

Úloha č. 2A-B: Kmity, vlny, zvuk

jarní semestr 2020

Obsah

1	Kmity	3
1.1	Základní parametry oscilátorů	3
	E 1 Těleso na pružině - základní charakteristiky kmitavého pohybu	3
	E 2 Fyzické kyvadlo	3
	E 3 Matematické kyvadlo jako zvláštní případ fyzického kyvadla	4
	E 4 Časový rozvoj kmitů oscilátorů - jednoduchá provedení	4
	E 5 Časový rozvoj kmitů oscilátorů - galvozcadla	4
	E 6 Tlumení oscilátorů - tělesa na pružině, kyvadla, ladičky	6
	E 7 Tlumení oscilátorů - kmity membrány reproduktoru	6
1.2	Skládání kmitů	7
	E 8 Skládání elektrických stejnosměrných kmitů	7
	E 9 Vznik rázů, amplitudová modulace	8
	E 10 Vznik rázů, amplitudová modulace - jednoduchá provedení	8
	E 11 Fourierova analýza	8
	E 12 Skládání kmitů na sebe kolmých - Blackburnovo kyvadlo	9
	E 13 Skládání kmitů na sebe kolmých - galvozcadla	10
1.3	Rezonance mechanických kmitů	11
	E 14 Situace, při nichž dochází k rezonanci	11
	E 15 Třepadlo a pružina	11
	E 16 Třepadlo a rezonanční proužky	12
2	Vlny	13
2.1	Postupné a stojaté vlnění	13
	E 17 Demonstrace podélných, postupných a stojatých vln na vlnostrojích	13
2.2	Demonstrace vlnění na vlnové vaně	13
	E 18 Difrakce vlnění na vlnové vaně	14
	E 19 Odraz vlnění na vlnové vaně	14
	E 20 Lom vlnění na vlnové vaně	14
	E 21 Interference vlnění na vlnové vaně	15
2.3	Stojaté vlnění, kmitové módy v rezonátorech	15
	E 22 Demonstrace stojatých vln - vlnění podélné a příčné	15
	E 23 Třepadlo a stojatá vlna na vlákně	16
	E 24 Třepadlo a stojatá vlna na pružině	16
	E 25 Kmitové módy na kruhové smyčce	17
	E 26 Kmitové módy na kovových deskách	18
	E 27 Kmitové módy v rezonátorech - další zařízení	19

3 Zvuk	19
3.1 Šíření zvukového vlnění	19
E 28 Zvonek ve vakuu	19
3.2 Zdroje zvuku	20
E 29 Sírény, nástroje...	20
E 30 Reproduktor a elektronické ladičky	20
E 31 Helmholtzovy rezonátory	21
3.3 Dopplerův jev	21
E 32 Dopplerův jev	21

1 Kmity

1.1 Základní parametry oscilátorů

E 1 – Těleso na pružině - základní charakteristiky kmitavého pohybu

Ověření rovnice pro kmitání tělesa na pružině

Potřeby

- závaží na pružině
- modul siloměr a vhodný školní měřicí systém (ŠMS)

Provedení

Ověřte vztah pro dobu kmitu tělesa na pružině. Tuhost pružiny a dobu kmitu změřte modulem siloměr (ŠMS).

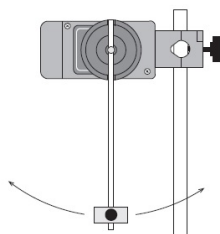
$$T =$$

Pojmy

amplituda, frekvence, kmit, fáze kmitu, počáteční fáze kmitu, rychlost a zrychlení pohybu, tuhost pružiny

E 2 – Fyzické kyvadlo

Ověření rovnice pro kmitání fyzického kyvadla



Obrázek 1: Uchycení fyzického kyvadla na čidlo rotačního pohybu

Potřeby

- čidlo rotačního pohybu
- tyč, tyč se závažími, kotouč s přidavným prstencem
- počítač se software Capstone

Provedení

Pomocí čidla rotačního pohybu určete časový průběh a periodu fyzického kyvadla (viz obrázek 1 - jako fyzické kyvadlo lze použít tyč, tyč se závažími, kotouč s přidavným prstencem). Porovnejte s vypočtenými hodnotami pro dané kyvadlo.

Pojmy

amplituda, perioda, frekvence, kyv, kmit, moment setrvačnosti, ...

E 3 – Matematické kyvadlo jako zvláštní případ fyzického kyvadla

Ověření rovnice pro kmitání matematického kyvadla

Potřeby

- jako v předchozím experimentu a těleso na niti, případně libovolný ŠMS a těleso na niti

Provedení

Pomocí čidla rotačního pohybu (ŠMS) určete časový průběh a periodu matematického kyvadla. Porovnejte s vypočtenými hodnotami pro dané kyvadlo.

Modifikace pokusu

Ověřte vztah pro dobu kmitu matematického kyvadla. Orientačně určete tíhové zrychlení, komentujte používané aproximace.

$$T =$$

Pojmy

amplituda, perioda, frekvence, kyv, kmit, moment setrvačnosti, redukovaná délka kyvadla...

E 4 – Časový rozvoj kmitů oscilátorů - jednoduchá provedení

Zobrazení časového rozvoje harmonického kmitání oscilátorů

- Kyvadlo se sypátkem/laserem a rovnoměrný posuv papíru/fólie pod ním.
- Kmitající zrcátko na Meldeově přístroji (chvějka procházející cívkou mezi póly permanentního magnetu). Časový rozvoj odraženého paprsku pomocí rotujícího zrcadla pozorujeme na stěně.
- Kmity ladičky. Ladičku s hrotem posunujeme po začazeném nebo fixem potřeném skle.

