

Wydział: FiIS	Imię i nazwisko: 1. Piotr Moszkowicz 2. Wiktor Jasiński		Rok: Drugi	Grupa: PN 14:40	Zespół: 1
<b>PRACOWNIA FIZYCZNA WFiIS AGH</b>	Temat: Zależność okresu drgań wahadła od amplitudy				Nr ćwiczenia: 02
Data wykonania: 8.04.2019	Data oddania: 15.04.2019	Zwrot do popr.	Data oddania:	Data zaliczenia	OCENA

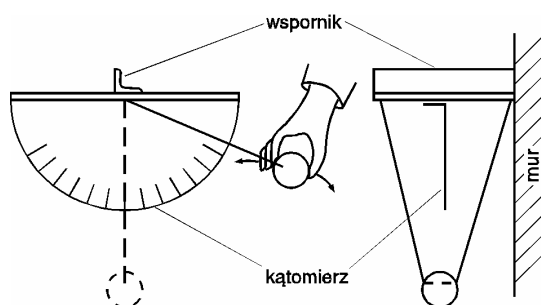
## Ćwiczenie nr 02: Zależność okresu drgań wahadła od amplitudy

### Cel ćwiczenia:

Zapoznanie się z ruchem drgającym i parametrami opisującymi ten ruch. Wyznaczenie zależności okresu drgań od amplitudy dla układu zbliżonego do wahadła matematycznego. Doświadczalne badanie funkcji gęstości prawdopodobieństwa dla błędów przypadkowych. [1]

## 1. Aparatura

W ćwiczeniu posługujemy się wahadłem podobnym do matematycznego (rys. w1).



Rys. w1. Sposób uruchomienia wahadła

Zawieszenie kulki wahadła na dwóch niciach ułatwia wprawianie go w ruch drgający dokładnie w jednej płaszczyźnie (patrz rys. 3). W płaszczyźnie drgań umieszczony jest kątomierz, na którym odczytuje się kąt wychylenia. Okres wahań mierzy się sekundomierzem o rozdzielczości 0,001 s czyli 1 ms.

### A. Badanie zależności okresu drgań wahadła od amplitudy

#### A1. Wykonanie ćwiczenia i opracowanie wyników

1. Uruchomić wahadło tak, by drgania odbywały się w płaszczyźnie równoległej do płaszczyzny kątomierza (rys.w1).
2. Wyznaczyć okres wahadła  $T_0$  przy najmniejszej amplitudzie wychylenia, która nie powinna przekraczać  $3^\circ$ . Okres  $T_0$  należy wyznaczyć dokładniej niż pozostałe. Zwiększenie dokładności realizujemy przez 6-krotne powtarzanie pomiaru 40 - 50 okresów.
3. Następnie kontynuować pomiary dla różnych wartości  $\theta_m^{(1)}$ . Odczytać amplitudę początkową  $\theta_m^{(1)}$  na kątomierzu. W celu uniknięcia błędu paralaksy odczyt kąta wykonać dla pozycji oka, przy której obie linki wahadła pokrywają się.
4. Gdy wahadło już wykonało 1–2 drgania, uruchomić sekundomierz. Po wykonaniu określonej liczby  $m$  okresów (od 30 do 50) okresów zatrzymać sekundomierz (przy tym samym położeniu wahadła), a następnie odczytać amplitudę końcową  $\theta_m^{(2)}$ .
5. Pomiar ustalonej liczby  $m$  okresów wykonujemy dla kilkunastu różnych kątów wychylenia w zakresie od  $5^\circ$  do  $60^\circ$ . Wyniki notujemy odpowiednio w poniższych tabelach. Na podstawie rezultatów dla najmniejszej amplitudy wychyleń obliczyć średni okres  $T_0$  oraz niepewności standardowe pojedynczego pomiaru i średniej.
6. Sporządzić wykres zależności względnej zmiany okresu wahadła  $(T - T_0) / T_0$  (z zaznaczeniem niepewności pomiaru) od średniej amplitudy  $\bar{\theta}_m = (\theta_m^{(1)} + \theta_m^{(2)}) / 2$ , z zaznaczeniem odcinków niepewności
7. Na ten sam wykres nanieść krzywą teoretyczną (5).
8. Dokonać oceny zgodności krzywej teoretycznej z punktami eksperymentalnymi.

