM}{r_1} - \frac{GmM}{r_2} \qquad (85)$$

A stąd

$$E_{pot.grawitacji} = -\frac{GM}{r} m \qquad (86)$$

W tym celu należy wybrać jeden punkt, względem, którego będziemy mierzyli tę energię, zwany punktem odniesienia (w naszym przypadku jest nim nieskończoność). Następnie wszystkim innym punktom należy przypisać energię potencjalną równą pracy potrzebnej, aby przesunąć nasze ciało z punktu odniesienia właśnie do tego miejsca

Część 3 ćwiczenia:

Wynik eksperymentu można przedstawić następująco. Wartość energii potencjalnej grawitacji(ciężkości) nie uległa zmianie, mimo, że ciało było przesuwane, (ale powróciło do stanu początkowego). Z tego powodu, że kształt drogi, po której poruszało się ciało, był przypadkowy, możemy sformułować następujący wniosek, $\Delta E_p = 0$. Fakt, że pole grawitacyjne posiada tę ważną właściwość, wyrażamy krócej mówiąc, że pole grawitacyjne jest zachowawcze.

Ten ostatni wniosek można zapisać inaczej, jeżeli zauważymy, że

$$W = (V_2 - V_1)m \qquad (87)$$

gdzie

$$V_1 = -\frac{GM}{r_1} \quad i \quad V_2 = -\frac{GM}{r_2} \qquad (88)$$

oznacza potencjał pola grawitacyjnego.

Gdy mamy określoną energię potencjalną naszego ciała w każdym punkcie przestrzeni, a opisana powyżej procedura to umożliwia, to bardzo łatwo jest znaleźć pracę, jaką należy wykonać, przesuwając ciało pomiędzy dwoma dowolnymi punktami. Jest to po prostu różnica energii potencjalnych dla tych dwóch punktów. Ponieważ sytuację dotyczy sił zachowawczych, to wykonana praca nie zależy od drogi, po której będziemy przesuwać ciało. Z tego wynika, że pole grawitacyjne jest polem zachowawczym oraz potencjalnym. Oczywiście, jeżeli odwrócimy zagadnienie reprezentowane przez wzór (85) możemy napisać

$$F = \frac{\Delta E_p}{\Delta r}, \qquad (89)$$

co umożliwia znacznie prostszy sposób określenia pola sił przy pomocy potencjału. Przy czym siła jest zawsze zwrócona w stronę malejącego potencjału.

Należy jednak na koniec zauważyć, że sama energia potencjalna nie ma dobrej interpretacji fizycznej. Jej wartość zależy, bowiem od wyboru punktu odniesienia. Obiektywne znaczenie ma tylko różnica energii potencjalnych, gdyż to właśnie ta różnica określa pracę do wykonania – coś, co możemy zmierzyć bezpośrednio w eksperymencie.

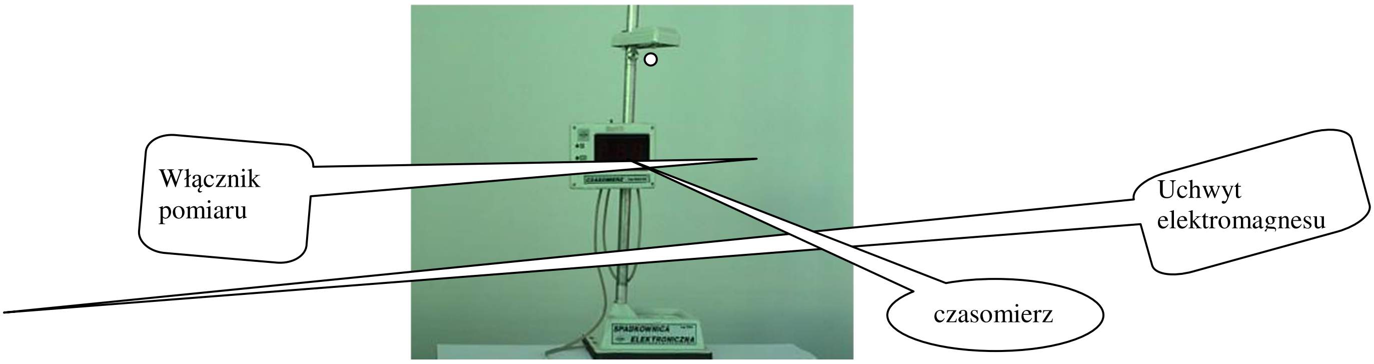
S.7.11

Jak porusza się spadająca kulka w powietrzu?

