

## STUDIUM HARMONICKÉHO POHYBU

### ZADÁNÍ ÚLOHY

Zjistěte hodnoty kruhové frekvence výpočtem a experimentálně (statickou a dynamickou metodou). Určete hmotnost neznámého závaží z kmitání na pružině.

### DOPORUČENÁ LITERATURA

- [1] Toman J., Semerák P., *Fyzika 10 – Praktická cvičení*, Vydavatelství ČVUT, 2001.
- [2] Horák Z., *Praktická fyzika*, SNTL, 1958.
- [3] Brož J. a kol., *Základy fyzikálních měření I-III*, Státní pedagogické nakladatelství, 1967.

Teoretický úvod naleznete v **úloze 12** skript [1], případně v [2] nebo [3].

### METODY MĚŘENÍ

#### Statická metoda

Statická metoda využívá předpokladu pro lineární harmonický oscilátor, kdy působí-li na pohybující se hmotné těleso síla úměrná výchylce (v opačném směru než se těleso pohybuje), dojde k oscilacím ve smyslu harmonických kmitů. Úhlovou frekvenci poté můžeme vypočítat ze vztahů popisující harmonický oscilátor. Působící sílu budeme realizovat pružinou. Určíme-li tuhost pružiny měřením jejího protažení v závislosti na hmotnosti závaží, můžeme přímo vypočítat kruhovou frekvenci harmonického oscilátoru, viz vztahy v [1-3].

#### Dynamická metoda

Dynamická metoda využívá k určení kruhové frekvence přímé měření periody harmonických kmitů, a tedy podle jejího základního definičního vztahu [1-3] lze hledanou hodnotu kruhové frekvence snadno vypočítat.

#### Určení hmotnosti neznámého závaží

V předchozích dvou metodách jsme pomocí známých hmotností závaží určovali kruhové frekvence, a to buď statickou metodou (měřením protažení) nebo dynamickou metodou (měřením periody kmitu). Inverzním postupem můžeme určit hmotnost neznámého závaží, jestliže známe nebo měříme ostatní veličiny v použitých vztazích.

Pro statickou metodu je třeba znát tuhost pružiny a měřit protažení pro neznámé závaží. Poté snadno můžeme hmotnost vypočítat. Při použití dynamické metody určíme závislost kruhové frekvence na hmotnosti závaží, a poté inverzním výpočtem při měření kruhové frekvence s neznámým závažím určíme hledanou hmotnost.

### POSTUP MĚŘENÍ

#### Statická metoda

1. Vážením na digitálních vahách zjistěte hmotnosti závaží  $m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6, m_7$  a hmotnost pružiny  $m_p$ .
2. Ocelovou pružinu zatěžujte postupně jednotlivými závažími a odečítejte prodloužení pružiny  $y$  (odečítejte na horní hraně plexisklového kroužku).
3. Pro každou hmotnost vypočítejte tuhost pružiny ze základního předpokladu, kdy uvažujete, že výchylka je nepřímo úměrná působící síle na pružinu (tíhová síla, kterou působí závaží hmotnosti  $m$  na pružinu):  $k = mg/y$ .
4. Výslednou hodnotu tuhosti určete aritmetickým průměrem a odhadněte její nejistotu (pro jednoduchost zde uvažujte pouze nejistotu určenou metodou typu A).

5. Určete kruhovou frekvenci pomocí tuhosti pružiny určené v bodě 4 bez a se započítáním hmotnosti pružiny pro všechna závaží. Odhadněte jejich kombinované nejistoty s intervalem spolehlivosti 95 %. Pro kruhové frekvence platí:

- bez uvážení hmotnosti pružiny: 
$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad (1)$$

- se započítáním hmotnosti pružiny: 
$$\omega_p = \sqrt{\frac{k}{m + \frac{1}{3}m_p}}. \quad (2)$$

#### Dynamická metoda

1. Zavěste na pružinu závaží a mírným protažením pružinu rozkmitujte a určete její dobu kmitu  $T$  jako střední hodnotu z 20 kmitů. Odhadněte její nejistotu.
2. Z doby kmitu  $T$  určete kruhovou frekvenci  $\omega' = 2\pi/T$  a její kombinovanou nejistotu s intervalem spolehlivosti 95 %.
3. Opakujte pro ostatní závaží.
4. Graficky zobrazte závislost kruhové frekvence  $\omega'$  na hmotnosti závaží (vhodnou modifikací vztahu (2) a použitím metody nejmenších čtverců určete tuhost pružiny, tu poté použijte pro výpočet hodnot kruhové frekvence).

#### Určení hmotnosti neznámého závaží

##### Využití statické metody

1. Na základě znalosti tuhosti pružiny ze statické metody (viz výše) určete hmotnost neznámého závaží  $m_p$  měřením protažení pružiny a odhadněte její kombinovanou nejistotu s intervalem spolehlivosti 95 %.

##### Využití dynamické metody

1. Zavěste neznámé závaží k jednomu známému (aby součet odpovídal přibližně průměru hmotností ostatních závaží), pružinu mírně vychylte a určete dobu kmitu  $T$  jako střední hodnotu z 20 kmitů. Poté vypočtete kruhovou frekvenci stejně jako v části dynamická metoda.
2. Vyjádřete hmotnost neznámého závaží pomocí vypočtené tuhosti v bodě 4 dynamické metody a určené kruhové frekvence.

---

#### POŽADOVANÉ VÝSTUPY

- Tabulka vypočtených tuhostí pružiny ze statické metody, výsledná tuhost pružiny, odhad její nejistoty.
- Tabulka srovnání kruhových frekvencí určených statickou metodou (bez a se započítáním hmotnosti pružiny) a dynamickou metodou společně s jejich nejistotami.
- Grafické znázornění závislosti kruhové frekvence na hmotnosti.
- Určení hmotnosti neznámého závaží ze statické a dynamické metody.

---

#### POMŮCKY

Pružina se závěsem, 7 závaží, závaží o neznámé hmotnosti, digitální váhy, stopky