LABORATORIUM FIZYKI I			Ćwiczenie nr: 13
			Data: 12.12.2012
Wydział: Chemia	Grupa: B 51	Zespół: 3	Punktacja: Przygotowanie:
Nazwisko i imię: Jan Kowalski			
Temat ćwiczenia: **Wyznaczanie wartości przyspieszenia ziemskiego na podstawie pomiaru okresu drgań wahadła matematycznego**			Sprawozdanie:
			Suma punktów:
Prowadzący:			

1. Wstęp

Wstęp powinien zawierać zwięzły opis podstaw fizycznych badanego zjawiska. Nie powinien on przekraczać kilku-kilkunastu zdań, a zawierać przede wszystkim cel wykonywanego ćwiczenia oraz podstawowe wzory opisujące badane zjawisko i wykorzystywane w obliczeniach. Nie należy przepisywać wstępów z instrukcji do ćwiczenia, ani umieszczać kilkustronicowych wypisów z wikipedii, encyklopedii i książek naukowych.

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie wartości przyspieszenia ziemskiego na podstawie pomiaru okresu drgań wahadła matematycznego oraz sprawdzenie zależności okresu drgań wahadła od jego długości. Wahadło matematyczne to punkt materialny zawieszony na cienkiej i nieważkiej nici i umieszczony w polu sił ciężkości (przyspieszenie ziemskie g). Jeśli wahadło matematyczne o długości l zostanie odchylone od pionu o niewielki kąt α i puszczone swobodnie, to zacznie wykonywać drgania harmoniczne. Okres T tych drgań określony jest zależnością:

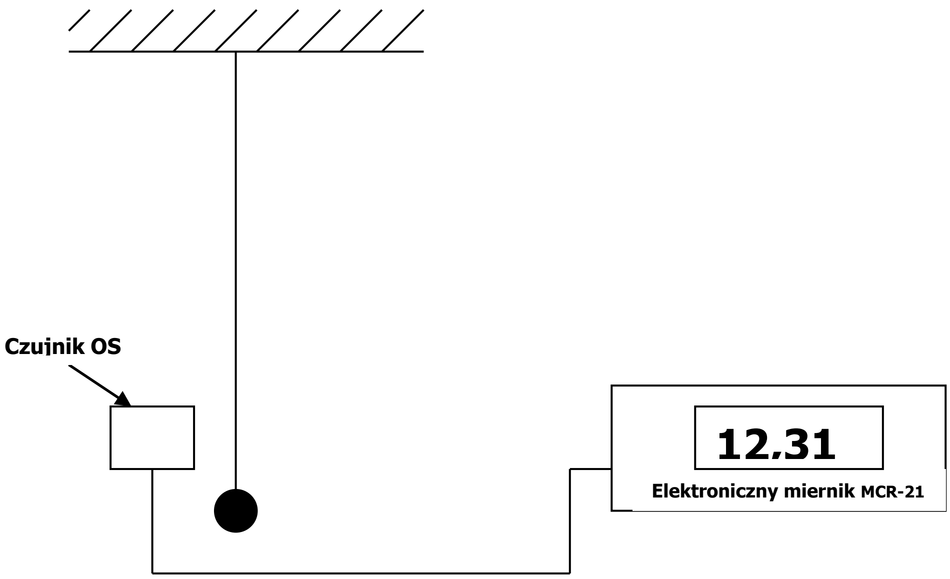
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\ .$$

Tak więc mierząc okres drgań T oraz długość wahadła l możemy wyznaczyć wartość przyspieszenia ziemskiego:

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

2. Układ pomiarowy

Schemat pomiarowy powinien być czytelny i przejrzysty, a przede wszystkim ***rzeczywisty*** *(czasami zdarza się, że układ pomiarowy, w którym wykonywano pomiary jest inny niż układ opisany w instrukcji). Jeśli układ pomiarowy zawiera przyrządy, to pod schematem układu musi się znaleźć informacja o tych przyrządach (typ, klasa dokładności, zakres pomiarowy, dokładność odczytu).*



Badane wahadło stanowi kulka metalowa zawieszona na cienkiej lince. Linka jest podwieszona na wysięgniku umocowanym do ściany. Układ pomiarowy składa się z czujnika optoelektronicznego OS podłączonego do cyfrowego miernika czasu MCR-21. Czujnik optoelektroniczny generuje impuls za każdym razem, gdy linka przechodzi przez szczelinę w czujniku. Miernik czasu jest urządzeniem cyfrowym o dokładności 0,01 s. Mierzy on czas między impulsem wyzwalającym pomiar, pomija następny impuls i kończy pomiar przy kolejnym impulsie. Długość wahadła wyznaczono mierząc długość linki miarką o dokładności 1 mm.

