Ćwiczenie 206.

Temat: <u>Sprawdzanie twierdzenia Steinera za pomocą wahadła fizycznego.</u>

I. Literatura:

1. R. Resnick, D. Halliday, Fizyka, t. 1, PWN
2. B. Jaworski, A. Dietłaf, Kurs fizyki, t. 1.
3. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki w politechnice, praca zbiorowa pod red. T. Rewaja.
4. Instrukcja obsługi suwmiarki: http://labor.zut.edu.pl/INSTRUKCJE/Suwmiarka.pdf

II. Tematy teoretyczne:

1. Pojęcie bryły sztywnej, wielkości charakteryzujące ruch obrotowy bryły sztywnej, moment bezwładności.
2. Twierdzenie Steinera, ruch drgający prosty, okres drgań wahadła fizycznego.

III. Metoda pomiarowa:

Twierdzenie Steinera ma postać:

$$I = I_o + m \cdot d^2$$

I_o – moment bezwładności bryły o masie **m** względem osi przechodzącej przez środek masy,
I – moment bezwładności względem innej osi, ale równoległej, do tej wymienionej wyżej,
d – odległość między tymi osiami.

W doświadczeniu badamy trzy różne bryły, które są równocześnie wahadłami fizycznymi. Ze wzoru na okres wahadła fizycznego wyznaczamy momenty bezwładności tych brył względem osi przechodzącej przez punkt zawieszenia. Następnie z twierdzenia Steinera obliczamy moment bezwładności tych brył względem osi przechodzącej przez środek masy:

$$I_o = I - m \cdot d^2$$

Wyniki tych obliczeń porównujemy z wynikami otrzymanymi ze wzorów teoretycznych. Badanymi przez nas bryłami są tarcza (walec), kula i pręt. Teoretyczne wzory na momenty bezwładności tych brył względem osi przechodzącej przez środek masy mają postać:

tarczy: $I_0 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2$; kuli: $I_0 = \frac{2}{5} \cdot m \cdot r^2$; pręta: $I_0 = \frac{1}{12} \cdot m \cdot l^2$

IV. Zestaw przyrządów:

3 wahadła fizyczne (tarcza, kula, pręt), waga oraz przymiar, suwmiarka, stoper i dodatkowe odważniki (wypożyczyć w pok. ***619***).

V. Wykonanie ćwiczenia:

1. Wyznaczyć masy 3 wahadeł (duże odważniki umieszczone są w szufladce wagi). Przed ważeniem należy wytarować wagę pokrętłem na lewym ramieniu wagi.
2. Zmierzyć następujące wymiary wahadeł:
   - średnicę tarczy $2r$ i odległość od ostrza do środka tarczy d (suwmiarką),
   - średnicę kuli $2r$ i odległość od ostrza do środka kuli d (suwmiarką),
   - długość pręta l i odległość od ostrza do środka pręta d (przymiarem).

   Każdy pomiar powtórzyć trzykrotnie.
3. Zawiesić pierwsze wahadło (tarczę) ostrzem na uchwycie zamocowanym na ścianie.
4. Wychylić wahadło z położenia równowagi o niewielki kąt (kilka stopni) i zmierzyć trzykrotnie czas 10 pełnych wahnięć (1 wahnięcie= tam i z powrotem)
5. Pomiary opisane w punktach 3 i 4 powtórzyć dla pozostałych dwóch wahadeł (kuli i pręta).
6. Zanotować dokładności użytych przyrządów pomiarowych.

VI. Opracowanie wyników pomiarów:

1. Obliczyć momenty bezwładności badanych brył oraz ich niepewności względem osi przechodzących przez środki ich mas w oparciu o wzory teoretyczne:

- tarczy: $I_{01} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2$ (r- promień tarczy) $u(I_{01}) = I_{01} \cdot \sqrt{\left[\frac{u(m)}{m}\right]^2 + \left[\frac{2 \cdot u(r)}{r}\right]^2}$

- kuli: $I_{01} = \frac{2}{5} \cdot m \cdot r^2$ (r- promień kuli) $u(I_{01}) = I_{01} \cdot \sqrt{\left[\frac{u(m)}{m}\right]^2 + \left[\frac{2 \cdot u(r)}{r}\right]^2}$

- pręta; $I_{01} = \frac{1}{12} \cdot m \cdot l^2$ (*l*- długość pręta) $u(I_{01}) = I_{01} \cdot \sqrt{\left[\frac{u(m)}{m}\right]^2 + \left[\frac{2 \cdot u(l)}{l}\right]^2}$

2. Obliczyć okresy drgań wszystkich trzech wahadeł T= t/n= (czas średni)/(liczba drgań).
3. W oparciu o wzór na okres wahadła fizycznego obliczyć momenty bezwładności względem osi przechodzącej przez punkt zawieszenia i ich niepewności dla trzech badanych brył:

$$I = \frac{T^2 \cdot m \cdot g \cdot d}{4 \cdot \pi^2} \qquad u(I) = I \cdot \sqrt{\left[\frac{2 \cdot u(T)}{T}\right]^2 + \left[\frac{u(m)}{m}\right]^2 + \left[\frac{u(d)}{d}\right]^2}$$

4. Wykorzystując twierdzenie Steinera obliczyć momenty bezwładności każdej z brył względem osi przechodzącej przez środek masy oraz ich niepewności:

$$I_{o2} = I - m \cdot d^2 \qquad u(I_{02}) = \sqrt{[u(I)]^2 + [d^2 \cdot u(m)]^2 + [2 \cdot m \cdot d \cdot u(d)]^2}$$

(I – moment bezwładności wyznaczony w punkcie 3)

5. Dla każdej bryły na osi liczbowej zaznaczyć przedziały *{ $I_{o1} - u(I_{o1})$, $I_{o1} + u(I_{o1})$ }* oraz *{ ($I_{o2} - u(I_{o2})$, $I_{o2} + u(I_{o2})$ }* i sprawdzić, czy przedziały te mają część wspólną.

