

Zad. M 15A	I PRACOWNIA FIZYCZNA Instytut Fizyki US
Temat:	Wahadło Oberbecka – badanie ruchu obrotowego

Cel: zapoznanie studenta z kinematyką ruchu obrotowego jednostajnie zmiennego. Wyznaczenie prędkości średniej i przyspieszenia średniego w ruchu obrotowym. Wyształcenie u studenta samodzielnego posługiwania się aparaturą pomiarową oraz umiejętności analizy i interpretacji wyników pomiarów.

Przyrządy: wahadło Oberbecka, nitka, obciążniki, taśma miernicza, suwmiarka, miarka zwijana, stoper o rozdzielczości 0,01 s.

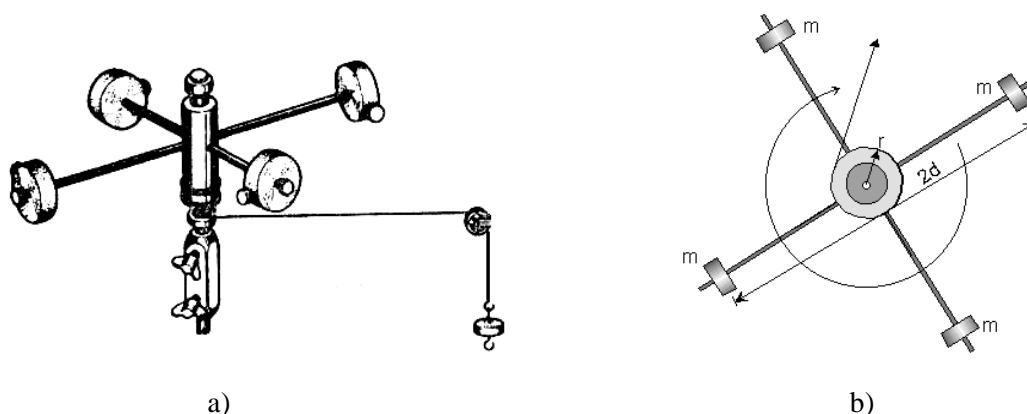
1. ZAGADNIENIA

- Pojęcia i wielkości opisujące ruch obrotowy. Kąt, prędkość kątowa jako wielkości wektorowe. Ruch jednostajnie przyspieszony.
- Model bryły sztywnej. Zasady dynamiki dla ruchu obrotowego.

2. OPIS ZAGADNIENIA

A. Opis układu doświadczalnego

Wahadło Oberbecka (rys. 1) stanowi bryłę sztywną utworzoną przez tuleję – korpus w kształcie walca, który może się obracać wokół osi symetrii i cztery wkręcone w nią pręty stalowe. Tuleja, wyposażona na końcach w łożyska kulkowe, jest osadzona obrotowo na stalowej osi, która za pomocą łącznika prostego została umocowana na pręcie statywu. Na pręty wahadła są nałożone obciążniki zaopatrzone w śruby zaciskowe. Można je przesuwając na prętach i unieruchomić w dowolnej odległości od osi obrotu. Stanowią one elementarne masy. Rozmieszczenie ich względem osi obrotu powodować będzie zmiany momentu bezwładności wahadła i decyduje o charakterze ruchu obrotowego (mniejsze lub większe przyspieszenie). Na końcach prętów znajdują się nakrętki, które zabezpieczają przed zsunięciem się obciążników podczas wirowania przyrządu. Tuleja ma przy jednym końcu dwa wgłębienia tzw. szpulka,



Rys. 1. Wahadło Oberbecka, widok: a) z boku z bloczkiem i przerzuconą przez bloczek nitką z ciężarkiem; b) z góry z zaznaczonym promieniem i przesuwными ociążnikami znajdującymi się w odległości d od osi obrotu.

na którą nawija się nić, o średnicach 30 mm i 15 mm, a przy drugim końcu jedno wgłębienie o średnicy 15 mm. Nitki przywiązuje się do haczyków na szpulkach mniejszych lub zaczepia w otworze na boku większej szulki. Na drugim końcu zawieszają się ciężarki. Nić przerzuca się przez bloczek i obciąża ciężarkiem, a wtedy moment siły naciągu nici wprawia wahadło w ruch obrotowy. Z II zasady dynamiki

dla ruchu obrotowego wiadomo, że ruch powinien być jednostajnie przyspieszonym. Zatem zależność zakreślonego kąta α przez bryłę od czasu jest postaci

$$\alpha = \frac{1}{2} \varepsilon t^2, \quad (1)$$

natomiast prędkość kątowa ω zmienia się liniowo

$$\omega = \varepsilon t. \quad (2)$$

We wzorach (1) i (2) przyjęliśmy, że wahadło jest wprowadzane w ruch w chwili czasu $t = 0$.

