

Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

Fyzikální praktikum ...



Úloha č.

Název úlohy:

Jméno: Obor: FOF FAF FMUZV

Datum měření:

Datum odevzdání:

Připomínky opravujícího:

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 - 5	
Teoretická část	0 - 1	
Výsledky měření	0 - 8	
Diskuse výsledků	0 - 4	
Závěr	0 - 1	
Seznam použité literatury	0 - 1	
Celkem	max. 20	

Posuzoval:.....

dne:

Pracovní úkoly

1. Změřte dobu kmitu T_0 dvou stejných nevázaných fyzických kyvadel.
2. Změřte doby kmitů T_i dvou stejných fyzických kyvadel vázaných slabou pružnou vazbou vypouštěných z klidu při počátečních podmínkách
 - (a) $y_1 = y_2 = A$... doba kmitu T_1
 - (b) $y_1 = -y_2 = A$... doba kmitu T_2
 - (c) $y_1 = 0, y_2 = A$
 - i. doba kmitu T_3
 - ii. doba $T_S/2$, za kterou dojde k maximální výměně energie mezi kyvadly
3. Vypočítejte kruhové frekvence $\omega_0, \omega_1, \omega_2, \omega_3$ a ω_4 odpovídající dobám T_0, T_1, T_2, T_3 a T_S , ověřte měřením platnost vztahů odvozených pro ω_3 a ω_4 .
4. Vypočítejte stupeň vazby κ .
5. Pro jednu pružinu změřte závislost stupně vazby na vzdálenosti zavěšení pružiny od uložení závěsu kyvadla a graficky znázorněte.

Teoretická část

Budeme studovat kmity dvou fyzických kyvadel vázaných slabou pružinou upevněnou ve vzdálenosti l od uložení závěsů kyvadel (viz obrázek 1). Po upevnění pružiny se rovnovážná poloha obou kyvadel vychýlí ze svislého směru o úhel α směrem k sobě. Okamžitou výchylku $\varphi_1(t)$ resp. $\varphi_2(t)$ uvažujeme od této nové rovnovážné polohy.

Po vyřešení pohybových rovnic dostáváme pro malé výchylky [1]

$$\begin{aligned}\varphi_1(t) &= a_1 \cos(\omega_1 t) + b_1 \sin(\omega_1 t) + a_2 \cos(\omega_2 t) + b_2 \sin(\omega_2 t) \\ \varphi_2(t) &= a_1 \cos(\omega_1 t) + b_1 \sin(\omega_1 t) - a_2 \cos(\omega_2 t) - b_2 \sin(\omega_2 t),\end{aligned}\tag{1}$$

kde a_1, b_1, a_2 a b_2 jsou integrační konstanty, které určíme z počátečních podmínek. Úhlové frekvence ω_1 a ω_2 můžeme vypočítat podle vzorce [1]

$$\begin{aligned}\omega_1 &= \sqrt{\frac{D}{I}} \\ \omega_2 &= \sqrt{\frac{D + 2D^*}{I}},\end{aligned}\tag{2}$$

kde I je moment setrvačnosti kyvadla, D je direkční moment kyvadla a D^* je direkční moment pružiny. Žádnou z těchto veličin však nebudeme měřit a úhlové rychlosti ω_1 a ω_2 určíme jinak.

Pro různé počáteční podmínky vychází:

1. Pro $\varphi_1(0) = \varphi_2(0) = A, \dot{\varphi}_1(0) = \dot{\varphi}_2(0) = 0$

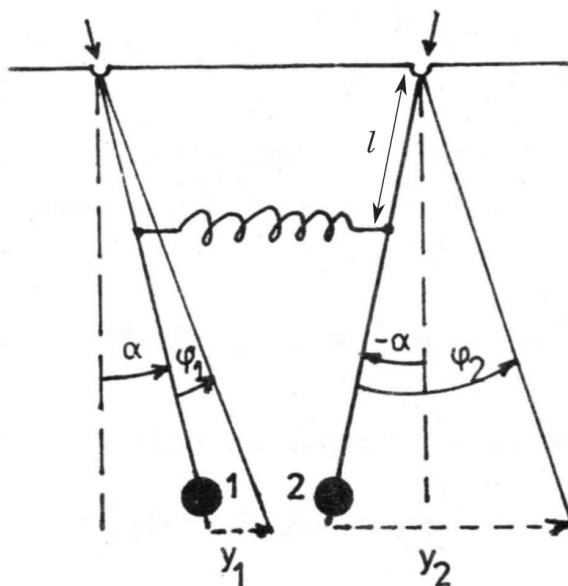
$$\varphi_1 = \varphi_2 = A \cos(\omega_1 t)\tag{3}$$

