

4. Mechanické vlnenie



Prečo človek, ktorý je ponorený pod hladinou mora počuje skôr prichádzajúci motorový čln ako človek, ktorý je nad hladinou?

4.1 Mechanické vlnenie

4.2 Rýchlosť vlnenia

4.3 Rovnica postupnej vlny

4.4 Stojaté vlnenie

V tejto kapitole sa budeme zaoberať mechanickým vlnením. Vysvetlíme ako vzniká, odpovieme na otázku v akom prostredí sa šíri a čo je jeho zdrojom. Zadefinujeme a odvodíme veličiny, ktoré toto vlnenie popisujú. Vysvetlíme, aký je rozdiel medzi postupným a stojatým vlnením.

Použité symboly a označenia v texte:

Podfarbením je uvedená slovná definícia veličiny, vzorec pod podfarbeným textom je matematickým vyjadrením definovanej veličiny.

V zdôraznenom rámečku sa nachádza odvodený vzťah (matematický zápis a slovná formulácia).

Aplet *Odkaz na aplet*



Odkaz na video



Upozornenie na úpravy v texte a iné dôležité informácie.

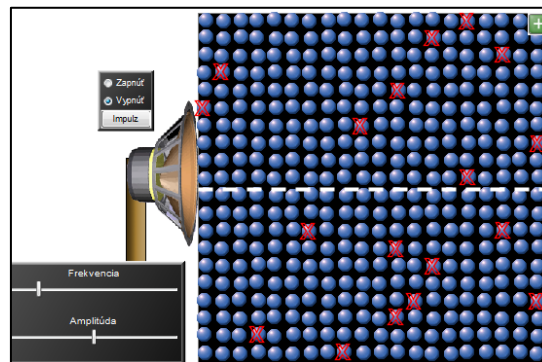
4. 1 Mechanické vlnenie

S vlnením sa bežne stretávame v našom živote. Napríklad na hladine jazera môžeme pozorovať vlny, ktoré sa tvoria pod vplyvom vetra. V dôsledku rozkmitania sa častíc vzduchu sa šíria zvukové vlny, ktoré počujeme alebo v dôsledku pohybov zemskej platne dochádza k vzniku seizmických vln. Spomenuté príklady vlnenie nazývame mechanické vlnenie. Existuje aj elektromagnetické vlnenie, ktorého príkladom sú rádiové vlny, mikrovlny alebo viditeľné svetlo.



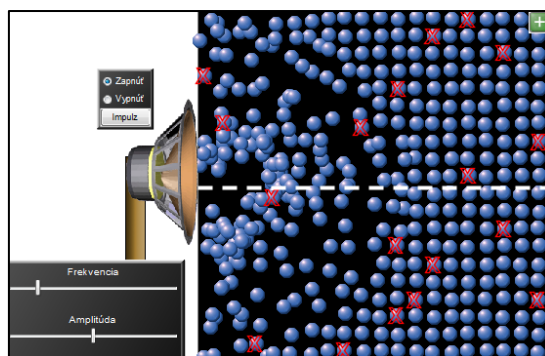
My sa v našich úvahách budeme zaoberať len mechanickým vlnením, pričom vzťahy a zákonitosti, ktoré odvodíme budú platiť aj pre elektromagnetické vlnenie.

Najprv vysvetlíme ako vzniká mechanické vlnenie. Uvažujme, že máme reproduktor, ktorý bude kmitať s určitou frekvenciou. Budeme skúmať ako sa bude správať okolie (molekuly vzduchu) okolo reproduktora. Pokiaľ je reproduktor v pokoji (obr. 4.1), molekuly vzduchu budú v pokoji. V skutočnosti to neplatí, molekuly vzduchu vykonávajú tepelný pohyb, kmitajú okolo svojich rovnovážnych polôh. Tento pohyb nevzniká kmitaním reproduktora, preto ho budeme zanedbávať.



