

ÚVODNÍ POZNÁMKA EDITORA

Obsah. Třetí část publikace *Fyzikální měření pro gymnasia* obsahuje návody k laboratorním pracím z mechanického kmitání a vlnění (akustiky). Je určena pro laboratorní cvičení z fyziky v prvním pololetí třetího ročníku (resp. septimy). Konkrétní výběr úloh odpovídá mj. vybavení fyzikální laboratoře Gymnasia F. X. Šaldy. Protože některé pomůcky (kyvadla, ladičky, čidla měřících systémů) nejsou k dispozici ve více exemplářích, věnuje se každá skupina během jednoho cvičení jiné úloze; v dalších týdnech se skupiny permutují. Aby mohla každá skupina pracovat samostatně, jsou v této brožuře shrnuty návody ke všem měřeným úlohám.

Uspořádání. V textech pro jednotlivé úlohy jsou uvedeny úkoly, pomůcky a postupy; kromě toho tam lze zpravidla najít i inspiraci k teoretickému úvodu, zpracování měření a závěru. Tato inspirace je někdy formou otázek; cílem však není odpovídat na otázky, nýbrž zformulovat samostatný, souvislý, smysluplný text (těmito otázkami inspirovaný). Podrobnosti o obsahu a formě referátů jsou ostatně na webu vyučujícího <http://jan.gfxs.cz/>. Nutno připomenout, že ke zpracování referátů o měření předložených úloh jsou nutné znalosti z první části učebního textu, zejména znalosti o stanovení chyb měření či o konstrukci grafů. Na tuto první část se návody k úlohám soustavně, implicitně odvolávají.

Zdroje a autoři úloh. Vzhledem k vybavení fyzikálních laboratoří nelze vymýšlet příliš „originální“ úlohy, proto i předkládané návody jsou spíše kompilací dříve vydaných učebních textů pro laboratorní měření. Bylo čerpáno z gymnaziálních učebnic i vysokoškolských skript, zejména z knihy [ŽL]; seznam literatury je uveden v závěru tohoto sešitu. Cenným zdrojem inspirace byly editorovi laboratorní úlohy zadávané jeho vyučující J. Kuglerovou. Popis měření systémem IP Coach je převzat z projektu *Fyzikální měření podporované počítačem* (projekt SIPVZ 0547P2006), jehož řešiteli byli V. Pěnička a J. Voženílek.

Zpracování. Návody byly napsány v systému $\mathcal{A}\mathcal{M}\mathcal{S}\text{-}\mathcal{T}\mathcal{E}\mathcal{X}$. V textu nejsou obrázky a vzory tabulek; laboranti případně dostanou potřebnou informaci od vyučujícího.

–jvk–

Poznámka 1. Nejvhodnější metodou vyhodnocení měření by bylo provedení lineární regrese, které umožňuje stanovit hodnotu k i hodnotu směrodatné odchylky této veličiny. Lineární regrese je popsána ve 4. části tohoto učebního textu; zájemci ji mohou prostudovat a použít. Ostatní čtenáři se musejí smířit s tím, že chybu výsledné hodnoty k v této laboratorní práci určovat nebudou; k tak postačí určit pro jednu jednotlivou měřenou hodnotu.

Poznámka 2. Frekvenci kmitání lze v IP Coach také najít Fourierovou analýzou uvažovaného kmitání. Pravým tlačítkem myši zvolíme **Analyzovat / Analýza signálu**, v roletovém nabídce najdeme **Fourierova transformace** a výsledný diagram necháme zkonstruovat do prázdného okna.

LITERATURA

- [Bro83] Brož, J. a kol.: *Základy fyzikálních měření I*. 1. vyd. Praha: SPN, 1983.
- [Mád91] Mádr, V. – Knejzlík, J. – Kopečný, J. – Novotný, I.: *Fyzikální měření*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1991.
- [ČMB] Čmelík, M. – Machonský, L. – Burianová, L.: *Úvod do fyzikálních měření*. 1. vyd. Liberec: TUL, 1999.
- [Kaz76] Kazda, V. – Soška, F.: *Laboratorní cvičení z fyziky*. 1. vyd. Liberec: VŠST, 1976.
- [Čme85] Čmelík, M. – Machonský, L.: *Fyzikální laboratoře*. 1. vyd. Liberec: VŠST, 1985.
- [ŽL] Živný, F. – Lepil, O.: *Praktická cvičení z fyziky*. 7. vyd. Praha: SPN, 1977.
- [Vyb02] Vybíral, B.: *Zpracování dat fyzikálních měření*. 1. vyd. Hradec Králové: MAFY, 2002.
- [Hla71] Hlavička, A. – Bělař, A. – Krčmešský, J. – Špelda A.: *Fyzika pro pedagogické fakulty*. 1. vyd. Praha: SPN, 1971.
- [Hor61] Horák, Z. – Krupka, F. – Šindelář, V.: *Technická fyzika*. 3. vyd. Praha: SNTL, 1961.
- [VSF] *Výkladový slovník fyziky pro základní vysokoškolský kurz*. 1. vyd. Praha: Prometheus, 2001.
- [SŠF] *Slovník školské fyziky*. 1. vyd. Praha: SPN, 1988.

