

# Jak pisać sprawozdania z ćwiczeń wykonywanych na I Pracowni Fizycznej

Paweł Korecki  
Instytut Fizyki, WFAIS UJ  
e-mail: [pawel.korecki@uj.edu.pl](mailto:pawel.korecki@uj.edu.pl)  
luty 2020

## STRESZCZENIE

W niniejszym dokumencie przedstawione są ogólne informacje dotyczące przygotowania sprawozdania z ćwiczenia na I Pracowni Fizycznej. Szczegółowe instrukcje dotyczące danego ćwiczenia oraz analizy danych pomiarowych i ich niepewności są zawarte w skrypcie I Pracownia Fizyczna i/lub są omawiane przez asystenta prowadzącego ćwiczenie. Sprawozdanie może (choć nie musi) zaczynać się od streszczenia. Streszczenie to krótki tekst (ok. 50-250 słów, ten ma ok. 200) zawierający tylko najważniejsze informacje o ćwiczeniu: cel ćwiczenia, wyjaśnienie jaką wielkość należało wyznaczyć lub jaki efekt fizyczny zamierzano zaobserwować. Należy w nim także przedstawić użytą metodę (jedno dwa zdania) oraz zaprezentować zarówno uzyskany wynik jak i najważniejsze wnioski. Na przykład, dla najprostszego ćwiczenia w którym wyznaczamy  $g$  streszczenie mogłoby wyglądać tak: W ćwiczeniu wyznaczano wartość przyspieszenia ziemskiego. W tym celu przy pomocy cienkiej nici, na której zawieszono ciężarek skonstruowano wahadło. W celu wyznaczenia wartości  $g$  wykonano pomiary okresu ruchu wahadła  $T$  w funkcji jego długości  $L$ . Do opisu ruchu wahadła użyto przybliżenia małych drgań wahadła matematycznego. Następnie wartość  $g$  wyznaczono z użyciem regresji liniowej z zależności  $T^2(L)$ . Wyznaczona wartość  $g=9.70(30)$  m/s<sup>2</sup> jest zgodna, z dokładnością do niepewności pomiarowych, z danymi tablicowymi.

## 1. WSTĘP

Niezbędnym elementem sprawozdania jest [strona administracyjna](#). Na Pracowni w ciągu semestru powstaje kilkaset sprawozdań a strona administracyjna niezwykle upraszcza ich obieg. Do przygotowania sprawozdania można użyć dowolnego edytora tekstu. Bardzo wygodne jest środowisko LaTeX. Sprawozdania pisane ręcznie są dopuszczalne ale, w dzisiejszych czasach, bardzo źle widziane. Formatowanie dokumentów (czcionka itp.) jest dowolne.

W niniejszym dokumencie zastosowano podział na rozdziały, który zalecany jest podczas przygotowywania sprawozdania. Podobny układ jest zwykle stosowany we wszelkich pracach eksperymentalnych (od prostych sprawozdań z ćwiczeń przez prace licencjackie, magisterskie aż po prace doktorskie i artykuły naukowe, gdzie jest on w zasadzie obowiązkowy). Warto używać go od samego początku! Czasami nazwy i podział trzeba zmodyfikować ze względu na specyfikę ćwiczenia. W szczególności, w przypadku gdy w ćwiczeniu wykonywaliście kilka zadań musicie wprowadzić odpowiednie podrozdziały. Zasadniczo układ sprawozdania powinien być jednak zawsze taki sam. Oczywiście elastyczność w postaci sprawozdania jest dopuszczalna ale zmiana „szkieletu” sprawozdania musi być spowodowana jakimiś istotnymi powodami.

W sprawozdaniu z IPF rozdział „Wstęp” jest opcjonalny. Można przedstawić w nim podstawowe i ogólne informacje albo od razu zacząć od rozdziału „Podstawy teoretyczne” (lub krótko mówiąc „Teoria”).

## 2. PODSTAWY TEORETYCZNE

W tym rozdziale podajemy najważniejsze informacje, które są niezbędne do zrozumienia celu ćwiczenia i analizy wyników. Zamieszczamy podstawowe równania i rysunki, które do tego celu potrzebne. Rysunki i równania numerujemy, tak by można było się do nich odnieść w trakcie analizy wyników. Uwaga: wszystkie symbole występujące na rysunkach i w równaniach muszą być zdefiniowane. Tych samych symboli używamy w dalszej części sprawozdania. Typowym błędem jest stosowanie zupełnie innych oznaczeń w teoretycznej części sprawozdania, na rysunkach i podczas analizy wyników. Innym częstym błędem jest kolizja oznaczeń tj. stosowanie takich samych symboli do oznaczenia różnych wielkości.