Pojmy

amplituda, frekvence, kmit, fáze kmitu, počáteční fáze kmitu, rychlost a zrychlení pohybu.

E 5 – Časový rozvoj kmitů oscilátorů - galvozrcadla

Zviditelnění časového rozvoje signálu generátoru různých periodických funkcí.



Obrázek 2: Generátor Le Croy (vlevo), laserové ukazovátka a galvozrcadla

Potřeby

- Generátor funkcí Le Croy
- galvozrcadla a propojovací kabely do generátoru,
- rotující zrcadlo umístěné v točně,
- laserové ukazovátko umístěné v držáku

Příprava

- Propojte kabelem s dvěma BNC konektory generátor s galvozrcadly, u obou přístrojů použijte **pouze jeden kanál**, a to **žlutě označený kanál 1** - viz obr. 2 (kanál blíže obrazovce generátoru).
- Osvětlete galvozrcadla laserovým ukazovátkem, vyberte si vhodnou promítací plochu.
- Na generátoru nastavte napětí **0,5 Vpp** (Volt peak to peak, dvě amplitudy kmitavého pohybu), sinusový signál a frekvenci **50 Hz či nižší**.
- Zkontrolujte, zda jste použili galvozrcadlo, které vychyluje svazek ve svislém směru; pokud ne, změňte vstup galvozrcadel.
- Změňte napětí tak, aby rozkmit galvozrcadla výškově pokryl rotující zrcadlo.

Provedení

Roztočte rotující zrcadlo a pozorujte časový rozvoj kmitů. Pozorování vysvětlete.

Modifikace pokusu

- Experiment zopakujte i pro jiné průběhy napětí než sinusové.
- Experiment zopakujte tak, že nepoužijete rotující zrcadlo a ke generátoru připojíte i galvozrcadlo vychylující ve vodorovném směru a přivedete na něj pilové kmity vhodné amplitudy a frekvence. Porovnejte vzniklý obraz s časovým rozvojem signálu na osciloskopu.

Technické problémy

- Galvozrcadla ke generátoru **nikdy nepřipojujte přes zesilovač**, došlo by k jejich poškození (povolené napětí je **nejvýše 5 V**)!!!
- Povolená frekvence pro motorky galvozrcadel je **nejvýše 150 Hz**, nepřekračujte ji!
- Zrcátek se nedotýkejte prsty, mohli byste je poškodit!!!
- Nejprve nastavte parametry signálu na generátoru, pak teprve stiskněte tlačítko, kterým zapnete výstup z kanálu. Začínajte na nižších napětích, teprve postupně je zvyšujte.

Fyzikální interpretace

Vysvětlete, proč na zdi vzniká časově stabilní obraz rozvinutého signálu. Diskutujte volbu vhodné frekvence rozvinutého signálu a úhlové rychlosti rotace zrcadla. Vysvětlete, proč signál pro vodorovně vychylující zrcadlo by měl být pilový. V souvislosti s tímto experimentem popište, jak vzniká obraz na obrazovce analogového a digitálního osciloskopu.

Pojmy

amplituda, perioda, frekvence

E 6 – Tlumení oscilátorů - tělesa na pružině, kyvadla, ladičky

Zobrazení časového rozvoje tlumeného kmitání oscilátorů

Provedení

S experimentálním vybavením použitým v předchozích experimentech demonstруйте tlumení kmitů tělesa na pružině (závaží bez a s přidaným papírovým kotoučem), tlumení pohybu kyvadel, tlumení kmitání ladiček

Pojmy

amplituda, perioda, frekvence, útlum, činitel jakosti

E 7 – Tlumení oscilátorů - kmity membrány reproduktoru

Zobrazení časového rozvoje tlumeného kmitání oscilátoru

Potřeby

- Generátor Le Croy,
- vodiče 2 ks
- reproduktor
- zesilovač SONY (zapojení generátoru a zesilovače viz obr. 3)
- školní měřicí systém (ŠMS) s mikrofonom anebo program Zeitniz Scope či alternativy, zvuková karta v PC a mikrofón



Obrázek 3: Zprava: generátor Le Croy a zesilovač SONY

Provedení

První (žlutý) kanál generátoru Le Croy připojte k vstupu zesilovače SONY. Z výstupů zesilovače (červená a černá dutinka) připojte dvěma vodiči reproduktor, zvuk z něj snímejte mikrofonom. Zaznamenejte útlum reproduktoru při vypnutí či zeslabení signálu generátoru.

Technické problémy

Nepřekračujte na obou kanálech generátoru hodnotu napětí 4V! Nezapomeňte propojit zem generátoru s uzemněním zesilovače.

Pojmy

amplituda, perioda, frekvence, útlum, činitel jakosti

1.2 Skládání kmitů

E 8 – Skládání elektrických stejnosměrných kmitů

Zviditelnění časového rozvoje součtového signálu z generátoru periodických funkcí.

$$x(t) = X_1 \sin(\omega t + \varphi_1) + X_2 \sin(\omega t + \varphi_2) =$$

$$x(t) = X_1 \sin(n\omega t) + X_2 \sin(m\omega t + \varphi) =$$

Potřeby

- Generátor Le Croy,
- 2 redukce BNC na banánky
- vodiče 6 ks
- zvonkové trafo
- zesilovač SONY (zapojení generátoru a zesilovače viz obr. 3, na obrázku chybí propojení druhého výstupu generátoru s červeně označeným vstupem zesilovače)
- osciloskop s BNC redukcí nebo školní měřicí systém (ŠMS)

Provedení

První i druhý kanál generátoru Le Croy připojte k vstupům zesilovače SONY. Z výstupů zesilovače (červená a černá dutinka, modrá a žlutá dutinka) připojte dvěma vodiči zvonkové trafo (střední svorka je zem). Výstup zvonkového trafo připojte vodiči (a případně BNC redukcí) k osciloskopu/ŠMS. Demonstrujte skládání kmitů izochronních i neizochronních.

