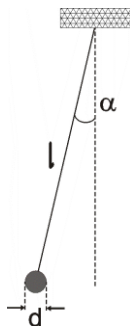


## WAHADŁO MATEMATYCZNE

### Wyznaczanie przyspieszenia ziemskiego przy pomocy wahadła matematycznego.

W warunkach rzeczywistych, jako wahadło matematyczne można z dobrym przybliżeniem traktować niewielką kulkę zawieszoną na cienkiej i wytrzymałej nici (Rys.6).



Rys. Wahadło matematyczne

Aby przy pomocy takiego układu wyznaczyć przyspieszenie ziemskie należy:

1. Zawiesić kulkę na nitce i zmierzyć długość nici  $l_1$ , z dokładnością  $\Delta l_1 = 0,2 \text{ cm}$ . Wynik pomiaru wpisać do tabeli (Tab.1).
2. Przy pomocy suwmiarki z noniusem zmierzyć średnicę kulki  $d$ , z dokładnością  $\Delta d = 0,1 \text{ mm}$ . Obliczyć długość wahadła  $l = l_1 + d/2$ .
3. Wprawić wahadło w ruch drgający. Drgania będą harmoniczne tylko wtedy, gdy kąt  $\alpha$  odchylenia od pionu będzie mniejszy od  $5^\circ$ .
4. Zmierzyć przy pomocy sekundomierza czas  $t$  dla  $n=100$  pełnych drgań. Pomiar czasu dokonujemy przez uruchomienie i zatrzymanie sekundomierza, gdy kulka znajduje się w tym samym skrajnym wychyleniu. Wynik pomiaru wpisać do tabeli z dokładnością  $\Delta t = 0,1 \text{ s}$ . Obliczyć okres drgań  $T$  dzieląc czas  $t$ , w którym wahadło wykonuje  $n$  pełnych drgań, przez ich liczbę –  $T = t/n$ .
5. Przy danej długości wahadła, czynności powyższe powtórzyć trzykrotnie. Zmienić długość wahadła i powtórzyć pełną serię pomiarową. Korzystając ze wzoru na okres drgań wahadła matematycznego obliczyć przyspieszenie ziemskie  $g$ .

$$g = \left( \frac{2n\pi}{t} \right)^2 \left( l_1 + \frac{d}{2} \right)$$

6. Obliczyć średnią arytmetyczną przyspieszenia ziemskiego. W sprawozdaniu podać pełne obliczenia dla jednego pomiaru z każdej serii.

Stosując metodę różniczkową obliczyć niepewność maksymalną bezwzględną oraz względną jakim obarczone są pomiary przyspieszenia ziemskiego. Do obliczeń przyjąć wartości pomiarowe dające wynik najbliższy – średniej, uwzględniając przy tym następujące maksymalne niepewności bezwzględne wielkości bezpośrednio mierzonych:  $\Delta l_1 = 0,2 \text{ cm}$ ,  $\Delta d = 0,1 \text{ mm}$ ,  $\Delta n = 2$ ,  $\Delta t = 0,7 \text{ s}$ . Tak duża niepewność bezwzględna pomiaru czasu spowodowana jest opóźnioną reakcją obserwatora na bodziec wynoszącą

około 0,3 sekundy. Na niepewność bezwzględną czasu składają się: dwukrotne opóźnienie reakcji na bodziec oraz niepewność odczytu wynosząca 0,1s.

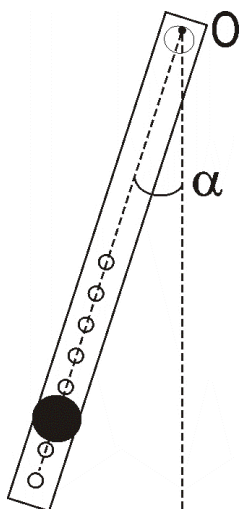
Tabela 1.

