

Meno a priezvisko:

Škola:

Škola pre mimoriadne nadané deti a Gymnázium

Predmet:

Fyzika

Školský rok/blok:

/

Skupina:

Trieda:

Dátum:

Teória

2 Mechanické kmitanie a vlnenie

2.2 Mechanické vlnenie - akustika

2.3.1 Zvuk

Zvuk je mechanické vlnenie látkového prostredia, ktoré vyvoláva sluchový vnem. Je to mechanické vlnenie s frekvenciou približne od 16Hz do 16000Hz . Mechanické vlnenie s nižšou frekvenciou ako 16Hz sa nazýva **infrazvuk**, mechanické vlnenie s vyššou frekvenciou ako 16000Hz je **ultrazvuk**. Časť fyziky, ktorá sa zaoberá skúmaním zvuku, sa nazýva **akustika** (gr. akuo – počujem).

Podľa povahy zvukového vnemu delíme zvuky na hudobné a nehudobné. **Hudobné zvuky (tóny)** predstavujú periodické vlnenie. Sú to napríklad zvuky hudobných nástrojov, samohlásky. Hudobný zvuk, ktorý je harmonickým vlnením, sa nazýva **jednoduchý tón**. Jeho frekvencia sa nazýva **absolútna výška** jednoduchého tónu.

Hudobný zvuk, ktorý nie je harmonickým vlnením, sa nazýva **zložený tón**. Z poznatkov harmonickej analýzy vyplýva, že zložený tón je tvorený základným jednoduchým tónom frekvencie f a vyššími harmonickými tónmi frekvencií $k.f$, kde k je prirodzené číslo.

Absolútnou výškou zloženého tónu rozumieme jeho základnú frekvenciu. Zastúpenie a amplitúdy vyšších harmonických tónov určujú **farbu tónu**.

Relatívnou výškou tónu nazývame podiel jeho frekvencie a frekvencie tónu zvoleného za základný. V hudobnej akustike bol za základný tón zvolený tón s frekvenciou 440Hz , v technickej praxi tón s frekvenciou 1000Hz .

Nehudobné zvuky (hluky) predstavujú neperiodické vlnenie – napríklad buchot, hrmot, sykot.

Zvukové vlnenie je nositeľom energie. Vzťah pre intenzitu zvuku: $I = \frac{E}{S\Delta t}$

kde E je energia, ktorú zvukové vlnenie preniesie za dobu Δt s plochou S kolmou na smer postupného vlnenia.

Sluchom môžeme vnímať zvuk veľkého rozsahu s intenzitou od $10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \approx 0\text{dB}$ do

$10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \approx 130\text{dB}$. Najmenšia hodnota intenzity zvuku $10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \approx 0\text{dB}$, ktorá vyvoláva sluchový

vnem, sa nazýva **prah počuteľnosti**. Najväčšia hodnota intenzity $10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \approx 130\text{dB}$, ktorej

prekročenie vyvoláva v uchu pocit bolesti, je **prah bolesti**. Práh bolestivosti je tlak, ktorý vyvoláva bolesť a poranenie sluchu. Proti hluku sa používajú chrániče sluchu. Hladina intenzity zvuku, tzv. hlasitosť, je podiel danej intenzity a prahu počuteľnosti. Jedotka je decibel [dB].