Technické problémy

Nepřekračujte na obou kanálech generátoru hodnotu napětí 4V! Nezapomeňte propojit zem generátoru s uzemněním zesilovače.

Fyzikální interpretace

Vysvětlete funkci trafo jako směšovače. Zvolte parametry vstupních signálů tak, aby složený signál měl minimální zkreslení.

Modifikace pokusu

Signály lze přivést přímo z generátoru Le Croy dvěma BNC konektory na vstupy osciloskopu a skládání provést stiskem příslušného tlačítka na osciloskopu. Diskutujte vhodnost této demonstrace z hlediska názornosti.

Pojmy

superpozice kmitů, izochronní kmitý, souvislost s elmag. vlnami, fázor

E 9 – Vznik rázů, amplitudová modulace

Zviditelnění časového rozvoje součtového signálu z generátoru periodických funkcí.

$$\begin{aligned}x(t) &= X_0 \sin(\omega t) + X_0 \sin((\omega + \Delta\omega)t + \varphi) = \\x(t) &= x_0 \sin(\omega t + \varphi) + X_0 \sin(\Omega t) =\end{aligned}$$

Potřeby

- Stejně jako u předchozího experimentu

Provedení

- Demonstrujte rázy pomocí experimentálního vybavení z předchozího pokusu.
- Matematicky složte dva kmity s velmi rozdílnými frekvencemi, výsledek demonstруйте.

Pojmy

rázy, nosná frekvence, amplitudová modulace

E 10 – Vznik rázů, amplitudová modulace - jednoduchá provedení

Zviditelnění časového rozvoje součtového signálu z dvou a více zdrojů zvuku.

Provedení

- Demonstrujte rázy dvěma ladičkami.
- Demonstrujte rázy pomocí rotujícího rozezvučeného disku.

V obou případech detekujte uchem či mikrofonom ovládaným programem Zeitniz Scope.

Fyzikální interpretace

Určete, kolik je v případě rotujícího disku zdrojů zvuku, vysvětlete, jak rázy vznikají.

Pojmy

nosná frekvence, amplitudová modulace

E 11 – Fourierova analýza

Zviditelnění časového rozvoje a frekvenčního spektra nejen periodických signálů.

Potřeby

- program Zeitniz Scope, zvuková karta v PC, případně ŠMS, mikrofón, zdroje zvuku

Provedení

K mikrofónu přiblížte zdroj a pozorujte časový průběh kmitání a frekvenční spektrum.

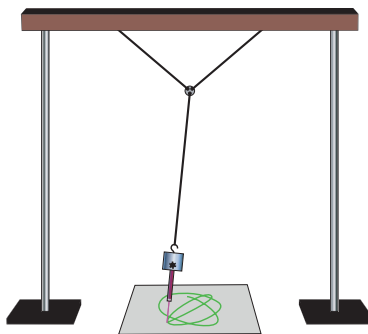
- Kmity ladičky. K mikrofónu přiblížte jednu ladičku, dvě ladičky s různými frekvencemi atd. Pozorujte časový průběh a frekvenční spektrum.
- Tóny jednoduché, složené, barva tónu (ladičky, píšťaly, samohlásky, apod.).

Pojmy

Fourierova analýza a syntéza, barva zvuku

E 12 – Skládání kmitů na sebe kolmých - Blackburnovo kyvadlo

Zviditelnění obrazce vzniklého při skládání kmitů vzájemně kolmých



$$x(t) = X_0 \sin(\omega t + \varphi_x)$$

$$y(t) = Y_0 \sin(\omega t + \varphi_y)$$

Obecná rovnice trajektorie pohybu

Jak z tvaru výsledné trajektorie určit poměr frekvencí ve směrech x a y ?

Potřeby

- Blackburnovo kyvadlo s laserovým ukazovátkem, luminescenční folie.

Provedení

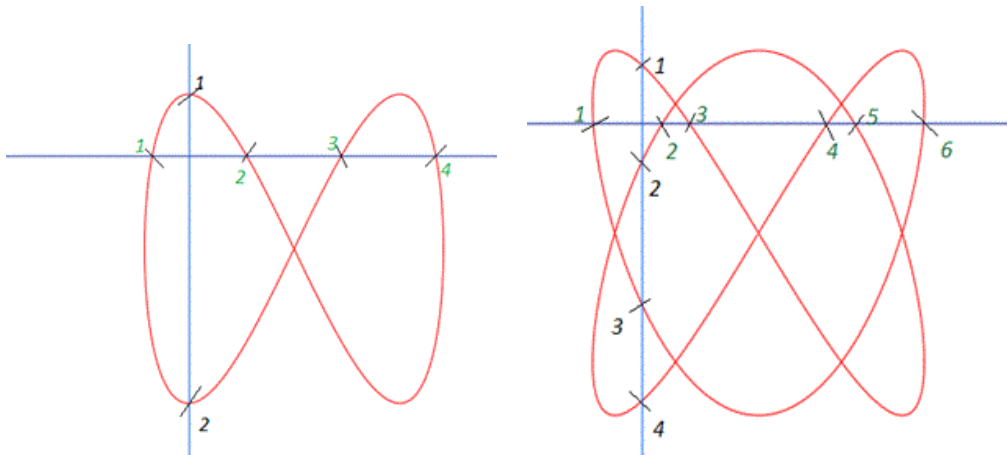
Nastavte poměr frekvencí 1:2, 2:3, 3:4 nebo 3:5.