## B2. Opracowanie wyników

Zagadnienie opracowania wyników przedstawia szerzej punkt B2 w dodatku B. Aby pozostać przy zastosowanych w nim oznaczeniach, wyniki  $n$  pomiarów czasu oznaczamy jako  $x_i$ .

1. Obliczyć wartość średnią  $\bar{x}$  i odchylenie standardowe pojedynczego pomiaru  $s$ . Ze względu na dużą liczbę pomiarów skorzystać z programu komputerowego, który ponadto szereguje uzyskane wartości  $x_i$  od najmniejszej do największej, co ułatwia przygotowanie danych do wykonania histogramu.
2. Podzielić przedział zmiennej  $x$  na równe przedziały o szerokości  $\Delta x$  równej 0,03, 0,04 lub 0,05 s. Policzyc liczby pomiarów  $n_i$  jakie trafiły do każdego przedziału. Sprawdzić, czy  $\sum n_j = n$ .
3. Wykonać histogram doświadczalny.
4. Obliczyć przeskalowaną krzywą Gaussa (Dodatek B, wzór (B1) i nanieść na histogram doświadczalny.
5. Dokonać oceny zgodności eksperymentu z rozkładem normalnym przez
  - (a) jakościowe porównanie histogramu i krzywej teoretycznej,
  - (b) wykorzystując uporządkowany (przez komputer) zbiór danych ustalić, ile wyników  $x_i$  znalazło się poza przedziałem  $(\bar{x} - s, \bar{x} + s)$ , oraz poza przedziałem  $(\bar{x} - 2s, \bar{x} + 2s)$Porównać z przewidywaniami teoretycznymi dla rozkładu normalnego.

**Wnioski:**

## 3 Wstęp teoretyczny

### 3.1 Ruch drgający i parametry, które go opisują

W ruchu drgającym ciało wychyla się okresowo w jedną i w drugą stronę od położenia równowagi. W położeniu równowagi siły działające na ciało równoważą się.

Wielkości charakteryzujące ruch falowy:

- amplituda – największe wychylenie z położenia równowagi
- okres – czas trwania jednego pełnego drgania
- częstotliwość – ilość drgań zachodzących w ciągu 1 sekundy.

### 3.2 Kiedy ruch drgający nazywamy harmonicznym?

Ruch drgający odbywa się, gdy na ciało działa siła proporcjonalna do wychylenia ciała z położenia równowagi (na wykresie wychylenia możemy wtedy zaobserwować krzywą harmoniczną np. sinusoidę).

### 3.3 Zasady stosowalności przybliżenia $\sin(\theta) = \theta$ . Jak skonkretyzować warunek, że kąt wychylenia jest mały?

O sensowności stosowania przybliżenia  $\sin(\alpha) = \alpha$  informuje nas różnica pomiędzy sinusem, a wartością kąta w radianach. Poniżej możemy zaobserwować tabelkę, która przedstawia te zależności, dzięki niej możemy wywnioskować, iż przybliżenie ma sens do około 5 - 7 stopni:

$\alpha$	$\alpha$ (rad)	$\sin(\alpha)$
40	0,698132	0,642788
30	0,523599	0,500000
20	0,349066	0,342020
10	0,174533	0,173648
5	0,087266	0,087156
2	0,034907	0,034899
1	0,017453	0,017452

## 4 Wyniki pomiarów

Liczba okresów k	czas t trwania m okresów [s]	okres $T = t/m$ [s]
40	51.503	1.287575
40	51.826	1.29565
40	51.598	1.28995
40	51.792	1.2948
40	51.748	1.2937