$$h = 10 \cdot \log \frac{P}{P_{\min}} [\text{dB}]$$

2.3.2 Zvuk a jeho vlastnosti

- **zvuk** je mechanické vlnenie (postupné pozdĺžne mechanické vlnenie) s frekvenciou v intervale od 16 Hz do 16 000 Hz; mechanické vlnenie s nižšou frekvenciou nazývame **infrazvuk** (otrasy, zemetrasenie, subsonické zvuky), s vyššou frekvenciou **ultrazvuk** (používa sa na vyhľadávanie chýb v materiáloch, čistenie predmetov, v diagnostike v lekárstve a pod.)
- zdrojom zvuku je chvenie pružných telies; chvenie sa prenáša do okolitého prostredia, v ktorom vzniká zvukové vlnenie; zvuk sa šíri len pružným prostredím ľubovoľného skupenstva (šíri sa iba látkovým prostredím, vo vákuu sa nešíri)
- fyzikálnymi dejmi pri prenose zvuku sa zaoberá **akustika**
 - o **fyzikálna akustika** študuje fyzikálne podmienky vzniku zvuku v zdrojoch zvuku, šírenie a pohlcovanie zvukov v rôznych prostrediach
 - o **fyziológická akustika** sa zaoberá vznikom zvuku v hlasovom orgáne človeka a vnímaním zvuku uchom
 - o **hudobná akustika** skúma zvuky z hľadiska potrieb hudby
- zvukové vlnenie má v rôznych látkach rozličnú rýchlosť. Prostredie ho zoslabuje, čo znamená, že sa znižuje amplitúda zvukových vln – **pohlcovanie (absorpcia) zvuku**
- zvuky rozdeľujeme na:
 - o **periodické**
 - nazývajú sa aj hudobné zvuky alebo tóny
 - patria tu zvuky hudobných nástrojov, samohlásky reči
 - o **neperiodické**
 - vnímame ich ako hluk, šum
 - patria tu spoluhlásky reči
- **vlastnosti zvuku:**
 - o **výška** (určuje ju frekvencia; základný je tón s frekvenciou 440 Hz – komorné a)
 - o **farba**
 - o **hlasitosť**
- **hlasitosť:**
 - o ľudské ucho môže vnímať tlakové zmeny od $\Delta p = 10^{-5} \text{ Pa}$ (táto hranica určuje **prah počuteľnosti**)
 - o veľmi hlasným zvukom zodpovedajú tlakové zmeny až $\Delta p = 10^2 \text{ Pa}$. Keď sa táto hranica prekročí, vzniká v uchu pocit bolesti, hovoríme o **prahu bolesti**
 - o ľudské ucho je najcitlivejšie na zvuky s frekvenciou 700 Hz až 6 kHz
- **intenzita zvuku:**
 - o intenzita zvuku sa definuje ako pomer výkonu zvukového vlnenia a plochy, ktorou vlnenie prechádza
 - $$I = \frac{P}{S}$$
 - jednotkou intenzity zvuku je $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$, používa sa aj jednotka **bel B** (v praxi sa používa 10-krát menšia jednotka – **decibel**)
- **rýchlosť zvuku:**
 - o rýchlosť zvuku vo vzduchu závisí od zloženia vzduchu (nečistoty, vlhkosť), ale najviac od teploty. Pre teplotu t vzduchu v $^{\circ}\text{C}$ určíme rýchlosť zvuku vo vzduchu podľa vzťahu:
 - $v_t = (331,82 + 0,61\{t\}) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
 - pri bežných teplotách je rýchlosť zvuku vo vzduchu približne $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
 - o v kvapalinách a pevných látkach je rýchlosť zvuku väčšia ako vo vzduchu (vo vode pri teplote 8°C je rýchlosť zvuku $1\,435 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; v oceli pri teplote 15°C je rýchlosť zvuku $4\,980 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)

2.3.3 Dopplerov jav (efekt)

Z praxe poznáme situáciu, že ak sa k nám blíži napríklad „húkajúca“ sanitka, má zvuk „húkačky“ vyššiu frekvenciu (väčšiu absolútnu výšku) ako v prípade, keď sa od nás vzdaluje.

Jav, ktorý spočíva v zmene **frekvencie pohybujúceho sa zdroja zvuku vzhľadom ku frekvencii toho istého zdroja zvuku v pokoji**, je pomenovaný podľa rakúskeho fyzika a matematika Christiana Dopplera (1803 - 1853), ktorému sa v roku 1842 podarilo túto „záhadu“ vyriešiť.

Dopplerov efekt sa netýka len zvuku – stretávame sa s ním aj u elektromagnetického vlnenia (a teda aj u svetla). Dopplerov jav v prípade elektromagnetického vlnenia je využívaný najmä v astronómii.

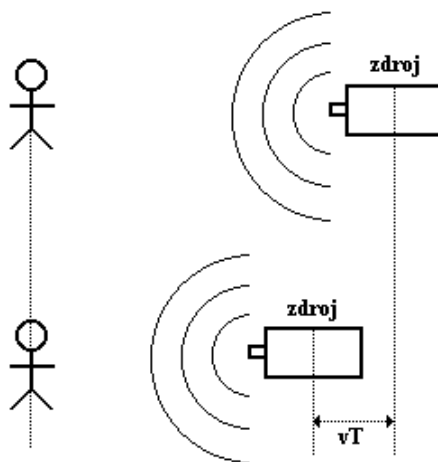
Poznámka: Johann Christian Doppler (1803 – 1853) rakúsky matematik a fyzik. Pôsobil vo Viedni, Prahe a na Banskej akadémii v Banskej Štiavnici (1847).

Fyzikálne Dopplerov jav opíšeme pre tri situácie:

1. pohybuje sa zdroj vlnenia,
2. pohybuje sa pozorovateľ,
3. pohybuje sa zdroj vlnenia a pozorovateľ.

2.3.3.1 Dopplerov jav – pohybujúci sa zdroj vlnenia

Uvažujme zdroj zvuku, ktorý sa pohybuje smerom k pozorovateľovi s rýchlosťou veľkosti v , a ktorý vysiela zvuk s periódou T . Zvuk sa šíri prostredím rýchlosťou v_z . Ak budeme sledovať dva po sebe nasledujúce vrcholy zvukovej vlny, potom vyslaním prvého a druhého vrcholu uplynie doba T (perióda). Za túto dobu sa zdroj priblíži k pozorovateľovi o vzdialenosť vT (pozri obrázok).