Fyzikální interpretace

Jak závisí výsledný pohyb na amplitudě při nulovém fázovém rozdílu a na fázovém rozdílu při stejných amplitudách? Jak souvisí délka částí kyvadla s jeho frekvencí? Jaký poměr frekvencí nelze pomocí tohoto kyvadla demonstrovat?

Jak z tvaru výsledné trajektorie určit poměr frekvencí ve směrech x a y ?

K určení poměru frekvencí do Lissajousova obrazce zakreslíme dvě kolmé čáry tak, aby neprotínaly obrazec v uzlech. Poté spočítáme průsečíky čar s obrazcem. Poměr počtů průsečíků potom udává poměr frekvencí (viz obrázek).



Pojmy

superpozice kmitů, Lissajousovy obrazce

E 13 – Skládání kmitů na sebe kolmých - galvozcadla

Zviditelnění obrazce, který vzniká složením kmitů vzájemně kolmých

Potřeby

- Generátor funkcí Le Croy
- galvozcadla a propojovací kabely do generátoru,
- laserové ukazovátko umístěné v držáku.

Příprava

- Zapojte galvozcadla podle obrázku 2. Při práci s nimi dbejte doporučení z experimentu E 5.
- Osvětlete galvozcadla laserovým ukazovátkem.
- Na generátoru nastavte na obou kanálech napětí 0,5 V_{pp} (Volt peak to peak, dvě amplitudy kmitavého pohybu), sinusový signál a frekvenci 50 Hz, fázový posuv 90°.
- Na zdi, kde se promítá obraz, zkontrolujte, zda výsledný obrazec je kružnice - pokud ne, upravte napětí na jednom vstupu (anebo požádejte vyučujícího o úpravu nastavení galvozcadel).
- Volbou velikosti napětí a frekvence vytvořte časově stabilní, dostatečně velkou kružnici.

Provedení

- Měňte v nastavení pro kružnici fázový posuv mezi kanály. Zkontrolujte, že tvar obrazce odpovídá výše provedenému výpočtu pro daný fázový posuv.
- Nastavte poměr frekvencí 1:2, 2:3, 3:4 nebo 3:5 při různých konstantních fázových posunutích. **Pozor! Nepřekročte frekvenci 150Hz!**
- Pozorujte výsledný obrazec pro v čase nekonstantní fázový posuv.
- Pozorujte výsledný kmit při malinko frekvenčně rozladěných kanálech generátoru.

Modifikace pokusu

Použijete-li fialový laser a fluorescenční fólii, lze pořídít na fólii záznamy jednotlivých experimentů a tyto navzájem porovnávat. Použijete-li frekvence řádu jednotek Hz, můžete pozorovat pohyb světelné stopy po trajektorii obrazce.

Pojmy

superpozice kmitů, Lissajousovy obrazce

1.3 Rezonance mechanických kmitů

E 14 – Situace, při nichž dochází k rezonanci

Předvedení jednoduchých jevů, při nichž dochází k rezonanci

- Použijte dvě ladičky na rezonančních skřínkách, jednu rozezvučte, k druhé přisuňte korálek (vysvětlíte efekt pozorovaný při rozladění jedné ladičky).
- Ladičku přiložte k rezonanční desce.
- Rezonanční kolébka - zvolte takovou frekvenci kolébání, abyste rozkývali postupně jednotlivé pásky
- Rezonanční měřič frekvence - prohlédněte si systém jazýčků, vysvětlíte funkci

Pojmy

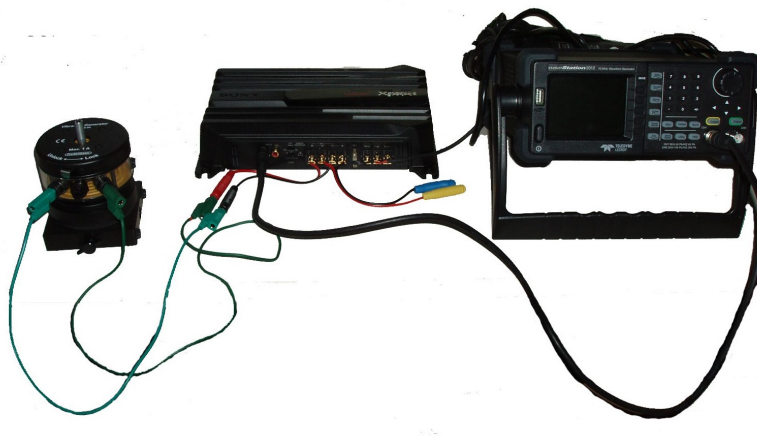
vlastní frekvence, vlastní kmity, vynucené kmity, vynucující síla a její frekvence, rezonační křivka

E 15 – Třepadlo a pružina

Demonstrace kmitů nucených s různou mírou tlumení, nalezení rezonance

Potřeby

- Generátor funkcí Le Croy,
- zesilovač SONY a propojovací kabely do generátoru,
- třepadlo PASCO a dva vodiče
- stativ, kladka, vlákno, pružina se závažím, pružný úvaz se zátěží



Obrázek 4: Zprava: generátor Le Croy, zesilovač SONY a třepadlo Pasco

Příprava

- Propojte jedním kabelem generátor funkcí Le Croy se zesilovačem SONY, použijte jeden vstup.
- K jednomu výstupu generátoru připojte dvěma vodiči třepadlo PASCO (viz obrázek 4).
- Na generátoru nastavte na jednom kanálu napětí 100 mVpp (miliVolt peak to peak, dvě amplitudy kmitavého pohybu), sinusový signál a frekvenci 1 Hz.
- K třepadlu připevněte vlákno, ved'te jej přes kladku a na jeho druhý konec zavěste pružinu se závažím. Závaží připevněte pružným úvazem k zátěži tak, aby pružina kmitala ve svislém směru.
- Třepadlo musí vždy kmitat tak, aby vlákno táhlo za chvějku ve směru kolmém k membráně – pokud je potřeba, třepadlo otočte či podložte.