Lista niezbędnych przedmiotów i materiałów:

Komputer z programem Microsoft Excel, spadkownica elektroniczna, przymiar milimetrowy, kulki o różnych masach

Część 1 ćwiczenia:



Rys.11.1 Zdjęcie spadkownicy elektrycznej

Aby przeprowadzić pomiar czasu spadku kulki z określonej wysokości należy kulkę umieszczać w uchwycie elektromagnesu na odpowiednich wysokościach. Każdorazowo w momencie umieszczania kulki w uchwycie wskazania czasomierza zerują się. Rozpoczynamy pomiar, gdy uchwyt jest wyciągnięty maksymalnie do góry. Następnie włączamy czasomierz i wciskając przycisk „włącznik pomiaru" uwalniamy wyzwalacz. Na wyświetlaczu pojawi się czas spadku. Pomiar przeprowadzamy dla dwóch różnych kulek. Pamiętamy, aby dokładnie określić wysokość spadku, należy uwzględnić w obliczeniach promień kuli.

Część 2 ćwiczenia:

Obserwacja swobodnego spadku prowadzi do wniosku, że droga padania zależy od czasu spadania i wartości przyspieszenia (np. przy jej ruchu w wodzie i w powietrzu) nie zależy od masy kulek!!

Zależność możemy sformułować wzorem $h = C \cdot a^x t^y$ (90)

Jeżeli $g=a = const.$ możemy napisać $h = At^y$ (91)

W tym celu należy wykonać następujące czynności:

- Uruchomić spadkownicę elektroniczną.
- Wykonać pomiary wysokości spadania i czasu spadania (0,4 -1,0m).

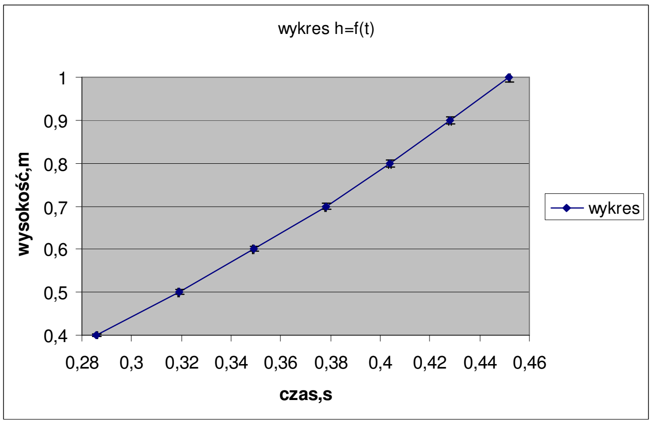
(W przypadku braku spadkownicy elektronicznej mierzymy czas spadania kulki z wysokości od 5m do 2m np. z okna pracowni lub wypożyczonej drabiny)

- Wyniki zapisać w programie Microsoft Excel na komputerze (przykład poniżej).

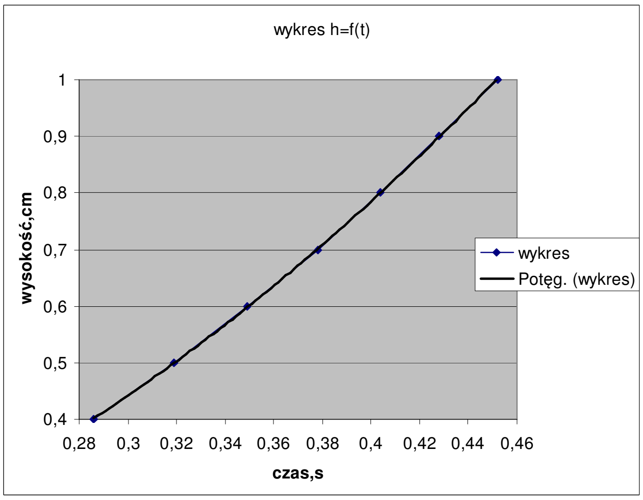
Wysokość h, m	t^2, s^2	Czas spadania t, s
0,4	0,082	0,286
0,5	0,102	0,319
0,6	0,122	0,349
0,7	0,143	0,378
0,8	0,163	0,404
0,9	0,183	0,428
1	0,204	0,452