- **Uwagi dotyczące obliczenia niepewności:**

$$u(m) = \frac{\Delta m}{\sqrt{3}}; \quad u(d) = \frac{\Delta d}{\sqrt{3}}$$

$$u(r) = \sqrt{u_A^2(r) + u_B^2(r)} \text{ gdzie: } u_A = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{3}(2r_i - 2\bar{r})^2}{3 \cdot 2}}; \quad u_B(r) = \frac{\Delta r}{\sqrt{3}};$$

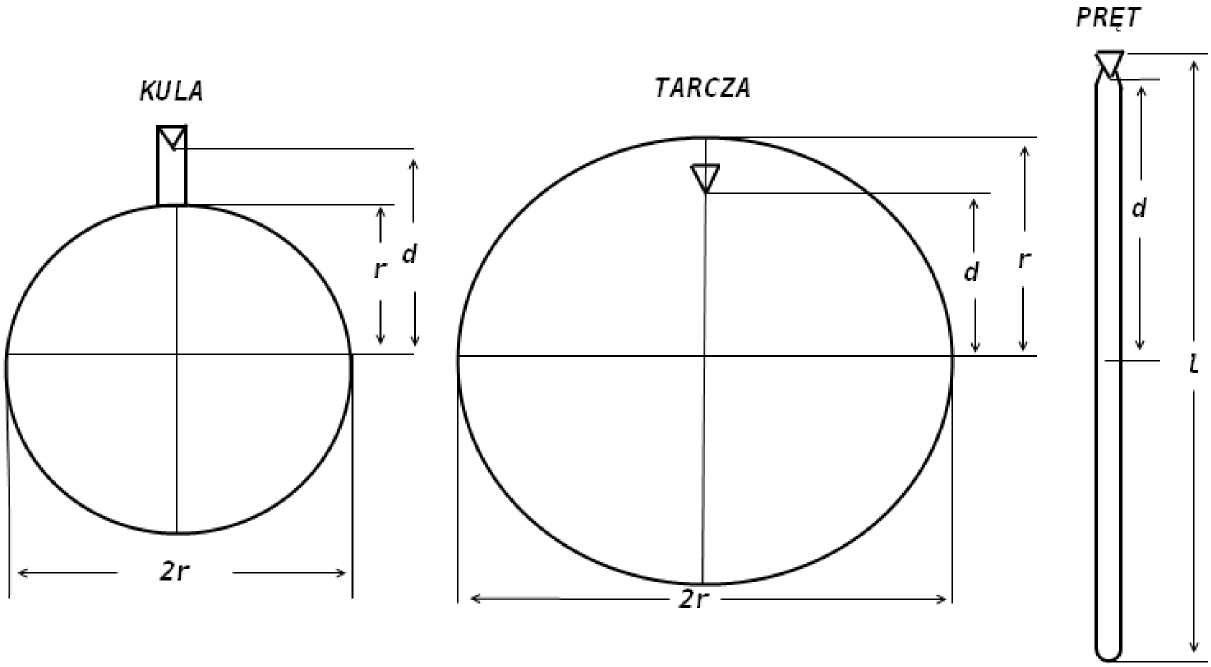
$$u(l) = \sqrt{u_A^2(l) + u_B^2(l)} \text{ gdzie: } u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{3}(l_i - \bar{l})^2}{3 \cdot 2}}; \quad u_B(r) = \frac{\Delta l}{\sqrt{3}};$$

$$u(T) = \sqrt{u_A^2(T) + u_{B1}^2(T) + u_{B2}^2(T)} \text{ gdzie:}$$

$$u_A(T) = \frac{1}{10} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{3}(t_i - \bar{t})^2}{3 \cdot 2}}; \quad u_{B1}(T) = \frac{1}{10} \cdot \frac{\Delta t_1}{\sqrt{3}}; \quad u_{B2}(T) = \frac{1}{10} \cdot \frac{\Delta t_2}{\sqrt{3}}$$

(Δt_1-dokładność stopera; Δt_2- podwojony czas reakcji eksperymentatora)

Wartość $\frac{1}{10}$ w powyższych wzorach wynika z pomiaru czasu 10 drgań.



6. Wyniki pomiarów i obliczeń zestawić w tabeli:

Bryła	*m [kg]*	*2r lub l [m]*	*r lub l [m]*	*d [m]*	*t [s]*	*n*	*T [s]*	I_{01} [kgm^2]	$u(I_{01})$ [kgm^2]	*I* [kgm^2]	I_{02} [kgm^2]	$u(I_{02})$ [kgm^2]
Tarcza						*10*						
Kula						*10*						
Pręt						*10*						

7. Zanotować dokładności (niepewności maksymalne) użytych przyrządów pomiarowych:

Δm=............ - niepewność maksymalna pomiaru masy = wartość najmniejszego użytego odważnika

Δr=..............; *Δd=....................;* *Δl=................;* *Δt=.................*