Modifikace pokusu

Pružinu zavěste na stojan, třepadlo připevněte k závaží na pružině.

Provedení

Sledujte vliv frekvence a amplitudy budící síly na amplitudu nuceného kmitání oscilátoru. Najděte vlastní frekvenci oscilátoru. Popište vliv tlumení na sledované veličiny.

Fyzikální interpretace

Proč pozorujete při stálé frekvenci na pružině zprvu rázy?

Pojmy

vlastní frekvence, vlastní kmity, vynucené kmity, vynucující síla a její frekvence, rezonační křivka

E 16 – Třepadlo a rezonanční proužky

Nalezení rezonance pro nucené kmity plastových proužků



Obrázek 5: Třepadlo Pasco s rezonančními proužky

Potřeby

- jako v předchozím experimentu
- plastové proužky různé délky s otvorem uprostřed a upevňovací banánek

Příprava

- Zapojte třepadlo jako v předchozím experimentu.
- K třepadlu připevněte banánek, na který nasunete plastové proužky různé délky (viz obrázek 5).
- Na generátoru nastavte na jednom kanálu napětí 100 mVpp (Volt peak to peak, dvě amplitudy kmitavého pohybu), sinusový signál a frekvenci 1 Hz.

Provedení

Sledujte vliv frekvence a amplitudy budící síly na amplitudu nuceného kmitání jednotlivých proužků. Najděte vlastní frekvence oscilátoru. Popište vliv hmotnosti, tuhosti a tlumení na sledované veličiny (proužky plastové nahraďte proužky z jiných materiálů).

Pojmy

vlastní frekvence, vlastní kmity, vynucené kmity, vynucující síla a její frekvence, rezonační křivka

2 Vlny

2.1 Postupné a stojaté vlnění

E 17 – Demonstrace podélných, postupných a stojatých vln na vlnostrojích

Demonstrace podélných, postupných a stojatých vln na různých zařízeních

- Na spřažených kyvadlech (kovové kuličky na nitích spojené pružnou vazbou) demonstруйте podélné a příčné vlnění (postupné i stojaté). Demonstруйте vliv vazby mezi spřaženými kyvadly.
- Modelujte postupné a stojaté, podélné a příčné vlnění na zavěšené pružině či na gumovém vlákně.
- Modelujte postupné a stojaté, podélné a příčné vlnění na Júliusově vlnostroji (Pasco). Jak takové vlnění vznikne? Uveďte příklady z různých oblastí fyziky.

Pojmy

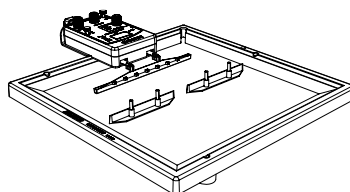
vlnová délka, frekvence, fázová rychlost, amplituda, okamžitá výchylka vlny, stav vlnění v daném časovém okamžiku, v daném bodě prostoru, kmitna, uzel

2.2 Demonstrace vlnění na vlnové vaně

Následující experimenty demonstруют vznik a šíření vlnění pomocí vlnové vany.

- S malým množstvím vody vyrovnejte vanu do horizontální roviny. Do vany nalijte cca 800 ml vody.
- Chvějku vybavte adaptérem pro kulovou vlnu. Demonstруйте rozbíhavou a sbíhavou kulovou vlnu, uveďte příklady z různých částí fyziky. Prověřte vhodné nastavení osvětlení hladiny v režimech Steady/Strobe/Delta. Jak docílíme zdánlivě zpomaleného pohybu vlny?

E 18 – Difrakce vlnění na vlnové vaně

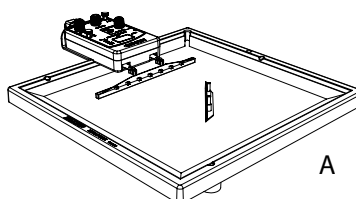


- Demonstrujte šíření vln za otvorem různé velikosti. Diskutujte analogii s optikou.

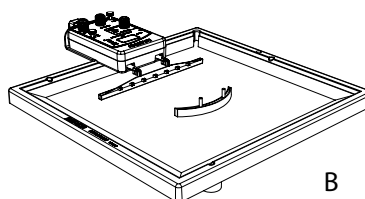
Pojmy

vlnová délka, frekvence, fázová rychlost, amplituda, okamžitá výchylka vlny, stav vlnění v daném časovém okamžiku, v daném bodě prostoru, Huygensův – Fresnelův princip

E 19 – Odraz vlnění na vlnové vaně



A



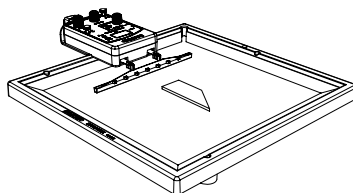
B

- Chvějku vybavte adaptérem pro rovinnou vlnu. Zajistěte, že se spodní část adaptéru v celé ploše jen taktak dotýká vodní hladiny. Demonstrujte rovinnou vlnu a její odraz na rovinném a zakřiveném rozhraní. Ověřte zákon odrazu.
- Objasněte Huyghensův-Fresnelův princip pro obě vlny.

