

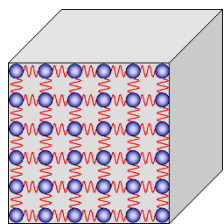
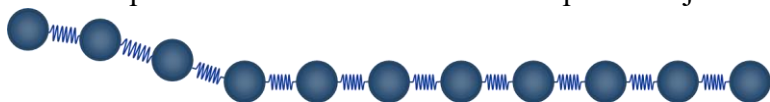
MECHANICKÉ VLNENIE

POSTUPNÉ MECHANICKÉ VLNENIE (1)

- vlnenie obilia
- zástava sa vlní
- vlnenie vodnej hladiny
- zvltnený piesok
- vlasy sa vlnia

Vlnenie – fyzikálny dej, pri ktorom sa kmitavý rozruch šíri prostredím

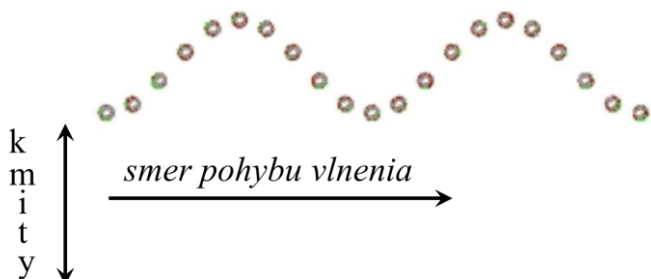
- príčinou mechanického vlnenia v prostredí je existencia väzbových síl medzi časticami prostredia



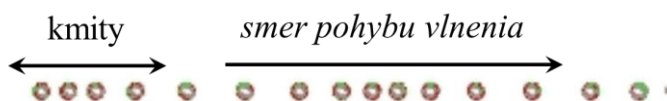
Pružné prostredie – je prostredie, v ktorom sa kmitanie jednej častice väzbovými silami prenáša na ďalšie častice

POSTUPNÉ MECHANICKÉ VLNENIE

A, **priečne** – dej, v ktorom častice kmitajú v smere kolmom na smer, v ktorom sa vlnenie šíri



B, **pozdlžne** – dej, pri ktorom častice kmitajú v smere, v ktorom sa vlnenie šíri



Vlnová dĺžka – vzdialenosť, do ktorej vlnenie dospeje za periódu T kmitania zdroja vlnenia

- vzdialenosť dvoch najbližších bodov, ktoré kmitajú s rovnakou fázou

$$\lambda = vT = \frac{v}{f}$$

λ - vlnová dĺžka

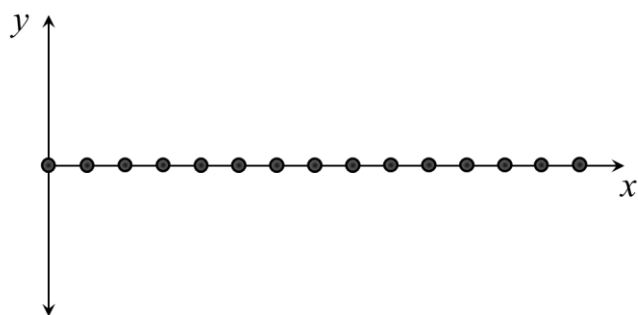
v - fázová rýchlosť vlnenia

T - perióda kmitania zdroja

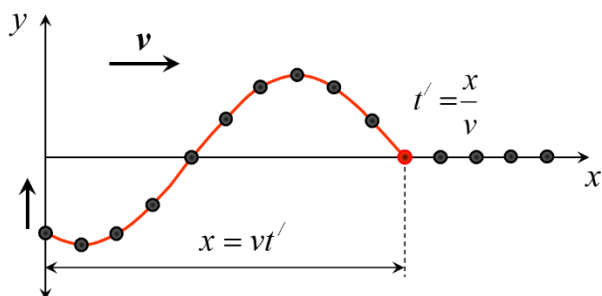
f - frekvencia zdroja

Pri postupnom mechanickom vlnení sa neprenáša hmota ale energia.

ROVNICA POSTUPNEJ MECHANICKEJ VLNY (2)



Rovnica kmitania zdroja vlnenia - bodu, ktorý v čase $t=0$ s má súradnice polohy $y = 0$ m, $x = 0$ m.



Bod vo vzdialenosti x od zdroja vlnenia začne kmitať o čas t' neskôr ako zdroj.

y_x

Rovnica postupnej mechanickej vlny

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

y - okamžitá výchylka bodu vo vzdialenosti x v čase t od začiatku vlnenia

y_m - amplitúda vlnenia

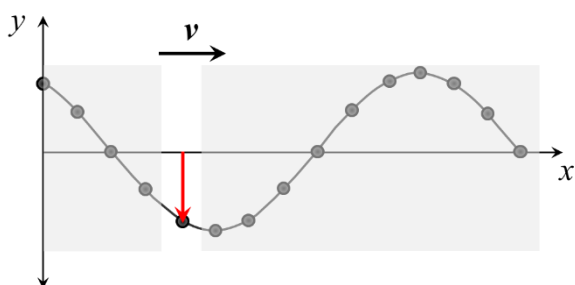
T - perióda vlnenia

λ - vlnová dĺžka vlnenia

$$\varphi = 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

φ - fáza vlnenia

Ak v rovnici je $t =$ konštantné a x sa mení, dostávame okamžité výchylky rôznych bodov v tom istom čase.



Ak v rovnici je $x =$ konštantné a t sa mení, dostávame okamžité výchylky toho istého bodu v rôznych časoch.

INTERFERENCIA VLNENIA (3)

Ak na vodnú hladinu dopadnú dva kamene, kruhové vlny sa navzájom prekrývajú. V miestach, kde súčasne prebieha viacero vlnení, nastáva skladanie, čiže interferencia vlnenia.



Interferencia alebo interferenčný jav alebo interferencia vlnenia je vo fyzike skladanie (superpozícia) niekoľkých koherentných vlnení rovnakého druhu do jedného výsledného vlnenia.

