I ET-DI **15.01.2019**

Laboratorium z fizyki

Ćw. nr: 1

Wyznaczanie przyśpieszenia ziemskiego za pomocą wahadła rewersyjnego.

1. Wstęp teoretyczny:

Prawo powszechnego ciążenia stwierdza, że wszystkie ciała oddziałują ze sobą siłą wzajemnie się przyciągającą skierowaną wzdłuż prostej łączącej środki mas obu ciał mającą wartość

$$F = \gamma \frac{M_1 M_2}{R^2}$$

M_1,M_2 – masy oddziałujących ciał
R – odległość między środkami
γ – stała grawitacyjna

$$\gamma = 6{,}67*10^{-11}* \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$$

Ciężar to siła, która nadaje ciałom przyspieszenie ziemskie:

$$\bar{O} = m*g$$

$\bar{O}$ – ciężar ciała
m – masa ciała
g – wektor przyspieszenia ziemskiego

Umowna wartość przyspieszenia ziemskiego: $g = 9{,}80665 \frac{m}{s^2}$

$$g = \frac{4\pi^2 lzr}{T^2}$$

Wahadło rewersyjne:

Służy do wyznaczania przyspieszenia ziemskiego. Można wyznaczyć okresy drgań dla obu zawieszeń, przesuwając soczewkę ruchomą, dążąc do wyrównania okresów drgań względem ostrza O z drganiami względem ostrza O`. Uzyskanie jednakowych okresów drgań jest bardzo trudne, dlatego wyznaczenia równego okresu drgań dokonuje się przez interpolację oraz znalezienie przecięcia obu funkcji zależności okresu drgań od położenia przesuwanej masy (graficznie lub analitycznie).

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$$

l - odległość między punktami zawieszenia wahadła,
T - okres drgań wahadła.

Ruch harmoniczny prosty:

Każdy ruch powtarzający się w regularnych odstępach czasu nazywany jest ruchem okresowym. Jeżeli ruch ten opisywany jest sinusoidalną funkcją czasu to jest to ruch harmoniczny. Ciało porusza się ruchem harmonicznym prostym, jeżeli znajduje się tylko pod wpływem siły o wartości proporcjonalnej do wychylenia z położenia równowagi i skierowanej w stronę położenia równowagi (Prawo Hooke'a):

$$\vec{F} = -k\vec{x}$$

Gdzie:

$\vec{F}$ - siła,

k - współczynnik sprężystości,

$\vec{x}$ - wychylenia z położenia równowagi.

Wahadło matematyczne

Punkt materialny zawieszony na nierozciągliwej i nieważkiej nici. Jest to idealizacja wahadła fizycznego.Ważną cechą wahadła fizycznego i matematycznego jest stałość okresu drgań dla niewielkich wychyleń wahadła. Ogólne równanie ruchu wahadła matematycznego:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

Wahadło fizyczne

Bryła sztywna mogąca wykonywać obroty dookoła poziomej osi przechodzącej ponad środkiem ciężkości tej bryły. Wzór na okres drgań wahadła fizycznego dla małych wychyleń:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgd}}$$

Przez analogię do wahadła matematycznego wzór ten zapisuje się jako:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l_0}{g}},$$

Wprowadzając wielkość długość zredukowana wahadła l_0

$$l_0 = \frac{I}{md}$$

gdzie:

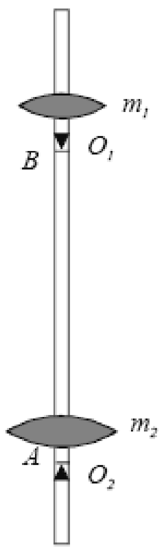
- d - odległość od punktu zawieszenia do środka ciężkości, ,
- g - przyspieszenie ziemskie
- I - moment bezwładności ciała względem osi obrotu,
- m - masa ciała

2. Wykonanie ćwiczenia:

- **Celem ćwiczenia było wyznaczanie przyśpieszenia ziemskiego za pomocą wahadła rewersyjnego.**

- **Układ pomiarowy:**

Wahadło rewersyjne użyte w ćwiczeniu (rys. 2) składa się z metalowego pręta zaopatrzonego w dwa ostrza O1 i O2, które znajdują się w stałej odległości. Służą one do zawieszenia wahadła na odpowiedniej podstawce. Na pręcie znajdują się dwie masy: m1 - umocowana na stałe i m2 - ruchoma. Masę m2 można przesuwać wzdłuż pręta pomiędzy punktami A i B, zmieniając położenie środka masy wahadła.