Tabela 1: Pomiar okresu  $T_0$  dla małej amplitudy drgań

$\theta_1$ [°]	$\theta_2$ [°]	mT [s]	$\frac{(\theta_1+\theta_2)}{2}$ [°]	T [s]	$\frac{T-T_0}{T_0}$
5	4.0	38.612	4.50	1.287067	-0.004077
8	6.5	38.712	7.25	1.290400	-0.001497
12	10.5	38.803	11.25	1.293433	0.000850
15	13.5	38.874	14.25	1.295800	0.002681
17	14.5	38.936	15.75	1.297867	0.004280
20	17.5	38.897	18.75	1.296567	0.003274
23	20.5	39.049	21.75	1.301633	0.007195
25	22.0	39.104	23.50	1.303467	0.008614
30	26.5	39.241	28.25	1.308033	0.012147

Tabela 2: Pomiar zależności okresu od amplitudy

## 5 Opracowanie wyników

### 5.1 Zależność okresu od średniej amplitudy

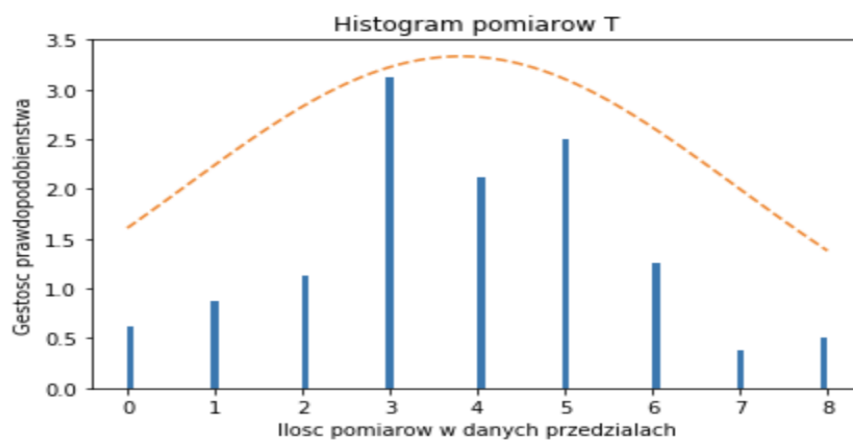


### 5.2 Pomiary czasu dla małej amplitudy

$mT_i$ [s]	$T_i$ [s]	Odchylenie standardowe [s]
3.75	1.25	0.04293666666666662
3.756999999999997	1.2523333333333333	0.04060333333333325
3.765	1.2550000000000001	0.03793666666666651
3.767	1.2556666666666667	0.03726999999999914
3.78	1.26	0.032936666666666614
3.784	1.2613333333333332	0.03160333333333343
3.7960000000000003	1.2653333333333334	0.027603333333333202
3.802	1.2673333333333334	0.02560333333333332
3.802	1.2673333333333334	0.02560333333333332
3.803	1.2676666666666667	0.02526999999999904
3.805	1.2683333333333333	0.02460333333333331
3.806	1.2686666666666666	0.024270000000000014
3.812	1.2706666666666666	0.022270000000000012
3.812	1.2706666666666666	0.022270000000000012
3.813	1.2710000000000001	0.021936666666666493
3.816999999999997	1.2723333333333333	0.020603333333333307
3.823	1.2743333333333333	0.018603333333333305
3.823	1.2743333333333333	0.018603333333333305
3.824	1.2746666666666666	0.018270000000000001
3.828999999999997	1.2763333333333333	0.016603333333333303
3.8310000000000004	1.2770000000000001	0.015936666666666488
3.842	1.2806666666666666	0.012270000000000003
3.842	1.2806666666666666	0.012270000000000003
3.843	1.281	0.011936666666666707
3.844	1.2813333333333332	0.011603333333333341
3.845	1.2816666666666667	0.011269999999999891
3.845	1.2816666666666667	0.011269999999999891

