

## BADANIE TRANSFORMACJI ENERGII MECHANICZNEJ KRAŻKA MAXWELLA

### 1. Opis teoretyczny do ćwiczenia

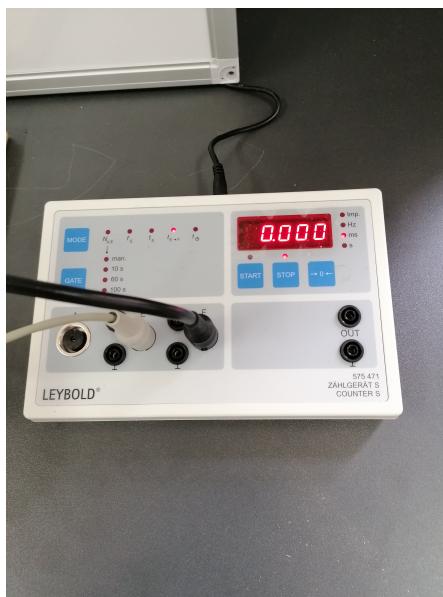
zamieszczony jest na stronie [www.wtc.wat.edu.pl](http://www.wtc.wat.edu.pl) w dziale  
DYDAKTYKA – FIZYKA – ĆWICZENIA LABORATORYJNE.

### 2. Opis układu pomiarowego

#### Stanowisko A



Rys. 1 Stanowisko pomiarowe A



Rys. 2 Panel sterujący



Rys. 3 Ustawienia górnego  
i dolnego znacznika.

Zastosowany w ćwiczeniu krążek Maxwella ma kształt koła zamachowego umocowanego na osi o promieniu  $R = (3,0 \pm 0,1)$  mm. Masa koła z osią  $m = (0,448 \pm 0,001)$  kg. Możliwy do zrealizowania maksymalny spadek ciała wynosi około 45 cm. Całość jest umocowana na specjalnym wypoziomowanym statywie. Po nawinięciu linek na os, krążek jest blokowany w górnym położeniu za pomocą specjalnego przycisku. Zwolnienie przycisku i rozpoczęcie ruchu krążka uruchamia pomiar czasu, który kończy się gdy os krążka przetnie promień fotokomórki umieszczonej w fotobramce znajdującej się na statywie. Całość umożliwia pomiar czasu spadku krążka Maxwella z dokładnością do 0,01 s. W fotobramce zastosowano fotokomórkę reagującą na podczerwień o bardzo wąskim strumieniu światła. Wysokość położenia fotobramki z fotokomórką można zmieniać przesuwając ją wzdłuż statywów.

Całość zaopatrzona jest w pionowo ustawiony liniał. Znaczniki umieszczone na liniale umożliwiają wyznaczenie położen osi krążka oraz fotokomórki z dokładnością do 1 mm.

### Stanowisko B



Rys. 4 Stanowisko pomiarowe B

Zastosowany w ćwiczeniu krążek Maxwella ma kształt koła zamachowego umocowanego na osi o promieniu  $R = (2,5 \pm 0,1)$  mm. Masa koła z osią  $m = (0,436 \pm 0,001)$  kg. Możliwy do zrealizowania maksymalny spadek ciała wynosi około 65 cm. Całość jest umocowana na specjalnym wypoziomowanym statywie. Po nawinięciu linek na osią, krążek jest blokowany w górnym położeniu. Czasu spadku krążka Maxwella jest mierzony przy pomocy stopera z dokładnością do 0,2 s. Do ustalenia początkowego i końcowego położenia osi krążka w trakcie ruchu pionowo ustawiony liniał. Znaczniki umieszczone na liniale umożliwiają wyznaczenie tych położień z dokładnością do 1 mm.

### 3. Przeprowadzenie pomiarów

#### Na stanowisku A:

1. Na urządzeniu sterującym (rys. 2) przy pomocy przycisku MODE wybrać opcję . Wyzerować wskazania licznika i wcisnąć przycisk STOP.
2. Ostrożnie nawinąć linki, na których jest zawieszony krążek na jego osi i zablokować go w górnym położeniu.
3. Ustawić fotobramkę na żądanej wysokości tak, aby osi krążka Maxwella przy spadku przecinała światło fotokomórki i nie uderzała w samą fotobramkę (wiązka światła jest niewidoczna, gdyż fotokomórka działa na podczerwień).
4. Za pomocą znaczników liniału ustalić górne położenie krążka Maxwella oraz fotokomórki (rys. 3). Ich różnica określa długość  $h$  drogi opadania krążka Maxwella.
5. Wcisnąć przycisk START na panelu sterującym.
6. Delikatnie uruchomić ruch krążka. Odliczanie czasu ruchu na panelu sterowania rozpoczęcie się automatycznie. W momencie przecięcia strumienia światła wiązki fotokomórki przez osi krążka Maxwella czas na panelu sterującym ulegnie automatycznemu zatrzymaniu. Należy go odczytać z dokładnością do setnej części sekundy.
7. Czynności 1 – 6 powtórzyć minimum pięciokrotnie.
8. Zmieniając położenia fotobramki przez przesuwanie jej wzdłuż statywów ustalić pięć różnych długości dróg opadania krążka  $h$  różniących się o około 8 cm i dla każdej drogi powtórzyć czynności 1 – 7.