Čas, ktorý potrebuje vrchol druhej vlny, aby sa dostal k pozorovateľovi klesne o $t = \frac{vT}{v_z}$. Čas, ktorý uplynie medzi príchodmi dvoch po sebe nasledujúcich vrcholov vln k pozorovateľovi preto je

$$T_p = T - \frac{vT}{v_z} = \frac{v_z - v}{v_z} \cdot T$$

kde T_p je perióda zvuku meraná pozorovateľom. Ak si uvedomíme, že platí $f = \frac{1}{T}$, môžeme pre frekvenciu zvuku f_p meranú pozorovateľom napísať:

$$f_p = \frac{v_z}{v_z - v} \cdot f$$

Zo vzorca vidíme, že $f_p > f$.

Toto odvedenie sme vykonali pomocou porovnávania períód preto, že tento spôsob je názornejší. Pri využívaní Dopplerovho javu v praxi sa väčšinou porovnávajú frekvencie zdroja zvuku, svetla, ..., s frekvenciami nameranými pozorovateľom.

Ak bude veľkosť rýchlosti zdroja zvuku vyššia alebo rovnaká veľkosti rýchlosti zvuku v danom prostredí, **k pozorovateľovi nedorazí žiadna zvuková vlna šíriaca sa smerom dopredu** (z hľadiska zdroja zvuku). Pozorovateľ zachytí zvuk až potom, čo pozorovateľa minie zdroj zvuku. Zdroj zvuku sa v tom prípade už bude od pozorovateľa vzdalovať.

Túto situáciu je možné opísať analogicky. Pre frekvenciu, ktorou nameria pozorovateľ, od ktorého sa zdroj zvuku vzdaluje rýchlosťou s veľkosťou v , platí

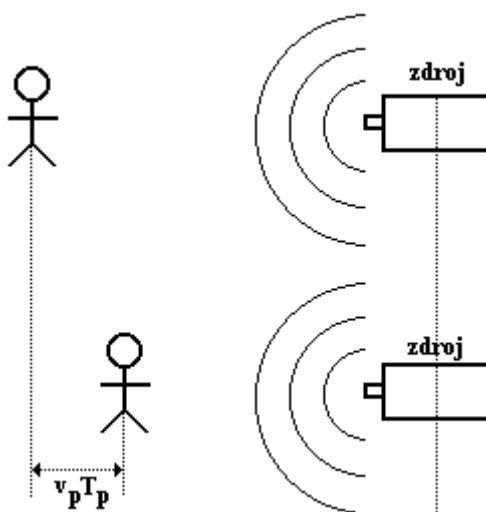
$$f_p = \frac{v_z}{v_z + v} \cdot f$$

Zo vzťahu je vidieť, že $f_p < f$.

Tento vzťah jednoducho vyplýva zo základných vlastností mechanického pohybu. Ak sa zmení smer rýchlosti pohybu zdroja zvuku na opačný, zmení sa znamienko pri veľkosti rýchlosti na opačné.

2.3.3.2 Dopplerov jav – pohybujúci sa pozorovateľ

Predpokladajme, že sa pozorovateľ pohybuje rýchlosťou s veľkosťou v_p smerom k nehybnému zdroju zvuku. Zdroj zvuku vysiela zvuk s períódou T , pozorovateľ ju prijíma s períódou T_p . Medzi vyslaním vrcholov dvoch po sebe nesledujúcich vln zo zdroja, uplynie čas T . Pozorovateľ tieto dva vrcholy prijme v časovom odstupe T_p , pričom sa medzitým posunie k zdroju zvuku o vzdialenosť $v_p \cdot T_p$.



Čas medzi prijatím druhého vrcholu vlny sa preto pre pozorovateľa zníži o hodnotu $\frac{v_p T_p}{v_z}$. Pre hľadanú períodu zvuku T_p nameranú pozorovateľom môžeme písať vzťah

$$T_p = T - \frac{v_p T_p}{v_z}$$

odkiaľ po úprave dostávame vzťah

$$T_p = \frac{v_z}{v_z + v_p} \cdot T$$

Medzi príslušnými frekvenciami platí vzťah:

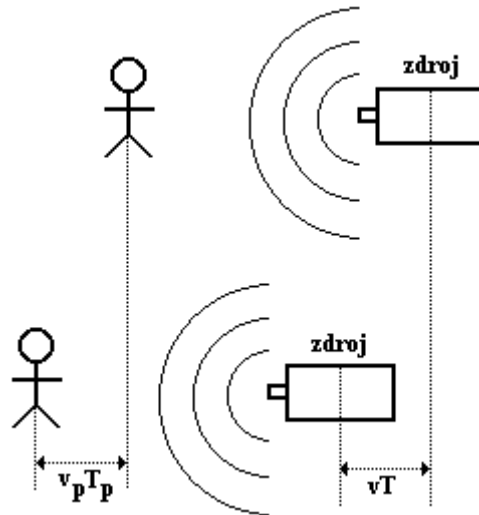
$$f_p = \frac{v_z + v_p}{v_z} \cdot f$$

Zo vzťahu je vidieť, že $f_p > f$. Obdobným spôsobom je možné postupovať pri odvodzovaní vzťahu pre frekvenciu zvuku, ktorú nameria pozorovateľ pohybujúci sa smerom od zdroja. Pre príslušné frekvencie bude platiť vzťah $f_p = \frac{v_z - v_p}{v_z} \cdot f$. Tiež je zrejmé, že $f_p < f$.

