

# BADANIE DRGAŃ WAHADŁA MATEMATYCZNEGO

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie wartości przyspieszenia ziemskiego na podstawie okresu drgań wahadła. Celem ćwiczenia od strony analizy danych jest opanowanie konstrukcji histogramu, omówienie rozkładu normalnego, prześledzenie zależności odchylenia standardowego i niepewności średniej od liczby pomiarów, a także wprowadzenie testu t-Studenta.

## WYMAGANIA TEORETYCZNE

- Równanie Newtona dla wahadła w przypadku małych drgań: wyprowadzenie, rozwiązanie, wzór na okres drgań i związek między częstością drgań a okresem.

## ZADANIE DOMOWE

*obowiązkowe przed przystąpieniem do wykonania pomiarów*

Wyprowadź wzór na okres drgań wahadła matematycznego w przypadku małych drgań.

## INSTRUKCJA

### Układ pomiarowy

Masz do dyspozycji:

- wahadło o regulowanej długości.
- stoper pozwalający na odczyt czasu z rozdzielczością 0,01 s,
- taśmę mierniczą pozwalającą na odczyt długości z rozdzielczością 1 mm,
- suwmiarka elektroniczna o dokładności 0,02 mm (w zakresie 0-100 mm).

### Określenie dokładności używanych przyrządów

Pomiary wykonywane podczas tego ćwiczenia opierać się będą na pomiarach czasu (okresu drgań wahadła lub jego wielokrotności) oraz pomiarach długości wahadła. Pierwszym Twoim zadaniem powinno być określenie jak dokładnie możesz wykonywać te pomiary za pomocą używanych przyrządów. W przypadku taśmy mierniczej zastanów się, czy można przyjąć, że Twój pomiar długości został wykonany z dokładnością odpowiadającą jej klasie, czy też inne czynniki na nią wpłynęły.

### Pomiary okresów drgań wahadła

Ustal długość wahadła tak, aby dolna krawędź kuli wahadła znalazła się na wysokości od kilku do kilkunastu centymetrów nad podłogą. **W żadnym wypadku nie próbuj mierzyć długości nici wahadła.** W każdej sali jest podana odległość od punktu zawieszenia wahadła do podłogi. **Zapisz tę wartość, na jej podstawie będziesz obliczać długość Twojego wahadła.** Suwmiarką zmierz średnicę kuli. Aby ustalić długość wahadła musisz zdecydować, jaką odległość dodatkowo zmierzyć: od podłogi do dolnej krawędzi kuli, do środka czy też do jej górnej krawędzi. Zmierz i zanotuj tę odległość. Pod znajdującym się w położeniu równowagi wahadłem umieść na podłodze długopis lub kartkę papieru z narysowaną wyraźną kreską. Wychyl wahadło w kierunku prostopadłym do narysowanej na kartce kreski o kilka stopni od położenia równowagi i zwolnij je. Spróbuj różnych sposobów zwalniania wahadła i obserwuj je przez kilkanaście okresów. Zwróć uwagę, żeby wahadło nie krążyło po elipsie, ani kula wahadła nie „kiwała” się wokół własnego środka ciężkości. Wykonaj także najpierw parę próbnych pomiarów, które pozwolą Ci sposób wykonywania pomiaru. Po wypracowaniu najbardziej optymalnego sposobu uruchamiania wahadła i wykonania pomiaru, zapisz wyniki **100 pomiarów jednego okresu** wahań wahadła. Nie zmieniając układu doświadczalnego, wykonaj **50 pomiarów podwójnego okresu** wahań wahadła, **20**

**pomiarów pięciokrotnego okresu oraz 10 pomiarów dziesięciokrotnego okresu** wahadła. Na sam koniec wykonaj ponownie **10 pomiarów jednego okresu** wahadła.

### **Pomiary dla różnych długości wahadła**

Skróć wahadło do najmniejszej możliwej jego długości, a następnie powtórz **10 pomiarów dziesięciokrotnego okresu** wahadła dla tej długości. Pomiar powtórz dla trzech innych pośrednich długości wahadła starając się, aby dobrane przez Ciebie długości pokrywały, w miarę równych odstępach, cały dostępny zakres długości wahadła. **W sumie, powinieneś mieć zebrane pomiary dla pięciu różnych długości wahadła, w całym dostępnym zakresie jego długości.** Przy małych długościach wahadła pomiar okresu wykonuj, obserwując przejście kuli wahadła na tle wybranego punktu – framugi drzwi, nogi stołu itp. Nie muszą to być punkty, które precyzyjnie określają położenie równowagi wahadła. Unikaj jednak takich punktów odniesienia, które są bliskie momentom zwrotnym w ruchu wahadła, gdyż wyznaczany przy ich wykorzystaniu okres będzie mniej dokładny (dlaczego?).

### **RAPORT KOŃCOWY**

Raport końcowy, przygotowany zgodnie z ogólnymi zasadami podanymi we wzorcu, powinien zawierać w części odnoszącej się do analizy danych i dyskusji:

1. dyskusję dokładności zastosowanych przyrządów wraz z histogramem liczebności 100 pojedynczych okresów drgań wahadła z szerokością histogramu równą rozdzielczości użytego stopera;
2. analizę rozkładów okresu drgań wahadła dla pomiarów 100 pojedynczych, 50 podwójnych, 20 pięciokrotnych i 10 dziesięciokrotnych okresów wahadła zawierającą:
  - wyznaczenie średniej, odchylenia standardowego eksperymentalnego i odchylenia standardowego średniej badanych rozkładów;
  - wyznaczenie średniej oraz odchylenia standardowego średniej pojedynczego okresu;
  - histogramy częstości lub gęstości prawdopodobieństwa rozkładów i ich jakościową analizę;
3. dyskusję powtarzalności wykonanych pomiarów na podstawie porównania, przy użyciu testu t-Studenta dla dwóch prób niezależnych, pierwszych i ostatnich dziesięciu pomiarów z serii 100 pojedynczych okresów drgań wahadła;
4. porównanie modelowego rozkładu normalnego z histogramem 100 pojedynczych okresów wahadła;
5. analizę rozkładów pomiarów dziesięciokrotnego okresu drgań wahadła dla różnych długości zawierającą:
  - wyznaczenie średniego okresu i jego niepewności dla każdej długości wahadła;
  - wyznaczenie wartości przyspieszenia ziemskiego wraz z jego niepewnością oraz jej porównaniem do wartości oczekiwanej.

Nim przygotujesz raport, zaznajom się z uwagami zawartymi w [wymaganiach dotyczących raportu](#) zamieszczonymi na stronie pracowni. Absolutnie zalecane jest także świadome przyjrzenie się redakcji tekstu, a także tabel, rysunków i wzorów, sposobów ich numerowania, tytułowania i opisywania.

Przed oddaniem raportu możesz sprawdzić prawidłowość swoich obliczeń korzystając z aplikacji do testów dostępnej na stronie pracowni.

W raporcie zamieść wszystkie surowe wyniki pomiarów (np. w suplemencie) tak, aby sięgając jedynie do raportu i bez potrzeby odwoływania się do protokołu z doświadczenia można było wykonać pełną i niezależną analizę Twych danych.