#### Na stanowisku B:

1. Ostrożnie nawinąć linki, na których jest zawieszony krążek na jego osi i przytrzymać go w górnym położeniu.
2. Za pomocą znaczników liniału ustalić górne położenie osi krążka Maxwella oraz położenie końcowe. Ich różnica określa długość  $h$  drogi opadania krążka Maxwella (rys. 4).
3. Zwolnić krążek z położenia górnego jednocześnie uruchamiając stoper. Uważnie obserwować położenie osi krążka Maxwella i zatrzymać stoper w momencie osiągnięcia przez osi krążka dolnego znacznika liniału. Odczytać czas opadania krążka.
4. Czynności 1 – 3 powtórzyć minimum pięciokrotnie.
5. Zmieniając położenia dolnego znacznika liniału ustalić pięć różnych długości dróg opadania krążka  $h$  różniących się o około 10 cm i dla każdej drogi powtórzyć czynności 1 – 4.

#### 4. Opracowanie wyników pomiarów

1. Dla każdej serii pomiarowej odpowiadającej danej długości drogi opadania krążka  $h$  obliczyć średni czas

$$\text{spadania } \bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \text{ i jego niepewność standardową } u(\bar{t}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{(n-1)n}}.$$

2. Obliczyć dla każdej drogi  $h$  przyspieszenie liniowe spadku krążka  $a$  ze wzoru  $a = \frac{2h}{\bar{t}^2}$  i bezwzględną

$$\text{niepewność złożoną przyspieszenia } u_c(a) = \sqrt{\left(\frac{2}{t^2} u(h)\right)^2 + \left(\frac{4h}{t^3} u(t)\right)^2}. \text{ Niepewność standardową } u(h) \text{ należy ustalić w trakcie pomiarów.}$$

3. Obliczyć dla każdej drogi  $h$  końcową prędkość ruchu postępowego ze wzoru:  $v_k = a \cdot \bar{t}$  oraz jej niepewność złożoną  $u_c(v_k) = \sqrt{(a u(t))^2 + (\bar{t} u_c(a))^2}$ .

4. Obliczyć dla każdej drogi  $h$  końcową energię kinetyczną ruchu postępowego:  $E_{kp} = \frac{m}{2} \cdot v_k^2$  oraz jej bezwzględną niepewność złożoną  $u_c(E_{kp}) = \sqrt{\left(\frac{v_k^2}{2} \cdot u(m)\right)^2 + (m v_k \cdot u_c(v_k))^2}$ .

5. Obliczyć ze wzoru  $J_o = mR^2 \left( \frac{2gh}{v^2} - 1 \right)$  dla każdej drogi  $h$  moment bezwładności krążka  $J_o$  oraz jego niepewność bezwzględną złożoną

$$u_c(J_o) = \sqrt{\left(2mR \left( \frac{2gh}{v^2} - 1 \right) u(R)\right)^2 + \left(mR^2 \frac{2g}{v^2} u(h)\right)^2 + \left(mR^2 \frac{4gh}{v^3} u_c(v_k)\right)^2}.$$

6. Obliczyć ze wzoru  $\varepsilon = \frac{a}{R}$  dla każdej drogi  $h$  przyśpieszenie kątowe spadku krążka oraz jego niepewność

$$\text{złożoną bezwzględną } u_c(\varepsilon) = \sqrt{\left(\frac{1}{R} u_c(a)\right)^2 + \left(\frac{a}{R^2} u(R)\right)^2}.$$

7. Obliczyć ze wzoru  $J_o = mR \left( \frac{g}{\varepsilon} - R \right)$  moment bezwładności krążka i porównać otrzymany wynik z wynikiem otrzymanym w punkcie 5. Wyciągnąć wnioski.

8. Obliczyć dla każdej drogi  $h$  końcową prędkość kątową krążka:  $\omega_k = \varepsilon \cdot \bar{t}$  oraz jej bezwzględną niepewność złożoną  $u_c(\omega_k) = \sqrt{(\varepsilon \cdot u(t))^2 + (\bar{t} \cdot u_c(\varepsilon))^2}$ .