Ak sa bude pozorovateľ v tomto prípade pohybovať rýchlosťou väčšou alebo rovnakou ako je veľkosť rýchlosti zvuku v danom prostredí, zvuk k nemu vôbec nedospeje. Preto nemá zmysel v tomto prípade hovoriť o meraní frekvencie zvuku pozorovateľom.

2.3.3.3 Dopplerov jav – pohybujúci sa pozorovateľ a zdroj

V praxi môže nastať aj situácia, keď sa pohybuje aj pozorovateľ (rýchlosťou s veľkosťou v_p) a zároveň aj zdroj zvuku (rýchlosťou s veľkosťou v). Uvažujme situáciu, v ktorej sa pohybujú oba rovnakým smerom.



Zdroj vysiela zvuk s periódou T , pozorovateľ ho prijíma s periódou T_p . Medzi vyslaním vrcholov dvoch po sebe nasledujúcich vln zo zdroja uplynie čas T , za ktorý sa zdroj priblíži k pozorovateľovi o vzdialenosť $T \cdot v$. Tým sa zníži čas, ktorý potrebuje druhý vrchol, aby dorazil k pozorovateľovi, o hodnotu $\frac{v \cdot T}{v_z}$. Pozorovateľ prijme tieto dva vrcholy v časovom odstupe T_p .

On sám sa ale medzitým od zdroja vzdiali o vzdialenosť $v_p \cdot T_p$. Čas potrebný k tomu, aby druhý vrchol dospel k pozorovateľovi, sa zväčší o hodnotu $\frac{v_p \cdot T_p}{v_z}$. Pre periódou zvuku T_p , ktorú

nameria pozorovateľ môžeme písať: $T_p = T - \frac{v \cdot T}{v_z} + \frac{v_p \cdot T_p}{v_z}$

odkiaľ $T_p = \frac{v_z - v}{v_z - v_p} \cdot T$

Pre frekvenciu dostávame vzťah $f_p = \frac{v_z - v_p}{v_z - v} \cdot f$

Ak sa zmení smer rýchlosti pozorovateľa resp. zdroja zvuku, zmení sa zodpovedajúcim spôsobom aj frekvencia:

$$f_p = \frac{v_z \pm v_p}{v_z \pm v} \cdot f$$

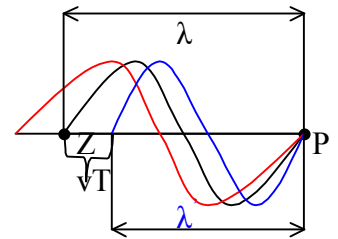
Pre vzájomný pohyb pozorovateľa a zdroja tak získame celkom štyri možnosti nameranej frekvencie zvuku pozorovateľom. Ak platí, že $\vec{v}_p = \vec{v}$ (rýchlosť pozorovateľa a zdroja zvuku sa rovnajú), tak k zmene frekvencie nedochádza.

Ak nemá dochádzať k zmenen frekvencie zvuku nameranej pozorovateľom voči frekvencii zvuku vysielaného zdrojom zvuku, podmienka $v_p = v$ nestačí – je nutné, aby obe rýchlosti mali aj rovnaký smer (to podmienka $v_p = v$ nezaručuje).

Akustický Dopplerov jav

- pohyb zdroja vlnenia:

- o máme zdroj vlnenia; keď sa zdroj pohybuje, tak pozorovateľ, nebude pozorovať vlnovú dĺžku, ktorú vysielá zdroj, ale bude pozorovať väčšiu alebo menšiu vlnovú dĺžku (podľa smeru pohybu zdroja)



- o **zdroj sa približuje:**

$$\lambda' = \lambda - vT \Rightarrow \frac{c}{f'} = \frac{c}{f} - \frac{v}{f} \Rightarrow f' = f \frac{1}{1 - \frac{v}{c}}$$

- **v je rýchlosť pohybu zdroja, c je rýchlosť šírenia vlnenia**

- výsledná pozorovaná frekvencia je väčšia ako pôvodná frekvencia (frekvencia zdroja)

- o **zdroj sa vzdaluje:**

$$\lambda' = \lambda + vT \Rightarrow \frac{c}{f'} = \frac{c}{f} + \frac{v}{f} \Rightarrow f' = f \frac{1}{1 + \frac{v}{c}}$$