Obr. 4.1

Keď začne reproduktor kmitať, bude jeho membrána narážať do molekúl vzduchu, čo spôsobí, že sa rozkmitajú a začnú narážať do ďalších molekúl (obr. 4.2).



Obr. 4.2

Takto sa kmitavý pohyb prenáša z membrány reproduktora prostredníctvom kmitania molekúl (cez ich zrážky) do okolia. Samotné molekuly sa v prostredí nepremiestňujú, len kmitajú okolo svojich rovnovážnych polôh s amplitúdou a frekvenciou zdroja. Prostredím sa začne šíriť vlna. Tento proces, prostredníctvom ktorého dochádza k šíreniu kmitania prostredím, nazývame **mechanické vlnenie**. Mechanické vlnenie patrí medzi najznámejšie vlnenie.

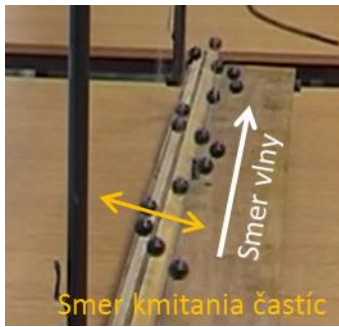
Aplet Na šírenie mechanického vlnenia pozrite aplet zo zdroja:
<http://people.tuke.sk/zuzana.gibova/aplet7.htm>

Všetky príklady mechanického vlnenia, ktoré boli spomenuté v úvode, majú rovnaké vlastnosti. Riadia sa Newtonovými pohybovými zákonmi a šíria sa len v látkovom prostredí. Pod **látkovým prostredím** rozumieme prostredie, ktoré pozostáva z veľkého počtu častíc, medzi ktorými existuje vzájomné silové pôsobenie (väzba). Príkladom takého prostredia je voda, vzduch alebo hornina. Mechanické vlnenie sa na rozdiel od elektromagnetického vlnenia nešíri vo vákuu.

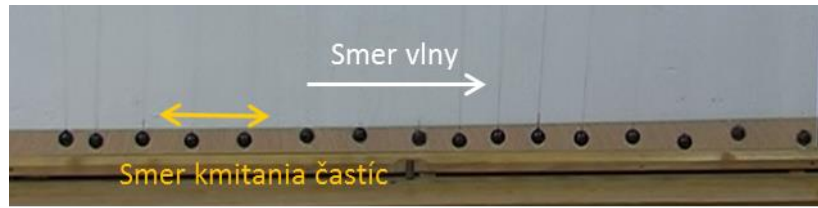
Zdrojom vlnenia je kmitavý pohyb (napr. kmitanie reproduktora, ladičky, struny), zdroj vlnenia podobne ako častice prostredia sa nepremiestňujú s vlnením v prostredí, ale kmitá okolo svojej rovnovážnej polohy. Vlnenie, pri ktorom sa rozruch (kmitanie) prenáša na ďalšie body nazývame **postupné vlnenie**.

Podľa toho ako kmitajú častice prostredia vzhľadom na smer šírenia sa vlnenia rozoznávajú dva druhy postupného vlnenia:

- a) postupne priečne vlnenie – pri ktorom častice kmitajú kolmo na smer šírenia sa vlnenia (obr. 4.3 a),
- b) postupne pozdĺžne vlnenie – pri ktorom častice kmitajú rovnobežne so smerom šírenia sa vlnenia (obr. 4.3 b). V tomto prípade vznikajú zhustenia a zriedenia častíc v smere šírenia sa vlnenia.



a)



b)

Obr. 4.3



Na druhy mechanického vlnenie pozrite videá zo zdroja:

<http://web.tuke.sk/feikf/video/mechanicke-vlnenie---sirenie-vlny.html>

<http://www.fch.vut.cz/lectures/video/> - video: P16a_Mechanicke_vlneni.mpg

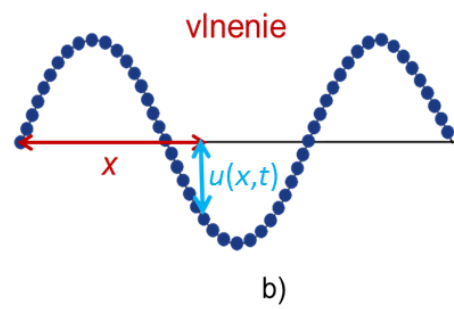
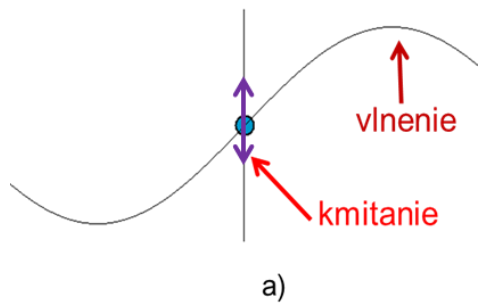
Kmitavý pohyb súvisí s vlnením. *Kmitanie* je pohyb telesa po priamke okolo rovnovážnej polohy (obr. 4.4 a). *Vlnenie* je prenos kmitavého pohybu zdroja prostredím. (Obr. 4.4 b)

Výchylka kmitavého pohybu jednej častice prostredia, ktorá kmitá v danej vzdialenosti od zdroja je funkciou času $x = f(t)$, napríklad je daná ako výchylka netmeného harmonického kmitavého pohybu (obr. 4.4 c).

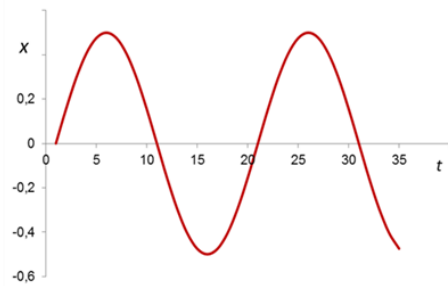
Pri vlnení vlna nadobúda v rôznych časoch rôzne tvary. Tvar vlny je vytvorený množinou častíc, ktoré sú v danom čase v rôznych výchylkách (obr. 4.4 b). Potom pri popise výchylky ľubovoľnej častice vlny musíme brať do úvahy jej polohu (vzdialenosť od zdroja x), preto výchylka vlnenia je funkciou času aj vzdialenosti $u = f(x, t)$.



Zapamätajte si, že výchylku vlnenia budeme označovať $u(x, t)$.

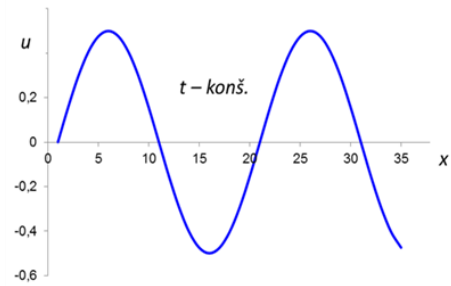


Výchylka kmitania $x = f(t)$



c)

Výchylka vlnenia $u = f(x, t)$



d)

Obr. 4.4

Kontrolka:

Vyberte rovnicu, ktorá popisuje postupné vlnenie.

a) $u(x,t) = 8 \sin(2\pi t)$,

b) $x = 3 \cos(2\pi t + 5)$,

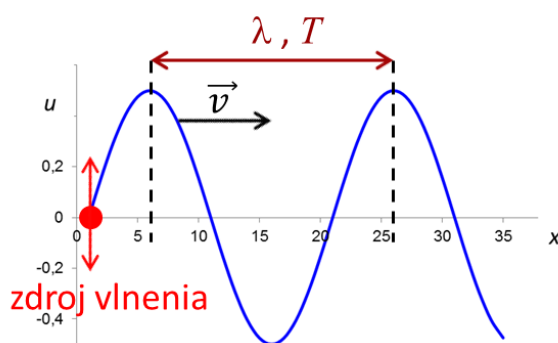
c) $x = 2 \cos(\omega t)$,

d) $u(x,t) = 5 \sin(6t + 3x)$.