Pojmy

vlnová délka, frekvence, fázová rychlost, amplituda, okamžitá výchylka vlny, stav vlnění v daném časovém okamžiku, v daném bodě prostoru, Huygensův – Fresnelův princip

E 20 – Lom vlnění na vlnové vaně



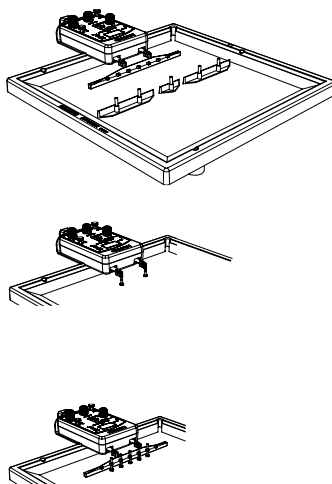
- Do vany umístěte různoběžníkovitý průhledný refraktor. Zajistěte, že je stejnoměrně pokryt vrstvou vody o výšce menší než 1 mm. Frekvenci chvějky nastavte na 15 Hz či méně, osvětlení nastavte na Strobe.
- Na stínítku zaznačte lom vlny, diskutujte příčiny rozdílné rychlosti šíření. Příboj, tsunami.

Disperzní vztah $\omega^2 = (gk + \sigma k^3/\rho) \tanh kh$

Pojmy

hluboká voda ($kh \gg 1$): $\tanh kh \approx 1$, mělká voda ($kh \ll 1$): $\tanh kh \approx kh - \frac{1}{3}(kh)^3 \dots$, kapilární/gravitační vlny

E 21 – Interference vlnění na vlnové vaně



- Demonstrujte interferenci dvou koherentních kulových vln. Uveďte analogie tohoto jevu z jiných oblastí fyziky.
- Pomocí dvou fólií demonstrujte tzv. Moiré proužky (překryv dvou periodických struktur stejné či podobné periody) a vysvětlete souvislost s předchozí demonstrací.
- Demonstrujte difrakci na periodické struktuře.

Fyzikální interpretace

Interpretujte správně obrazec získaný na vlnové vaně z hlediska polohy maxim a minim.

Pojmy

vlnová délka, frekvence, fázová rychlost, amplituda, okamžitá výchylka vlny, stav vlnění v daném časovém okamžiku, v daném bodě prostoru, Huygensův – Fresnelův princip

2.3 Stojaté vlnění, kmitové módy v rezonátorech

E 22 – Demonstrace stojatých vln - vlnění podélné a příčné

Demonstrace vzniku příčného a podélného stojatého vlnění

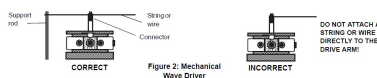
- Pomocí Meldeova přístroje (chvějka procházející cívkou mezi póly permanentního magnetu) demonstřujte vlnu příčnou (vlákno napnuté ve směru chvějky) a podélnou (pružina s malou tuhostí napnutá kolmo na směr chvějky). Popište základní charakteristiky příčného vlnění.

Pojmy

vlnová délka, frekvence, fázová rychlost, amplituda, okamžitá výchylka vlny, stav vlnění v daném časovém okamžiku, v daném bodě prostoru, kmitny a uzly

E 23 – Třepadlo a stojatá vlna na vlákne

Vytvoření příčné stojaté vlny na vlákne



Obrázek 6: Třepadlo Pasco – správné upevnění pro vytvoření stojaté vlny na vlákne

Potřeby

- Generátor funkcí Le Croy,
- zesilovač SONY a propojovací kabely do generátoru,
- třepadlo PASCO a dva vodiče
- vlákna různých průměrů a pevností, kladka, zátěž známé hmotnosti
- jeden až dva stativy s možností uchycení vlákna či kladky
- stroboskop

Příprava

- Třepadlo zapojte jako v experimentu E 15 (viz obrázek 4).
- K třepadlu připevněte banánek se zářezem, kterým protáhnete vhodné vlákno. Vlákno na jednom konci připevněte ke stativu (viz obrázek 6), na druhém vedte přes kladku a zatěžte závažím známé hmotnosti.
- Na generátoru nastavte na jednom kanálu napětí 100 mV_{pp} (Volt peak to peak, dvě amplitudy kmitavého pohybu), sinusový signál a frekvenci 50 Hz.

Provedení

Najděte frekvence, při kterých vzniká výrazné stojaté vlnění na struně. Jak závisí počet uzlů na délce vlákna a na jeho napětí (různá vlákna a zátěže)?

Modifikace pokusu

Zviditelněte stojaté vlnění pomocí stroboskopického osvětlení. Zvolte vhodné frekvence, abyste získali obraz „ohnutého vlákna“ a velmi pomalu kmitajícího vlákna.

Pojmy

vlnová délka, frekvence, fázová rychlost, amplituda, okamžitá výchylka vlny, stav vlnění v daném časovém okamžiku, v daném bodě prostoru, kmitny a uzly

E 24 – Třepadlo a stojatá vlna na pružině

Vytvoření příčné a podélné stojaté vlny na pružině

Potřeby

- stejné jako v předchozím experimentu
- pružina s malou tuhostí

Příprava

- Stejná jako u předchozího experimentu.
- Pružinu připojte tak, aby na ní třepadlo vytvářelo příčnou či podélnou vlnu. K vypnutí pružiny užíjte vlákno a kladku se zátěží.

