

## 1. Úkoly měření

- Určete velikost tíhového zrychlení pro Prahu reverzním kyvadlem.
- Proveďte korekci výsledné hodnoty doby kyvu pro reverzní kyvadlo  $\tau_0$  a porovnejte korigovanou hodnotu s hodnotou naměřenou.
- Vypracujte graf závislosti  $\tau_{0d}$  a  $\tau_{0h}$  na poloze čočky.

## 2. Použité přístroje a pomůcky

- Reverzní kyvadlo
- Závěs s optickým snímačem
- Čítač kyvů se stopkami

## 3. Naměřené hodnoty

### a) Tabulka neměřených hodnot

- tabulka naměřených hodnot pro 100 kyvů

Vzdálenost [mm]	$100\tau_{0d}$ [s]	$100\tau_{0h}$ [s]
0	76,88	75,13
1	76,93	75,35
2	76,98	75,54
3	77,04	75,80
4	77,09	76,04
5	77,14	76,23
6	77,20	76,48
7	77,24	76,69
8	77,29	76,97
9	77,35	77,18
10	77,41	77,42
11	77,46	77,67

- tabulka neměřených hodnot pro 500 kyvů

Vzdálenost [mm]	$500\tau_{0d}$ [s]	$500\tau_{0h}$ [s]
10	387,01	387,07

### b) Výpočet střední doby kyvu

- střední doba kyvu je dána rovnicí

$$\tau_0 = \frac{500\tau_{0d} + 500\tau_{0h}}{2 \cdot 500}$$

- po dosazení hodnot dostaneme

$$\tau_0 = \frac{500\tau_{0d} + 500\tau_{0h}}{2 \cdot 500} = \frac{387,01 + 387,07}{1000} = 0,7741 \text{ s}$$

**c) Výpočet tíhového zrychlení**

- redukovaná délka kyvadla

$$L=0,596 \text{ m}$$

- tíhové zrychlení je dáno rovnicí

$$g = \frac{\pi^2 L}{\tau_0^2}$$

- po dosazení hodnot dostaneme

$$g = \frac{\pi^2 L}{\tau_0^2} = \frac{\pi^2 \cdot 0,596}{0,7741^2} = 9,8164 \text{ m.s}^{-2}$$

**d) Odhad pravděpodobné chyby měření**

- pravděpodobná chyba měření délky kyvadla

$$\vartheta(L) = 0,001 \text{ m}$$

- pravděpodobná chyba měření času  $500\tau_0$

$$\vartheta(500\tau_0) = 0,01 \text{ s}$$

**e) Výpočet pravděpodobné chyby doby kyvu**

- pravděpodobná chyba doby kyvu je dána rovnicí

$$\vartheta(\tau_0) = \sqrt{\left(\frac{\vartheta(500\tau_0)}{500}\right)^2 + \left(\frac{\vartheta(L)}{L}\right)^2}$$

- po dosazení hodnot dostaneme

$$\vartheta(\tau_0) = \sqrt{\left(\frac{0,01}{500}\right)^2 + \left(\frac{0,001}{0,596}\right)^2} = 2,8284 \cdot 10^{-5} \text{ s}$$

**f) Výpočet pravděpodobné chyby tíhového zrychlení**

- pravděpodobná chyba tíhového zrychlení je dána rovnicí

$$\vartheta(g) = \frac{\sqrt{(\tau_0^4 \pi^4 \vartheta^2(L) + L^2 \pi^4 \vartheta^2(\tau_0))}}{\tau_0^4}$$

- po dosazení hodnot dostaneme

$$\vartheta(g) = \frac{\sqrt{(\tau_0^4 \pi^4 \vartheta^2(L) + L^2 \pi^4 \vartheta^2(\tau_0))}}{\tau_0^4} = \frac{\sqrt{(0,7741^4 \pi^4 0,001^2 + 0,596^2 \pi^4 (2,8284 \cdot 10^{-5})^2)}}{0,7741^4} = 0,005917 \text{ m.s}^{-2}$$

**g) Výpočet korigované doby kyvu**

- korigovaná doba kyvu je dána rovnicí

$$\tau_{\varphi_m} = \tau_0 \left[ 1 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \sin^2\left(\frac{\varphi_m}{2}\right) + \left(\frac{3}{8}\right)^2 \sin^4\left(\frac{\varphi_m}{2}\right) \right]$$

- po dosazení hodnot dostaneme (amplituda rozkyvu je  $\sim 5^\circ$ )

$$\tau_{\varphi_m} = \tau_0 \left[ 1 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \sin^2\left(\frac{\varphi_m}{2}\right) + \left(\frac{3}{8}\right)^2 \sin^4\left(\frac{\varphi_m}{2}\right) \right] = 0,7741 \left[ 1 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \sin^2\left(\frac{5}{2}\right) + \left(\frac{3}{8}\right)^2 \sin^4\left(\frac{5}{2}\right) \right] = 0,7745 \text{ s}$$

**h) Výpočet tíhového zrychlení pro korigovanou dobu kyvu**

- tíhové zrychlení je dáno rovnicí

$$g_{\varphi_m} = \frac{\pi^2 L}{\tau_{\varphi_m}^2}$$

- po dosazení hodnot dostaneme

$$g_{\varphi_m} = \frac{\pi^2 L}{\tau_{\varphi_m}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 0,596}{0,7745^2} = 9,8063 \text{ m.s}^{-2}$$

**i) Výpočet pravděpodobné chyby tíhového zrychlení pro korigovanou dobu kyvu**

- pravděpodobná chyba tíhového zrychlení je dána rovnicí

$$\vartheta(g_{\varphi_m}) = \frac{\sqrt{(\tau_{\varphi_m}^4 \pi^4 \vartheta^2(L) + L^2 \pi^4 \vartheta^2(\tau_{\varphi_m}))}}{\tau_{\varphi_m}^4}$$

- po dosazení hodnot dostaneme

$$\vartheta(g_{\varphi_m}) = \frac{\sqrt{(\tau_{\varphi_m}^4 \pi^4 \vartheta^2(L) + L^2 \pi^4 \vartheta^2(\tau_{\varphi_m}))}}{\tau_{\varphi_m}^4} = \frac{\sqrt{(0,7745^4 \pi^4 0,001^2 + 0,596^2 \pi^4 (2,8284 \cdot 10^{-5})^2)}}{0,7745^4} = 0,01647 \text{ m.s}^{-2}$$

**4. Závěr**

Měření úlohy proběhlo bez jakýchkoliv problémů. Hodnota tíhového zrychlení pro Prahu (budova CTU na Karlově náměstí 13) je  $9,81040 \text{ m.s}^{-2}$ . Námi naměřené tíhové zrychlení bylo stanoveno na  $9,8164 \text{ m.s}^{-2}$  s chybou  $\pm 0,0059 \text{ m.s}^{-2}$ , což znamená odchylku  $0,06\%$ . Po provedení korekce doby kyvu vyšlo tíhové zrychlení  $9,8063 \text{ m.s}^{-2}$  s chybou  $\pm 0,0165 \text{ m.s}^{-2}$ , což znamená odchylku  $-0,04\%$ . Výsledky měření jsou velmi přesné a dobře korespondují s referenční hodnotou tíhového zrychlení pro Prahu.

- tíhové zrychlení  $g = (9,8164 \pm 0,0059) \text{ m.s}^{-2}$
- tíhové zrychlení pro korigovanou dobu kyvu  $g_{\varphi_m} = (9,8063 \pm 0,0165) \text{ m.s}^{-2}$

## 5. Příloha A – graf

### Závislost doby kyvu na vzdálenosti čočky

