

T É M A: ŘEŠENÍ ÚLOH Z MECHANICKÉHO VLNĚNÍ A AKUSTIKY

Vypracoval/a:

Třída:

Spolupracoval/a:

Datum:

ANOTACE:

V tomto laboratorním cvičení si žáci připomenou základní pojmy a praktickou aplikaci mechanického a zvukového vlnění, vznik stojatého vlnění, zdroje zvuku a seznámí se s Dopplerovým jevem. Tyto poznatky aplikují v první části cvičení při řešení úloh. V druhé části laboratorní práce žáci aplikují poznatky získané v první části a samostatně řeší složitější úlohy. Žáci zpracují zadané údaje, načrtnou danou situaci a vyřeší zadané úkoly.

TEORIE:

TEORIE:

Mechanické vlnění:

Děj, při kterém se kmitání šíří látkovým prostředím, se nazývá mechanické vlnění. Postupným vlněním se přenáší energie kmitavého pohybu ze zdroje do látkového prostředí, které zdroj vlnění obklopuje. Šíření vln není spojeno s přenosem látky.

Vlnová délka:

Vzdálenost, do které dospěje vlnění za dobu jedné periody, se nazývá vlnová délka. Vlnová délka je nejmenší vzdálenost dvou bodů, které kmitají se stejnou fází.

Platí: $\lambda = v \cdot T$ kde: $v \dots$ rychlost vlnění v pružném prostředí
 $\lambda = \frac{v}{f}$ $T \dots$ perioda vlnění
 $f \dots$ frekvence vlnění

Druhy postupného mechanického vlnění:

Postupné vlnění příčné vznikne, když hmotné body kmitají kolmo na směr, kterým vlnění postupuje.

Postupné vlnění podélné vznikne, když hmotné body kmitají ve směru, kterým vlnění postupuje.

Interference vlnění:

Pokud se prostředím šíří dvě nebo více vlnění, pak v místech kde se vlnění setkávají, dochází k jejich skládání, nastává interference vlnění. Pokud v řadě bodů postupují dvě koherentní vlnění o stejné amplitudě výchylky, pak fázový rozdíl vlnění je stálý a závisí na dráhovém rozdílu.

Platí: $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot d$ kde: $\Delta\varphi \dots$ fázový rozdíl
 $\lambda \dots$ vlnová délka
 $d \dots$ dráhový rozdíl

Odraz vlnění:

Na konci řady bodů, kterou se vlnění šíří, nastává odraz vlnění. Na pevném konci se vlnění odráží s opačnou fází a na volném konci se stejnou fází.

Stojaté vlnění:

Stojaté vlnění vzniká interferencí dvou vlnění o stejné frekvenci a amplitudě, která postupují prostředím v opačných směrech. Stojatým vlněním se nepřenáší energie. Body ve stojatém vlně kmitají se stejnou fází, ale s různou amplitudou výchylky.

Místo s největší amplitudou výchylky se nazývá **kmitna**, místo s nulovou amplitudou výchylky **uzel**. Poloha kmiten a uzlů se nemění.

Vzdálenost sousedních kmiten nebo uzlů je rovna polovině vlnové délky stojatého vlnění, tedy $\frac{\lambda}{2}$.

Vzdálenost sousední kmitny a uzlu je rovna čtvrtině vlnové délky stojatého vlnění, tedy $\frac{\lambda}{4}$.

Chvění mechanických soustav:

Se stojatým vlněním se setkáváme zejména u těles, která představují prostorově ohraničené pružné prostředí. Vlnění v nich postupuje až k rozhraní, na kterém nastává odraz vlnění. Odražené vlnění se skládá s vlněním postupujícím v původním směru, vzniká stojaté vlnění, které nazýváme **chvění**.

a) Struny

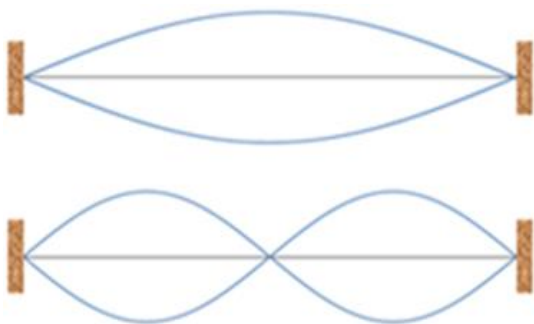
Struny jsou napjatá pevná vlákna, ve struně vznikají po rozechvění stojaté vlny, na obou koncích struny vzniknou uzly, uprostřed mezi nimi kmitna. Stojaté vlny, které vzniknou, musí splňovat podmínku: $l = k \cdot \frac{\lambda}{2}$ kde $k = 1, 2, \dots$. Vznikne-li mezi konci struny jedna kmitna, struna vydává základní tón o frekvenci f_z .

