



Ćwiczenie Nr A10

Temat: Wyznaczanie przyspieszenia grawitacyjnego Ziemi.

I. Literatura:

- a) Praca zbiorowa, Fizyka dla szkół wyższych, tom 1, openstax, (<https://openstax.org/books/fizyka-dla-szk%C3%B3%B3%C5%82-wy%C5%BCszych-tom-1/pages/1-wstep>)
- b) D. Halliday, R. Resnick, Fizyka dla szkół wyższych, tom 1, Wydawnictwo Naukowe PWN 1994
- c) Praca zbiorowa, Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej 2007

II. Tematy teoretyczne:

1. Pojęcie bryły sztywnej
2. Obliczanie momentów bezwładności (m.in. twierdzenie Steinera)
3. Rodzaje wahadeł
4. Drgania harmoniczne
5. Analiza niepewności pomiarowych

III. Metoda pomiarowa:

Wyznaczenie przyspieszenia ziemskiego za pomocą wahadła fizycznego.

IV. Zestaw przyrządów:

Kula o masie M zawieszona na nici, suwmiarka, miarka milimetrowa, waga (dostępna w sali), stoper.

V. Czynności pomiarowe:

1. Zważyć masę kuli (ostrożnie położyć na wadze) i zanotować wartość. Sprawdzić dokładność pomiaru dostępnej wagi,
2. Zmierzyć pięciokrotnie średnicę kuli w kilku różnych miejscach i zanotować wyniki oraz niepewność pomiarową przyrządu,
3. Zmierzyć odległość punktu zawieszenia kuli do powierzchni kuli, zanotować wynik i niepewność pomiarową,
4. Wychylić kulę z położenia równowagi o niewielki kąt (żeby było spełnione kryterium ruchu harmonicznego) i zmierzyć okres 25 wahań (najlepiej czas mierzyć z maksymalnego wychylenia po kilku pełnych wahańciach, jedno pełne wahańcie to powrót do **tego samego** maksymalnego wychylenia),
5. Nie zatrzymywać kuli i powtórzyć pomiar pięciokrotnie. Wyniki zanotować,



6. Wyznaczyć niepewność pomiarową stopera oraz wyznaczyć czas refleksu eksperymentatora (np. zatrzymać stoper na 3.34 s. i wyznaczyć różnicę pomiędzy wartością oczekiwaną z wartością wskazaną, powtórzyć kilkukrotnie).

VI. Tabela pomiarowa.

Ilość wahnięć	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t _{śr.}	Okres T
25							
Pomiar średnicy kuli	Sr ₁	Sr ₂	Sr ₃	Sr ₄	Sr ₅	Sr _{śr.}	Promień kuli R
Niepewność pomiaru stopera		Δt _s =		Niepewność związana z refleksem		Δt _r =	
Masa kuli		M =		Niepewność pomiaru		ΔM =	
Promień kuli		R =		Niepewność pomiaru		ΔR =	
Długość nici		d =		Niepewność pomiaru		Δd =	
Moment bezwładności wahadła		I =		Niepewność pomiaru pośredniego		u(I) =	
Przyspieszenie ziemskie							
g =.....±..... (m/s ²)							

VII. Opracowanie wyników pomiarów.



1. Obliczyć wartość średnią czasu pomiaru 25 wahań (t_{sr}) i wyznaczyć okres jednego wahań (T), wynik podaj w sekundach,
2. Obliczyć wartość średnią pomiaru średnicy (Sr_{sr}) oraz wyznacz promień kuli (R), wynik podaj w metrach,
3. Obliczyć niepewność pomiaru czasu uwzględniając zarówno dokładność użytego czasomierza jak i (znacznie większy!) czas reakcji eksperymentatora. Niepewności $u(t)$ powinny uwzględniać zarówno niepewności standardową typu A jak i niepewności typu B:

$$u_A(t) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - t_{sr})^2}{n(n-1)}},$$

gdzie n to ilość pomiarów czasu

$$u_B(t) = \sqrt{\left(\frac{\Delta t_s}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t_r}{\sqrt{3}}\right)^2},$$

I wyznaczyć niepewność standardową całkowitą pomiaru czasu

$$u(t) = \sqrt{u_A^2(t) + u_B^2(t)},$$

4. Wykorzystać powyższe wzory do wyznaczenia niepewności standardowej promienia kuli: $u_A(R)$, $u_B(R)$ i $u(R)$.
5. Obliczyć niepewność wyznaczenia masy $u(M)$ oraz $u(d)$:

$$u(M) = \sqrt{\left(\frac{\Delta M}{\sqrt{3}}\right)^2}, \quad u(d) = \sqrt{\left(\frac{\Delta d}{\sqrt{3}}\right)^2}$$

6. Obliczyć moment bezwładności i niepewność wyznaczenia momentu bezwładności według wzorów:

$$I = \frac{2}{5}MR^2 + M(R + d)^2$$

Aby wyznaczyć niepewność pomiaru pośredniego momentu bezwładności trzeba wyznaczyć pochodne cząstkowe mierzand:

$$u(I) = \sqrt{\left(\frac{\partial I}{\partial M}\right)^2 u^2(M) + \left(\frac{\partial I}{\partial R}\right)^2 u^2(R) + \left(\frac{\partial I}{\partial d}\right)^2 u^2(d)}$$

7. Wyznaczyć przyspieszenie ziemskie na podstawie wzoru na okres wahadła fizycznego:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{Mgd}},$$

$$g = \frac{4\pi^2 I}{T^2 M d},$$

8. Wyznaczyć niepewność pomiarową wartości g .

Wykonujemy podobnie jak w pkt. 6. Wyznaczamy pochodne cząstkowe mierzand:



$$\frac{\partial g}{\partial I}(I, M, d), \frac{\partial g}{\partial M}(I, M, d), \frac{\partial g}{\partial d}(I, M, d),$$

$$u(g) = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial I}\right)^2 u^2(I) + \left(\frac{\partial g}{\partial M}\right)^2 u^2(M) + \left(\frac{\partial g}{\partial d}\right)^2 u^2(d)}$$

9. Uzupełniamy tabele pomiarową i podajemy wnioski