2. Pro $\varphi_1(0) = -\varphi_2(0) = A, \dot{\varphi}_1(0) = \dot{\varphi}_2(0) = 0$

$$\varphi_1 = -\varphi_2 = A \cos(\omega_2 t)\tag{4}$$

3. Pro $\varphi_1(0) = 0, \varphi_2(0) = A, \dot{\varphi}_1(0) = \dot{\varphi}_2(0) = 0$

$$\begin{aligned}\varphi_1 &= A \sin(\omega_4 t) \cdot \sin(\omega_3 t) \\ \varphi_2 &= A \cos(\omega_4 t) \cdot \cos(\omega_3 t),\end{aligned}\tag{5}$$



Obrázek 1: Nákres experimentu (přezato z [1])

kde

$$\begin{aligned}\omega_3 &= \frac{1}{2}(\omega_2 + \omega_1) \\ \omega_4 &= \frac{1}{2}(\omega_2 - \omega_1).\end{aligned}\tag{6}$$

Pokud je vazba slabá, je ω_2 jen o málo větší než ω_1 a pohyb kyvadel můžeme považovat za harmonický s úhlovou frekvencí ω_3 a v čase proměnnou amplitudou $A \sin(\omega_4 t)$ ($A \cos(\omega_4 t)$ pro druhé kyvadlo).

Pro úhlové rychlosti ω_1 , ω_2 a ω_3 označíme odpovídající periody T_1 , T_2 a T_3 resp. Dále zavedeme dobu T_S jako polovinu periody odpovídající ω_4 . Platí tedy vztahy

$$\begin{aligned}T_1 \omega_1 &= 2\pi & T_2 \omega_2 &= 2\pi \\ T_3 \omega_3 &= 2\pi & T_S \omega_4 &= \pi\end{aligned}\tag{7}$$

S nahlédnutím do (5) je T_S zřejmě doba mezi dvěma časy, kdy je amplituda kyvadla nulová (viz obrázek 2). Stupeň vazby κ je definován jako [1]

$$\kappa = \frac{D^*}{D + D^*}.\tag{8}$$

S využitím (2) můžeme (8) upravit na

$$\kappa = \frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{\omega_2^2 + \omega_1^2}\tag{9}$$

Podmínky a použité přístroje

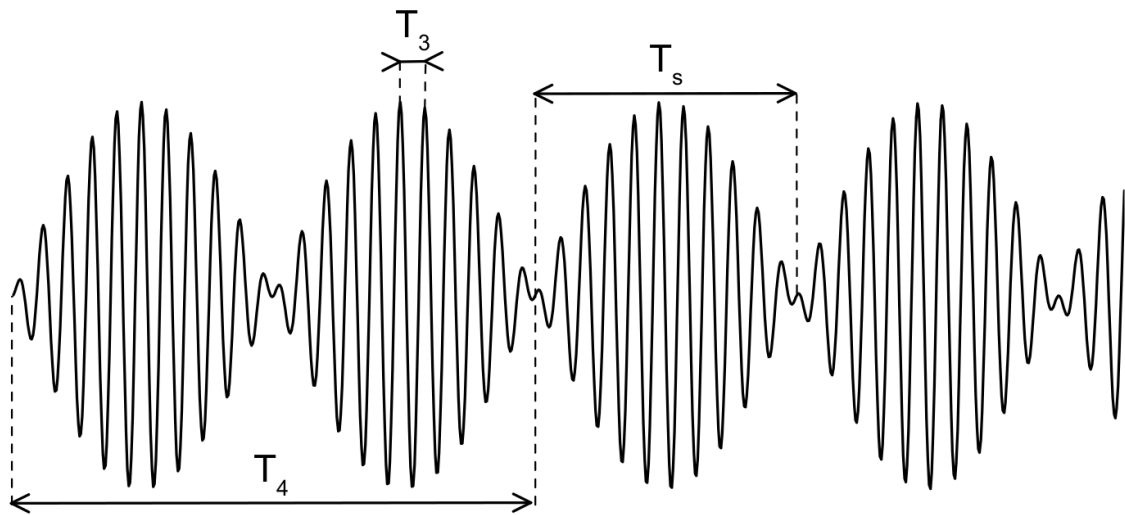
Výsledky měření

Diskuze

Závěr

Seznam použité literatury

1. *Studium kmitů vázaných oscilátorů.*



Obrázek 2: Časová závislost výchylky prvního kyvadla φ_1 při počátečních podmínkách $\varphi_1(0) = 0$, $\varphi_2(0) = A$ a $\dot{\varphi}_1(0) = \dot{\varphi}_2(0) = 0$, pokud zanedbáme tlumení. Závislost φ_2 je oproti φ_1 posunutá o čas $T_S/2$. Doba T_4 je perioda odpovídající úhlové rychlosti ω_4 a platí $T_4 = 2T_S$. (přezato z [1])