- výsledná pozorovaná frekvencia je menšia ako pôvodná frekvencia

- pohyb pozorovateľa:

- o **v smere šírenia vln:**

$$f' = f \frac{c+u}{c} \Rightarrow f' = f \left(1 + \frac{u}{c}\right)$$

- o **proti smeru šírenia vln:**

$$f' = f \frac{c-u}{c} \Rightarrow f' = f \left(1 - \frac{u}{c}\right)$$

- pohyb zdroja aj pozorovateľa:

- o ak za kladný smer vezmeme smer od zdroja k prostrediu, platí:

$$f' = f \frac{1 + \frac{u}{c}}{1 - \frac{v}{c}}$$

Relativistický

- máme zdroj vlnenia, pre ktoré platí:

- o $y = y_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$

- pozorovateľ pozoruje vlnu, pre ktorú platí:

- o $y = y_m \sin 2\pi \left(\frac{t'}{T'} - \frac{x'}{\lambda'} \right)$

- keďže vlna, ktorú vysielá zdroj a ktorú pozoruje pozorovateľ, je rovnaká, platí:

- o $2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) = 2\pi \left(\frac{t'}{T'} - \frac{x'}{\lambda'} \right) \Rightarrow \frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{x}{c} \right) = \frac{2\pi}{T'} \left(t' - \frac{x'}{c} \right) \Rightarrow f \left(t - \frac{x}{c} \right) = f' \left(t' - \frac{x'}{c} \right)$

- po dosadení Lorentzových transformácií platí:

$$\circ f\left(t - \frac{x}{c}\right) = f'\left(\frac{t - \frac{vx}{c^2} - \frac{x - vt}{c}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}\right) \Rightarrow f\left(t - \frac{x}{c}\right) = f'\left(\frac{\left(t - \frac{x}{c}\right)\left(1 + \frac{v}{c}\right)}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}\right)$$

- po úprave pre vzdalujúci svetelný zdroj dostaneme:

$$\circ f' = f \sqrt{\frac{1 - \frac{v}{c}}{1 + \frac{v}{c}}}$$

- o ak sa zdroj vlnenia pohybuje od prijímača, pozorovaná frekvencia je menšia ako vysielaná frekvencia, teda pozorovaná vlnová dĺžka sa zväčšuje, nastáva posun k červenej časti spektra; pri pohybu ku prijímaču je to naopak

Príklady vlnových dĺžok:

rádiové vlny (100 MHz) - 3 m

viditeľné svetlo - menej ako 1 mm

Rýchlosť šírenia vlnenia je rôzna v rôznych prostrediach. Čím je hustejšie prostredie, tým je vyššia rýchlosť.

Príklady rýchlosti zvuku:

vzduch: 340 m/s

voda: 1440 m/s

ocel': 5 000 m/s

Príklad:

Za aký čas prejde zvuk vzdialenosť 1 km vo vode a vo vzduchu ?

$$v = \frac{s}{t} \dots t = \frac{s}{v}$$

$$\text{Vzduch: } t = \frac{s}{v} = \frac{1000m}{340m/s} = 3s$$

$$\text{Voda: } t = \frac{s}{v} = \frac{1000m}{1440m/s} = 0,7s$$

$$\text{Oceľ: } t = \frac{s}{v} = \frac{1000m}{5000m/s} = 0,2s$$

Akustika a její dělení

»

Fyzikálními ději, které jsou spojeny se vznikem zvukového vlnění, jeho šířením a vnímáním zvuku sluchem, se zabývá **akustika**, patřící mezi nejstarší obory fyziky. Akustika se dále dělí podle oblasti zájmu:

1. fyzikální akustika - studuje způsob vzniku a šíření zvuku. Dále se zabývá jeho odrazem a pohlcováním v různých materiálech.
2. hudební akustika - zkoumá zvuky a jejich kombinace se zřetelem na potřeby hudby.
3. fyzilogická akustika - se zabývá vznikem zvuku v hlasovém orgánu člověka a jeho vnímáním v uchu.
4. stavební akustika - zkoumá dobré a nerušené podmínky poslouchatelnosti hudby a řeči v obytných místnostech a sálech.
5. elektroakustika - se zabývá záznamem, reprodukcí a šířením zvuku s využitím elektrického proudu.

Rozlišujeme tyto typy zvukového vlnění:

1. infrazvuk - $f < 16 \text{ Hz}$
2. zvuk slyšitelný lidským uchem - $f \in (16, 16000) \text{ Hz}$
3. ultrazvuk - $f > 16 \text{ kHz}$; slyšitelný pro některé živočichy (netopýr, delfin, pes, ...)

Hranice mezi jednotlivými druhy zvuku není ostrá a v různých publikacích jsou uvedeny různé hodnoty. Jedná se o průměrné hodnoty lidské populace. Jednotlivec se ale může (někdy i velmi markantně) od těchto průměrných hodnot odlišovat.