Tabela 11.1 Tabela pomiarów

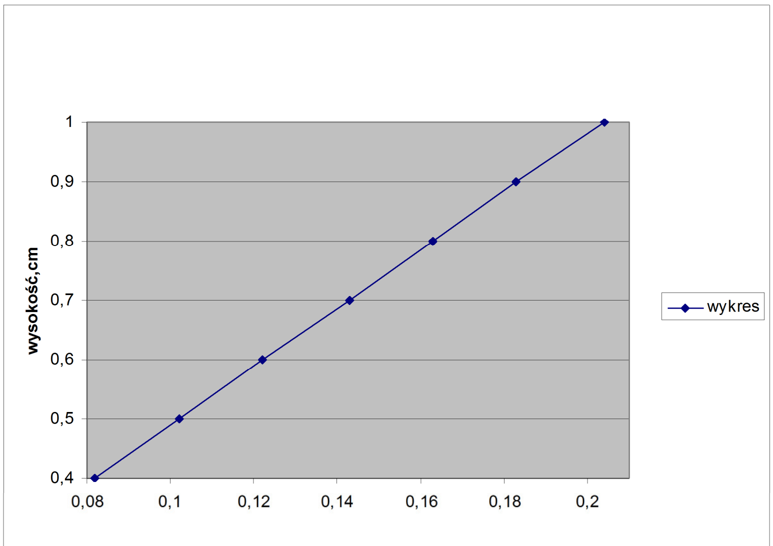
- Wykonać wykres zależności wysokości spadania kulki od czasu jej spadania.



- Dopasować wykres do danych pomiarowych.



- Linearyzujemy wykres.



$$A = \frac{1{,}0m - 0{,}4m}{0{,}204s^2 - 0{,}082s^2} = \frac{0{,}6m}{0{,}122s^2} = 4{,}91\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$$

W pierwszym przypadku otrzymujemy zależność kwadratową, a w drugim przypadku zależność liniową.

Z wykresu wynika, że wykładnik potęgi w wyrażeniu (91) wynosi 2 oraz stała *A* przyjmuje wartość $4{,}91\frac{m}{s^2}$.

Możemy, więc napisać uwzględniając wyrażenie (91), że

$$h = C \cdot g^x \cdot t^2$$

Część 3 ćwiczenia:

Zastosujemy analizę wymiarową (****)do ostatniego wyrażenia.

Z lewej strony równania zawarty jest wymiar długości i aby po prawej uzyskać wymiar długości *x* musi przyjmować wartość 1.

Ostatecznie napiszemy *C g* =*A* (92)

I stąd $$C = \frac{A}{g} = \frac{4{,}91\frac{m}{s^2}}{9{,}81\frac{m}{s^2}} \cong \frac{1}{2} \qquad (93)$$

Możemy na koniec sformułować wyrażenie zawierające zależność drogi od czasu w swobodnym spadku

$$h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \qquad (94)$$

Dyskusja zasad fizycznych demonstrowanych w ćwiczeniu:

Część 1 ćwiczenia:

Na początku XVII wieku Galileo Galilei (Galileusz) odkrył prawo, jakiemu podlegają ciała spadające swobodnie na powierzchnię Ziemi. Prawo to brzmi: stosunek dróg przebytych w kolejnych równych przedziałach czasu jest równy stosunkowi kolejnych liczb nieparzystych. Galileusz zauważył, że szybkość spadania ciał nie zależy od ich masy, a wszelkie odstępstwa od tego prawa wynikają z oporów powietrza. Chcąc badać spadek ciał musimy, więc albo przeprowadzać doświadczenie w próżni albo wybrać do badań takie ciało, dla którego siła oporu aerodynamicznego będzie zaniedbywanie mała w stosunku do siły ciężkości.(W naszym przypadku spadająca stalowa kulka napotyka w powietrzu na mały opór i można go zaniedbać)(w wodzie widać zmianę wartości przyspieszenia)