$l_1$	D	n	T	g	$g_{sr}$
$[10^{-2}m]$	$[10^{-3}m]$		[s]	$[m/s^2]$	$[m/s^2]$

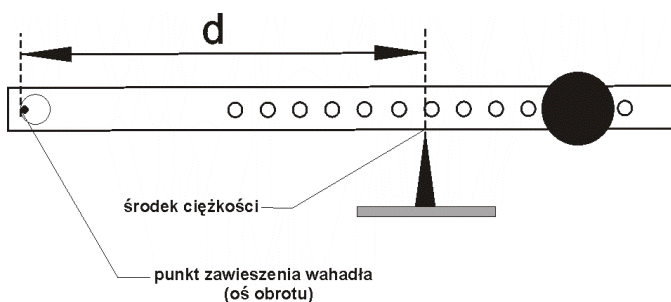
## WAHADŁO FIZYCZNE

### Wyznaczenie momentu bezwładności bryły sztywnej przy pomocy wahadła fizycznego.

Obiektem badanym będzie metalowa listwa z nawierconymi otworami umożliwiającymi zmianę położenia ciężarków obciążających, a tym samym zmianę położenia środka masy bryły (Rys.7). Całkowita masa listwy wraz z obciążnikami wynosi  $m=2,555$  kg. Pomiary przeprowadzić przy dwóch różnych położeniach ciężarków obciążających listwę, wskazanych przez prowadzącego ćwiczenia.



Rys.7. Wahadło fizyczne



Rys.8. Wyznaczenie położenia środka masy

1. W celu pomiaru odległości  $l$  środka masy od osi obrotu umieścić listwę na ostrej podporze, przesuwając wahadło tak by znalazło się w równowadze chwiejnej (Rys.8). Patrząc z góry odczytać położenie ostrza na tle skali naniesionej na listwę z dokładnością  $\Delta l=0,5cm$ . Wynik wpisać do tabeli (Tab.2).

2. Zawiesić wahadło na osi i wprowadzić je w ruch drgający. Drgania będą harmoniczne tylko wtedy, gdy kąt  $\alpha$  odchylenia od pionu będzie mniejszy od  $5^\circ$ .
3. Zmierzyć przy pomocy sekundomierza czas  $t$  dla  $n=100$  pełnych drgań. Pomiar czasu dokonujemy przez uruchomienie i zatrzymanie stopera, gdy wahadło znajduje się w tym samym skrajnym wychyleniu. Wynik pomiaru wpisać do tabeli z dokładnością  $\Delta t=0,1s$ .
4. Przy danym położeniu ciężarka obciążającego listwę, czynności powyższe powtórzyć trzykrotnie.
5. Zmienić położenie ciężarka i powtórzyć pełną serię pomiarową.

Tabela 2.

Nr otworu	Nr pomiaru	l	$t_{n=100}$	T	$J_o$	$J_o \text{ śr}$
		[ m ]	[ s ]	[ s ]	[ kg m <sup>2</sup> ]	[ kg m <sup>2</sup> ]
	1					
	2					
	3					
	1					
	2					
	3					

6. Korzystając ze wzoru (14) obliczyć dla każdego pomiaru moment bezwładności  $J_o$ , a następnie – moment średni dla danej serii pomiarowej. W sprawozdaniu podać pełne obliczenia dla jednego pomiaru z każdej serii.
7. Stosując metodę różniczkową obliczyć niepewność maksymalną bezwzględną oraz względną jakim obarczone są momenty bezwładności w każdej serii pomiarowej. Do obliczeń brać wartości pomiarowe dające wynik najbliższy – średniej, przyjmując przy tym następujące maksymalne niepewności bezwzględne wielkości bezpośrednio mierzonych:  $\Delta l=0,5cm$ ,  $\Delta n=2$ ,  $\Delta t=0,7s$ . Tak duża niepewność bezwzględna pomiaru czasu spowodowana jest opóźnioną reakcją obserwatora na bodziec wynoszącą około 0,3 sekundy. Na niepewność bezwzględną czasu składają się : dwukrotne opóźnienie reakcji na bodziec oraz niepewność odczytu wynosząca 0,1s.

## ZAGADNIENIA

Ruch drgający prosty: wychylenie, prędkość, przyspieszenie, siła (wzory). Równania definiujące ruch. Energia w ruchu harmonicznym. Drgania niegasnące oraz tłumione. Wahadło matematyczne – definicja, okres drgań. Wahadło fizyczne – definicja, okres drgań. Moment bezwładności. Twierdzenie Steinera. Zasady dynamiki w ruchu postępowym oraz w ruchu obrotowym.