Rys. 2. Wahadło rewersyjne

- **Opis wykonania ćwiczenia:**

Wahadło zawieszono na ostrzu O_2 z masą m_2 ustawioną najbliżej punktu A, później przesuwano tę masę w kierunku punktu B, co 5cm i wyznaczano dla tych położeń okresy wahań wahadła mierzone dla 10 wahnięć, wahadło było wychylane o niewielki kąt i czas był mierzony po pierwszym wahnięciu. Następnie wahadło wisiało na ostrzu O_2 wykonano pomiary analogicznie przesuwając m_2 z punktu B do A.

- **Do doświadczenia użyto:**

- wahadła rewersyjnego
- stopera do pomiaru czasu

3. Tabela z wynikami:

L1	t1	t2	T 1i	T 2i	L r	T	$g \pm \Delta g$
[cm]	[s]	[s]	[s]	[s]	[m]	[s]	$\left[\frac{m}{s^2}\right]$
130	24	23,5	2,4	2,35	1,3	2,285	9,8195±1,0895
125	23,5	23,2	2,35	2,32	1,3		
120	23,2	23	2,32	2,3	1,3		
115	23	22,8	2,3	2,28	1,3		
110	22,8	22,2	2,28	2,22	1,3		
105	22,1	22	2,21	2,2	1,3		
100	21,9	22	2,19	2,2	1,3		
95	21,1	21	2,11	2,1	1,3		
90	20,9	21	2,09	2,1	1,3		
85	20,5	21	2,05	2,1	1,3		
80	20,1	21	2,01	2,1	1,3		
75	19,8	21,2	1,98	2,12	1,3		
70	19,7	21,4	1,97	2,14	1,3		
65	19,2	21,4	1,92	2,14	1,3		
60	19	21,6	1,9	2,16	1,3		
55	18,8	21,6	1,88	2,16	1,3		
50	18,5	21,8	1,85	2,18	1,3		
45	18,2	21,8	1,82	2,18	1,3		
40	18	21,9	1,8	2,19	1,3		
35	18	22	1,8	2,2	1,3		
30	18	22,1	1,8	2,21	1,3		
25	17,9	23	1,79	2,3	1,3		
20	18,5	23,6	1,85	2,36	1,3		
15	19	23,8	1,9	2,38	1,3		

4. Obliczenia:

- Obliczenia szukanych wartości:

Wyznaczenie okresu wahadła:

Punkty *C* i *D* przecięcia krzywych odpowiadają takim położeniom masy *m2*, dla których równe przy obu zawieszeniach okresy drgań są dodatkowo jednakowe dla obu położeń masy. *Z* powodu np. błędów pomiarowych punkty *C* i *D* mogą znaleźć się na różnych wysokościach, zatem okres *T* oblicza się jako średnią arytmetyczną okresów punktu *C* i *D*.

$$T = \frac{T_C + T_D}{2} = \frac{2{,}41 + 2{,}16}{2} = 2{,}285[s]$$

Obliczenie przyspieszenia po wyliczenie ze wzoru na okres wzoru na przyśpieszenie:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\mathrm{l_r}}{\mathrm{g}}} \Rightarrow g = \frac{4\pi^2 l_r}{T^2}$$

$$g = \frac{4\pi^2 \cdot lzr}{T^2} = \frac{4(3{,}14)^2 \cdot 1{,}3}{(2{,}285)^2} = 9{,}8195\left[\frac{m}{s^2}\right]$$

- Analiza niepewności pomiarowych:

Dokładność sekundomierza wynosi Δt=0,2[s] zatem błąd jednego okresu wynosi 0,02 gdyż czas mierzymy dla 10 wahnięć

Dokładność mierzenia odległości lr wynosi: Δlzr = 0,002 [m]

Obliczenie błędu okresu:

$$\Delta T = \left|\frac{T_C - T_D}{2}\right| = \left|\frac{2{,}41 - 2{,}16}{2}\right| = 0{,}125[s]$$