Spadek swobodny to ruch ciała wyłącznie pod wpływem siły ciężkości. W chwili początkowej ciało spoczywa i następnie puszczone porusza się ruchem przyspieszonym pod wpływem siły grawitacyjnego oddziaływania Ziemi i tego ciała. Zakładamy, że pole grawitacyjne jest jednorodne - w każdym punkcie takie samo - ten sam kierunek, ten sam zwrot i taka sama wartość natężenia pola.

Doświadczenie pokazuje, ze ciało puszczone swobodnie porusza się pod wpływem siły ciężkości, którą można zapisać w postaci: $Q = m\,g$, skierowanej pionowo w dół, gdzie m - masa ciała, g – przyspieszenie ziemskie. Zgodnie z II zasadą dynamiki Newtona można zapisać: $m\,a = m\,g$, gdzie a – przyspieszenie ciała. Widzimy, więc, ze spadające swobodnie (to znaczy bez prędkości początkowej) ciało będzie się poruszać ruchem prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym.

Część 2 ćwiczenia:

(****)

Wymiary, podobnie jak jednostki mnożymy, dzielimy i potęgujemy, jak zwykłe liczby, otrzymując nowe wymiary, niemniej jednak dodawanie ma osobliwy przebieg.

Np. $V+V=2V$

Lub $1\frac{cm}{s}+1\frac{cm}{s}=2\frac{cm}{s}$

Natomiast dla wymiaru tych liczb, będzie

$LT^{-1}+LT^{-1}=LT^{-1}$,

czyli prędkość zawiera wymiar długości i czasu w odpowiednich potęgach.

Wynika z tego, że dodawanie liczb o różnych wymiarach pozbawione jest sensu. Zatem we wszystkich równaniach fizyki wyrażenia wchodzące w ich skład muszą mieć ten sam wymiar.

Np. jeżeli napiszemy równanie $h=C\cdot g^x\cdot t^2$ gdzie h oznacza wysokość, g- przyspieszenie, zaś t- czas, to musi być pod względem wymiarów jednorodne, tzn. wymiar lewej strony jest taki sam jak prawej strony

Wymiar lewej strony: L

Wymiar prawej strony: $(LT^{-2})^x T^2=L^xT^{-2x+2}$ i aby zachowana była jednorodność wymiarów x musi przyjmować wartość równą 1. tzn. wyrażenie opisujące h jest postaci $h=C\cdot g\cdot t^2$.

S.7.12

Siła bezwładności pojawia się tylko w nieinercjalnych układach odniesienia?

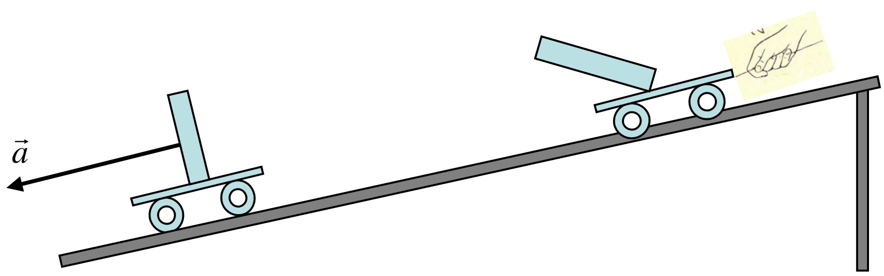
Lista niezbędnych przedmiotów i materiałów:

Wózek, klocek, równia pochyła (dość długa deska), sprężyna niezbyt sprężysta, kulka lub walec, szyny do wózka, obciążniki, sznurek , nitka, wózek z wykonaną platformą długości około 1m,

Procedura przeprowadzenia ćwiczenia, szacunkowy czas trwania:

Część 1 ćwiczenia:

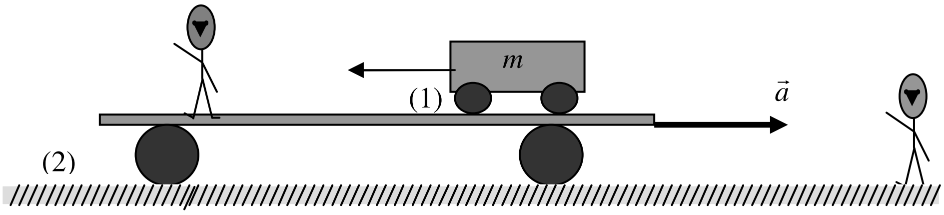
Klocek drewniany, dość wysoki, znajdujący się na wózku nie przewraca się, gdy wózek zjeżdża po równi pochyłej, natomiast przewraca się, gdy wózek jest w spoczynku na tejże równi.



Rys.12.1 Schemat eksperymentu

Część 2 ćwiczenia:

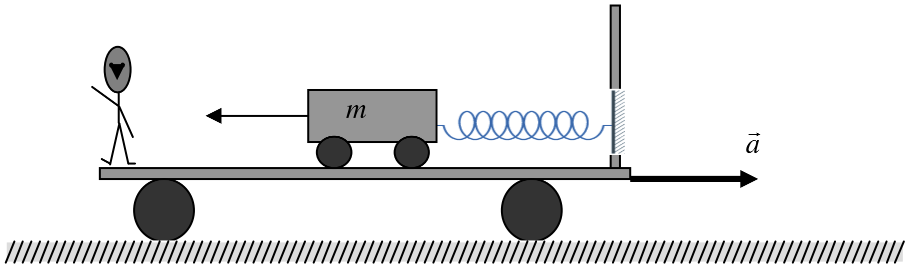
Na torze do wózka(1) (- długość około 2m) umieszczamy platformę (2) a na niej wózek tak, jak to jest widoczne na rysunku 2 . Z chwilą, gdy platforma zacznie się poruszać ruchem jednostajnie przyspieszonym, wózek zacznie się toczyć ku stojącemu z lewej strony obserwatorowi



Rys.12.2.Na torze (2) jest umieszczona platforma(1), a na niej wózek. Platformie nadano przyspieszenie *a*

Na platformie 1 umieszczamy wózek i przymocowujemy go za pomocą sprężyny do platformy tak, jak to jest widoczne na rysunku 3.

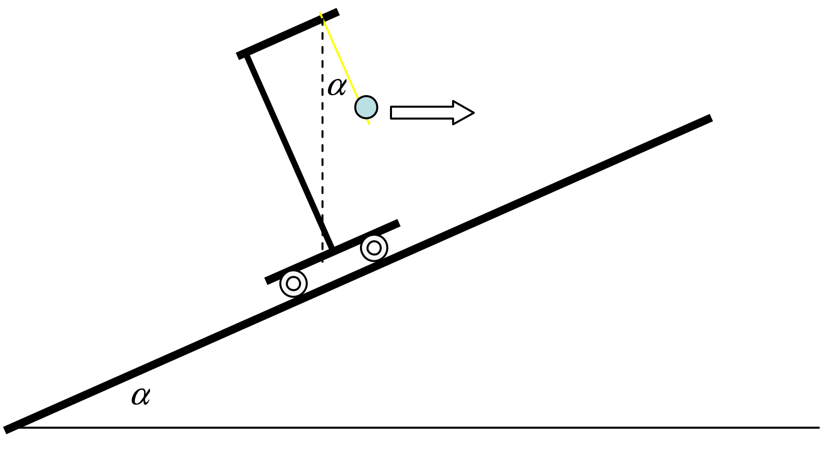
W momencie, gdy nadamy platformie pewne wózek napręża sprężynę dopóty dopóki naprężenie sprężyny nie osiągnie pewnej wartości. Z tą chwilą wózek zatrzymuje się i pozostaje w spoczynku z punktu obserwatora siedzącego na platformie



Rys.12.3 Wózek połączono z platformą sprężyną i nadano platformie przyspieszenie *a.*

Część 3 ćwiczenia:

Na równi pochyłej o kącie nachylenia α umieszczamy wózek, na którym przymocowane jest na pręcie wahadło matematyczne (kulka na nitce). Następnie wózek puszczamy swobodnie i obserwujemy, że kulka odchyla się od pionu o pewien kąt.(rys.12.4)



Rys.12.4 Nitka jest prostopadła do równi

Dyskusja zasad fizycznych demonstrowanych w ćwiczeniu:

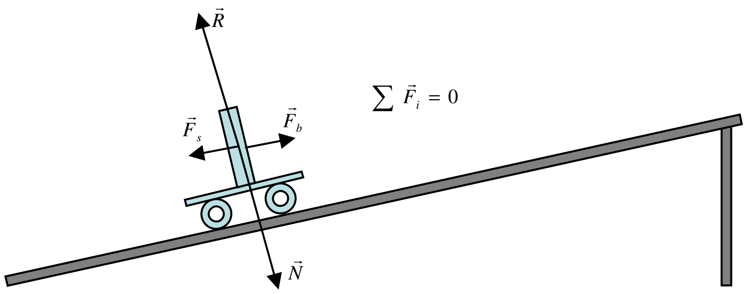
Część 1 ćwiczenia:

Z punktu widzenia obserwatora nieruchomego klocek i wózek poruszają się z jednakowym przyspieszeniem (między klockiem a wózkiem istnieje tarcie). Przyspieszenie jest wywołane składową siły grawitacji

Jeżeli układ odniesienia porusza się ruchem przyspieszonym względem otoczenia, wtedy z jego poziomu ciała w tym otoczeniu też poruszają się ruchem przyspieszonym (tylko skierowanym przeciwnie). Wygląda to tak samo jakby działała na nie jakaś siła. I właśnie sztucznie przypisana temu ruchowi siła jest siłą bezwładności.

Siła bezwładności nie jest zwykłą siłą. Właściwie można by nawet powiedzieć, że w ogóle nie jest siłą. Bo nie wynika ona z żadnego oddziaływania między ciałami (a przecież definiowaliśmy siłę jako miarę oddziaływania). Jeszcze inaczej można by powiedzieć, że jest ona siłą pozorną.

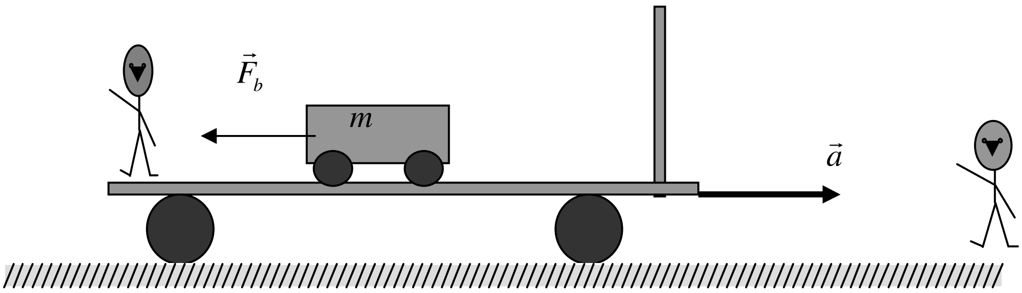
W celu podania wzoru opisującego siłę bezwładności należy- zgodnie z określeniem siły – pomnożyć masę ciała przez przyspieszenie, jakie przypisujemy ciału w wyniku oddziaływania sił bezwładności. W przedstawionym przykładzie klocek pozostaje w spoczynku względem wózka i dlatego „musimy” przyłożyć do niego siłę F_b, której zwrot będzie przeciwny do jednej ze składowych siły ciężkości, a jej wartość będzie równa wartości tej siły. Można, więc napisać, że F_b= - $ma_{ukł.}$. Sytuację powyższa przedstawia rysunek 12.5.



Rys.12.5 Suma sił (dokładniej momentów sił) wynosi zero.