3. PRZEBIEG WYKONANIA ĆWICZENIA

A. Metoda pomiarów.

Dla zbadania charakteru ruchu, czy faktycznie jest opisane powyższymi równaniami należy mieć wartości zakreślonego kąta przez bryłę w danych momentach czasu. W tym celu, do pomiarów, na jednym z prętów należy zrobić znacznik. Wahadło tak ustawić aby znacznik znalazł się na wprost ustawionego nieruchomego znacznika np. pręta statywu. Zwolnienie przyrządu musi być jednoczesne z włączeniem stopera. Pomiar czasu należy wykonać dla pełnych obrotów bryły. Oznaczmy przez n całkowitą liczbę obrotów bryły w czasie t_n ($n = 1, 2, 3, \dots$) wówczas zakreślony kąt jest równy

$$\alpha_n = n \cdot 2\pi. \quad (3)$$

Ponieważ ruch nie jest jednostajny, więc prędkość będzie się zmieniać. Dlatego należy posłużyć się wartościami średnimi, liczonymi dla czasów w ustalonych odstępach czasu. Jeśli będziemy mieć czasy t_n , to najmniejszym przedziałem czasu jest $\Delta t_{1,n} = t_{n+1} - t_n$ dla odstępu czasu między dwoma kolejnymi zliczeniami czasów obrotu, podwójnym przedziałem czasu jest $\Delta t_{2,n} = t_{n+1} - t_{n-1}$ odstęp czasu między trzema kolejnymi zliczeniami czasów obrotu, itd. W doświadczeniu wskazane jest wybranie najmniejszego odstępu czasu, jednak gdyby odstęp był za krótki należy wybrać odstęp czasu $\Delta t_{2,n}$. Dla prostoty w zapisach weźmiemy odstęp czasu $\Delta t_{2,n}$ gdzie dalej indeks „2” pominiemy.

Prędkość kątowa średnia dla przedziału czasu $\Delta t_{2,n} = \Delta t_n = t_{n+1} - t_{n-1}$ jest równa

$$\omega_n = \frac{\Delta \alpha_n}{\Delta t_n} = \frac{\alpha_{n+1} - \alpha_{n-1}}{t_{n+1} - t_{n-1}}. \quad (3)$$

Podstawiając (3) otrzymujemy

$$\omega_n = \frac{4\pi}{\Delta t_n}. \quad (4)$$

Zauważmy, że w ruchu jednostajnie przyspieszonym wartość średnia prędkości kątowej w przedziale czasu między obrotem $n - 1$ a $n + 1$ jest równa wartości chwilowej w momencie czasu t_n .

Przyspieszenie kątowe w przedziale czasu Δt_n obliczymy podobnie

$$\varepsilon_n = \frac{\Delta \omega_n}{\Delta t_n} = \frac{\omega_{n+1} - \omega_{n-1}}{t_{n+1} - t_{n-1}}. \quad (5)$$

Z powyższego widać, że pomiary sprowadzają się do pomiaru czasu. Dlatego należy tak zaplanować pomiary – ich wielokrotność, aby względne niepewności związane z wyznaczeniem wartości średnich nie przekraczały 5 %.

Znając średnicę szpuli możemy obliczyć drogę tj. wysokość h_n jaką ciężarek przebędzie w czasie t_n – czas całego ruchu. Wysokość tą możemy zmierzyć niezależnie. Stąd możemy obliczyć przyspieszenie średnie na całej drodze ruchu ciężarka. Ponieważ między obu przyspieszeniami jest związek

$$\varepsilon = \frac{a}{r}, \quad (6)$$

więc możemy porównać wartości wyznaczanych przyspieszeń kątowych.