4.2 Rýchlosť vlnenia

Vo všeobecnosti, rýchlosť vlnenia závisí od vlastností prostredia, v ktorom sa šíri. Rýchlosť mechanického vlnenia budeme definovať za ideálnych podmienok v tzv. **izotropnom prostredí**, pod ktorým rozumieme prostredie s rovnakými vlastnosťami v celom svojom objeme (napr. sa nemení tlak, teplota a hustota prostredia). Navyše predpokladajme, že to prostredie je pružné.

Nech v tomto prostredí kmitá zdroj vlnenia, kolmo na smer šírenia sa vlny podľa harmonickej funkcie sínus, ktorý sa nachádza v počiatku súradnicového systému. Potom sa prostredím začne šíriť vlna s frekvenciou a amplitúdou zdroja, ktorá bude mať sínusový priebeh (obr. 4.5).



Obr. 4.5

Aby sme mohli definovať rýchlosť, ktorou sa vlna šíri, zavedieme novú veličinu, ktorú nazveme **vlnová dĺžka**. Budeme pod ňou rozumieť najkratšiu vzdialenosť medzi dvoma bodmi, ktoré kmitajú s rovnakou fázou (napr. maximum vlnenia – amplitúda). Je zrejme, že túto vzdialenosť vlnenie prejde za dobu, ktorá je rovná perióde vlnenia. Vlnenie sa šíri v izotropnom prostredí, preto sa rýchlosť vlnenia nemení. Vlnenie vykonáva rovnomerný priamočiary pohyb v smere osi x . Tento poznatok využijeme pri definovaní rýchlosti.

Rýchlosť (fázová rýchlosť), ktorou sa šíri rovnaká fáza kmitavého pohybu, je definovaná ako podiel vlnovej dĺžky λ a periódy vlnenia = perióda kmitania častíc T

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f. \quad (1)$$

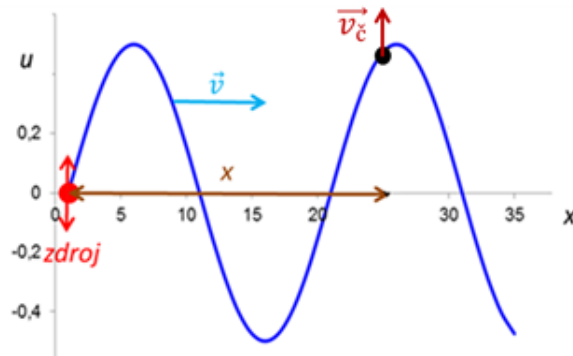


Pri vyjadrení rýchlosti sme vychádzali z poznatku, že rýchlosť rovnomerného priamočiareho pohybu je daná $v = \frac{s}{t}$.

Pomocou rýchlosti je možné definovať **vlnovú dĺžku** ako dráhu, ktorú prejde fáza vlny počas jednej periódy

$$\lambda = vT. \quad (2)$$

Z definície (1) vyplýva, že rýchlosť ktorou sa šíri vlnenie v izotropnom prostredí je konštantná a má smer šírenia sa vlnenia. Neplatí to, ale pre rýchlosť častíc prostredia, ktoré vlnenie prenášajú. Ich rýchlosť sa periodicky mení s časom. V prípade, že zdroj kmitá harmonicky, mení sa rýchlosť častíc tiež podľa harmonickej funkcie. Smer rýchlosti kmitania častíc je rovnaký ako smer, ktorým kmitá zdroj. V našom prípade budú častice kmitať kolmo na smer šírenia sa vlnenia (obr. 4.6.).



Obr.4.6

Kontrolka:

Vyberte správnu odpoveď. Rýchlosť šírenia sa vlnenia izotropným prostredím

- a) má smer kmitania zdroja,
- b) sa mení s časom,
- c) je konštantná.

Rýchlosť šírenia sa vlnenia reálne závisí od prostredia v ktorom sa šíri. Napríklad zvukové vlny sa šíria vo vode s rýchlosťou $v = 1402 \text{ m/s}$ a v hélíu s rýchlosťou $v = 965 \text{ m/s}$ pri 0° C .