Dokładność wyznaczenia długości wahadła jest jednak zdecydowanie mniejsza (konieczność oszacowania odległości mocowania linki do środka kulki, punkt zawieszenia linki) i została określona przez nas na 5 mm. Długość linki może być regulowana.

3. Wykonanie ćwiczenia

W tej części ćwiczenia należy opisać w punktach przebieg ćwiczenia. Należy również opisać wszystkie spostrzeżenia dokonane podczas pomiarów; mogą one dotyczyć na przykład zachowania się przyrządów, niestabilności wskazań, trudności w odczycie, itp.

Ćwiczenie składało się z dwóch części:

I. Wyznaczenie przyspieszenia ziemskiego:
1. Włączenie układu pomiarowego.
2. Ustawienie czujnika tak, aby po wychyleniu wahadła o pewien kąt linka wahadła przechodząc przez szczelinę czujnika powodowała jego zadziałanie oraz ponowne zadziałanie przy powrocie wahadła do pozycji wychylonej.
3. Wyzerowanie elektronicznego miernika czasu (naciśnięcie przycisku „ZERO”).
4. Naciśnięcie przycisku „READY”. Miernik jest gotowy do pomiaru czasu między dwoma kolejnymi impulsami.
5. Wychylenie wahadła i puszczenie.
6. Zapisanie wyniku wyświetlonego na wyświetlaczu miernika czasu.
7. Powtórzenie pomiaru. Wykonaliśmy dziesięć pomiarów okresu (wyniki w tabeli 1)

Następnie zmierzyliśmy długość linki wahadła uwzględniając fakt, że powinno określić się długość do środka kulki (nie jest to możliwe, dlatego dokładność wyznaczenia długości jest zdecydowanie mniejsza niż dokładność miarki).

II Badanie zależności okresu drgań od długości wahadła
Pomiary wykonywane są w podobny sposób jak w poprzedniej części. Dla każdej długości linki wahadła wykonywany jest tylko jeden pomiar okresu. Długość linki zmieniano od 0,5 do 2,1 m co 0,2 m. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 2.

4. Wyniki i ich opracowanie

W tej części ćwiczenia należy przedstawić wyniki pomiarów oraz obliczenia prowadzące do wyznaczenia szukanej wielkości. Wyniki pomiarów najlepiej przedstawić w formie tabel, w których mierzone wartości są przeliczane na wartości w jednostkach podstawowych układu SI, zawierają obliczenia wielkości od nich zależnych, itp. Wszystkie obliczane wielkości muszą mieć podane jednostki (w układzie SI). Jeśli do obliczeń wykorzystywane są programy komputerowe (Origin, Excel, Matcad,...), to do sprawozdania należy dołączyć wydruk, na przykład arkusza kalkulacyjnego, umożliwiający asystentowi sprawdzenie poprawności obliczeń, a w sprawozdaniu ***musi się znaleźć przykładowe obliczenie*** *wartości wyznaczanej przez program. Obliczenia muszą zawierać wszystkie obliczenia pośrednie.*

I. Wyznaczenie przyspieszenia ziemskiego:

Tabela 1. Wyniki pomiarów okresu drgań.

Numer pomiaru	T [s]
1	2,21
2	2,23
3	2,19
4	2,22
5	2,25
6	2,19
7	2,23
8	2,24
9	2,18
10	2,16

Dokładność pomiaru czasu ΔT=0,01 s
Wartością najbardziej prawdopodobną jest wartość średnia:

$$T_{śr} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} T_i$$

$T_{śr}$=2,21 s

Pomiar długości wahadła: l=121,5 cm, dokładność pomiaru długości Δl=0,5 cm.

Wartość przyspieszenia ziemskiego:

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} = \frac{4 \cdot 3{,}14159^2 \cdot 1{,}215}{2{,}21^2} = 9{,}820904 \text{ m/s}^2$$

