

|   |                             |                |              |                 |       |
|---|-----------------------------|----------------|--------------|-----------------|-------|
| Wydział                                     | Imię i nazwisko<br>1.<br>2. | Rok            | Grupa        | Zespół          |       |
| <b>PRACOWNIA<br/>FIZYCZNA<br/>WFiIS AGH</b> | Temat:                      |                |              | Nr ćwiczenia    |       |
| Data wykonania                              | Data oddania                | Zwrot do popr. | Data oddania | Data zaliczenia | OCENA |

## Ćwiczenie nr 0: Opracowanie danych pomiarowych

### Cel ćwiczenia:

Zaznajomienie się z typowymi metodami opracowania danych pomiarowych przy wykorzystaniu wyników pomiarów dla wahadła prostego

Wahadło proste jest, jak wskazuje jego nazwa, układem mechanicznym charakteryzującym się prostotą tak eksperymentu jak i opisu teoretycznego. Dlatego nadaje się dobrze na ćwiczenie wprowadzające (zerowe), mające na celu poznanie podstawowych metod opracowania danych pomiarowych. Interpretacja wyników opiera się na równaniu określającym okres drgań  $T$  jako funkcję długości wahadła  $l$  oraz przyspieszenia ziemskiego  $g$ ,

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

Wzór ten jest słuszny, jeżeli wychylenie ciężarka z położenia równowagi jest małe.

Wahadło umożliwia uzyskanie danych eksperymentalnych, na przykładzie których można poznać typowe metody ich opracowania, a to:

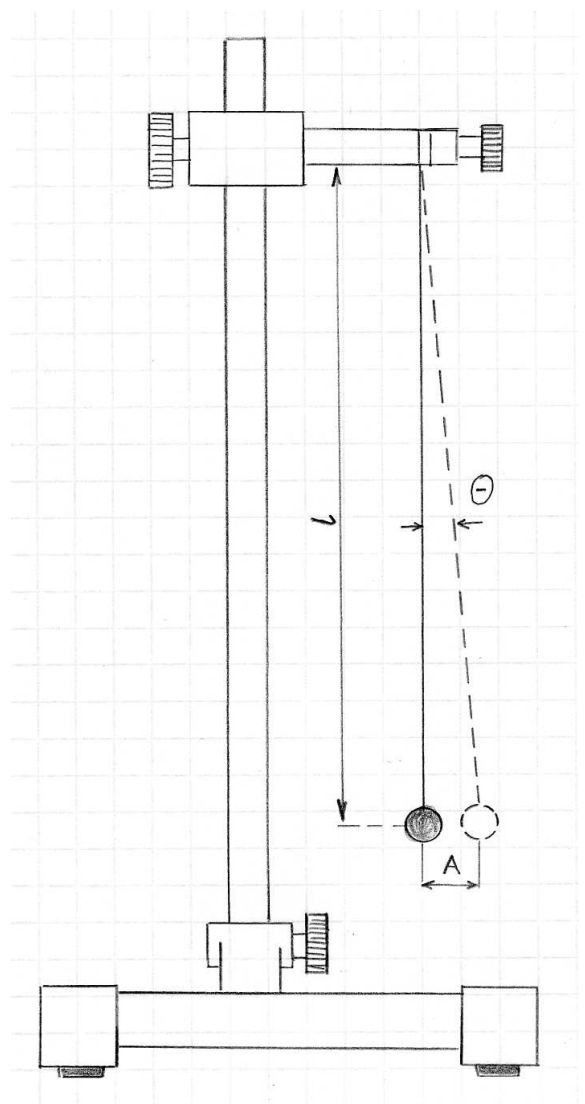
- odrzucanie wyników obarczonych błędem grubym
- ocena niepewności pomiaru typu A
- ocena niepewności pomiaru typu B
- prawo przenoszenia niepewności
- obliczanie niepewności rozszerzonej
- jej zastosowanie do oceny zgodności z wartością dokładną
- wykonywanie wykresów
- linearyzacja nieliniowych zależności funkcyjnych
- dopasowanie prostej do punktów doświadczalnych

Ćwiczenie nie posiada osobnego opisu teoretycznego, bo takim jest opis metod opracowania wyników (w zakładce *pomoce dydaktyczne* na stronie www Pracowni lub rozdz. 1 skryptu). Użyte tam przykłady w dużej części dotyczą właśnie wahadła prostego.

## 1. Układ pomiarowy

1. Zestaw wahadła prostego (rys. w1)
2. Sekundomierz (stoper)
3. Przymiar milimetrowy (linijka)

Rys. w1. Zestaw wahadła prostego.