Platí: $f_z = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{2l}$ kde: $l \dots$ délka struny
 $v \dots$ rychlost vlnění ve struně

Struna vydává kromě základního tónu i jeho celočíselné násobky.

Tato stojatá vlnění vznikají při frekvencích: $f_k = k \cdot f_z$ kde: $f_z \dots$ základní frekvence
 $f_k \dots$ vyšší harmonické frekvence
 $k > 1, k = 2, 3, \dots$

Pro kmitočet základního tónu struny platí: $f_z = \frac{1}{2l} \cdot \sqrt{\frac{F}{m}}$ kde: $l \dots$ délka struny
 $m \dots$ hmotnost struny o délce 1 m
 $F \dots$ síla napínající strunu

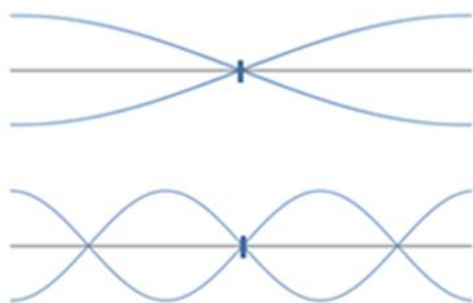


Obrázek 1: Chvění struny

b) Tyče

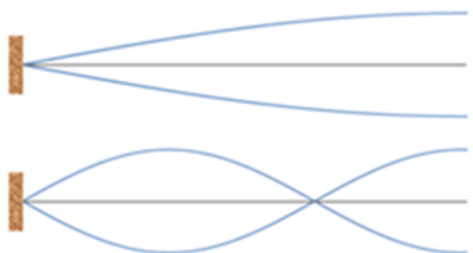
Tyče vytvoří stojaté vlnění, které závisí na tom, jak je tyč upevněna. Je-li tyč upevněna uprostřed, pak jsou konce volné. Uzel vznikne uprostřed tyče a na koncích tyče vzniknou kmitny. Stojaté vlny, které vzniknou, musí splňovat podmínku: $l = (2k - 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$ kde $k = 1, 2, \dots$.

Tyč zahnutá do tvaru písmene U se nazývá ladička. Ramena ladičky kmitají proti sobě s uzly na začátku zakřivení.



Obrázek 2: Chvění tyče upevněné uprostřed

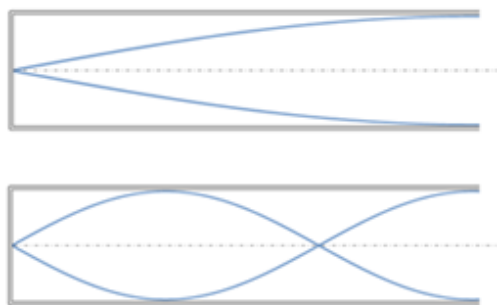
Je-li tyč upevněna na jednom kraji a druhý konec je volný. Uzel vznikne na pevném konci a na volném konci tyče vznikne kmitna. Stojaté vlny, které vzniknou, musí splňovat podmínku: $l = (2k - 1) \cdot \frac{\lambda}{4}$ kde $k = 1, 2, \dots$.



Obrázek 3: Chvění tyče upevněné na jednom konci

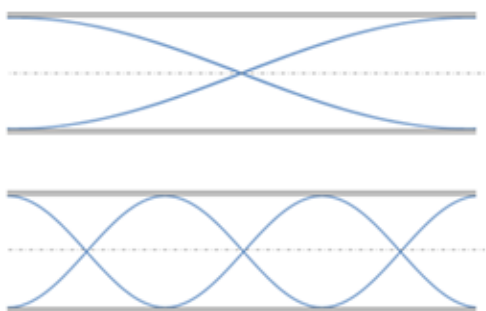
c) Vzduchové sloupce v trubicích

Je-li trubice na jednom konci uzavřená, vznikne na otevřeném konci kmitna a na uzavřeném konci uzel stojatého vlnění. Stojaté vlny, které vzniknou, musí splňovat podmínku: $l = (2k - 1) \cdot \frac{\lambda}{4}$ kde $k = 1, 2, \dots$.