To, či sa bude v danom prostredí šíriť priečne alebo pozdĺžne vlnenie ovplyvnia tiež vlastnosti daného prostredia. Platí, že *pozdĺžne vlnenie* vyvoláva zmenu objemu danej látky, zatiaľ čo *priečne vlnenie* vyvoláva zmenu jej tvaru.

Pevné látky sa bránia zmene tvaru a objemu. Pri natáhovali alebo skrúcaní cítime napätie v látke. Preto sa bude v pevných látkach šíriť pozdĺžne aj priečne vlnenie.



Na základe týchto poznatkov môžeme odpovedať na otázku z úvodu kapitoly. Rýchlosť šírenia sa zvuku vo vzduchu je 343 m/s pri 20 stupňoch Celzia a v morskej vode 1522 m/s . Zvuk sa šíri rýchlejšie v morskej vode, preto človek, ktorý je ponorený pod hladinou mora, počuje zvuk motora prichádzajúceho člna skôr ako človek, ktorý sa prechádza po pláži.

4.3 Rovnica postupnej vlny

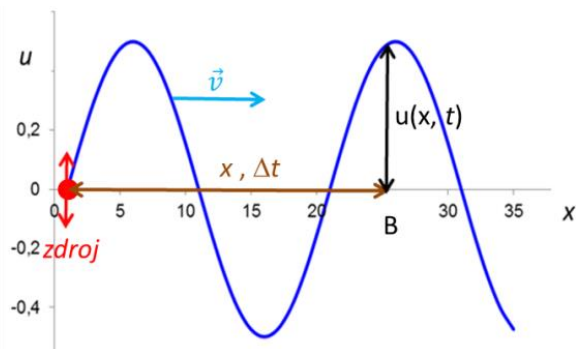
V úvode kapitoly sme si povedali, že pri postupnom vlnení sa šíri kmitavý pohyb zdroja prostredím postupne z jednej častice na ďalšie častice. Bude nás zaujímať, ako je daná výchylka častice prostredia pri postupnom vlnení, ktorá kmitá okolo svojej rovnovážnej polohy vo vzdialenosti x od zdroja. Pri odvodení budeme predpokladať, že zdrojom vlnenia je kmitavý harmonický pohyb, ktorého výchylku popíšeme v tvare

$$u(0, t) = A \sin \omega t.$$



Zapamätajte si, že výchylku zdroja vlnenia budeme označovať $u(0,t)$, kde $x = 0$ znamená, že zdroj je umiestnený v počiatku súradnicového systému.

Zo zdroja sa začne šíriť vlnenie v kladnom smere osi x , ktoré má sínusový priebeh s rovnakou amplitúdou A a frekvenciou f ako má zdroj. Toto vlnenie dôjde k častici vo vzdialenosti x od zdroja (do bodu B) s časovým oneskorením Δt (obr. 4.7).



Obr.4.7

Výchylka častice v bode B, bude mať rovnaký tvar ako výchylka zdroja vlnenia, ale časové oneskorenie vlnenia sa prejaví ako fázový posun na čase

$$u(x, t) = A \sin \omega (t - \Delta t). \quad (6)$$

Vlnenie sa šíri s konštantnou rýchlosťou \vec{v} , preto môžeme vzdialenosť x , ktorú prejde vlna s časovým oneskorením Δt do bodu B, vyjadriť ako dráhu pri rovnomernom priamočiariom pohybe v tvare

$$x = v\Delta t. \quad (7)$$

Úpravou rovnice (7) sa vyjadří časové oneskorenie vlnenia, ktoré sa dosadí do rovnice (6).

Potom pre výchylku častice v bode B

$$u(x, t) = A \sin \omega \left(t - \frac{x}{v} \right). \quad (8)$$

Rovnica (5) vyjadruje **rovniciu postupnej vlny (výchylku častice vo vzdialenosti x v čase t)**, kde A je amplitúda vlnenia, ω je uhlová frekvencia vlnenia a v rýchlosť vlnenia. Výraz za sínusom nazývame fáza.

