

Fysikální měření pro gymnasia

III. část

Mechanické kmitání a vlnění

Kolektiv autorů

Fysikální měření pro gymnasia

III. část – Mechanické kmitání a vlnění

Sazbu v systému $\mathcal{A}\mathcal{M}\mathcal{S}$ - $\mathcal{T}\mathcal{E}\mathcal{X}$ připravil Honsoft

Vydáno pro Gymnasium F. X. Šaldy v Liberci

v roce 2008

Vydání 4., upravené

2008 – 4.0 – 091001

Gymnasium F. X. Šaldy • Honsoft

Liberec 2008

Pracovní postup

- (1) Do válcové nádoby nalejeme vodu. Vedle postavíme stojan s připevněným milimetrovým měřítkem.
- (2) Rozezvučíme ladičku a přiložíme ji těsně k hornímu konci trubice, kterou posouváme v nádobě s vodou, dokud nedojde k rezonanci (zesílení zvuku).
- (3) Hledáme postupně všechny polohy trubice, kdy se tón ladičky nejvíce zesílí. Je-li trubice dostatečně dlouhá a tón dostatečně vysoký, jsou takové polohy aspoň dvě; pro každý případ změříme milimetrovým měřítkem vzdálenost horního okraje trubice od volné hladiny.
- (4) Měření provedeme pro každou ladičku dvacetkrát, určíme výsledné délky d_1 (popř. – podle délky válce – i d_2, d_3). (Chybu měření určíme jako chybu opakovaného měření, započteme i chybu měřidla.)
- (5) Pomocí vztahů (2) a (3) určíme frekvenci ladičky; stanovíme chybu nepřímého měření.
- (6) Čidlo akustického tlaku upevníme do stojanu.
- (7) Nastavíme vysokou vzorkovací frekvenci čidel (např. $1000\times$ za milisekundu); doba měření může být krátká (1 s).
- (8) Dřevěným kladívkem rozezvučíme ladičku a zahájíme měření.
- (9) V grafu spočítáme počet period v době 1 cs (resp. – jsme-li trpělivější – v době 1 ds) a vynásobíme 100 (resp. 10) – tak přímo stanovíme frekvenci ladičky.

Zpracování výsledků měření

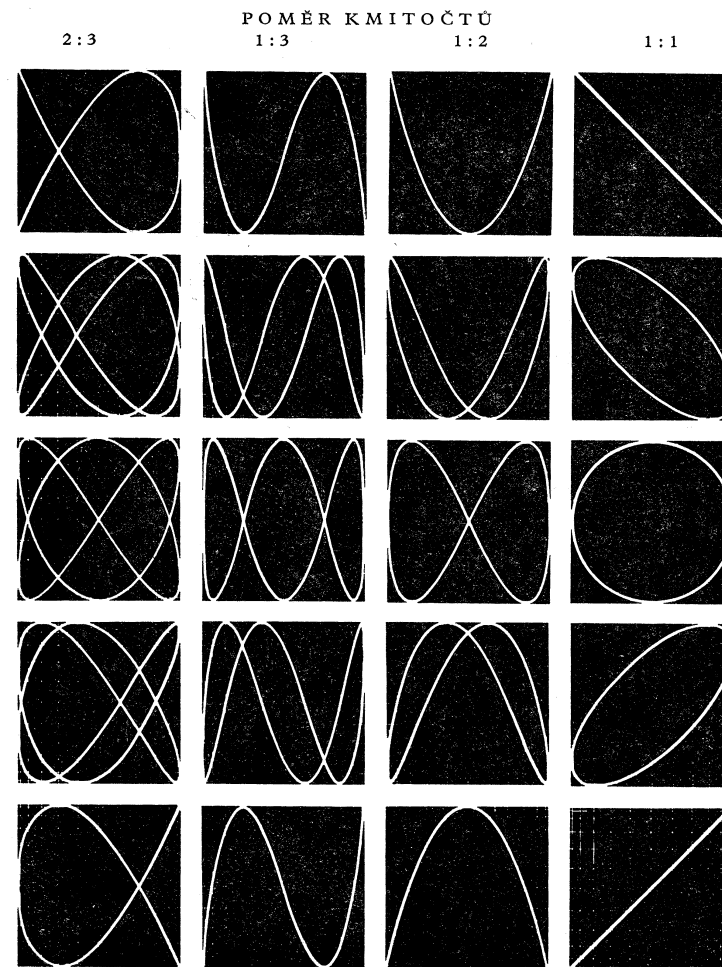
- Pro každou ladičku: dvě tabulky s dvaceti hodnotami d_1, d_2, d_3 , výpočet průměrných hodnot a chyb měření; výpočty dle vztahů (2) a (3) včetně výpočtu chyb měření.
- Náskres aparatury.
- Pro každou ladičku: graf získaný systémem IP Coach a výpočet na základě grafu.
- Frekvenci ladičky lze v IP Coach také najít Fourierovou analýzou uvažovaného kmitání. Prvým tlačítkem myši zvolíme *Analyzovat / Analýza signálu*, v roletovém nabídce najdeme *Fourierova transformace* a výsledný diagram necháme zkonstruovat do prázdného okna. Maximum grafu odpovídá základní frekvenci ladičky.

Náměty pro závěr

- Porovnání rezonanční metody a měření systémem IP Coach.
- Analýza nepřesností měření, návrhy na zpřesnění metody.
- Porovnání výsledků měření s údaji uvedenými na ladičkách.

Náměty pro závěr

- Porovnání obrázků získaných experimentálně a obrázků získaných počítačem s obrázkami uvedenými v literatuře (viz např. OBR. 1 převzatý z [Hla71]).
- Které vlivy případně způsobily, že se obrázky získané experimentálně liší od obrázků zjištěných výpočtem?