Pri skladaní vlnení používame tzv. princíp superpozície:

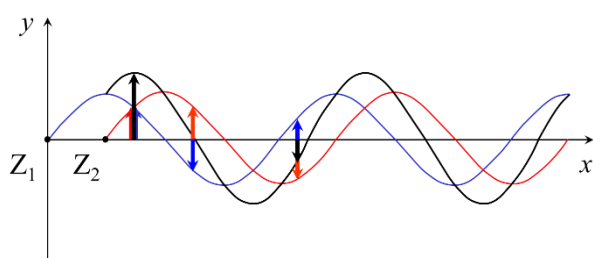
Ak teleso súčasne koná niekoľko harmonických pohybov rovnakého smeru s okamžitými výchylkami

$$y_1, y_2, y_3 \dots y_n,$$

je okamžitá výchylka výsledného kmitania

$$y_v = y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n.$$

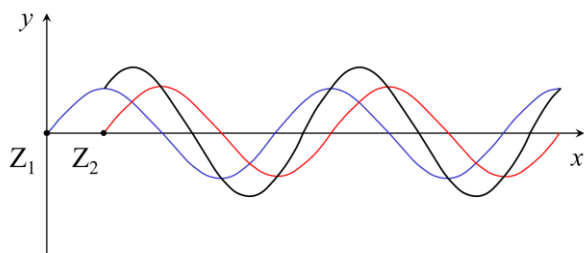
SKLADANIE VLNENÍ



$$y_v = y_1 + y_2$$

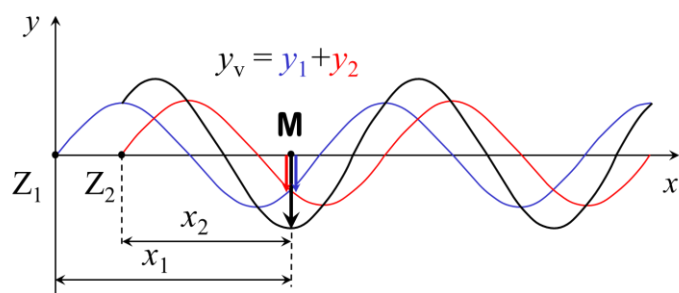
$$y_v = y_1 - y_2$$

Výchylky rovnakého smeru spočítavame.
Výchylky opačného smeru odpočítavame.



Vlastnosti interferujúcich vlnení:

- rovnaká vlnová dĺžka,
- rovnaká amplitúda,
- rovnaká postupná rýchlosť vlnenia.



$$y_v = y_1 + y_2$$

M

Výjadrenie okamžitých výchyliek bodu M



$$y_1 = y_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x_1}{\lambda} \right)$$

$$y_2 = y_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x_2}{\lambda} \right)$$

Fázový rozdiel interferujúcich vlnení

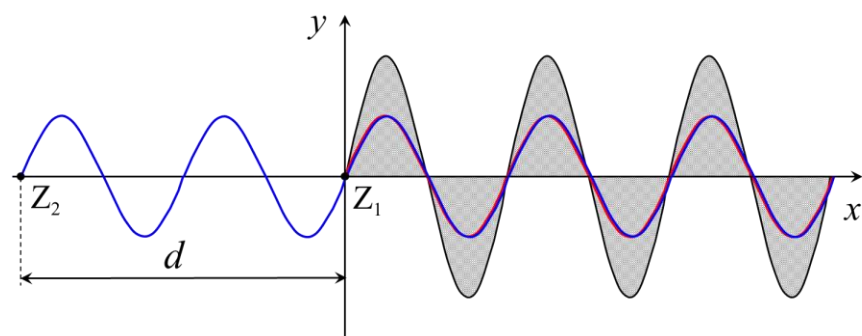
$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x_2}{\lambda} \right) - 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x_1}{\lambda} \right) = -\frac{2\pi}{\lambda} x_2 + \frac{2\pi}{\lambda} x_1 = \frac{2\pi}{\lambda} (x_1 - x_2)$$

Dráhový rozdiel interferujúcich vlnení

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} (x_1 - x_2) = \frac{2\pi}{\lambda} d \quad d - \text{dráhový rozdiel, je to vzdialenosť dvoch bodov, v ktorých majú obidve vlnenia rovnakú fázu.}$$

Fázový rozdiel je priamo úmerný dráhovému rozdielu. Ak je fázový rozdiel interferujúcich vlnení konštantný, sú vlnenia koherentné (z lat. cohaerere - súvisieť).

INTERFERENCIA VLNENÍ S ROVNAKOU FÁZOU



Dráhový rozdiel interferujúcich vlnení je $d = 0$ m.

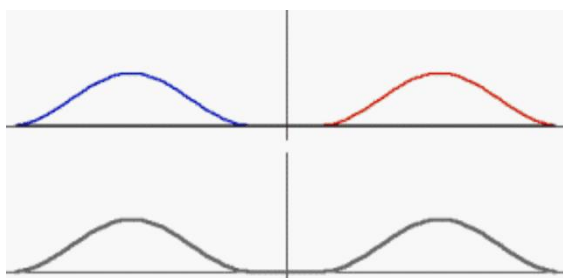
Dráhový rozdiel interferujúcich vlnení je rovný dvojnásobku polovice vlnovej dĺžky interferujúcich vlnení. (.)

Dráhový rozdiel interferujúcich vlnení je rovný štvornásobku polovice vlnovej dĺžky interferujúcich vlnení. (.)

$$d = 0 \quad d = 2 \frac{\lambda}{2} \quad d = 4 \frac{\lambda}{2}$$

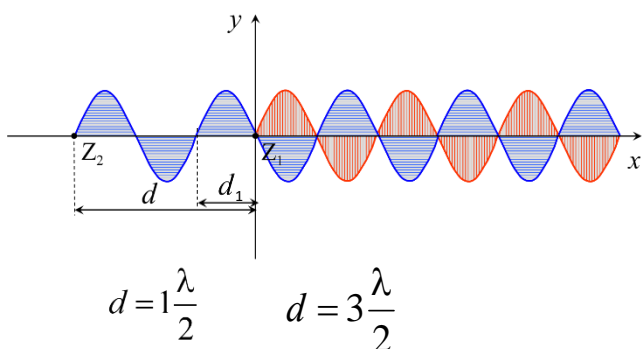
Ak sa dráhový rozdiel interferujúcich vlnení rovná párnemu počtu polvln, nastane zosilnenie vlnenia.

$$d = 2k \frac{\lambda}{2}, \text{ kde } k = 0, 1, 2, \dots$$



Výsledná amplitúda pri interferencii dvoch rovnakých vlnení je najväčšia v miestach, v ktorých sa obidve vlnenia stretávajú s rovnakou fázou.

INTERFERENCIA VLNENÍ S OPAČNOU FÁZOU

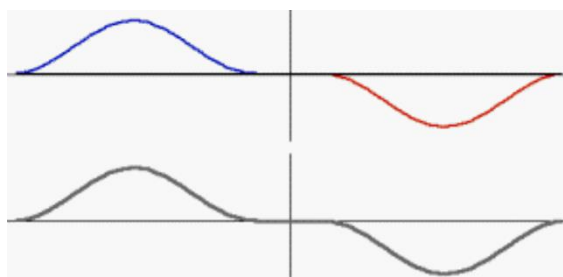


Dráhový rozdiel interferujúcich vlnení je rovný polovici vlnovej dĺžky interferujúcich vlnení.

$$d = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}, \text{ kde } k = 0, 1, 2, \dots$$

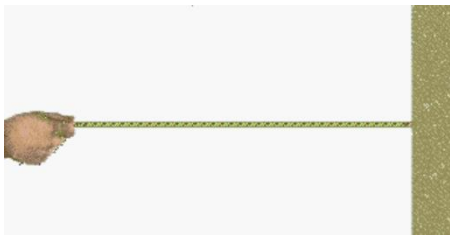
Ak sa dráhový rozdiel interferujúcich vlnení rovná nepárnemu počtu polvln, nastane zoslabenie vlnenia.