3.8480000000000003	1.2826666666666668	0.01026999999999978
3.8489999999999998	1.283	0.009936666666666705
3.85	1.2833333333333334	0.009603333333333186
3.85	1.2833333333333334	0.009603333333333186
3.852	1.284	0.008936666666666593
3.8539999999999996	1.2846666666666666	0.00827
3.8539999999999996	1.2846666666666666	0.00827
3.855	1.285	0.007936666666666703
3.855	1.285	0.007936666666666703
3.8569999999999998	1.2856666666666665	0.00727000000000011
3.858	1.286	0.006936666666666591
3.859	1.2863333333333333	0.006603333333333294
3.86	1.2866666666666666	0.006269999999999998
3.865	1.2883333333333333	0.004603333333333293
3.866	1.2886666666666666	0.004269999999999996
3.867	1.289	0.003936666666666699
3.8680000000000003	1.2893333333333334	0.0036033333333331807
3.8689999999999998	1.2896666666666665	0.003270000000000106
3.8689999999999998	1.2896666666666665	0.003270000000000106
3.877	1.2923333333333333	0.0006033333333332891
3.8789999999999996	1.293	6.333333333330415e-05
3.8789999999999996	1.293	6.333333333330415e-05
3.8789999999999996	1.293	6.333333333330415e-05
3.8810000000000002	1.2936666666666667	0.0007300000000001194
3.8810000000000002	1.2936666666666667	0.0007300000000001194
3.885	1.295	0.002063333333333306
3.886	1.2953333333333334	0.0023966666666668246
3.887	1.2956666666666667	0.0027300000000001212
3.89	1.2966666666666666	0.003730000000000011
3.89	1.2966666666666666	0.003730000000000011
3.891	1.297	0.004063333333333308
3.897	1.299	0.0060633333333333095
3.897	1.299	0.0060633333333333095
3.897	1.299	0.0060633333333333095
3.8989999999999996	1.2996666666666665	0.006729999999999903
3.9	1.3	0.007063333333333421
3.9019999999999997	1.3006666666666666	0.007730000000000015
3.903	1.301	0.008063333333333311
3.903	1.301	0.008063333333333311
3.904	1.3013333333333332	0.008396666666666608
3.906	1.302	0.009063333333333423
3.908	1.3026666666666666	0.009730000000000016
3.908	1.3026666666666666	0.009730000000000016
3.91	1.3033333333333335	0.010396666666666832
3.91	1.3033333333333335	0.010396666666666832
3.9130000000000003	1.3043333333333333	0.011396666666666722
3.915	1.305	0.012063333333333315
3.92	1.3066666666666666	0.013730000000000002
3.9219999999999997	1.3073333333333332	0.014396666666666613
3.9219999999999997	1.3073333333333332	0.014396666666666613
3.923	1.3076666666666668	0.0147300000000000132
3.924	1.308	0.015063333333333428
3.925	1.3083333333333333	0.015396666666666725
3.925	1.3083333333333333	0.015396666666666725
3.925	1.3083333333333333	0.015396666666666725
3.927	1.309	0.01606333333333332
3.931	1.3103333333333333	0.017396666666666727
3.9330000000000003	1.3110000000000002	0.018063333333333542
3.935	1.3116666666666668	0.018730000000000135
3.9360000000000004	1.312	0.019063333333333432
3.937	1.3123333333333334	0.019396666666666673
3.938	1.3126666666666666	0.019730000000000025
3.94	1.3133333333333332	0.020396666666666662
3.943	1.3143333333333334	0.021396666666666673
3.945	1.315	0.022063333333333324
3.9539999999999997	1.3179999999999998	0.025063333333333215
3.966	1.322	0.02906333333333344
3.971	1.3236666666666668	0.030730000000000146
3.9760000000000004	1.3253333333333335	0.032396666666666685
3.992	1.3306666666666667	0.037730000000000004
3.997	1.3323333333333334	0.039396666666666746
4.0139999999999999	1.3379999999999999	0.04506333333333323
4.016	1.3386666666666667	0.045730000000000005

Tabela 3: Pomiar zależności okresu od amplitudy



## 6 Bibliografia

- [1] [http://www.fis.agh.edu.pl/~pracownia\\_fizyczna/cwiczenia/02\\_wykon.pdf](http://www.fis.agh.edu.pl/~pracownia_fizyczna/cwiczenia/02_wykon.pdf)