### 2.1 RÓWNANIA

Zamieszczamy tylko równania które pozwalają się dowiedzieć jakiego modelu i jakich przybliżeń użyto do opisu ćwiczenia lub „końcowe” równania, które bezpośrednio wykorzystujemy do analizy wyników. Szczegółowe wyprowadzenia nie są wymagane. Musi być natomiast podany odnośnik gdzie takie wyprowadzenia można znaleźć.

**Przykład:** W przybliżeniu małych kątów równanie ruchu wahadła matematycznego przybiera postać [1]:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \omega_0^2\theta = 0 \quad (1)$$

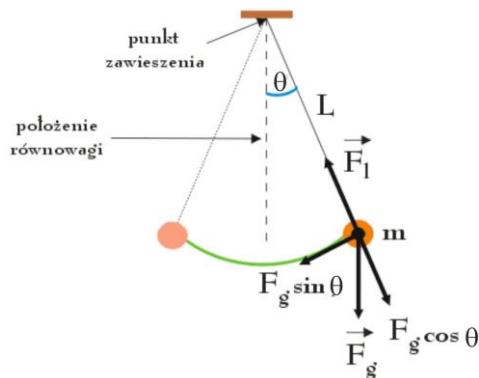
gdzie  $\theta$  to odchylenie kątowe wahadła od położenia równowagi,  $\omega_0^2 = g/L$ ,  $L$  to długość wahadła a  $g$  to wartość przyspieszenia ziemskiego. Z równania (1) wynika, że dla wahadła matematycznego okres ruchu  $T$  dany jest przez:

$$T = 2\pi/\omega_0 = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \quad (2)$$

### 2.2 RYSUNKI

Każdy rysunek w sprawozdaniu musi mieć numer oraz opis wyjaśniający co na nim jest. Jeżeli kopiujemy rysunek np. z sieci (co nie jest zalecane) to jawnie to zaznaczamy!

**Przykład:**



**Rysunek 1** Wahadło matematyczne. Definicja podstawowych wielkości. Rysunek został zaczerpnięty z [2] i został odpowiednio zmodyfikowany.

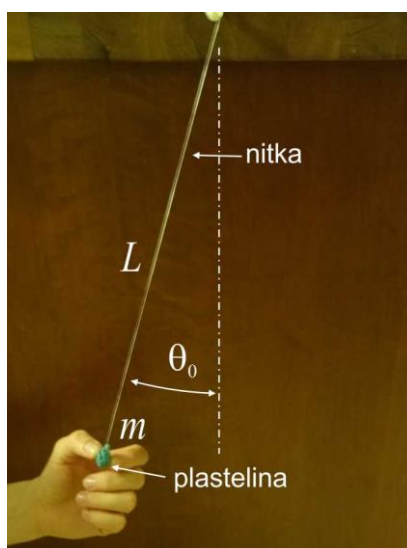
### 3. UKŁAD POMIAROWY

W tej części podajemy podstawowe informacje opisujące układ pomiarowy. W szczególności, zamieszczamy rysunek (lub rysunki) przedstawiające schemat układu pomiarowego. Podajemy typy przyrządów, mierników i urządzeń z których korzystaliśmy. Obowiązkowo wymagany jest schemat układu. W przypadku bardziej skomplikowanych układów dodatkowe zrobienie zdjęcia układu (np. telefonem) może być bardzo pożyteczne. Jest to najprostszy i najszybszy proces archiwizacji, z którego można zobaczyć czy nie popełniło się błędów podczas konstruowania lub podłączania układu. Nawet jeżeli zdjęcie nie jest umieszczone w sprawozdaniu, to na jego podstawie najłatwiej narysować schemat. Podczas robienia ćwiczenia trochę szkoda czasu na dokładne rysowanie układu.

Kopiowanie rysunków układu z jakiegokolwiek źródła jest możliwe tylko w przypadku jeżeli układ eksperymentalny w 100% pokrywa się z układem użytym w doświadczeniu.

#### Przykład

Wahadło skonstruowano z nici do której doczepiono kawałek plasteliny. Nici zawieszono na ołówku przyklejonym do blatu stołu. Schemat doświadczenia przedstawiony jest na Rys. 2. Pomiar długości wykonywany był linijką o dokładności 1mm. Pomiar okresu wahadła wykonywano stoperem o dokładności 0.1 s. Odchylenie początkowe wahadła starano dobrać się tak by spełnione było przybliżenie małych kątów (maksymalnie  $7^\circ$ ).



**Rysunek 2** Wahadło skonstruowane do pomiaru wartości przyspieszenia ziemskiego. Na nici o długości  $L$  zawieszona jest masa  $m$  (kulka z plasteliny). Nici przymocowana jest do ołówka umieszczonego na blacie stołu.  $\theta_0$  oznacza początkowe wychylenie wahadła.