Výsledná amplitúda pri rovnakých vlnení je najmenšia v miestach, v vlnenia opačnú fázu.



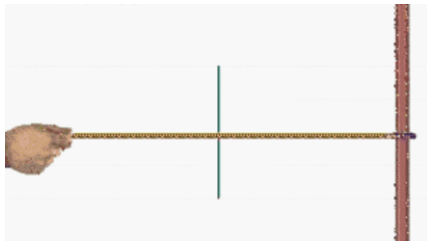
interferencii dvoch ktorých majú obidve

ODRAZ VLNENIA V RADE BODOV (4)



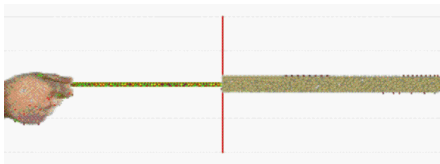
Šírenie vlnenia bodovým radom, ktorý je konci pevne uchytенý

Na pevnom konci nastáva odraz vlnenia s opačnou fázou.



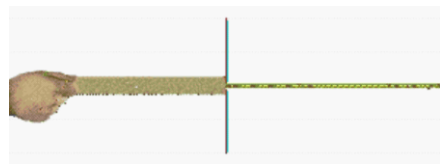
Šírenie vlnenia bodovým radom, ktorý je konci voľný

Na voľnom konci nastáva odraz vlnenia s rovnakou fázou.



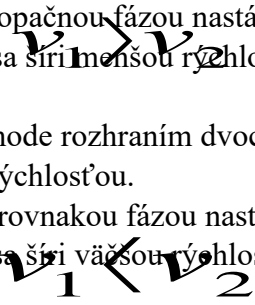
Pri prechode rozhraním dvoch prostredí, do prostredia, v ktorom sa šíri menšou rýchlosťou.

Odraz s opačnou fázou nastáva, ak vlnenie prechádza do prostredia, v ktorom sa šíri menšou rýchlosťou.



Pri prechode rozhraním dvoch prostredí, do prostredia, v ktorom sa šíri väčšou rýchlosťou.

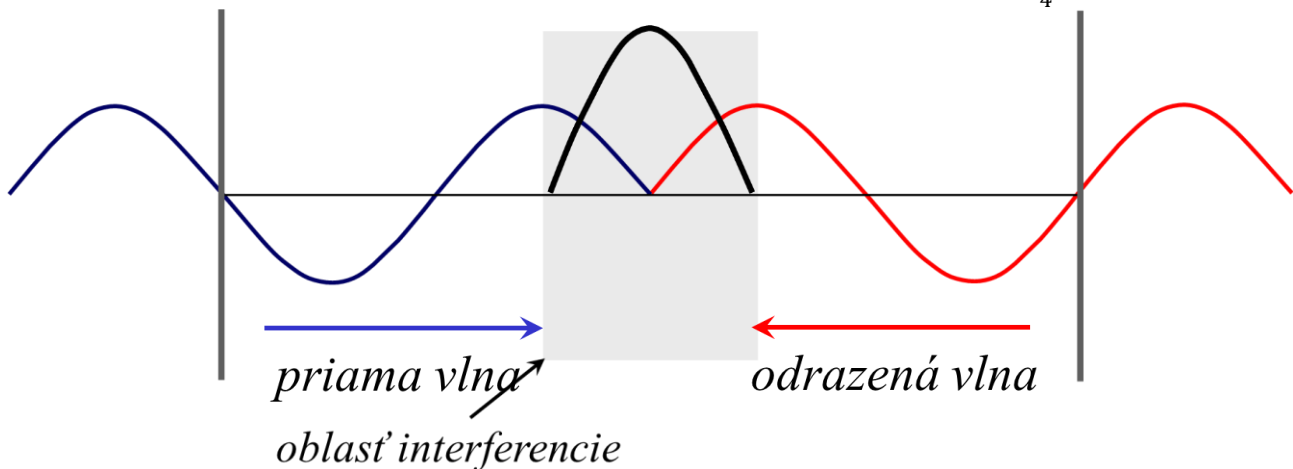
Odraz s rovnakou fázou nastáva, ak vlnenie prechádza do prostredia, v ktorom sa šíri väčšou rýchlosťou.



STOJATE VLNENIE (5)

Odraz vlnenia na konci bodového radu a jeho šírenie opačným smerom. Proti sebe postupujú vlnenia pôvodné a odrazené.

VLNENIA POSTUPUJÚCE V BODOVOM RADE PROTI SEBE ZA ČAS $T = \frac{1}{4}T$

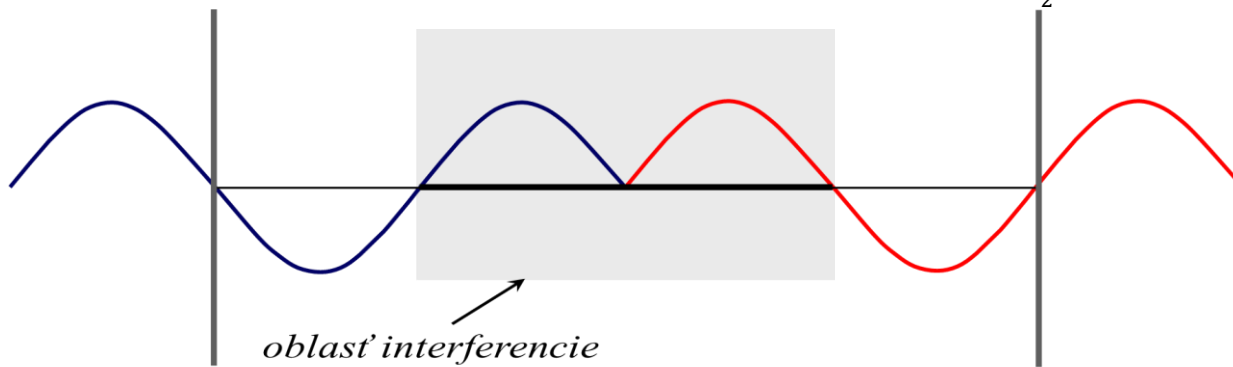


Vlnenia majú rovnaké amplitúdy a vlnové dĺžky.

Za štvrt' periódy vlnenia postúpia o štvrt' vlnovej dĺžky.