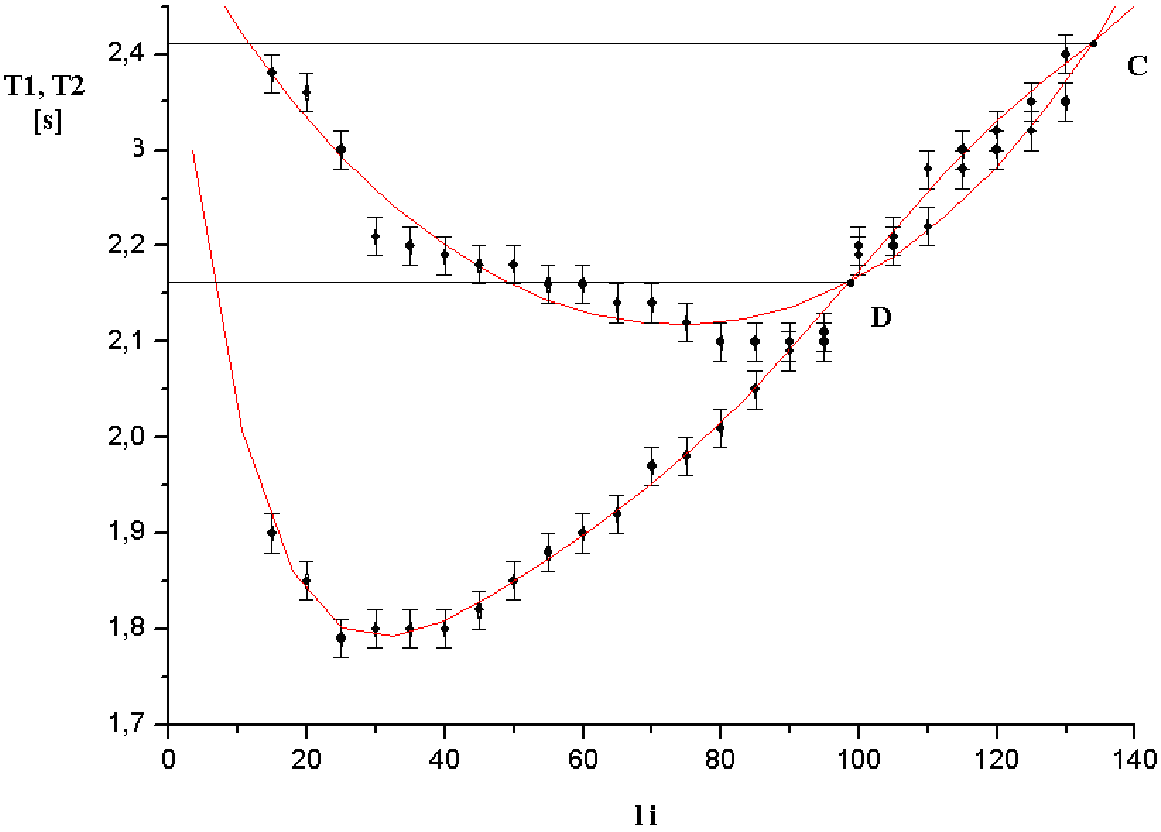
Wyznaczenie błędu przyspieszenia metodą różniczki zupełnej:

$$\Delta g = \left|\frac{(4\pi^2 lzr)' \cdot (T)^2 - (T^2)' \cdot (4\pi^2 lzr)}{(T^2)^2}\right| \cdot |\Delta T| + \left|\frac{(4\pi^2 lzr)'(T^2) - (T^2)'(4\pi^2 lzr)}{(T^2)^2}\right| \cdot |\Delta lzr|$$

$$\Delta g = \left|\frac{-2T \cdot 4\pi^2 lzr}{T^4}\right| \cdot |0{,}125| + \left|\frac{4\pi^2 \cdot T^2}{T^4}\right| \cdot |0{,}002| = \left|\frac{-234{,}3035}{27{,}26}\right| \cdot |0{,}125| + \left|\frac{205{,}9167}{27{,}26}\right| \cdot |0{,}002|$$

$$\Delta g = 1{,}074392 + 0{,}0151076 = 1{,}08949\left[\frac{m}{s^2}\right]$$

5. Wykres:



6. Wnioski:

Wartość przyspieszenia ziemskiego wyliczonego przez nas g = 9.8195 m/s^2 nie różni się zbytnio od wartości rzeczywistej 9,81w związku, z czym można stwierdzić, że ćwiczenie zostało wykonane w należyty sposób. Na niedokładności wyniku zsumowały się niedokładności pomiaru czasu wynikają z szybkości reakcji człowieka oraz mniejszym stopniu niedokładności pomiaru odległości przesuwanych mas.