## 4. PRZEBIEG POMIARÓW

W tym rozdziale dokładnie opisujemy jak wykonano pomiary. Nie przepisujemy tej części ze skryptu I Pracownia Fizyczna [3] ani z planu pracy, który przygotowaliście przed ćwiczeniem! Opisujemy dokładnie to co zostało zrobione!

### Przykład

W celu wyznaczenia wartości  $g$  wykonano pomiar okresu wahadła w zależności od jego długości  $T=T(L)$ . Długość wahadła zmieniano w zakresie od ok. 20 cm do ok. 80 cm. W celu poprawy dokładności pomiarów okres  $T$  wahadła wyznaczano na podstawie pomiaru pełnych 10-ciu wahanć. Dla każdej wartości  $L$  wykonano po trzy serie pomiarów. Dla każdej długości wahadła  $L$  wyznaczono średni okres  $T_{sr}$  oraz jego niepewność  $\Delta T$  (szczegółowe informacje można zamieścić w Załączniku)

## 5. WYNIKI I DYSKUSJA

Do analizy danych bardzo pomocne są programy takie jak Origin, SciDatVis, Excel, GnuPlot, Mathematica, Matlab itp. Zawartość tego rozdziału wyczerpująco zdefiniowana jest w jego tytule. Przedstawiamy tu uzyskane wyniki i je dyskutujemy. Szczegółowe instrukcje dotyczące danego ćwiczenia oraz analizy danych pomiarowych i ich niepewności są zawsze omawiane przez asystenta prowadzącego ćwiczenie. Głównym źródłem informacji jest skrypt Pracownia Fizyczna [3].

Dane pomiarowe najwygodniej przedstawiać jest w postaci tabel. Wszystkie kolumny powinny być opisane Wyniki podajemy razem z jednostkami. Tabela powinna być posortowana!

### Przykład

**Tabela 1** Wyniki pomiarów okresu wahadła w zależności od długości wahadła.  $L$  – długość wahadła,  $T_{sr}$  – średni okres,  $dT$  – odchylenie standardowe średniej

$L$ [cm]	$T_{sr}$ [s]	$dT$ [s]
20.5	8.1	0.3
28.5	10.5	0.2
36.9	12.1	0.2
47.1	13.6	0.2
51.2	14.6	0.1
59.7	15.6	0.2
68.7	16.9	0.1
76.3	17.6	0.1

Dodatkowo warto zawsze przedstawiać dane na rysunkach. Na początek zalecane jest przedstawiać zawsze „surową” postać danych. To znaczy pokazywać dokładnie taką zależność jaką zmierzaliśmy. Dalej analizujemy dane tak aby dostać wynik końcowy. Proszę pamiętać by szczegółowo przedstawić analizę niepewności pomiarowych [4]. Jeżeli zajmuje ona za dużo miejsca to można to zrobić w załączniku. Dla wszelkich wyznaczonych wielkości (także pośrednich) podajemy zarówno wymiar jak i niepewność pomiarową.

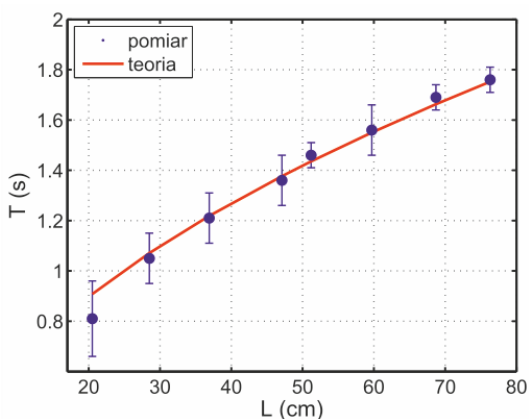
### Przykład

Na Rys. 3 przedstawiona jest zmierzona zależność okresu w zależności od długości wahadła. Dla porównania zaznaczono teoretyczną zależność (2) obliczoną dla  $g=9.81 \text{ m/s}^2$