Ak sa priame a odrazené vlnenie sa stretáva s rovnakou fázou, vlnenie sa interferenciou zosilňuje.

VLNENIA POSTUPUJÚCE V BODOVOM RADE PROTI SEBE ZA ČAS $T = \frac{1}{2}T$



Vlnenia postúpia o jednu polovicu vlnovej dĺžky.

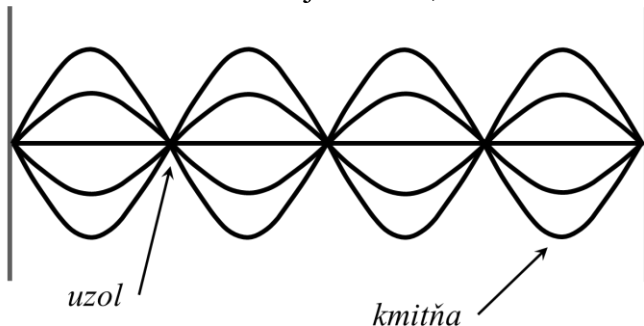
Ak sa priame a odrazené vlnenie sa stretáva s opačnou fázou, vlnenie sa interferenciou zoslabuje - ruší.

Pri interferencii proti sebe postupujúcich vlnení existujú v bodovom rade body, ktoré:



1. kmitajú s amplitúdou výchylky $y_{mv} = 2y_m$, v nich sa stretávajú vlnenia s rovnakou fázou.
2. nekmitajú, v nich sa stretávajú vlnenia s opačnou fázou.

Stojaté mechanické vlnenie je vlnenie, ktoré vznikne interferenciou dvoch proti sebe postupujúcich vlnení.

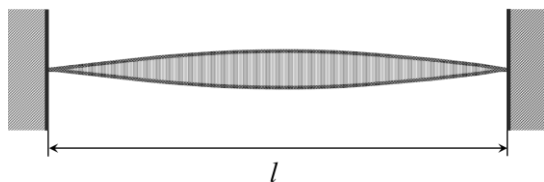


Uzly - body, ktoré pri stojatom vlnení nekmitajú.

Kmitne - body, ktoré kmitajú v maximálnou amplitúdou.

Porovnanie postupného a stojatého mechanického vlnenia	
Postupné vlnenie	Stojaté vlnenie
Body kmitajú s rovnakou amplitúdou výchylky.	Body kmitajú s rozličnou amplitúdou výchylky.
Body kmitajú s rozličnou fázou.	Body kmitajú s rovnakou fázou (medzi dvoma uzlami).
Prenáša sa mechanická energia.	Energia sa neprenáša, periodicky sa mení potenciálna energia na kinetickú a naopak.

CHVENIE MECHANICKÝCH SÚSTAV (6)



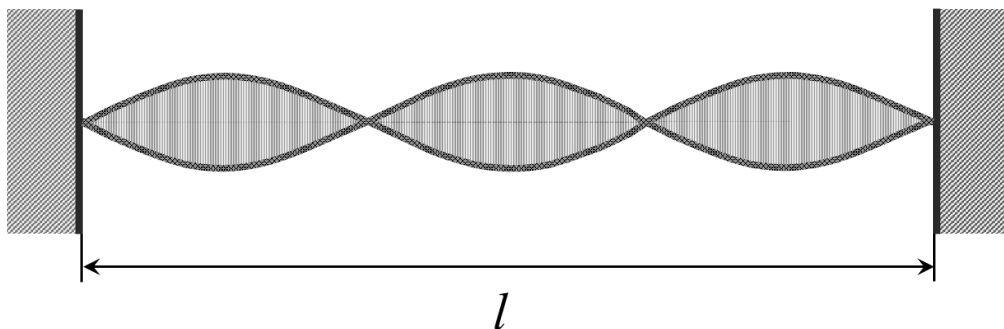
Ak rozkmitáme strunu na gitare, vznikne v nej stojaté mechanické vlnenie.

l - dĺžka struny

Struna je na oboch koncoch upevnená, v týchto miestach nekmitá - sú tam vždy uzly.

Vzťah medzi dĺžkou struny l a vlnovou dĺžkou λ stojatej mechanickej vlny.

Od uzla po uzol je polovica vlnovej dĺžky. $l = 1 \frac{\lambda}{2}$



$$l = 3 \frac{\lambda}{2}$$

Dĺžka struny je rovná celočíselným násobkom polovice vlnovej dĺžky stojatej mechanickej vlny.

$$l = k \frac{\lambda}{2}, \text{ kde } k = 1, 2, 3, \dots$$

FREKVENCIE KMITANIA STRUNY

$$f_z = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{2l}$$

f_z - základná frekvencia kmitania struny

$$f_k = k f_z, \text{ kde } k = 1, 2, 3, \dots$$

Vyššie harmonické frekvencie kmitania sú celočíselným násobkom základnej frekvencie.
 f_k - vyššie harmonické frekvencie

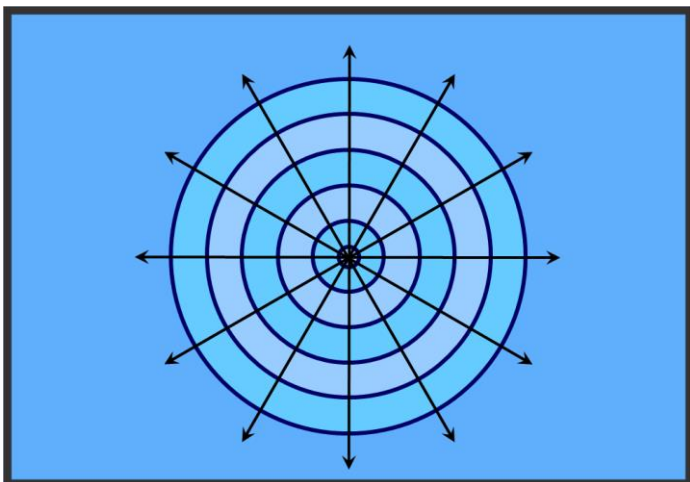
Stojaté vlnenie s istými frekvenciami v telesách nazývame chvenie.

Frekvencie sú určené - rozmermi telesa,

- spôsobom upevnenia telesa,
- rýchlosťou vlnenia v materiáli telesa.

VLNENIE V IZOTROPNOM PROSTREDÍM (7)

Izotropné prostredie - Má vo všetkých smeroch rovnaké fyzikálne vlastnosti. Rýchlosť vlnenia je vo všetkých smeroch rovnaká.