Zvuk zprostředkovává informace o okolním světě. Celý děj přenosu informací si lze představit jako přenosovou soustavu složenou z těchto základních částí:

1. zdroj zvuku
2. hmotné prostředí, kterým se zvuk šíří

Důležité je uvědomit si, že prostředí musí obsahovat nějaké částice, které zvuk přenášejí od jeho zdroje dál.

3. přijímač zvuku (lidské ucho, mikrofon, ...)

Zdroje zvuku

Zdrojem zvuku je chvění pružných těles, které se přenáší do okolního prostředí a vzbuzuje v něm zvukové vlnění.

Např. chvění ladičky vyvoláme úderem do jednoho jejího ramene. Ramena se rozkmitají příčně, podélně se pak přenáší chvění nožkou ladičky do rezonanční skříně, která chvění rezonancí zesílí. Ladička kmitá harmonicky s předem danou frekvencí.

Modernějším zdrojem zvuku je reproduktor připojený k elektronickému zdroji kmitání - k tónovému generátoru. Jedná se o zdroj elektrických harmonických kmitů, jejichž frekvenci lze měnit.

Zvuky lze obecně rozdělit do dvou základních skupin:

1. tóny (hudební zvuky) - grafem závislosti intenzity (hlasitosti) zvuku na čase je periodická funkce

Mezi tóny patří zvuky hudebních nástrojů, samohlásky lidské řeči, ...

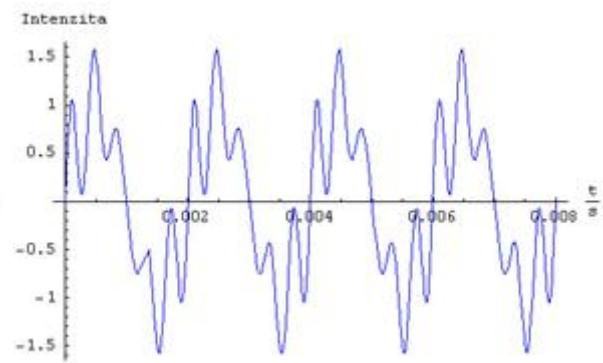
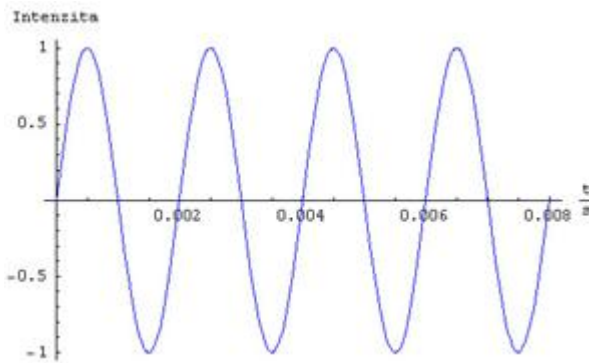
2. hluky (šumy, praskání, skřípání, ...) - grafem závislosti intenzity (hlasitosti) na čase není periodická funkce

Mezi hluky patří i souhlásky lidské řeči, ...

Tóny se pak dále ještě dělí na:

1. tóny jednoduché - mají harmonický průběh, tj. grafem závislosti intenzity (hlasitosti) zvuku na čase je funkce sinus (viz obr. 50)
2. tóny složené - jejich průběh je periodický, ale už se nejedná o sinusoidu (viz obr. 51). Zvuky obsahují kromě základní frekvence ještě i tzv. vyšší harmonické, na základě nichž dokážeme jednotlivé zdroje zvuku odlišit.

Samohlásky lidské řeči, zvuky hudebních nástrojů, ...



Rychlost zvuku



Zvuk se šíří ze zdroje pouze pružným látkovým prostředím libovolného skupenství. Nejčastěji se jedná o vzduch, kde se zvuk šíří jako podélné postupné vlnění: dochází k periodickému stlačování a rozpínání vzduchu, což se projevuje periodickými změnami tlaku vzduchu. Ve všech prostředích se zvuk šíří jako postupné podélné vlnění, i když v pevných látkách může vznikat vlnění příčné, které má ale jinou rychlost.

Dobrym „vodičem“ zvuku je beton, ocel, sklo, ...

Nejdůležitější charakteristikou prostředí z hlediska šíření zvuku je velikost rychlosti zvuku v daném prostředí. Již v 17. století se podařilo poměrně přesně určit velikost rychlosti zvuku ve vzduchu: pomocí výstřelu z děla umístěného ve známé vzdálenosti a měření doby, která uplyne mezi světelným zábleskem a zvukem výstřelu. Velikost rychlosti světla je vzhledem k velikosti rychlosti zvuku výrazně větší, a proto lze předpokládat, že světelný vjem zaznamenáme okamžitě, zatímco sluchový s určitým zpožděním.