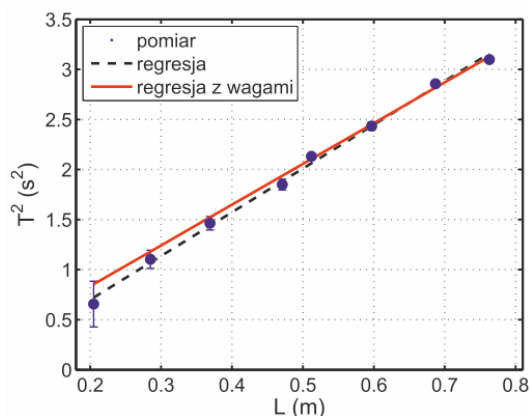
W celu wyznaczenia wartości  $g$  dane pomiarowe zostały przedstawione na wykresie  $T^2(L)$  (Rys. 4). Do takich danych można metodą regresji liniowej dopasować prostą postaci:

$$T^2 = aL + b \quad (3)$$

gdzie  $a$  i  $b$  to parametry dopasowania. Z równania (2) widać, że  $g = (2\pi)^2/a$  oraz, że  $dg = (2\pi)^2 da/a^2$ , gdzie  $dg$  i  $da$  oznaczają niepewności wyznaczenia  $a$  i  $g$ .



**Rysunek 3** Zależność okresu ruchu wahadła  $T$  od długości wahadła  $L$ . Krzywa ciągła przedstawia zależność teoretyczną dla  $g=9.81 \text{ m/s}^2$ .



**Rysunek 4** Zależność  $T^2$  od  $L$  wraz z dopasowanymi prostymi wyznaczonymi metodą regresji klasycznej i regresji ważonej.

Wyniki regresji zamieszczone są w Tabeli 2. Dla przykładu pokazano tutaj wyniki uzyskane przy pomocy regresji klasycznej i ważonej (szczegóły tych procedur można opisać w Załączniku).

**Tabela 2** Wyniki regresji liniowej pokazanej na Rys. 4.

	<b>a [s<sup>2</sup>/m]</b>	<b>b [s<sup>2</sup>]</b>
Regresja klasyczna	4.36(13)	-0.175(65)
Regresja ważona	4.07(17)	0.02(10)

Obliczone wartości  $g$ , to  $9.04(26) \text{ m/s}^2$  dla regresji klasycznej oraz  $9.70(39) \text{ m/s}^2$  dla regresji ważonej. Na tym przykładzie widać, że poprawna analiza statystyczna pozwala uzyskać wartość  $g$  bliższą rzeczywistej. Dodatkowo, tylko dla regresji ważonej parametr  $b$  jest zerowy z dokładnością do niepewności pomiarowej.

Ostatecznie:

$$g = 9.70(39) \text{ m/s}^2$$

Wynik ten pokrywa się w granicy błędów z wartością tablicową ( $9.80665 \text{ m/s}^2$ ) [4]. Odchylenie jest rzędu 1%.

Po przedstawieniu ostatecznych wyników zostaje nam jeszcze ich przedyskutowanie. Musimy skomentować nasz wynik. W szczególności, gdy pomiar odbiega od wartości teoretycznej powinniśmy wymienić prawdopodobne przyczyny zaobserwowanych rozbieżności.

## 6. PODSUMOWANIE

Na stronie [www I Pracowni Fizycznej](http://www.I.Pracowni.Fizycznej) zamieszczone są także inne materiały pomagające w pisaniu sprawozdań. Serdecznie zachęcam do ich lektury. W szczególności zachęcam do zapoznania się z dokumentem [6], w którym zamieszczone są szczegółowe informacje na temat przygotowywania sprawozdań.

## LITERATURA

- [1] J.R. Taylor, Mechanika klasyczna, PWN 2007
- [2] [http://efizyka.net.pl/wahadlo-matematyczne-i-fizyczne\\_8435](http://efizyka.net.pl/wahadlo-matematyczne-i-fizyczne_8435)
- [3] skrypt I PRACOWNIA FIZYCZNA, redakcja naukowa Andrzej Magiera
- [4] [http://en.wikipedia.org/wiki/Gravity\\_of\\_Earth](http://en.wikipedia.org/wiki/Gravity_of_Earth) (wikipedię cytujemy w ostateczności – próbujemy dotrzeć do prac źródłowych)
- [5] J.R. Taylor, Wstęp do analizy błędów pomiarowych, PWN 1996
- [6] B. Damski, „Uwaga na temat pisania sprawozdań na I Pracowni Fizycznej”.

## ZAŁĄCZNIKI

W załączniku trzeba zamieścić:

- Kopie danych z zeszytu pomiarowego

W załącznikach można zamieścić:

- Szczegółowe dane i tabele
- Szczegółowy opis wyliczania niepewności pomiarowych
- Wydruk arkusza kalkulacyjnego/notatnika Mathematica itp.
- Wszelkie inne pomocne materiały

### **UWAGA !!!**

***Każde skopiowanie części sprawozdania (tekstu, rysunku) z innych źródeł wymaga jawnego zaznaczenia tego faktu. Jeżeli tego nie zrobimy popełniamy PLAGIAT.***

***Kopiowanie materiału z innych sprawozdań jest całkowicie niedozwolone.***