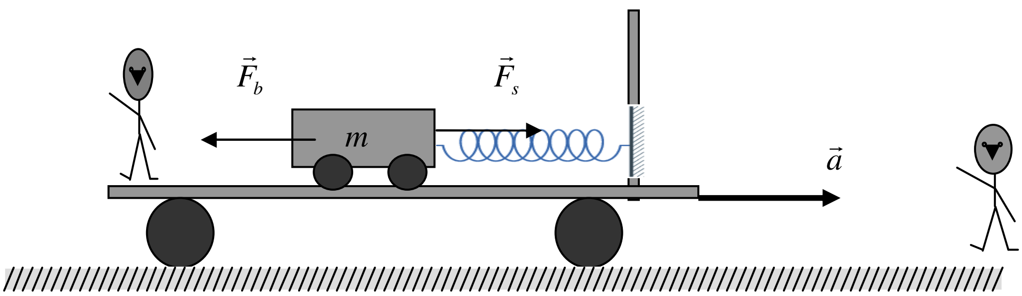
Część 2 ćwiczenia:

Obserwator siedzący na platformie nagle obserwuje niezwykłe zjawisko. Wózek, który dotychczas spoczywał nieruchomo na platformie, zaczyna niespodziewanie toczyć się. Jako, że fakt istnienia przyspieszenia wózka nie wynika ze wzajemnego oddziaływania ciał, obserwator wskazuje siłę bezwładności, jako przyczynę ruchu? A zatem wózek porusza się względem platformy z przyspieszeniem $-a$. Stwierdza, więc, że na wózek działa siła bezwładności F_b =- ma. Drugi obserwator stwierdza, że platforma uzyskała pewne przyspieszenie i zaczęła się poruszać, zaś wózek pozostał wzglądem niego w spoczynku. Na wózek nie działa, więc żadna siła. Porusza się tylko platforma z umieszczonym na niej obserwatorem przesuwając się w prawo.(rys.6)



Rys.12.6 Obserwator siedzący na platformie nagle obserwuje niezwykłe zjawisko

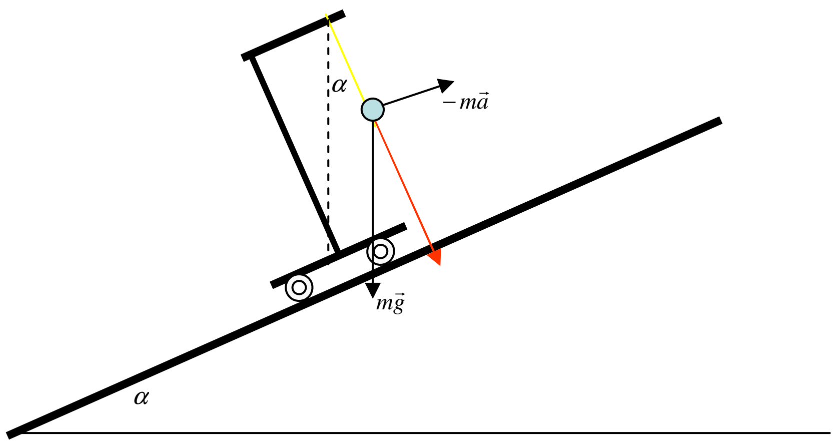
Z rysunku12.7 zaś wynika, że wózek napręża sprężynę póki naprężenie sprężyny nie osiągnie wartości $\vec{F}_s = m\vec{a}$ równoważącej siłę bezwładności $\vec{F}_b$. Z chwilą zrównoważenia wózek zatrzymuje się i pozostaje nieruchomy z punktu widzenia obserwatora siedzącego na platformie, gdyż w jego nieinercjalny układzie odniesienia wypadkowa siła działająca na wózek znika



Rys.12.7 Wózek napręża sprężynę

Część 3 ćwiczenia:

Wiszące początkowo pionowo wahadło odchyla się od pionu o kąt α, tak by kierunek nitki utworzył z płaszczyzną równi kąt prosty. Wynika z tego, że kąt odchylenia zależy od kąta nachylenia równi. Aby ten fakt wyjaśnić należy do wektora siły ciężkości dodać siłę bezwładności równoległej do powierzchni równi pochyłej tak jak pokazano na rysunku 12.8



Rys.12.8 Wiszące początkowo pionowo wahadło odchyla się od pionu