## 2. Wykonanie ćwiczenia

1. Pomiary okresu dla ustalonej długości wahadła:
  - a) Przy użyciu przymiaru milimetrowego zmierz długość wahadła rozumianą jako odległość od środka ciężarka do punktu zamocowania jego nici (rys. 1),
  - b) Wprowadź wahadło w ruch drgający o amplitudzie kątowej nie przekraczającej trzech stopni. Następnie zmierz czas  $k = 20 \div 40$  okresów. Ważne jest, by uruchamiać i zatrzymywać sekundomierz w tej samej fazie ruchu (np. maksymalne wychylenie w prawo), bez zatrzymywania wahadła.
  - c) Pomiar ten powtórz dziesięciokrotnie. Liczba okresów  $k$  w kolejnych pomiarach może być taka sama, lub zmieniana w podanych wyżej granicach.

Uwaga: wahadło nie jest wyposażone w kątomierz. Przed wykonaniem pomiaru oblicz amplitudę  $A$  drgań (rys. w1) jako iloczyn długości  $l$  i kąta  $3^\circ$  przeliczonego na miarę łukową.

2. Pomiary zależności okresu drgań od długości wahadła.  
Wykonaj kilkanaście pojedynczych pomiarów okresu (jak w pt. 1b), zmieniając długość wahadła w zakresie od około 10 cm do długości maksymalnej.

### 3. Wyniki pomiarów

**Tabela 1.** Pomiar okresu drgań przy ustalonej długości wahadła

długość wahadła  $l = \dots\dots\dots$

niepewność pomiaru  $u(l) = \dots\dots\dots$

| Lp. | liczba okresów $k$ | czas $t$ dla $k$ okresów [s] | okres $T_i = t/k$ [s] |
|-----|--------------------|------------------------------|-----------------------|
| 1   |                    |                              |                       |
| 2   |                    |                              |                       |
| 3   |                    |                              |                       |
| 4   |                    |                              |                       |
| 5   |                    |                              |                       |
| 6   |                    |                              |                       |
| 7   |                    |                              |                       |
| 8   |                    |                              |                       |
| 9   |                    |                              |                       |
| 10  |                    |                              |                       |

**Tabela 2.** Pomiar zależności okresu drgań od długości wahadła

| Lp. | $l$ [mm] | $k$ | $t$ [s] | $T_i$ [s] | $T_i^2$ [s <sup>2</sup> ] |
|-----|----------|-----|---------|-----------|---------------------------|
| 1   |          |     |         |           |                           |
| 2   |          |     |         |           |                           |
| 3   |          |     |         |           |                           |
| 4   |          |     |         |           |                           |
| 5   |          |     |         |           |                           |
| 6   |          |     |         |           |                           |
| 7   |          |     |         |           |                           |
| 8   |          |     |         |           |                           |
| 9   |          |     |         |           |                           |
| 10  |          |     |         |           |                           |
| 11  |          |     |         |           |                           |
| 12  |          |     |         |           |                           |
| 13  |          |     |         |           |                           |
| 14  |          |     |         |           |                           |
| 15  |          |     |         |           |                           |

#### 4. Opracowanie wyników pomiaru

1. Oceń, czy wyniki pomiaru okresu nie zawierają błędów grubych. (Zwrócić uwagę na największą i najmniejszą wartość  $T_i$  w uzyskanym zestawie danych).
2. Oblicz niepewność pomiaru okresu (typu A).
3. Oceń niepewność pomiaru długości wahadła (typu B).
4. Na podstawie uzyskanych wartości  $l$  i  $T$  oblicz przyspieszenie ziemskie.
5. Oblicz niepewność złożoną  $u_c(g)$  przy pomocy prawa przenoszenia niepewności.
6. Oblicz niepewność rozszerzoną  $U(g)$ .
7. Czy uzyskana wartość przyspieszenia ziemskiego jest zgodna, w granicach niepewności rozszerzonej, z wartością tabelaryczną? Dla Krakowa  $g = 9,811 \text{ m/s}^2$ .
8. Wykonaj wykres zależności okresu od długości wahadła  $T(l)$ .
9. Wykonaj wykres zlinearyzowany  $T^2$  w funkcji  $l$ .
10. Do ostatniego wykresu dopasuj prostą przechodzącą przez początek układu współrzędnych metodą graficzną lub metodą najmniejszych kwadratów (wzory (1.26) i (1.27), względnie stosowna opcja w programie komputerowym).

**Uwaga:** zakres wykonania ćwiczenia i opracowania danych może być zmodyfikowany przez prowadzącego zajęcia.