MATEMATICKÉ KYVADLO

Pracovní úkol

Určete tíhové zrychlení užitím matematického kyvadla.

Pomůcky

Stopky, metr, improvizované matematické kyvadlo (ocelová kulička na niti), stojan.

Teoretický úvod

- Uveďte vztah pro dobu kmitu **matematického kyvadla**. Připojte podmínky, za kterých byl vztah odvozen. Vysvětlete fyzikální význam **tíhového zrychlení** g .
- Ukažte odvození vzorce pro tíhové zrychlení

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}. \quad (1)$$

Pracovní postup

- (1) Kuličku na niti upevníme závěsem na stojan, změříme délku niti l . Měření opakujeme desetkrát, stanovíme chybu měření (jako chybu opakovaného měření a chybu měřidla).
- (2) Kyvadlo vychýlíme asi o 5° a změříme dobu deseti kmitů ($10T$), měření opakujeme desetkrát. Stanovíme chybu měření $10T$ (chyba opakovaného měření, chyba měřidla).
- (3) Z doby deseti kmitů stanovíme dobu jednoho kmitu T ; chybu této veličiny určíme jako chybu nepřímého měření.
- (4) Dle vztahu (1) vypočteme tíhové zrychlení; chybu g stanovíme jako chybu nepřímého měření.
- (5) Body (1)–(4) provedeme postupně třikrát, pro 3 různé délky matematického kyvadla

Zpracování výsledků měření

- Tři tabulky popisující měření délky.
- Tři tabulky popisující měření $10T$ pro jednotlivé délky kyvadla.
- Trojí výpočet g pro jednotlivá měření příslušející různým délkám kyvadla.
- Nákres kyvadla.

Náměty pro závěr

- Porovnejte naměřená g s tabulkovou hodnotou pro místo měření.
- Pro kterou délku kyvadla bylo měření nejpřesnější? Bylo by přesnější vzít jako výsledek měření aritmetický průměr všech tří naměřených hodnot g ? (Opět porovnejte s tabulkami.)

MĚŘENÍ FREKVENCE KMITÁNÍ

Pracovní úkol

Určete frekvence předložených ladiček a) rezonanční metodou, b) užitím systému IP Coach.

Pomůcky

Válcová nádoba, skleněný válec, ladičky, kladívko, milimetrové měřítko, trubice, čidlo akustického tlaku D017i, IP Coach.

Teoretický úvod

Kmitavým pohybem rozumíme pohyb, při němž se těleso (resp. hmotný bod) vychyluje v různých směrech od své rovnovážné polohy. Doba T , po které se průběh pohybu pravidelně opakuje, se nazývá **perioda (doba kmitu)**. **Frekvence (kmitočet)** je dána vztahem:

$$f = \frac{1}{T};$$

jednotkou je **hertz**. Šíří-li se kmitavý rozruch prostředím, nazývá se tento děj **vlnění**.

Klasické metody měření frekvence jsou postaveny na využití **rezonance zvukového vlnění** ve vzduchovém sloupci např. v dlouhém skleněném válci; jeden konec válce je volný, druhý je uzavřen vodní hladinou. V trubici částečně naplněné vodou nastane rezonance vzduchového sloupce při frekvenci f ladičky, bude-li u otevřeného konce trubice kmitna a na vodní hladině uzol. Potom pro možné délky vzduchového sloupce platí

$$d_1 = \frac{1}{4}\lambda, \text{ resp. } d_2 = \frac{3}{4}\lambda, \text{ resp. } d_3 = \frac{5}{4}\lambda \text{ atd.} \quad (1)$$

Jednoduchou úpravou dostáváme vztah

$$d_3 - d_2 = d_2 - d_1 = \frac{\lambda}{2}, \quad (2)$$

z něhož vlnovou délku λ snadno vyjádříme. Pokud je ovšem válec tak krátký, že lze najít pouze jednu délku d_1 , při které dochází k rezonanci, užijeme jen první část vzorce (1), tedy vztah $d_1 = \lambda/4$.

Frekvence je dána vztahem

$$f = v/\lambda, \quad (3)$$

kde v je rychlost šíření zvuku v daném prostředí *při teplotě měření*. Rychlost v vyhledáme v seriálních tabulkách nebo určíme dle empirického vztahu:

$$v = (331,82 + 0,61 \{t\}) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}, \quad (3)$$

kde t je Celsiova teplota vzduchu

Systém **IP Coach** umožňuje měření jednodušším způsobem: pouhým spočtením period v časovém diagramu kmitání.