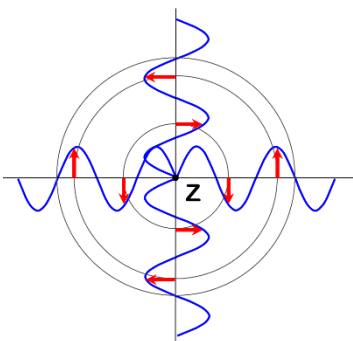


Má vo všetkých smeroch rovnaké fyzikálne vlastnosti.

Rýchlosť vlnenia je vo všetkých smeroch rovnaká.

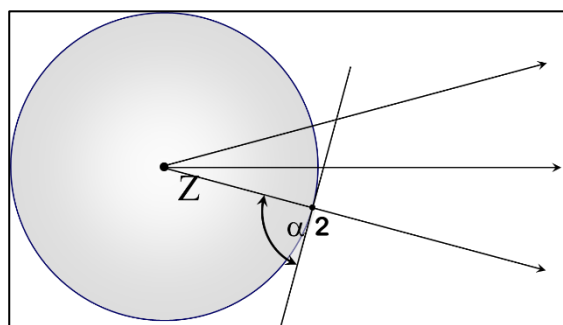
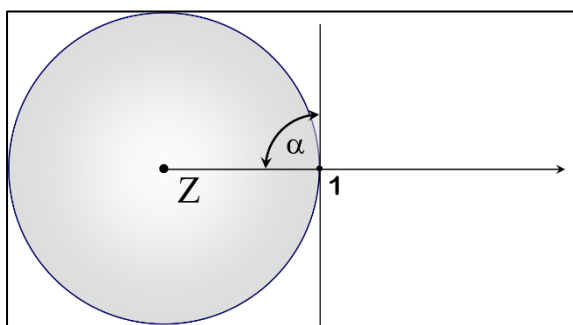
Vlnoplocha - je množina bodov, do ktorej sa vlnenie dostane z bodového zdroja za rovnaký čas.

VLNOPLOCHA



Množina bodov, v ktorých má vlnenie v istom časovom okamihu rovnakú fázu.

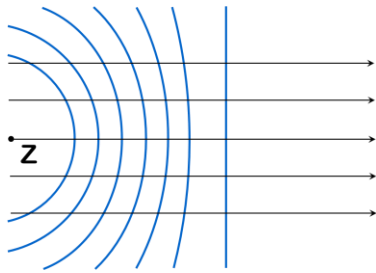
LÚČ



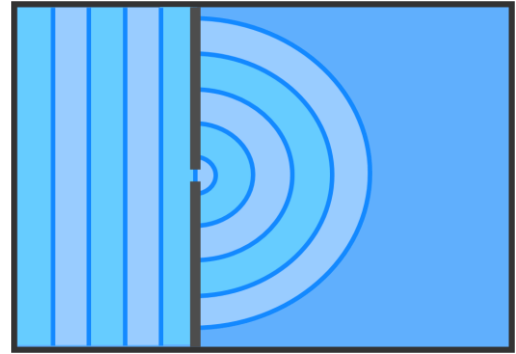
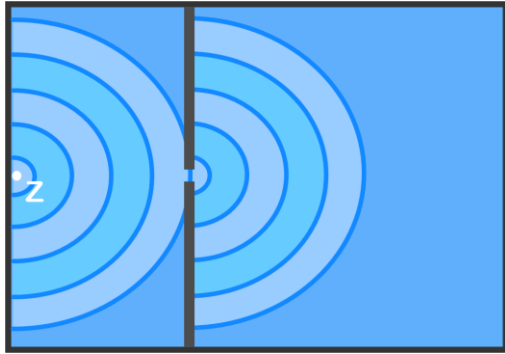
Lúč je kolmica na vlnoplochu v danom bode. Určuje smer šírenia vlnenia.

Lúče tvoria rozbiehavý zväzok vychádzajúci zo zdroja vlnenia.

ROVINNÁ VLNOPLOCHA



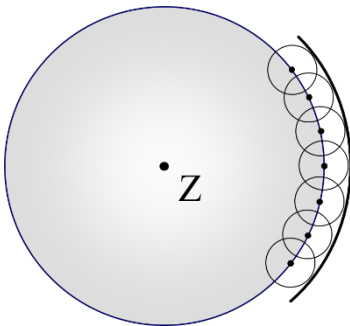
Vo veľkej vzdialenosti od zdroja vlnenia má vlnoplocha tvar roviny - rovinná vlnoplocha.



PREKÁŽKA NA VODNEJ HLADINE S OTVOROM

Otvory sa javia ako zdroje nového vlnenia.

ŠÍRENIE VLNENIA



Každý bod vlnoplochy je zdrojom elementárneho vlnenia. Obalová plocha elementárnych vlnoplôch je vlnoplocha v ďalšom časovom okamihu Δt .

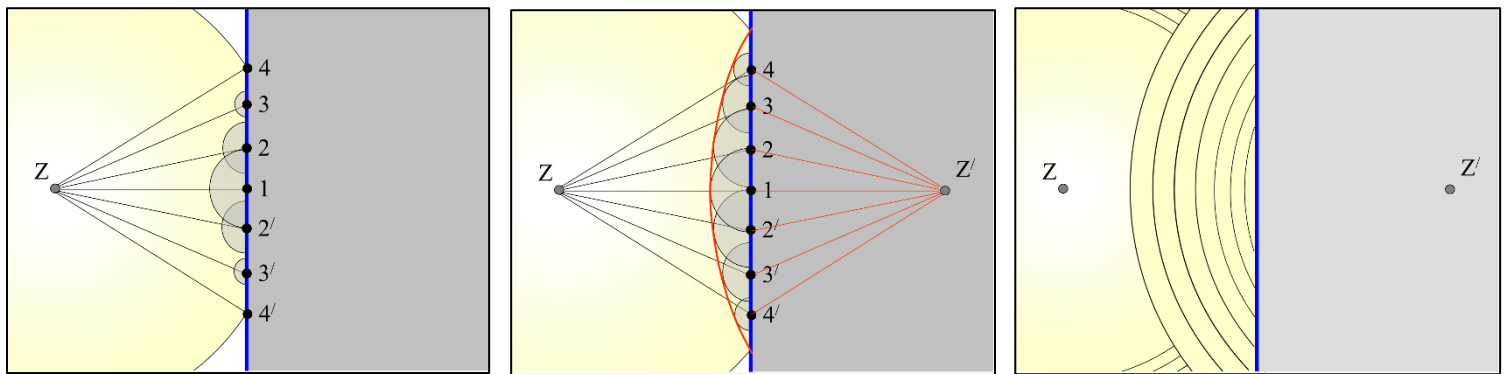
HUYGENSOV PRINCÍP

Každý bod vlnoplochy, do ktorého sa dostalo vlnenie v istom okamihu, môžeme pokladať za zdroj elementárneho vlnenia, ktoré sa z neho šíri v elementárnych vlnoplochách. Vlnoplocha v ďalšom časovom okamihu je vonkajšia obalová plocha všetkých elementárnych vlnoplôch.