Velikost rychlosti zvuku ve vzduchu závisí na složení vzduchu (nečistoty, vlhkost, ...), ale nejvíce na teplotě.

Ve vzduchu o teplotě t (ve $^{\circ}\text{C}$) má zvuk velikost rychlosti: $v = (331,82 + 0,61\{t\}) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Pro běžné teploty lze v řadě úloh počítat s hodnotou **$340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$** .

V kapalinách a pevných látkách je velikost rychlosti zvuku větší než ve vzduchu.

Velikost rychlosti šíření zvuku v daném materiálu závisí jednak na hustotě daného materiálu, ale také na jeho pružnosti. Pružnost je přitom ovlivněna velikostí vazebných sil, kterými jsou jednotlivé molekuly materiálu k sobě vázány.

Šíření zvuku je ovlivněno i překážkami, na něž zvukové vlnění dopadá - projevuje se odraz i ohyb zvukového vlnění. Zvláštním případem odrazu zvuku od rozlehlé překážky (skalní stěna, velká budova, ...) je ozvěna. Ta je důsledkem vlastnosti lidského sluchu, kterým rozlišíme dva po sobě následující zvuky, pokud mezi nimi uplyne doba alespoň **$0,1 \text{ s}$** . To je zhruba doba, kterou potřebujeme k vyslovení jedné slabiky a za kterou zvuk urazí (ve vzduchu) zhruba **34 m** , tj. **17 m** k překážce a **17 m** zpět k pozorovateli. Pokud je tedy pozorovatel (mluvčí) vzdálen od překážky **17 m** , vzniká jednoslabičná ozvěna. Při vzdálenosti větší může vznikat i víceslabičná ozvěna.

Při vzdálenosti od překážky menší než **17 m** už zvuky neodlišíme, částečně se překrývají a odražený zvuk splývá se zvukem původním. To se projevuje prodloužením trvání zvuku a jeho zesílením, což nazýváme dozvuk. S dozvukem je třeba počítat při projektování velkých místností, koncertních sálů, ... Dozvuk působí rušivě - snižuje srozumitelnost

řeči, zkrusluje hudbu, ... Proto se akustické vlastnosti sálů zlepšují členěním ploch stěn, závěsy, použitím materiálů pohlcující zvuk, ...

Restaurační efekt



Tzv. „restaurační efekt“ (*coctail party effect*) souvisí s dobou dozvuku. Tento efekt vzniká tam, kde se v uzavřeném prostoru shromažďuje větší počet lidí, z nichž většina současně hovoří. V důsledku hovoru více osob najednou vzniká v místnosti akustické pole s hladinou akustického tlaku (resp. hladina intenzity zvuku), která narušuje srozumitelnost vzájemné komunikace a nutí hovořící osoby zvyšovat hlas. Tím se však dále zvyšuje hladina akustického tlaku (hladina intenzity zvuku) v místnosti a jev se dále opakuje a nabývá na síle. Vzestup hladin se zastaví až po rezignaci části osob na vzájemnou komunikaci (hlavně na větší vzdálenost než jen s nejbližším sousedem) nebo je limitován možnostmi akustického výkonu lidského hlasu.

Tento nepříjemný a pro uživatele uzavřeného prostoru velice obtěžující efekt lze výrazně omezit obkladem stropu místnosti takovým materiálem, jehož koeficient pohltivosti má hodnotu alespoň 0,6 v celém intervalu frekvencí (250; 2000) Hz.

Podle hygienických předpisů je třeba takovýto obklad instalovat ve sborovnách a konferenčních místnostech, v učebnách pracovního vyučování, v učebnách techniky a administrativy, v tělocvičnách, ve školních jídelnách, v denních místnostech jeslí a mateřských škol, v hotelových halách, v restauracích, v obchodních domech, ...

Prostě všude tam, kde se schází velké množství lidí, kteří mezi sebou hovoří.

Zvuky

Člověk je po celý život obklopený zvuky. Můžu to být běžné zvuky městského prostředí, zvuky přírody, rozhovory či hudba. Zvuk je jedním z nejzákladnějších podnetů vnímání okolí.

Akustika je vedný odbor zabývající se vznikem zvukového vlnění, jeho šířením a jeho vnímáním. Akustika může být **fyzikální** – skúma spôsob vzniku a šírenia zvuku. Zaoberá sa jeho odrazom a pohlcovaním v rôznych materiáloch. Akustika môže byť aj **hudobná** – študuje hudobné zvuky a ich kombinácie vzhľadom na potreby hudby. Zvukom nazývame každé mechanické vlnenie hmotného prostredia, ktoré pôsobí na ľudské ucho a vyvoláva v ňom sluchový vnem. Je to mechanické vlnenie s frekvenciou v intervale od 16 Hz do 16 kHz. Mechanické vlnenie s nižšou frekvenciou sa nazýva **infrazvuk**, s vyššou **ultrazvuk**.