Táto rovnica môže byť vyjadrená aj v iných tvaroch, podľa toho, aké veličiny popisujúce vlnenia sú známe. Ak poznáme *uhlové vlnové číslo*

$$k = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi}{\lambda}, \quad (k) = \text{m}^{-1}$$

potom táto rovnica nadobudne tvar

$$u(x, t) = A \sin (\omega t - kx) = A \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} x \right). \quad (9)$$

Rovnice rovinnej vlny (8) a (9) boli odvodené pre vlnu, ktorá sa šíri v kladnom smere osi x . Ak by sa vlna šírila v zápornom smere osi x rovnice by mali tvar

$$u(x, t) = A \sin \omega \left(t + \frac{x}{v} \right), \quad (10)$$

$$u(x, t) = A \sin (\omega t + kx) = A \sin \left(\omega t + \frac{2\pi}{\lambda} x \right). \quad (11)$$



V prípade, že by zdroj vlnenia kmital podľa funkcie kosínus, bola by výchylka častice vyjadrená v rovniciach (8) - (11) pomocou kosínusu.

Kontrolka:

Výchylka zdroja vlnenia je daná rovnicou $x = 5 \cos (2\pi t)$. Vyberte správnu odpoveď. Rovnica rovinnej vlny, ktorá sa šíri v zápornom smere osi x s rýchlosťou v bude daná

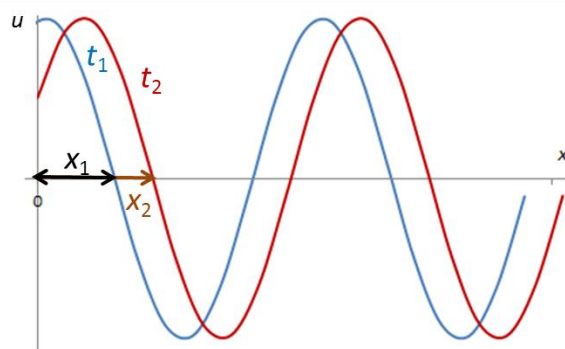
a) $u(x, t) = 5 \sin (2\pi t - 2\pi x/v)$,

b) $u(x, t) = 5 \cos (2\pi t - 2\pi x/v)$,

c) $u(x, t) = 5 \cos (2\pi t + 2\pi x/v)$,

d) $u(x, t) = 5 \sin (2\pi t + 2\pi x/v)$.

Z rovníc rovinnej vlny (8) – (11) vyplýva, že vlnenie postupuje prostredím. Výchylka častice je funkciou času t , ale aj vzdialenosti x . To znamená, že každá častica prostredia kmitá s amplitúdou A zdroja v inom časovom okamihu t a v inej vzdialenosti x , čo potvrdzuje, že ide o postupné vlnenie.



Obr. 4.8

Na obr.4.8 častica vo vzdialenosti x_1 nadobúda amplitúdu zdroja v čase t_1 a častica vo vzdialenosti x_2 bude kmitať s rovnakou amplitúdou v čase t_2 . Táto situácia platí za ideálnych podmienok. Reálne sa amplitúda postupného vlnenia bude znižovať vplyvom odporu prostredia, až napokon vlna zanikne.



Vlnenie sa môže šíriť zo zdroja nielen v jednom smere, ale všetkými smermi. V takom prípade je výchylka vlnenia funkciou troch priestorových súradníc a času, $u(x, y, z, t)$. Ak je zdroj vlnenia bodový, potom pozorujeme vlny v tvare kružníc v dvojrozmernom priestore a v tvare gúľ v trojrozmernom priestore.

Príkladom postupného vlnenia je vlnenie v tvare kružníc, ktoré sa šíri v mláke po dopade kvapky dažďa. Rovnako aj zvukové vlny sa šíria ako postupné vlnenie, vďaka čomu je možné počuť hudbu z rádia nachádzajúceho sa v kuchyni v rôznych miestnostiach bytu.