II Badanie zależności okresu drgań od długości wahadła

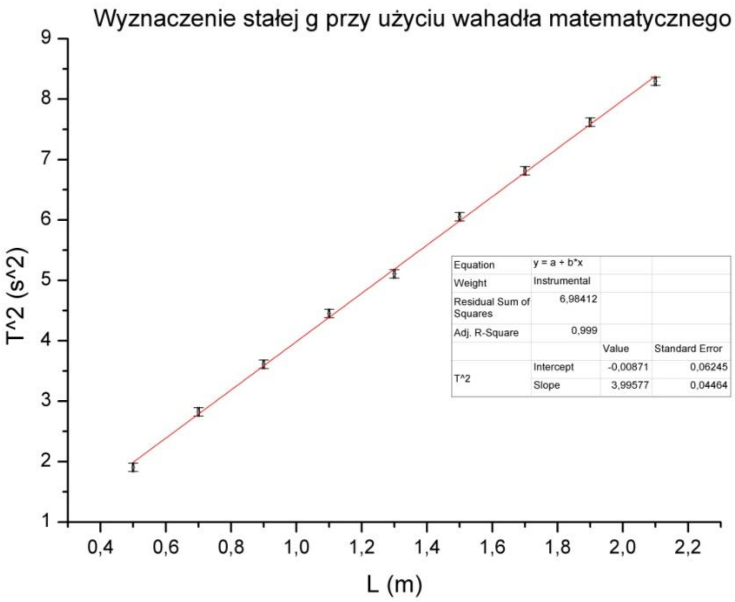
Tabela 2. Wyniki pomiarów okresów drgań wahadła w zależności od długości wahadła.

Numer pomiaru	Długość wahadła [cm]	Okres T [s]
1	50	1,38
2	70	1,68
3	90	1,90
4	110	2,11
5	130	2,26
6	150	2,46
7	170	2,61
8	190	2,76
9	210	2,88

Jeśli wzór na okres drgań wahadła matematycznego podniesiemy obustronnie do kwadratu do otrzymamy następującą zależność:

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

Tak więc, jeśli narysuje się zależność kwadratu okresu od długości wahadła, to powinna to być zależność liniowa. Dodatkowo będzie można wyznaczyć wartość przyspieszenia ziemskiego ze współczynnika kierunkowego prostej. Wykres wykonano w programie Origin.



Wyniki obliczeń w Originie wskazują, że zależność może być zależnością liniową. Wynik testu χ^2 dla moich pomiarów wynosi 6,98 i jest mniejszy od wartości krytycznej dla 7 stopni swobody i poziomu istotności 0,05. <u>Tak więc nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy o liniowości badanej zależności</u>. Ze współczynnika kierunkowego prostej B można wyznaczyć g i wynosi ono:

$$g = \frac{4\pi^2}{B} = \frac{4 \cdot 3{,}14^2}{3{,}99577} = 9{,}88005 \text{ m/s}^2.$$

5. Obliczanie niepewności

Sprawozdanie niezawierające rachunku niepewności będzie oceniane na zero punktów*. Rachunek niepewności musi zawierać informacje o metodach obliczania niepewności. Obliczenia muszą być opatrzone krótkimi komentarzami wyjaśniającymi przyczyny stosowania takich a nie innych metod obliczeniowych.*

Bardzo często punkty 4 i 5 sprawozdania wykonywane są naprzemiennie i równolegle, zgodnie z logiką kolejności obliczeń. *Należy zawsze pamiętać o poprawnym zapisie wyników końcowych. Obliczenia często kończą się prezentacją graficzną wyników w postaci wykresu, który ułatwia analizę wyników i porównanie ich z zależnościami teoretycznymi. Prawidłowe wykonywanie wykresu zostało opisane w oddzielnej pozycji menu na stronie laboratorium.*

I. Wyznaczenie przyspieszenia ziemskiego:

<u>1. Wyznaczenie niepewności pomiaru okresu</u>:

Niepewność standardowa obliczana metodą typu B dla pomiaru czasu wynosi:

$$u(T) = \frac{\Delta T}{\sqrt{3}} = \frac{0{,}1}{\sqrt{3}} = 0{,}057735 \text{ s.}$$

Aby określić niepewność standardową obliczaną metodą typu A obliczam odchylenie standardowe wielkości średniej:

$$S_{\bar{T}} = \sqrt{\frac{(T_i - T_{śr})^2}{n(n-1)}} = 0{,}0091894 \text{ s.}$$

Korzystając z prawa przenoszenia niepewności obliczam niepewność standardową całkowitą wyznaczenia wartości okresu:

$$u(T) = \sqrt{S_{\bar{T}}^2 + \frac{\Delta T^2}{3}} = 0{,}03458 \text{ s.}$$

<u>2. Wyznaczenie niepewności pomiaru długości:</u>

Niepewność pomiaru długości obliczona na podstawie określenia dokładności pomiaru wynosi:

$$u(l) = \frac{\Delta l}{\sqrt{3}} = \frac{0{,}005}{\sqrt{3}} = 0{,}00289 \text{ m.}$$

3. Wyznaczenie niepewności złożonej pomiaru przyspieszenia ziemskiego:

Jest to niepewność wielkości wyznaczanej pośrednio i dlatego wyznaczam ją w następujący sposób:

$$u_c(g) = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial T}\right)^2 u(T)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial l}\right)^2 u(l)^2} = \sqrt{\frac{64\pi^4 l^2}{T^6} u(T)^2 + \frac{16\pi^4}{T^4} u(l)^2} = 0{,}0950 \text{ m/s}^2$$

Tak więc wynik pomiarów zapisuję:
g=9,821 m/s^2, u_c(g)=0,095 m/s^2 , lub
g=9,821(95) m/s^2 , lub
g=9,821(0,095) m/s^2.