Provedení

Stejně jako v předchozím experimentu. Diskutujte rozdíl mezi příčnou a podélnou stojatou vlnou.

Modifikace pokusu

Zviditelněte stojaté vlnění pomocí stroboskopického osvětlení.

Pojmy

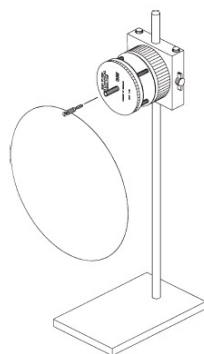
vlnová délka, frekvence, fázová rychlost, amplituda, okamžitá výchylka vlny, stav vlnění v daném časovém okamžiku, v daném bodě prostoru, kmitny a uzly

E 25 – Kmitové módy na kruhové smyčce

Vytvoření stojaté vlny na kruhové smyčce

Potřeby

- stejné jako v předchozím experimentu
- drátěná kruhová smyčka s banánkem na zasunutí do třepadla



Obrázek 7: Třepadlo Pasco – správné upevnění pro vytvoření stojaté vlny na smyčce

Příprava

- Stejná jako u předchozího experimentu.
- Zasuňte banánek propojený se smyčkou do třepadla.

Provedení

Začněte na velmi malé hodnotě napětí (100 mVpp, miliVolt peak to peak, 2 amplitudy). Vytvořte na kruhové smyčce stojatou vlnu. Najděte všechny frekvence, při nichž lze na smyčce vytvořit stojatou vlnu, porovnejte jednotlivé vzniklé vlny.

Fyzikální interpretace

Promyslete si, jaký myšlenkový model lze touto demonstrací demonstrovat. Jaké jsou odlišnosti zobrazeného jevu a myšleného modelu?

Pojmy

vlnová délka, frekvence, fázová rychlost, amplituda, okamžitá výchylka vlny, stav vlnění v daném časovém okamžiku, v daném bodě prostoru, kmitny a uzly

E 26 – Kmitové módy na kovových deskách

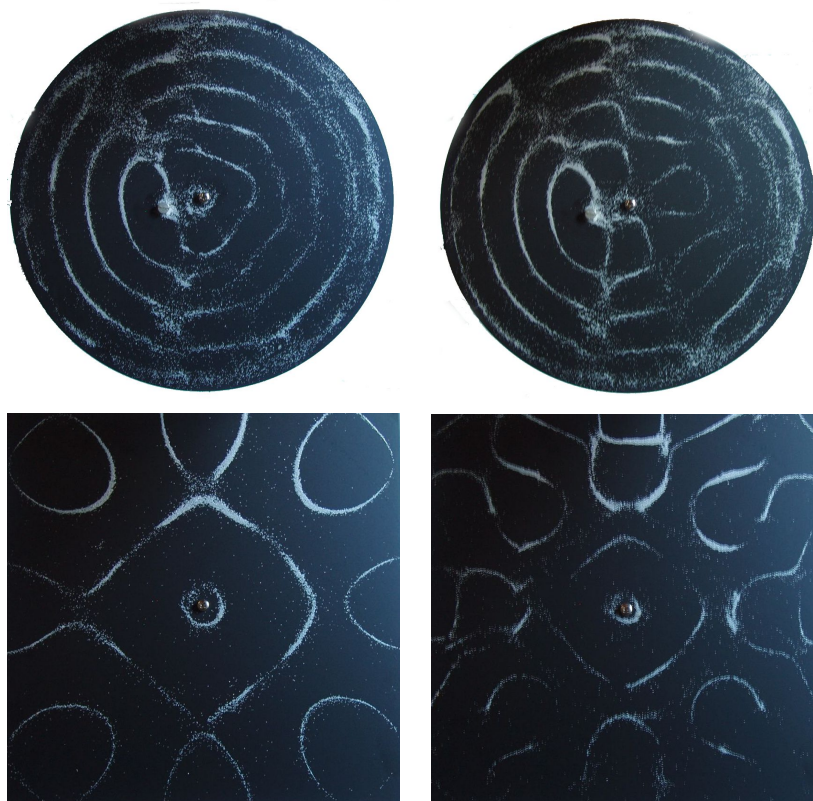
Vytvoření kmitových módů na kovových deskách, tvar Chladniho obrazců v závislosti na tvaru a uchycení desky

Potřeby

- stejné jako v předchozím experimentu
- čtvercová deska s uchycením uprostřed, kruhová deska se symetrickým a nesymetrickým uchycením.

Příprava

- Stejná jako u předchozího experimentu.
- Zasuňte banánek vybrané desky do třepadla



Obrázek 8: Třepadlo Pasco – Chladniho obrazce na centrálně uchycené kruhové desce (4167 Hz), excentricky uchycené kruhové desce (4167 Hz) a čtvercové desce (1045 Hz a 2240 Hz)

Provedení

Začněte na velmi malé hodnotě napětí (100mVpp, miliVolt peak to peak, 2 amplitudy). Vytvořte na desce Chladniho obrazec charakteristický pro danou frekvenci generátoru.

Modifikace pokusu

Zkuste různé frekvence a různé desky. Do paměti generátoru se naučte ukládat nastavení odpovídající jednotlivým obrazcům a následně je opět vyvolávat.

Fyzikální interpretace

Vysvětlete, jak poznáte, že se blížíte k frekvenci, při které vznikne Chladniho obrazec. Popište symetrii obrazců v souvislosti se symetrií desky.