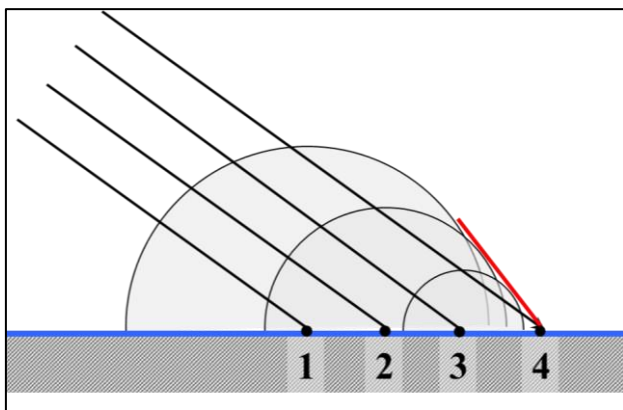
ODRAZ A LOM SVETLA (8)

Vlnenie, ktoré dopadá na rozhranie dvoch prostredí, sa môže:

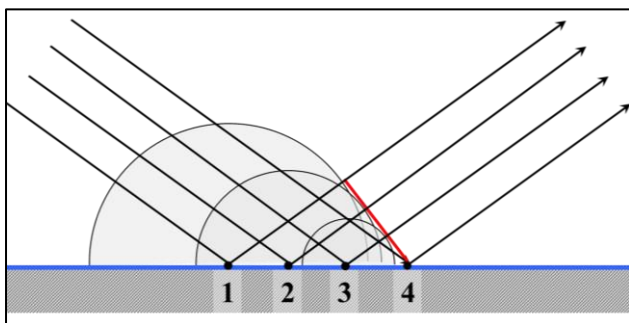
- odraziť od rozhrania,
- prejsť do druhého prostredia.



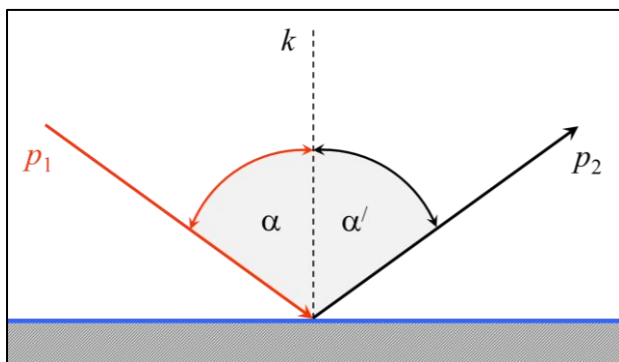
ODRAZ VLNENIA NA ROZHRAŇÍ PROSTREDÍ



Body 1, 2 a 3 sú zdroje elementárneho vlnenia.
 Vlnenie je v bode 4.
 Vonkajšia obalová plocha elementárnych vlnoplôch je vlnoplocha odrazeného vlnenia.



Kolmice na vlnoplochu po odraze vlnenia na rozhraní prostredí sú odrazené lúče.

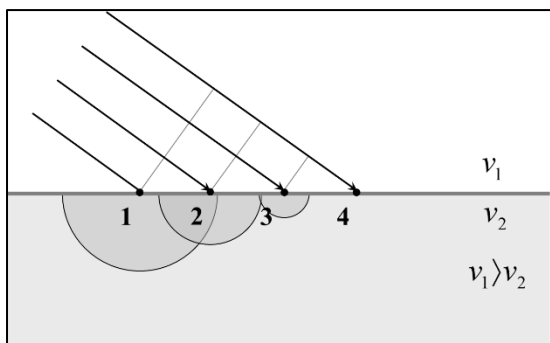


Uhol odrazu vlnenia sa rovná uhlu dopadu.
 Odrazený lúč leží v rovine dopadu.

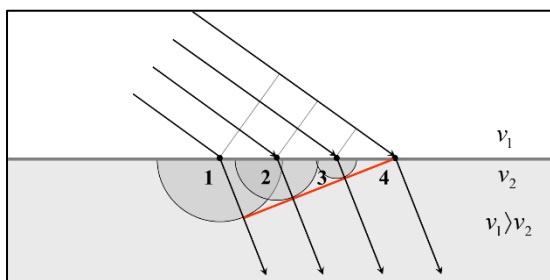
k - kolmica
 p_1 - dopadajúci lúč
 p_2 - odrazený lúč

$$\alpha' = \alpha$$

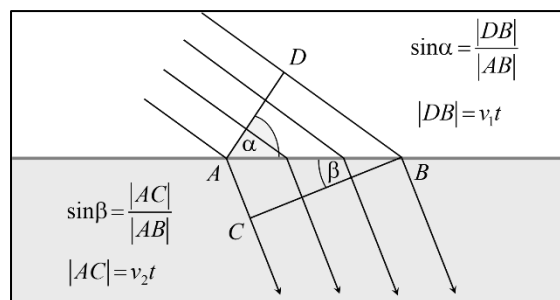
PRECHOD VLNENIA ROZHHRANÍM PROSTREDÍ



Body **1, 2 a 3** sú zdroje elementárneho vlnenia.
 Vlnenie sa dostalo do bodu **4**.
 Vonkajšia obalová plocha elementárnych vlnoploch je vlnoplocha lomeného vlnenia.



Kolmice na vlnoplochu sú lomené lúče.
 Prechodom vlnenia cez rozhranie prostredí, v ktorých sa vlnenie šíri rôznymi rýchlosťami, nastáva lom vlnenia.

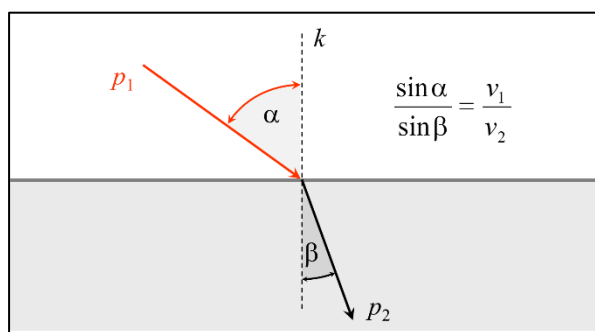


ODVODENIE ZÁKONA LOMU

Z pravouhlých trojuholníkov *ABD* a *ABC* vyplýva...

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2}$$

ZÁKON LOMU



Pomer sínusu uhla dopadu k sínusu uhla lomu je pre dané prostredia veličina stála a rovná sa pomeru rýchlostí v obidvoch prostrediach.