Dôležitou charakteristikou zvuku z hľadiska jeho šírenia je **rýchlosť zvuku**. Je ovplyvnená hlavne druhom a teplotou hmotného prostredia v ktorom sa šíri. Rýchlosť zvuku vo vzduchu závisí od zloženia vzduchu, nečistôt, vlhkosti ale najmä od jeho teploty. Můžeme ju vypočítať zo vzťahu: $v = (331,82 + 0,61 \{t\}) \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. V kvapalinách a pevných látkach je rýchlosť zvuku väčšia ako vo vzduchu.

V čistej vode sa zvuk šíri približne rýchlosťou $1482 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. Niektoré zo živočíchov žijúcich vo vode sa spoliehajú na zvukové vlny, ako na prostriedok komunikácie.

Rýchlosť zvuku v oceli je $5960 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Ozvena môže vzniknúť v uzavretom, ale aj vo voľnom priestore, a to vtedy ak dopadne k uchu pozorovateľa okrem priameho zvuku zo zdroja zvuk odrazený po dobu väčšiu ako je 0,1s. Ak má ucho samostatne vnímať odrazený zvuk musí mať dostatočnú intenzitu. Dobe 0,1s odpovedá dráha približne 34 m, to znamená, že ozvena môže nastať vtedy, ak je odrazná plocha vo vzdialenosti aspoň 17m od pozorovateľa.

Keď je prekážka bližšie, splyva odrazený zvuk s pôvodným. Můžeme pozorovať predĺženie trvania zvuku a to voláme **dozvuk**. S dozvukom treba počítať pri projektovaní veľkých miestností, kinosál. Mohol by vzniknúť rušivý dojem, skresľovanie hudby.

Ultrazvuk je mechanické vlnenie s frekvenciou vyššou ako 16 000 Hz. Naším sluchom ho nevnímame. Jeho vlnová dĺžka je veľmi malá, šíri sa prostredím priamočiara a platí preň zákon odrazu. Praktické využitie:

1) Vyšetrenie pomocou ultrazvuku. Medzi najnovšie technológie patrí 4D zobrazenie. Trojrozmerné obrázky sú snímané v reálnom čase. Napríklad plastická fotografia plodu má veľký emocionálny dopad na rodičov. Využíva sa aj pri vyšetrení kostí, vyšetrení srdca.

2) Sonar – je zariadenie, ktoré sa využíva pri navigácii, predpovedi počasia, sledovaní lietadiel a lodí. Princíp je založený na odraze zvukových vln od objektu, ktorý sledujeme. Může sa použiť aj na určenie hĺbky vody.

3) Echolokácia - používajú ju napríklad zvieratá, ktoré žijú prevažne tam kde je nedostatok svetla. Napríklad netopiere, delfíny ju používajú za účelom zisťovania prekážok a potravy.

4) Defektológia pomocou ultrazvuku - slúži na zisťovanie väd vo výrobkoch.

5) Niektoré zvieratá môžu vnímať ultrazvuk, pes počuje ultrazvukovú pišťalku.

Na obrázku vidíme záznam plodu pomocou ultrazvuku.

Infrazvuk je mechanické vlnenie s frekvenciou nižšou ako 16 Hz človek ho sluchovo nezachytí, ale centrálna nervová sústava ho vníma. Ovplyvňuje činnosť ľudského mozgu. Infrazvuk predstavuje rizikový faktor pre človeka. Veľmi nebezpečné sú infrazvuky s frekvenciou 8 Hz. Dochádza k rezonancii tkaniva a bunky sa môžu mechanicky poškodiť. Zneužitie u infrazvukových zbraní. Zdrojom infrazvuku je napríklad styk kolesa a koľajnice. Bránime sa tomu vhodnou úpravou, vystužením, vetvením koľajníc. Túto frekvenciu majú napríklad aj seizmické vlny pri zemetrasení. Slony komunikujú pomocou infrazvuku až na vzdialenosť 15 km. Veľmi dobre sa šíri vo vode. Značne citlivé na ne sú medúzy. Niektoré veľryby pomocou nich dokážu loviť korisť, tak že ju omráčia pomocou týchto zvukov.



Vzťahy pre Dopplerov jav (rôzne označenia)

Dopplerov princíp vysvetľuje zmenu pozorovanej frekvencie zvukových vln, ktorá je spôsobená vzájomným pohybom zdroja zvuku a pozorovateľa.

A) v , u , w

v rýchlosť zvuku

u rýchlosť pozorovateľa

w rýchlosť zdroja zvuku

f frekvencia, ktorú vysiela zdroj

f' frekvencia, ktorú vníma pozorovateľ

Pozorovateľ a zdroj sa pohybujú k sebe:

$$f' = f \cdot \frac{v+u}{v-w}$$

Pozorovateľ a zdroj sa pohybujú od seba:

$$f' = f \cdot \frac{v-u}{v+w}$$