OBR. 1

BLACKBURNOVO KYVADLO

Pracovní úkol

Studujte Lissajousovy obrazce pomocí Blackburnova kyvadla.

Pomůcky

Blackburnovo kyvadlo, podložní deska, jemný písek, měřítko, digitální fotoaparát, počítač, aplikace Lissajousovy obrazce (popř. systém Famulus, IP Coach či obdobný).

Teoretický úvod

Blackburnovo kyvadlo je zařízení sloužící k demonstraci Lissajousových obrazců, které vznikají při skládání kolmých kmitů. Toto kyvadlo lze přibližně považovat za dvě matematická kyvadla, jejichž délky lze měnit pomocí společného třmenu. Roviny kyvů obou kyvadel jsou vzájemně kolmé. Ze vzorce

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \quad (1)$$

pro dobu kmitu matematického kyvadla plyne pro poměry délek kyvadel a dob jejich kmitů rovnost

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\sqrt{l_1}}{\sqrt{l_2}}; \quad (2)$$

tedy např. má-li poměr $T_1 : T_2$ být 2:3, nastavíme poměr délek kyvadel 4:9.

Pracovní postup

- (1) V aplikaci *Lissajousovy obrazce* (popř. v analogickém modelu vytvořeném v systému Famulus či IP Coach) nastavíme vhodné (v obou směrech stejné) amplitudy (např. 2).
- (2) Nastavíme poměr period (resp. úhlových frekvencí) postupně 1:1, 1:2, 1:3, 2:3. Při každém nastavení volíme fázová posunutí φ_1 , resp. φ_2 jako jeden z úhlů 0° , 45° , 90° , 135° , 180° . Necháme vykreslit příslušný obrazec a uložíme jej. Porovnáme s obrázkem v OBR. 1.
- (3) Nastavíme délky kyvadel podle vztahu (2) tak, aby poměry $T_1 : T_2$ byly postupně 1:1, 1:2, 1:3, 2:3, tedy $l_1 : l_2$ budou postupně 1:1, 1:4, 1:9, 4:9.
- (4) Pod nálevku kyvadla umístíme černý papír. Otvor nálevky ucpeme; naplníme ji pískem nebo krupicí asi do jedné třetiny jejího objemu. Podložku (užitím hranolů) ustavíme tak, aby byla co nejlépe otvoru nálevky. Nálevku vychýlíme asi 5 cm v daném směru a vypustíme ji tak, aby vykonávala volný, klidný pohyb.
- (5) Písek vytékající z nálevky vytváří na podložce **Lissajousovy obrazce**, které vznikly skládáním dvou kolmých harmonických kmitů. Kyvadlo necháme proběhnout trajektorii dvakrát až třikrát, mělo by opisovat stejnou křivku. Výsledné obrazce vyfotografujeme.
- (6) Kyvadlo vypouštíme tak, abychom dostávali obrazce zjištěné modelováním na počítači.

Zpracování výsledků měření

- Nákres kyvadla.
- Obrázky získané vyfotografováním (a případnou další úpravou) „pískových“ obrazců.
- Obrazce zjištěné modelováním pomocí počítače.

MĚŘENÍ NA OCELOVÉ PRUŽINĚ

Pracovní úkol

1. Určete, jak závisí délka pružiny na velikosti síly napínající pružinu. Sestrojte graf zkoumané závislosti.
2. Určete, jak závisí doba kmitu pružiny na hmotnosti závaží, sestrojte graf této závislosti.
3. Vypočtete tuhost použité pružiny užitím výsledků předchozích úkolů.
4. Stanovte periodu kmitání pružiny videoměřením; vypočtete tuhost pružiny.

Pomůcky

Stojan, měřítko, stopky, ocelová pružina, závaží. Digitální fotoaparát, stativ, posuvné měřítko, software IP Coach.

Teoretický úvod

Kmitavý pohyb tělesa o hmotnosti m , zavěšeného na pružině, je působen silou o velikosti F , která je přímo úměrná okamžité výchylce y , tedy

$$F = ky. \quad (1)$$

Konstanta k se nazývá **tuhost pružiny**. Užitím vztahů¹⁾

$$F = ma, \quad a = \omega^2 y \quad (2)$$

dostáváme z (1) vztah pro výpočet tuhosti pružiny

$$k = m\omega^2 = 4\pi^2 \frac{m}{T^2}. \quad (3)$$

Jinou možností je využití vztahu (1) a grafu závislosti y na F . Napišeme-li totiž závislost ve tvaru $y = \xi F$, můžeme hodnotu ξ získat jako směrnici přímky, již proložíme naměřené hodnoty. Porovnáním se vztahem (1) pak snadno dostaneme rovnost

$$k = \frac{1}{\xi}. \quad (4)$$

Pracovní postup

- (1) Ocelovou pružinu délky y_0 zavěsíme na stojan a zatěžujeme postupně závažím o hmotnosti cca 50 g, 100 g, 150 g, \dots , 500 g. Hmotnosti závaží určíme pomocí elektronické váhy.
- (2) Pomocí měřítka odečteme při každém zatížení délku pružiny y_i , vypočítáme prodloužení $\Delta y_i = y_i - y_0$; pro každou hmotnost závaží m_i vypočteme velikost tíhové síly napínající pružinu $F_i = m_i g$. (Počítáme s hodnotou g příslušnou místu měření; vyhledáme ji v seriálních tabulkách.)
- (3) Mírným protažením pružinu při každém zatížení rozkmitáme a změříme její dobu kmitu T průměrem z 20 kmitů.

¹⁾ Pokud čtenář v uvedených vztazích postrádá místy znaménko $-$, necht si uvědomit, že zde není řeč o *souřadnici* vektoru, nýbrž o jeho *velikosti*.