Odvodenie zákona lomu

$$|DB| = v_1 t \quad \sin \alpha = \frac{|DB|}{|AB|} \quad \Rightarrow \quad |DB| = |AB| \sin \alpha$$

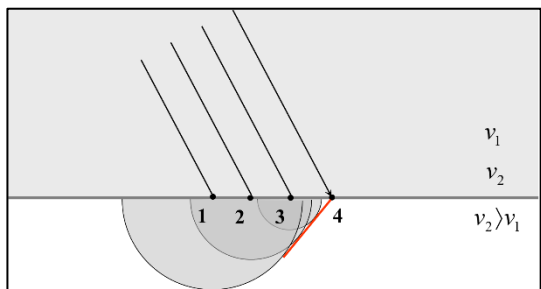
$$|AC| = v_2 t \quad \sin \beta = \frac{|AC|}{|AB|} \quad \Rightarrow \quad |AC| = |AB| \sin \beta$$

Delením rovníc dostaneme:

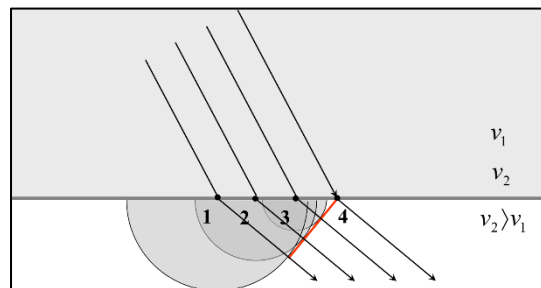
$$\frac{|DB|}{|AC|} = \frac{|AB| \sin \alpha}{|AB| \sin \beta} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \quad \frac{|DB|}{|AC|} = \frac{v_1 t}{v_2 t} = \frac{v_1}{v_2}$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2}$$

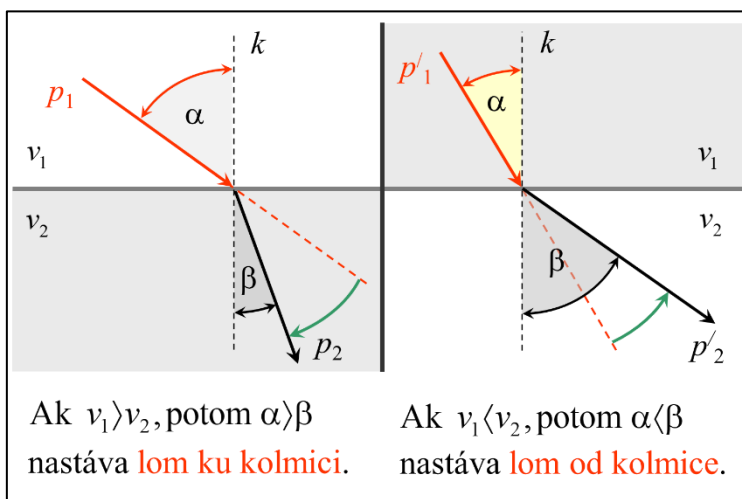
PRECHOD VLNENIA ROZHHRANÍM PROSTREDÍ



Vonkajšia obalová plocha elementárnych vlnoplôch je vlnoplocha lomeného vlnenia.

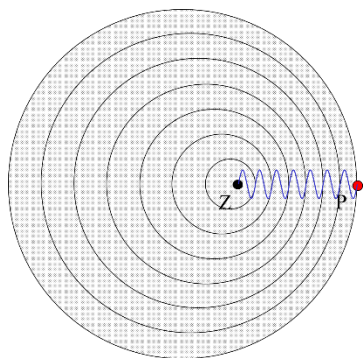


Kolmice na vlnoplochu sú lomené lúče. Nastáva lom vlnenia.

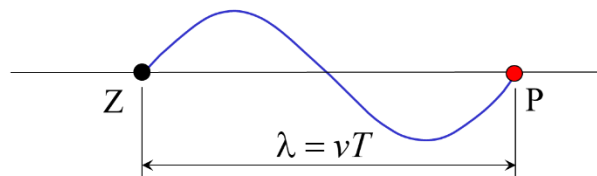


DOPLEROV JAV (9)

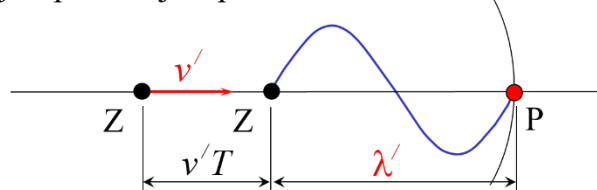
Zdroj vlnenia sa približuje k pozorovateľovi



Zdroj a pozorovateľ v pokoji



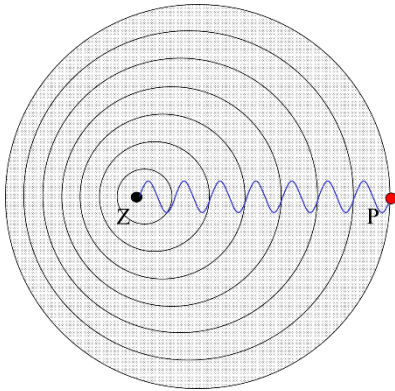
Zdroj sa približuje k pozorovateľovi



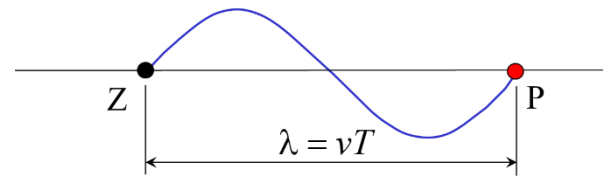
$$\lambda' = \lambda - v'T = vT - v'T = (v - v')T$$

Pozorovateľ zistí menšiu λ a teda väčšiu frekvenciu.

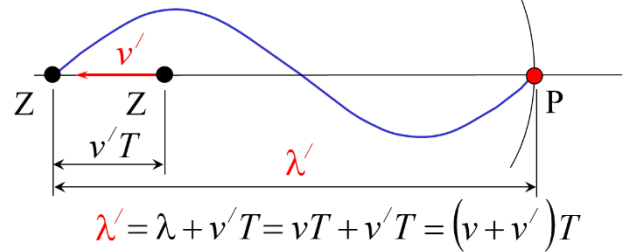
Zdroj vlnenia sa vzd'aluje od pozorovateľa



Zdroj a pozorovateľ v pokoji



Zdroj sa vzd'aluje od pozorovateľa



Pozorovateľ zistí väčšiu λ a teda menšiu frekvenciu.