W celu porównania otrzymanej wartości z wartością tablicową obliczam niepewność rozszerzoną:
$U_c(g) = k \cdot u_c(g)$ = 2·0,095 = 0,19 m/s^2.

Tak więc wyznaczone przyspieszenie ziemskie ma wartość:

g = (9,82± 0,19) m/s^2.

Wartość tablicowa przyspieszenia ziemskiego mieści się w wyznaczonym przez nas przedziale, co świadczy o poprawnym wykonaniu pomiarów.

II Badanie zależności okresu drgań od długości wahadła

Niepewność standardową obliczaną metodą typu A obliczam na podstawie wyników uzyskanych w programie Origin. Podana niepewność współczynnika kierunkowego B równa 0,004464 pozwala obliczyć niepewność standardową pomiaru przyspieszenia.

$$u(g) = \sqrt{\left(\frac{4\pi^2}{B^2}\right)^2 u(B)^2} = \frac{4\pi^2}{B^2} u(B) = \frac{4 \cdot 3{,}14^2}{3{,}99577^2} 0{,}004464 = 0{,}11 \text{ m/s}^2.$$

Niepewność standardową obliczaną metodą typu B (czyli niepewność złożoną) szacuję na podstawie jednej pary wyników pomiarów w sposób podobny do opisanego wcześniej.

$$u_c(g) = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial T}\right)^2 u(T)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial l}\right)^2 u(l)^2} = \sqrt{\frac{64\pi^4 l^2}{T^6} u(T)^2 + \frac{16\pi^4}{T^4} u(l)^2} = 0{,}095 \text{ m/s}^2.$$

Obie niepewności dodaję stosując prawo przenoszenia niepewności.

$$u(g) = \sqrt{0{,}11^2 + 0{,}095^2} = 0{,}15 \text{ m/s}^2.$$

W celu porównania otrzymanej wartości z wartością tablicową obliczam niepewność rozszerzoną:

$U_c(g) = k \cdot u_c(g)$ = 2·0,15 = 0,30 m/s^2.

Tak więc wyznaczone przyspieszenie ziemskie ma wartość:

g = (9,88 ± 0,30) [m/s^2].

6. Wnioski

Końcowa część sprawozdania powinna zawierać dyskusję wyników (wraz z błędami) oraz porównanie otrzymanych wartości z wartościami tablicowymi (źródłem informacji mogą być tablice fizyczne, encyklopedie, poradniki, itp.). Dyskusja obejmuje porównanie wyników z wartościami teoretycznymi oraz opis niepewności i ich wpływ na wyznaczoną wartość.

1. Dla ustalonej wartości długości wahadła zmierzono dziewięciokrotnie okres drgań i na podstawie tych pomiarów również wyznaczyłem wartość g = (9,82 ± 0,19) m/s^2.
2. Na podstawie wykresu zależności kwadratu okresu od długości wyznaczyłem również wartość przyspieszenia ziemskiego i wynosi ono g = (9,88 ± 0,30) m/s^2.
3. Jak można zauważyć metoda pierwsza (wielokrotne pomiary okresu) daje wartość przyspieszenia zbliżoną do wartości teoretycznej (dla Warszawy przyspieszenie ziemskie wynosi 9,8157 m/s^2) i niepewność wyznaczenia tej wartości jest mniejsza niż w drugiej metodzie.
4. Obie metody są bardzo dokładne, gdyż niepewność rozszerzona względna w obu przypadkach jest rzędu 2-3 %.
5. Największy wpływ na dokładność wyników ma na pewno niedokładność wychylania kulki od pionu. Za każdym razem był to jednak inny kąt, a jak wiemy zastosowany przez nas wzór stanowi tylko przybliżenie i jest słuszny dla małych kątów. Przy większych kątach (a takie były w naszym doświadczeniu) należałoby uwzględnić poprawki związane z tymi kątami.

Do sprawozdania dołączony jest wydruk arkusza kalkulacyjnego, w którym wykonywane były obliczenia niepewności.