4.4 Stojaté vlnenie

V predchádzajúcej časti sme sa zaoberali výchylkou rovinatej vlny, ktorá sa postupne šíri prostredím. Aby sme mohli vysvetliť ako vzniká stojaté vlnenie a ukázať ako sa líši od postupného vlnenia zadefinujeme nové pojmy.

Skladanie vlnenia (interferencia) je fyzikálny jav, ktorý nastane, ak dva alebo viac vlnení prechádza tým istým miestom v rovnakom časovom okamihu. Na nasledujúcom obrázku dochádza k skladaniu vlnenia za kačicami na jazere.



Pri skladaní platí **princíp superpozície**, ktorý hovorí, ak dve vlnenia prechádzajú tým istým miestom v tom istom časovom okamihu, potom

- výsledná výchylka sa rovná súčtu jednotlivých výchýliek,
- vzniká vlnenie s jednou vlnou,
- sčítavajúce vlnenia sa navzájom neovplyvňujú.

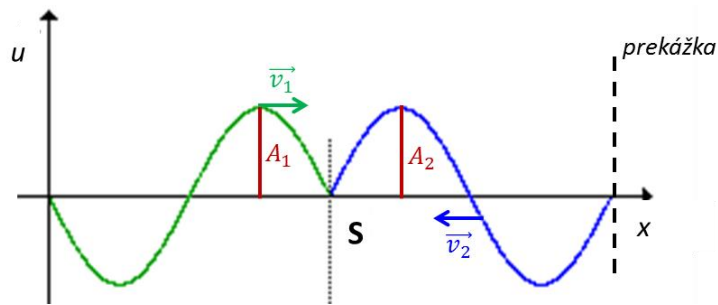
Stojaté vlnenie vzniká skladaním dvoch vlnení postupujúcich oproti sebe s rovnakou amplitúdou, v zjednodušenom prípade aj s rovnakou frekvenciou a rýchlosťou.

Táto situácia môže nastať, ak postupné vlnenie narazí na prekážku a sa od nej odrazí opačným smerom. Predpokladajme, že zo zdroja vlnenia sa šíri vlna v kladnom smere osi x s amplitúdou A_1 , frekvenciou f_1 a rýchlosťou v_1 . Po určitom čase narazí na pevnú prekážku a odrazí sa od nej s opačnou fázou. Oproti pôvodnej vlne sa začne šíriť v zápornom smere osi x vlna, ktorá bude mať rovnakú amplitúdu ($A_1 = A_2 = A$), frekvenciu ($f_1 = f_2 = f$) a rýchlosť ($v_1 = v_2 = v$) ako pôvodná vlna.

Tieto dve vlnenia sa budú skladat' do výsledného vlnenia, ktorého výchylka v bode S nás bude zaujímať (obr. 4.9).

Pre výchylku prvého vlnenia platí

$$u_1(x, t) = A \sin(\omega t - kx), \quad (9)$$



Obr. 4.9

výchylka druhého (odrazeného) vlnenia je daná

$$u_2(x, t) = A \sin(\omega t + kx). \quad (10)$$

Výchylka výsledného vlnenia sa určí ako súčet výchýliek pôvodného a odrazeného vlnenia podľa princípu superpozície

$$u(x, t) = u_1(x, t) + u_2(x, t),$$

kde za jednotlivé výchylky dosadíme vzťahy (9) a (10). Úpravou dostaneme

$$u(x, t) = A \sin \omega t \cos kx - A \cos \omega t \sin kx + A \sin \omega t \cos kx + A \cos \omega t \sin kx.$$



Pri úprave jednotlivých výchýliek sme použili súčtové vzorce z matematiky v tvare $\sin(\alpha \mp \beta) = \sin \alpha \cos \beta \mp \cos \alpha \sin \beta$.