DOPPLEROV JAV

Ak sa oscilátor, ktorý je zdrojom vlnenia, a pozorovateľ navzájom pohybujú:

- pri vzájomnom približovaní je frekvencia vlnenia prijímaného pozorovateľom vyššia.

$$f_p = \frac{v}{\lambda_p} = \frac{v}{\lambda - \lambda'} = \frac{v}{\lambda - vT} = \frac{v}{\frac{v}{f_z} - \frac{v'}{f_z}} = \frac{v}{v - v'} f_z$$

- pri vzájomnom vzd'alovaní je frekvencia vlnenia prijímaného pozorovateľom menšia.

$$f_p = \frac{v}{\lambda_p} = \frac{v}{\lambda + \lambda'} = \frac{v}{\lambda + vT} = \frac{v}{\frac{v}{f_z} + \frac{v'}{f_z}} = \frac{v}{v + v'} f_z$$

f_p - frekvencia prijímaná pozorovateľom
 f_z - frekvencia vysielaná zdrojom
 v - fázová rýchlosť vlnenia
 v' - rýchlosť zdroja voči pozorovateľovi

Peiklady praktického využitia Dopplerovho javu:

- platí aj pre elektromagnetické vlnenie - svetlo, určenie rýchlosti, ktorou sa hviezda od pozorovateľa vzd'aluje alebo ktorou sa k pozorovateľovi približuje
- uvedomenie si subjektívnosti počutia výšky tónu.

ZVUK A JEHO VLASTNOSTI (9)

- Zvuk** - je každé mechanické vlnenie hmotného prostredia, ktoré pôsobí na ľudské ucho a vyvoláva v ňom sluchový vnem,
- je mechanické vlnenie s frekvenciou v intervale od 16 Hz do 16 000 Hz alebo 20 – 20 000 Hz

Akustika - zaoberá sa fyzikálnymi dejmi pri prenose zvuku.

Fyzikálna akustika - študuje fyzikálne podmienky vzniku zvuku v zdrojoch zvuku

- šírenie a absorpciu zvuku v rôznych prostrediach.

Fyziologická akustika - zaoberá sa vznikom zvuku v hlasovom orgáne človeka a vnímaním zvuku sluchom.

Hudobná akustika - skúma zvuky z hľadiska potrieb hudby.

PRENOS INFORMÁCIÍ V SÚSTAVE

Zdroj - reproduktor, ladička, hlasivky...

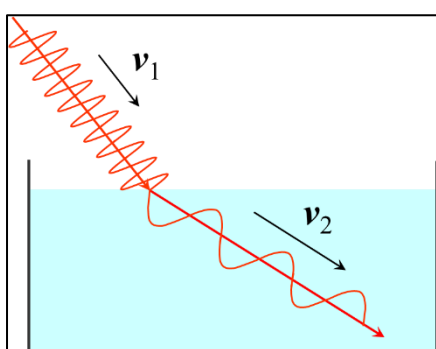
Prostredie - vzduch, voda...

Prijímač - mikrofón, ucho...

Zdroj zvuku - neprestajne kmitajúce telesá, Hlasivky

- chvenie pružných telies. Struny hudobných nástrojov, vzduchové stĺpce...

Zvuk sa šíri len pružným prostredím ľubovoľného skupenstva ako postupné pozdĺžne vlnenie.

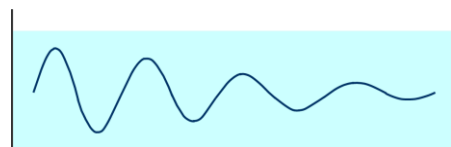


$$\lambda_1 = \frac{v_1}{f}$$

$$\lambda_2 = \frac{v_2}{f}$$

$$f = \text{konšt.}$$

V rôznych látkach sa zvuk šíri rôznou rýchlosťou. Pri prechode zvuku do iného prostredia sa mení rýchlosť a vlnová dĺžka, frekvencia sa nemení.



V prostredí nastáva pohlcovanie - absorpcia zvuku.

Zvuky môžu byť – periodické (ladička, klarinet, oscilogram hlásky „a“)

- neperiodické (oscilogram prasknutia)

Periodické zvuky sú hudobné zvuky alebo tóny:

- jednoduchý tón, majú harmonický priebeh

- zložený tón. nemajú harmonický priebeh

Medzi kmitaním zdroja zvuku a zvukovým vnemom sú nasledovné súvislosti:

- amplitúde kmitania zodpovedá hlasitosť,

- frekvencii kmitania zodpovedá výška tónu,

- zdroju vlnenia zodpovedá farba tónu.

Hlasitosť, výška tónu a farba tónu vystihujú subjektívne vlastnosti zvuku.

Výška zvuku – *absolútna* – určená frekvenciou tónu

- *relatívna* – určená polomerom frekvencie daného tónu k frekvencii základného tónu

Farba zvuku - Zložené tóny vznikli superpozíciou chvení s rôznymi frekvenciami.

Základná - najnižšia frekvencia, určuje výšku zvuku.

Vyššie harmonické tóny s rôznymi amplitúdami, ale podstatne menšími ako u základného tónu, určujú farbu zvuku.

Hlasitosť zvuku

Zvuk - periodické tlakové zmeny vlniaceho sa prostredia.

Prah počuteľnosti - $\Delta p = 10^{-5}$ Pa - najnižšie hodnoty zmeny tlaku, ktoré registruje ľudské ucho.

Prah bolesti - $\Delta p = 10^2$ Pa - najvyššie hodnoty zmeny tlaku, ktoré registruje ľudské ucho.

Intenzita zvuku - zvukový výkon pripadajúci na plošnú jednotku.

$$I = \frac{P}{S} \quad [I] = \frac{[P]}{[S]} = 1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

I - intenzita zvuku

P - výkon zvukového vlnenia

S - plocha, ktorou vlnenie prechádza

Pre tón s frekvenciou $f = 1000$ Hz:

Zmene tlaku $\Delta p = 10^{-5}$ Pa odpovedá intenzita

$I = 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Zmene tlaku $\Delta p = 10^2$ Pa odpovedá intenzita

$I = 1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

B - hladina intenzity zvuku vyjadrená v dB (decibel).

$I = 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ odpovedá $B = 0$ dB

$I = 1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ odpovedá $B = 120$ dB

Vo vzduchu $v_{0^\circ\text{C}} = 331,82 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Vo vode $v_{8^\circ\text{C}} = 1435 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Vo vode $v_{15^\circ\text{C}} = 4980 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Pre rýchlosť zvuku vo vzduchu pri inej teplote platí:

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

t - teplota vzduchu v $^\circ\text{C}$

Rýchlosť zvuku - závisí od vlastností daného prostredia, v ktorom sa zvuková vlna šíri.

Ozvena - vzniká, ak sa zvukové vlnenie odrazí od prekážky vzdialenej 17 m a viac.

Sluchom odlišíme dva zvuky, ak medzi nimi uplynie časový interval $\Delta t = 0,1$ s.

Dozvuk - ak pôvodný zvuk a odrazený zvuk splývajú, potom sa predlžuje trvanie zvuku.

Vzniká, ak sa vlnenie odrazí od prekážky vzdialenej menej ako 17 m.