9. Obliczyć dla każdej drogi  $h$  końcową energię kinetyczną ruchu obrotowego  $E_{ko} = \frac{J_o}{2} \cdot \omega_k^2$  oraz jej

$$\text{bezwzględną niepewność złożoną } u_c(E_{ko}) = \sqrt{\left(\frac{\omega_k^2}{2} u_c(J_o)\right)^2 + (J_o \omega_k u_c(\omega_k))^2}.$$

10. Obliczyć dla każdej drogi  $h$  stosunek energii kinetycznych ruchu obrotowego do postępowego ze wzoru:  $E_{ko}/E_{kp}$ . Wyniki przedstawić na jednym wykresie. Wyciągnąć wnioski.
11. Obliczyć dla każdego położenia krążka początkową energię potencjalną krążka  $E_P = m g h$  oraz jej bezwzględną niepewność złożoną  $u_c(E_{ko}) = \sqrt{(mg \cdot u(h))^2 + (gh \cdot u(m))^2}$ .
12. Porównać dla każdej drogi  $h$  sumę wartości energii kinetycznych z wartością energią potencjalną. Wyniki przedstawić na jednym wykresie. Wyciągnąć wnioski.

## 5. Podsumowanie

Wyciągnąć wnioski z całego przebiegu doświadczenia, szczególnie odnośnie sprawdzenia się zasady zachowania energii.

Stwierdzić czy cel ćwiczenia:

wyznaczenie momentu bezwładności tarczy względem środka ciężkości;  
potwierdzenie stosowności zasady zachowania energii (suma energii, stosunek  $E_{\text{Kin-obj}} / E_{\text{Kin-post}}$ )

został osiągnięty.

Zestawić wyniki, przeanalizować uzyskane rezultaty, wyciągnąć wnioski.

## 6. Przykładowe pytania

1. Omówić I. zasadę dynamiki Newtona dla bryły sztywnej w ruchu obrotowym.
2. Omówić I. zasadę dynamiki Newtona dla bryły sztywnej w ruchu postępowym.
3. Omówić II. zasadę dynamiki Newtona dla bryły sztywnej w ruchu obrotowym.
4. Omówić II. zasadę dynamiki Newtona dla bryły sztywnej w ruchu postępowym.
5. Omówić metodę wyznaczania przyspieszenia ziemskiego za pomocą krążka Maxwella.
6. Omówić metody wyznaczania moment bezwładności ciał sztywnych.
7. Omówić zasadę zachowania momentu pędu.
8. Omówić zasadę zachowania pędu.
9. Zdefiniować pojęcia: prędkość kątowa, przyspieszenie kątowe.
10. Zdefiniować pojęcie środka ciężkości bryły sztywnej, podać sposób wyznaczania dla kartki papieru.
11. Omówić siłę sprężystości (napięcia) linki, wyznaczyć jej wartość przy opadaniu krążka.
12. Omówić twierdzenie Steinera.
13. Czy stosunek energii kinetycznej ruchu obrotowego do energii kinetycznej ruchu postępowego zależy od wysokości z jakiej opada krążek?
14. Jak wpłynie na czas opadania zmiana rozkładu masy w krążku – część masy szprych zostanie przesunięta bliżej obwodowi pierścienia, zewnętrzy promień pierścienia nie ulegnie zmianie?

**ĆWICZENIA LABORATORYJNE Z FIZYKI – mechanika**

---

Zespół w składzie

.....  
1. Wartości teoretyczne wielkości wyznaczanych lub określanych.

.....  
2. Parametry stanowiska (wartości i niepewności). *Należy potwierdzić na stanowisku wartości parametrów!*

**Dla stanowiska A:**  $m = 0,448 \text{ kg}$        $\Delta m = 0,001 \text{ kg}$        $\Delta t = 0,01 \text{ s}$        $\Delta h = \dots \text{ mm}$   
 $R = 3,0 \text{ mm}$        $\Delta R = 0,1 \text{ mm}$        $I_0 = 13 \text{ kg cm}^2$

**Dla stanowiska B:**  $m = 0,436 \text{ kg}$        $\Delta m = 0,001 \text{ kg}$        $\Delta t = 0,2 \text{ s}$        $\Delta h = \dots \text{ mm}$   
 $R = 2,5 \text{ mm}$        $\Delta R = 0,1 \text{ mm}$

3. Pomiary i uwagi do ich wykonania.

Czasy opadania krążka	Wysokość opadania krążka					niepewność .....
niepewność .....	<b>h<sub>1</sub></b> =	<b>h<sub>2</sub></b> =	<b>h<sub>3</sub></b> =	<b>h<sub>4</sub></b> =	<b>h<sub>5</sub></b> =	
<b>t<sub>1</sub></b>						
<b>t<sub>2</sub></b>						
<b>t<sub>3</sub></b>						
<b>t<sub>4</sub></b>						
<b>t<sub>5</sub></b>						
<b>t<sub>6</sub></b>						
<b>t<sub>7</sub></b>						
<b>t<sub>8</sub></b>						
<b>t<sub>9</sub></b>						
<b>t<sub>10</sub></b>						

Data i podpis osoby prowadzącej