

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 úhlovou frekvenci netlumených kmitů.
2. Určete frekvenci tlumených kmitů a koeficient tlumení pro různé velikosti útlumu.
3. Změřte amplitudu a fázové posunutí nuceného kmitání v závislosti na frekvenci budící síly. Graficky znázorněte.

Teoretická část

Budeme pozorovat pohyb harmonického oscilátoru (závaží zavěšené na pružině) ve třech případech: oscilátor kmitá sám a je tlumení je zanedbatelné, oscilátor je tlumený, na tlumený oscilátor působí periodická vnější síla.

V případě, že oscilátor není výrazně tlumený, kmitá s kruhovou frekvencí ω .

Působí-li na harmonický oscilátor působit síla úměrná rychlosti pohybu, má jeho pohybová rovnice tvar

$$\ddot{y} + 2\delta\dot{y} + \omega^2 y = 0, \quad (1)$$

kde y je výchylka tělesa a δ je tzv. konstanta tlumení.

Pro slabou tlumící sílu ($\delta < \omega$) je řešením rovnice (1)

$$y = A \cdot e^{-\delta t} \cdot \sin(\omega_1 t + \varphi_0), \quad (2)$$

kde A a φ_0 jsou integrační konstanty a ω_1 je kruhová frekvence tlumeného oscilátoru, platí [1]

$$\omega_1^2 = \omega^2 - \delta^2. \quad (3)$$

Pokud budeme na oscilátor působit periodickou vnější silou s harmonickým průběhem a kruhovou frekvencí Ω , bude mít rovnice (1) tvar

$$\ddot{y} + 2\delta\dot{y} + \omega^2 y = \frac{F_0}{m} \cdot \sin(\Omega t), \quad (4)$$

kde F_0 je maximální působící síla a m je hmotnost oscilátoru. Řešení má tvar [1]

$$y = A \cdot e^{-\delta t} \cdot \sin(\omega_1 t + \varphi_0) + A_v \cdot \sin(\Omega t + \gamma), \quad (5)$$

kde A a φ_0 jsou integrační konstanty, A_v a γ jsou konstanty: [1]

$$A_v = \frac{F_0}{m\omega^2} \frac{1}{\sqrt{(1 - (\Omega/\omega)^2)^2 + 4(\delta/\omega)^2(\Omega/\omega)^2}} \quad (6)$$

$$\tan(\gamma) = -\frac{2\delta}{\omega} \cdot \frac{\Omega/\omega}{1 - (\Omega/\omega)^2}. \quad (7)$$

Amplituda A_v nabývá maxima při kruhové frekvenci vnější síly

$$\Omega_{res}^2 = \omega^2 - 2\delta^2. \quad (8)$$

Podmínky, pomůcky a měřící přístroje

Měření proběhlo při pokojové teplotě (přibližně 25 °C) a normálním atmosférickém tlaku.

Jako oscilátor jsme použili permanentní magnet zavěšený na pružině.

POZOR

Pod magnetem byla umístěna cívka připojená k počítači, který nám umožňoval do ní pouštět střídavé napětí o zvolené frekvenci a také zobrazovat časový průběh napětí indukované magnetem.

Indukované napětí by mělo být přibližně přímo úměrné okamžité rychlosti magnetu. Periodu kmitu můžeme odečíst podle časové vzdálenosti jednotlivých peaků napětí.

Měřili jsme maximální napětí při pohybu magnetu nahoru i dolů. Při pohybu dolů bylo napětí většinou výrazně vyšší (viz graf 1), takže předpokládáme, že měřící přístroj byl zatížen systematickou chybou. Při měření konstanty tlumení se tuto chybu pokusíme odstranit tím, že u souboru naměřených peaků napětí nejdříve určíme

Graf 1: Graf 1

střed jako průměr nulových a nenulových hodnot. Dále vezmeme vzdálenost všech bodů od této hodnoty a až tento soubor hodnot prokládáme exponenciálou.

Soustava nebyla kalibrovaná k měření výchylky, takže amplitudy u nuceného kmitání uvádíme pouze v poměru k nejvyšší naměřené hodnotě. Při pohybu harmonického oscilátoru platí, že maximální výchylka je úměrná maximální rychlosti. S ohledem na to, že tlumení bylo slabé, aproximujeme pohyb tlumeného oscilátoru netlumeným a budeme uvažovat, že maximální výchylka v krátkém časovém úseku po naměření maximální rychlosti je úměrná této rychlosti a tedy i naměřenému maximu indukovaného napětí. Při pohybu dolů bylo napětí opět vyšší, relativní velikost výchylky určíme jako rozdíl průměru kladných maxim a průměru záporných maxim (viz graf 2).

Graf 2: Graf 1

Výsledky měření

Ke tlumení jsme používali čtyři tlumící disky (viz tabulka 1).

barva	hmotnost (g)	průměr (cm)
oranžová	$5,59 \pm 0,01$	$13,5 \pm 0,5$
zelená	$5,62 \pm 0,01$	$15,5 \pm 0,5$
modrá	$5,45 \pm 0,01$	$18,7 \pm 0,5$
žlutá	$5,38 \pm 0,01$	$21,0 \pm 0,5$

Tabulka 1: Tlumící disky

Při měření netlumených kmitů jsme místo tlumícího disku připevnili k magnetu přívazek o hmotnosti $(5,27 \pm 0,01)$ g. Kruhovou frekvenci netlumených kmitů jsme naměřili $\omega = (6,89 \pm 0,02) \text{ rad s}^{-1}$.

Frekvence a konstanty tlumení jsme změřili pro všechny čtyři tlumící disky. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 2. Časová závislost amplitudy pro modrý disk je vynesena do grafu 3.

Nucené kmity jsme měřili pouze s modrým tlumícím diskem. Očekávaná rezonanční frekvence podle (8) byla 1,096 Hz, nicméně skutečná rezonanční frekvence byla přibližně 1,08 Hz. Naměřené amplitudy A_v a fázové posuny γ pro různé frekvence zdroje jsou uvedeny v tabulce ?? a v grafech 4 a 5.

Diskuze

Kombinací (3) a (8) můžeme Ω_{res} vyjádřit pomocí ω_1 jako

$$\Omega_{res}^2 = \omega_1^2 - \delta^2. \quad (9)$$

Kruhovou frekvenci netlumeného kmitání ω jsme měřili bez tlumícího disku a k magnetu jsme připevnili přívazek, který měl lehce odlišnou hmotnost než disk. Tato naměřená hodnota ω se tedy může od skutečné mírně lišit a výpočet rezonanční frekvence by byl nepřesný.

Závěr

Seznam použité literatury

1. *Základní fyzikální praktikum* [online]. [cit. 2016-04-06]. Dostupný z WWW: <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/start>.

tlumící disk	ω_1 (rad s ⁻¹)	δ (s ⁻¹)
oranžový	$6,86 \pm 0,02$	$0,021 \pm 0,001$
zelený	$6,84 \pm 0,02$	$0,031 \pm 0,001$
modrý	$6,82 \pm 0,02$	$0,038 \pm 0,001$
žlutý	$6,81 \pm 0,02$	$0,049 \pm 0,001$

Tabulka 2: Tlumené kmity

Graf 3: Graf 1

Graf 4: Graf 1

Graf 5: Graf 1