Pojmy

vlnová délka, frekvence, fázová rychlost, amplituda, okamžitá výchylka vlny, stav vlnění v daném časovém okamžiku, v daném bodě prostoru, kmitny a uzly

E 27 – Kmitové módy v rezonátorech - další zařízení

- Objasněte vznik stojatých vln u strunáku. Použijte počítačový program schopný Fourierovy transformace v reálném čase (FFT). Strunu rozezvučte kladívkem s gumovým a kovovým koncem, smyčcem taženým ve středu a na okraji struny. Základní a harmonické módy.
- Vytvořte ladičkou stojatou vlnu ve vzduchovém sloupci proměnné délky, určete rychlost šíření zvuku ve vzduchu.
- Píšťaly s různou délkou rezonátoru, Galtonova píšťala, ultrazvuk.

Pojmy

vlnová délka, frekvence, fázová rychlost, amplituda, okamžitá výchylka vlny, stav vlnění v daném časovém okamžiku, v daném bodě prostoru, kmitny a uzly

3 Zvuk

3.1 Šíření zvukového vlnění

E 28 – Zvonek ve vakuu

Demonstrace vlivu prostředí na šíření zvuku

Potřeby

- membránová vývěva se skleněným recipientem
- tlakoměr (např. měřící systém Verniér)
- bezdrátový zvonek s dálkovým ovládáním, měkká podložka

Příprava

- Pod recipient vývěvy položte na podložku zapnutý bezdrátový zvonek.
- Zapojte vývěvu, připojte tlakoměr, zapněte čerpání.
- Po vyčerpání na nejnižší dosažitelný tlak vypněte motor vývěvy.

Provedení

Připouštějte zavzdušňovacím ventilem pod recipient vzduch a poslouvejte, jak se mění intenzita zvonění.

Modifikace pokusu

Zkuste intenzitu zvuku měřit hlukoměrem.

Pojmy

tlak a hustota prostředí, rychlost zvuku, modul pružnosti, práh slyšitelnosti, definice decibelu, podélné a příčné vlnění (příklady)

3.2 Zdroje zvuku**E 29 – Sirény, nástroje...**

Demonstrujte a objasněte princip vytváření zvuku

- ladičky – souprava foniatických ladiček, rezonanční deska
- sirény
 - Savartova (ozubená kolečka a papír)
 - Cagniard de la Tourova (proud vzduchu přerušuje rotující kotouč)
- píšťaly – otevřený a uzavřený rezonátor, Strouhalovy třetí tóny
- Strouhalovo číslo $\mathcal{S}_D = fD/v$
Při $f = c/\lambda$ a $1/2\rho v^2 = p$ dostaneme

$$p/f^2 = \text{konst.}$$
- xylofon – Co určuje výšku tónu?

Pojmy

syntéza zvuku, barva tónu. oktáva, půltóny, tercie, kvarta, kvinta, souzvuk.

E 30 – Reprodukční a elektronické ladičky

Demonstrujte vznik zvuku v reproduktoru a v elektronických ladičkách

Potřeby

- generátor Le Croy, zesilovač Sony, reproduktor s dvěma banánky - zapojení stejné jako v pokuse E 15 na obrázku 4
- elektronické ladičky, případně strunák
- mikrofon, software pro analýzu zvuku

Provedení

Reproduktor připojte ke generátoru přes zesilovač. Prostudujte návod k ladičkám, zapněte je. Vytvořte reproduktorem či ladičkou zvuk žádané frekvence. Analyzujte uchem, ladičkou anebo softwarem. Porovnejte vlastnosti elektronických ladiček s vlastnostmi ladiček klasických. Demonstrujte níže uvedené pojmy.

Pojmy

syntéza zvuku, analýza zvuku, barva tónu, oktáva, půltóny, tercie, kvarta, kvinta, souzvuk

E 31 – Helmholtzovy rezonátory

Demonstrujte rezonanci zvuku v kulových dutinách

Potřeby

- stejné jako v předchozím experimentu
- Helmholtzovy rezonátory

Provedení

Vytvořte reproduktorem či ladičkou zvuk takové frekvence, aby byl v jednotlivých rezonátorech zesílen. Zesílení detekujte uchem, ladičkou anebo softwarem.

Fyzikální interpretace

Určete, jak souvisí rezonanční frekvence s rozměry rezonátoru. Zesiluje rezonátor i vyšší harmonické frekvence?

Pojmy

zvuk, rezonance

3.3 Dopplerův jev

E 32 – Dopplerův jev

Demonstrujte Dopplerův jev při přibližování a vzdalování zdroje zvuku.

Potřeby

- vozík s bezdrátovým propojením do počítače
- počítač se software Capstone
- dvě elektronické ladičky
- mikrofón a software pro analýzu zvuku

Příprava

Jednu ladičku umístěte na vozík, druhou nechte na stole. Vozík dokáže měřit svou rychlost, ladičku lze zapnout jako zdroj či detektor signálu.

Provedení

Demonstrujte všechny způsoby, jak můžete získat Dopplerův posuv. K měření frekvence užíjte ladičku, software, ucho (zvuk, rázy).

Fyzikální interpretace

Jakou rychlostí se musí vozík pohybovat, aby byla změna frekvence pozorovatelná? Je vhodnější používat vyšší či nižší frekvence anebo je výsledek stejně patrný bez ohledu na volbu frekvence?

Modifikace pokusu

Zopakujte experimenty se vznikem rázů pomocí rotujícího rozezvučeného disku anebo pomocí rotující ladičky.

Pojmy

Dopplerův jev