Obrázek 4: Chvění vzduchového sloupce uzavřeného na jednom konci

Je-li trubice otevřená na obou koncích, vznikne na otevřených koncích kmitny. Stojaté vlny, které vzniknou, musí splňovat podmínku: $l = (2k - 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$ kde $k = 1, 2, \dots$.



Obrázek 5: Chvění vzduchového sloupce otevřeného na obou koncích

Zvuk a jeho vlastnosti

Zvukem nazýváme každé mechanické vlnění v látkovém prostředí, které je schopno v lidském uchu vyvolat sluchový vjem. Lidské ucho vnímá zvuky o frekvencích větších než 16 Hz a menších než 16 kHz. Mechanické vlnění s menší frekvencí nazýváme infrazvuk, s větší frekvencí ultrazvuk. Zvuk potřebuje ke svému šíření látkové prostředí. Zvuk se šíří v plynech, kapalinách i látkách pevných. Ve vakuu se šířit nemůže.

Rychlost zvuku

Zvuk se šíří jen pružným látkovým prostředím libovolného skupenství. Rychlost zvuku závisí na prostředí, ve kterém se zvuk šíří. Zvuk se ve vzduchu šíří jako podélné postupné vlnění. Rychlost zvuku v kapalinách a v pevných látkách je větší než ve vzduchu. Rychlost zvuku ve vzduchu závisí na jeho teplotě.

Pro rychlost v šíření zvuku ve vzduchu platí:

$$v_t = (331,82 + 0,61 \cdot \{t\}) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad \text{kde } t \dots \text{teplota vzduchu ve } ^\circ\text{C}$$

Dopplerův jev

Dopplerův jev vzniká při vzájemném pohybu zdroje zvuku a přijímače zvuku. Při vzájemném pohybu zdroje zvuku a přijímače zvuku dochází ke zvýšení nebo snížení frekvence přijímaného zvuku.

1. Je-li zdroj zvuku a přijímač zvuku v klidu, přijímač zvuku přijímá zvuk o frekvenci f_1 , která je stejná jako frekvence f , jakou vysílá zdroj zvuku. Platí: $f_1 = f$

2. Zdroj zvuku je v klidu a přijímač zvuku se pohybuje po vzájemné spojnici konstantní rychlostí u , která je menší než rychlost zvuku v ($u < v$).

a) přijímač zvuku se pohybuje konstantní rychlostí u ($u < v$) směrem ke zdroji zvuku, relativní rychlost zvuku vzhledem k přijímači zvuku je $v + u$, vlnová délka zvuku se nemění, frekvenci přijímanou přijímačem platí:

$$f_1 = \frac{v+u}{\lambda} = \frac{v+u}{v} \cdot f \quad \text{kde: } v \cdots \text{ rychlost zvuku}$$

$u \cdots$ rychlost, kterou se pohybuje přijímač zvuku

$f \cdots$ frekvence, kterou vysílá zdroj zvuku

$f_1 \cdots$ frekvence, kterou přijímá přijímač zvuku

Přijímač zvuku přijímá zvuk o vyšší frekvenci f_1 než je frekvence f zdroje zvuku.

b) přijímač zvuku se pohybuje konstantní rychlostí u ($u < v$) směrem od zdroje zvuku, relativní rychlost zvuku vzhledem k přijímači zvuku je $v - u$, vlnová délka zvuku se nemění, frekvenci přijímanou přijímačem platí:

$$f_1 = \frac{v-u}{\lambda} = \frac{v-u}{v} \cdot f$$

Přijímač zvuku přijímá zvuk o nižší frekvenci f_1 než je frekvence f zdroje zvuku.

3. Přijímač zvuku je v klidu a zdroj zvuku se pohybuje po vzájemné spojnici konstantní rychlostí u , která je menší než rychlost zvuku v ($u < v$).

a) zdroj zvuku se pohybuje konstantní rychlostí u ($u < v$) směrem k přijímači zvuku, mění se vlnová délka. V místě přijímače je vlnová délka zvukového vlnění kratší $\lambda_1 = \frac{v-u}{f}$ a přijímač přijímá frekvenci, pro kterou platí:

$$f_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{v-u} \cdot f$$

Přijímač přijímá frekvenci, která je vyšší než frekvence zdroje.

b) zdroj zvuku se pohybuje konstantní rychlostí u ($u < v$) směrem od přijímače zvuku, mění se vlnová délka. V místě přijímače je vlnová délka zvukového vlnění větší $\lambda_1 = \frac{v+u}{f}$ a přijímač přijímá frekvenci, pro kterou platí:

$$f_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{v+u} \cdot f$$

Přijímač přijímá frekvenci, která je nižší než frekvence zdroje.