SPŘAŽENÁ KYVADLA

- (4) Pro dané m a T určíme tuhost pružiny dle vztahu (3).
- (5) Popsané činnosti a výpočty provedeme pro všechny hmotnosti závaží uvedené v bodu (1) postupu.
- (6) Sestrojíme graf závislosti y na F ; z grafu určíme tuhost pružiny k pomocí směrnice přímký, již naměřené hodnoty proložíme.
- (7) Sestrojíme graf závislosti doby kmitu T na hmotnosti závaží m .
- (8) Pružinu se zvoleným závažím zavěsíme na stojan doplněný posuvným měřítkem s nastavenou kalibrační délkou (např. 10 cm); jedna z čelistí měřidla označuje rovnovážnou polohu závaží.
- (9) Fotoaparát upevníme na stativ; v záběru musí být vidět pohybující se závaží i posuvné měřítko. Nastavíme režim **Filmování**. Závaží rozkmitáme a několik period kmitavého pohybu zaznamenáme. Záznam zkopírujeme do počítače.
- (10) Nad oknem Videosekvence ve vzorovém sešitu klikneme pravým tlačítkem, zvolíme **Otevřít videosekvenci**, v dalším okně zvolíme **Přidat** a vyhledáme soubor se záznamem měření. (Je-li to požadováno, odsouhlasíme odstranění dříve naměřených hodnot.)
- (11) Opět klikneme pravým tlačítkem myši nad videosekvencí, zvolíme **Kalibrace souřadnic**. V prvním okně ponecháme původní nastavení; ve druhém okně zapíšeme délku kalibračního měřítka (10 cm); tuto délku také označíme v záznamu červenou úsečkou. Žluté osy soustavy souřadnic umístíme tak, aby počátek soustavy souřadnic byl v rovnovážné poloze; svislá osa přitom prochází pružinou.
- (12) Užitím posuvníku projdeme záznam a zaznamenáme si čísla snímků, v nichž bude probíhat měření; vybereme několik period od počátku samostatného pohybu závaží. Pravým tlačítkem zvolíme **Snímky** a rozsah vybraných snímků zapíšeme do pole **Výběr výčtem**.
- (13) Zeleným tlačítkem v horní liště zahájíme měření. Zaměřovačem označíme polohu referenčního bodu v každém snímku. IP Coach automaticky vyplňuje tabulku a konstruuje graf.
- (14) Z grafu odečteme hodnotu periody T ; ze vztahu (3) vypočteme tuhost pružiny. Chybu měření při užití této metody nebudeme stanovovat.

Zpracování výsledků měření

- Tabulka s naměřenými hodnotami a vypočteným k pro jednotlivá T a m . (Deset hodnot k pro deset provedených měření.) Určení průměrné hodnoty k .
- Výpočet krajní chyby k jako chyby nepřímých měření pro *jedno libovolně* zvolené měření z deseti provedených. Přitom $\varkappa'(m)$ je krajní chyba elektronických vah; $\varkappa'(T)$ se stanoví jako chyba nepřímého měření z doby T' 20 kmitů, kde $\varkappa'(T')$ se rovná krajní chybě užitých stopkek; zpravidla tedy 0,3 s. K tomu srov. poznámku 1 v závěru návodu.
- Graf závislosti y na F . Proložení grafu přímkou, stanovení k z její směrnice ξ .
- Graf závislosti doby kmitu T na hmotnosti závaží m .
- Graf zkonstruovaný systémem IP Coach a výpočet na základě grafu.

Náměty pro závěr

- Byly provedeným měřením experimentálně ověřeny „teoretické“ poznatky o prodloužení pružiny? (Jaké poznatky to jsou?)
- Jakou křivkou lze v grafu závislosti doby kmitu T na hmotnosti závaží m proložit naměřené hodnoty?
- Které okolnosti při pořizování videozáznamu ovlivňují přesnost videoměření?

Pracovní úkol

Určete závislost rázu spřažených kyvadel na jejich vazbě.

Pomůcky

Spřažená kyvadla, závaží, stopky, měřítko.

Teoretický úvod

- Uvedte krátkou informaci o **spřažených kyvadlech** (pojmy **oscilátor**, **rezonátor**).

Pracovní postup

- (1) Kyvadla umístíme do vzdálenosti 30 cm od sebe a spojíme je nití, na kterou postupně doprostřed zavěšujeme závaží do celkové hmotnosti 50 gramů (po 5 g).
- (2) Pozorujeme, za jakou dobu se rozkývané kyvadlo zastaví a předá zcela svou energii druhému kyvadlu. Počáteční amplitudu, asi 15 cm, udržujeme pro všechna měření stejnou.
- (3) Jednotlivé hodnoty periody zapíšeme do tabulky a sestrojíme graf závislosti periody na hmotnosti vazby.
- (4) Měření provedeme pro pět různých vzdáleností (l_1, l_2, \dots, l_5) vlákna od osy kyvadel.
- (5) Měření má kvalitativní charakter; chybu měření nebudeme vyhodnocovat.

Zpracování výsledků měření

- Tabulky (pět tabulek pro pět různých vzdáleností vlákna od osy kyvadel).
- Nákres kyvadla.
- Graf závislosti T na m (pět křivek pro pět různých vzdáleností v jednom obrázku).

Náměty pro závěr

- Jak se mění doba kmitu s rostoucí hmotností vazby?
- Jaké nepřesnosti, zanedbání apod. ovlivňují výsledek měření?
- Jak by bylo možno měření zpřesnit, vylepšit?