Przygotuj tabelę pomiarową.

B. Wykonanie doświadczenia.

1. Rozmieścić obciążniki na prętach krzyżaka wahadła Oberbecka, symetrycznie, wybrać dogodną ich odległość od osi obrotu lub wg decyzji prowadzącego.
2. Za pomocą suwmiarki zmierzyć kilka razy) średnice szpul na który nawija się nić.
3. Do końca nitki, zaczeptionej do jednej ze szpul i przerzuconej przez bloczek podwiesić ciężarek (50 g lub większy).

Uwaga: sprawdzić długość nitki – ciężarek w najniższym położeniu powinien być kilka cm nad podłogą (zależy to od wielokrotności pełnego obrotu dla obniżenia ciężarka), aby nie uderzał w podłogę. Dla bezpieczeństwa na podłodze, pod ciężarkiem, położyć elastyczną podkładkę.

4. Obrócić ramiona przyrządu tak, aby znacznik umieszczony na brzegu jednego z ramion znalazł się na wprost nieruchomego znacznika. Zliczyć liczbę pełnych obrotów przyrządu od maksymalnej do minimalnej wysokości ciężarka.
5. Przećwiczyć zwalnianie przyrządu i pomiar czasu oraz nawijanie nici na szpulę tak aby zwoje nitki były obok siebie – nitki nie powinny zachodzić na siebie.
6. Wybrać sposób pomiaru czasu – czy dla kolejnych pełnych obrotów przyrządu czy dla co trzeciego obrotu lub wg decyzji prowadzącego zajęcia.

7. Dokonać pomiaru czasu. Pomiary powtórzyć kilkakrotnie wg przyjętego planu i dokładności.

Uwaga. Skróceniem czasu dla pomiarów czasów pełnych obrotów przyrządu jest zastosowanie stopera z międzyczasami – w takie często wyposażone są tel. komórkowe i z nich można skorzystać o ile rozdzielczość jest odpowiednia.

8. Powtóż pomiary dla ciężarka o większej masie lub dla innego rozstawu obciążników na prętach krzyżaka przyrządu – wg decyzji prowadzącego zajęcia.
9. Powtóż pomiary dla drugiej szpuli o innej średnicy.

4. OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW

A. Wyznaczenie wartości pomiarowych.

1. Obliczyć potrzebne wartości średnie wielkości: r , h , t_n , wybrane międzyczasy $\Delta t_{1,n}$ czy $\Delta t_{2,n}$, t_n^2 .
2. Obliczyć wartości średnie wielkości: ω_n , ε_n , a .
3. Przedstawić na wykresie zależności: $\alpha = f(t^2)$, $\omega = f(t)$, $\varepsilon = f(t)$ – na papierze milimetrowym (nanieść prostą) z zaznaczeniem odcinków niepewności o ile będzie to możliwe. Z wykresu wyznaczyć wartość ε .
4. Stosując metodę regresji liniowej – komputerowo, wyznaczyć współczynniki nachylenia prostej.
5. Z wartości pomiarowych w tabeli wyznaczyć wartość średnią ε (wzór 5 i 6).

B. Niepewności pomiaru.

1. Oblicz niepewność pomiaru wielkości r , t_n , $\Delta t_{1,n}$ czy $\Delta t_{2,n}$ i ch wartości średnich.
2. Oblicz niepewność pomiaru wartości ε wyznaczonych graficznie i obliczeniowo (wzór 5 i 6).
3. Oblicz udziały niepewności.

C. Zestawienie wyników i niepewności pomiaru.

5. Dokonać dyskusji wyników, porównać wartości dla ε otrzymane w p. A, zapisać wnioski i uwagi dotyczące doświadczenia.

LITERATURA

1. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker: *Podstawy fizyki*. Warszawa, PWN, 2007 lub inne wydanie.
2. Wahadło Oberbecka. <http://dydaktyka.fizyka.szc.pl/eopis.php?wyswietl=eksperyment&id=115>
3. Chronograf głośnikowy <http://dydaktyka.fizyka.szc.pl/eopis.php?wyswietl=eksperyment&id=68>