PŘÍPRAVA:

1. Zopakujte si základní poznatky o mechanickém vlnění.
2. Zopakujte si, kde vznikne při chvění těles kmitna a kde uzel.
3. Zopakujte si, pojmy stojaté vlnění, vlnová délka-
4. Budete potřebovat kalkulačku.

PŘÍPRAVA:

ÚKOL Č. 1:

Zvukové vlny, které vznikly kmitáním ladičky, se šíří rychlostí $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Vzdálenost dvou sousedních uzlů vzniklé stojaté vlny je 20 cm. S jakou frekvencí kmitá ladička?

ŘEŠENÍ:

ZADÁNÍ:

$$v = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}; l = 20 \text{ cm} = 0,20 \text{ m}; f = ?$$

VYPRACOVÁNÍ:

ÚKOL Č. 2:

Vlnění o frekvenci 3 Hz se šíří rychlostí $2,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Jaký je fázový rozdíl dvou bodů vzdálených od sebe 20 cm?

ŘEŠENÍ:

ZADÁNÍ:

$$v = 2,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}; d = 20 \text{ cm} = 0,20 \text{ m}; f = 3 \text{ Hz}; \Delta\varphi = ?$$

VYPRACOVÁNÍ:

ÚKOL Č. 3:

Jakou silou musí být napnutá hliníková struna o průměru 0,6 mm o délce 1 m, aby vydávala tón o frekvenci 200 Hz. Hustota hliníku je $2700 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$?

ŘEŠENÍ:

ZADÁNÍ:

$$d = 0,6 \text{ mm} = 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}; l = 1 \text{ m}; f = 200 \text{ Hz}; \rho = 2700 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}; F = ?$$

VYPRACOVÁNÍ:

ÚKOL Č. 4:

Jakou frekvenci má základní tón, který vydává píšťala o délce 20 cm, jeli a) otevřená, b) na jednom konci uzavřená? Zvuk se šíří rychlostí 340 ms^{-1} .

ŘEŠENÍ:

ZADÁNÍ:

$$v = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}; l = 20 \text{ cm} = 0,20 \text{ m}; f = ?$$

VYPRACOVÁNÍ:

ÚKOL Č. 5:

Zdroj zvuku vydává tón o frekvenci 500 Hz. Jaký tón uslyší pozorovatel, který se přibližuje ke zdroji rychlostí $3,40 \text{ ms}^{-1}$? Zvuk se šíří rychlostí 340 ms^{-1} .

ŘEŠENÍ:

ZADÁNÍ:

$$v = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}; u = 3,40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}; f = 500 \text{ Hz}; f_1 = ?$$

VYPRACOVÁNÍ:

ÚKOL Č. 6:

Motor automobilu vydává tón o frekvenci 70 Hz. Automobil jede rychlostí 108 kmh^{-1} . Cyklista jede rychlostí 18 kmh^{-1} ve směru proti pohybu automobilu. Určete frekvenci automobilu, kterou bude cyklista vnímat při přibližování automobilu. Zvuk se šíří rychlostí 340 ms^{-1} .

ŘEŠENÍ:

ZADÁNÍ:

$$v = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}; u = 108 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} = 30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}; w = 18 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} = 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}; f = 70 \text{ Hz}; f_2 = ?$$

VYPRACOVÁNÍ:

ÚKOLY NA PROCVIČENÍ:

ÚKOL Č. 1:

Pružným vláknem se šíří postupné vlnění o frekvenci 2 Hz. Určete fázovou rychlost vlnění, jestliže body vlákna, navzájem vzdálené 0,15 m, kmitají s fázovým rozdílem $\frac{\pi}{2}$ rad.

ÚKOL Č. 2:

Určete fázový rozdíl kmitání dvou bodů, které leží na přímce rovnoběžné se směrem šíření zvukového vlnění, je-li vzájemná vzdálenost bodů 1,7 m. Frekvence vlnění je 500 Hz.

ÚKOL Č. 3:

Strunou délky 60 cm se šíří vlnění rychlostí 300 m.s⁻¹. Určete frekvenci základního tónu, který vzniká při chvění struny.

ÚKOL Č. 4:

Při měření rychlosti zvuku otevřeným rezonátorem nastalo první zesílení zvuku ladičky o frekvenci 260 Hz při délce vzduchového sloupce 66 cm. Určete rychlost zvuku ve vzduchu.

ÚKOL Č. 5:

Do skleněného válce postupně naléváme vodu a současně držíme u otvoru kmitající ladičku. Zvuk ladičky se zesílil v okamžicích, kdy vzdálenost hladiny od otvoru byla 60 cm a 20 cm. Určete frekvenci kmitání ladičky. Rychlost zvuku ve vzduchu je 340 m.s⁻¹.

ÚKOL Č. 6:

V jakém poměru jsou frekvence základních tónů dvou strun o délkách 40 cm a 60 cm, pokud jsou struny ze stejného materiálu, mají stejný průřez a jsou stejně napnuté?

ÚKOL Č. 7:

Lokomotiva se vzdaluje od pozorovatele, který stojí na nádraží, rychlostí 36 kmh⁻¹ a při tom vydává tón o frekvenci 510 Hz. Jaký tón uslyší pozorovatel? Zvuk se šíří rychlostí 340 ms⁻¹.

ÚKOL Č. 8:

Motor automobilu vydává tón o frekvenci 70 Hz. Automobil jede rychlostí 108 kmh⁻¹. Cyklista jede rychlostí 18 kmh⁻¹ ve směru proti pohybu automobilu. Určete frekvenci automobilu, kterou bude cyklista vnímat při vzdalování automobilu. Zvuk se šíří rychlostí 340 ms⁻¹.

VYPRACOVÁNÍ ÚKOLŮ 1 AŽ 8:

SHRNUTÍ:

1. Co je to vlnová délka?
2. Jak vzniká stojaté vlnění?
3. Co je to kmitna?
4. Co je to uzel?
5. Jaká je vzdálenost dvou sousedních kmiten nebo uzlů?
6. Co je to zvuk?
7. Jaký je rozsah frekvencí zvuku?
8. Může se zvuk šířit ve vakuu?
9. Jak se nazývá jev, při kterém dochází ke změně frekvence přijímaného zvuku, při vzájemném pohybu zdroje zvuku a přijímače zvuku?

SEZNAM ZDROJŮ:

- [01] SVOBODA, E.; kolektiv. *Přehled středoškolské fyziky*. 1. vydání. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1991. 588 s. ISBN 80-04-22435-0
- [02] LEPIL, O. *Fyzika pro gymnázia – Mechanické kmitání a vlnění*. 2. přepracované vydání. Praha: Prometheus, 2001. 129 s. ISBN 80-7196-216-3
- [03] VANOVIČ, J.; SOKOL, E.; THERN, L.; VLACH, B.; *Fyzika pro II. a III. ročník gymnázia*. 6. vydání. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1981. 243 s. 94-00-02/6
- [04] LEPIL, O., HOUDEK, V., PECHO, A. *Fyzika pro III. ročník gymnázií*. 1. vydání. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1986. 342 s.
- [05] KRMEŠSKÝ, J.; CHYTILOVÁ, M.; LEHAR, F.; LINHART, J.; *Fyzika pro 10. ročník jedenáctiletých středních škol*. 4. vydání. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1961. 201 s. 4326/58 – I/1
- [06] BALÁŽ, P.; *Zbierka úloh fyziky*. 5. vydání. Bratislava: Slovenské pedagogické nakladateľstvo, 1971. 311 s. 101/23 815
- [07] KRUŽÍK, M.; *Sbírka úloh fyziky pro žáky středních škol*. 8. vydání. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1984. 335 s. 94 – 09 – 12/8

METODICKÝ LIST

Název školy	Gymnázium a Jazyková škola s právem státní jazykové zkoušky Zlín
Autor	Mgr. Dana Stesková
Vzdělávací oblast	Člověk a příroda
Vzdělávací obor	Fyzika
Tematický okruh	Mechanika – mechanické a zvukové vlnění
Druh učebního materiálu	Laboratorní cvičení – žák
Cílová skupina	Žák, 15 – 19 let
Anotace	Pracovní list určen do výuky žákům, podklad pro laboratorní cvičení z fyziky. Informace žák čerpá z vlastních poznámek, odborné literatury. Náplň: vlnová délka, fázový rozdíl, interference vlnění, stojaté vlnění, zvukové vlnění, zdroje zvuku a Dopplerův jev. Praktická aplikace a využití těchto poznatků při řešení úkolů.