Potom **výchylka výsledného stojatého vlnenia** je daná

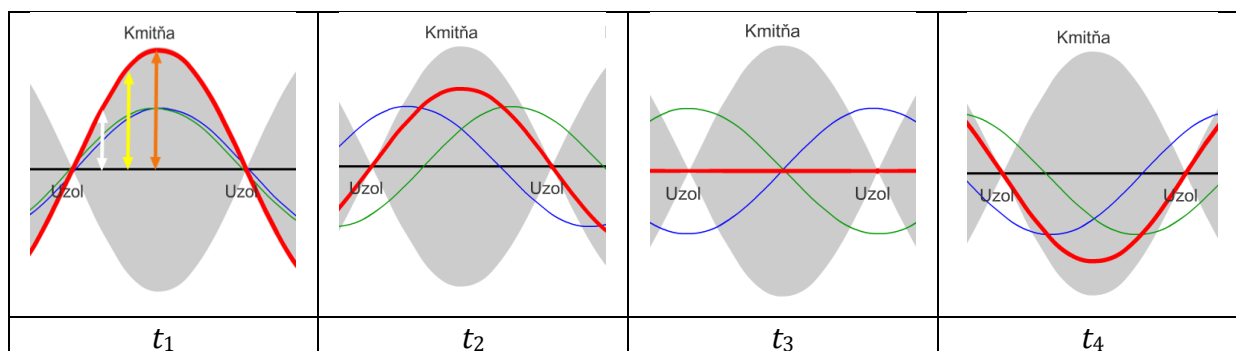
$$u(x, t) = 2A \cos kx \sin \omega t = C \sin \omega t, \quad (11)$$

kde výraz

$$C = 2A \cos kx \quad (12)$$

predstavuje **amplitúdu stojatého vlnenia**.

Zo vzťahu (11) vyplýva, že výsledné vlnenie nie je postupné vlnenie. V argumente sínusu nie je výraz $(\omega t - kx)$, ktorý je typický pre postupné vlnenie. Výchylka stojatého vlnenia sa podobá na výchylku kmitavého pohybu. Vlnenie, ktoré vzniklo nazývame stojaté vlnenie, ale v podstate ide o kmitanie bodov (častíc prostredia) okolo osi x (obr. 4.10). Zo vzťahu (12) pre amplitúdu stojatého vlnenia vyplýva, že častice prostredia nekmitajú s rovnakou amplitúdou. Každá častica bude vo svojej vzdialenosti x kmitať s inou amplitúdou nezávisle od času (člen $\cos kx$ vo vzťahu (12) nezávisí od t).



Obr. 4.10: Priebeh stojateho vlnenia v rôznych časoch. Červenou farbou je zobrazené stojaté vlnenie, modrou vlna postupujúca doprava, zelená je odrazená vlna.

Od $\cos kx$ závisí, aká bude maximálna výchylka častíc prostredia. Existujú miesta na osi x , ktoré budú počas svojho kmitania dosahovať maximálnu výchylku $C = 2A$. Tieto body nazývame kmitne.

V prípade kmitní je $\cos kx = 1$, potom pre vzdialenosť bodov, ktoré budú kmitať ako kmitne platí podmienka $kx = n\pi$. Odtiaľ úpravou

$$x = n \frac{\pi}{k} = n \frac{\lambda}{2}$$

potom pre vzdialenosť kmitní

$$x = n \frac{\lambda}{2}, \tag{13}$$

kde $n = 0, 1, 2, \dots$. Podľa (13) kmitne sú body, ktoré kmitajú vo vzdialenosti rovnej n - násobku polovice vlnovej dĺžky.

Body, ktoré nebudú kmitať na osi x nazývame uzly. Pre ne platí, že $C = 0$ pre $\cos kx = 0$. Potom pri odvodení vzdialenosti bodov vychádzame z podmienky $kx = (2n + 1) \frac{\pi}{2}$. Úpravou

$$x = (2n + 1) \frac{\pi}{2k} = (2n + 1) \frac{1}{2} \frac{2\pi}{k} \frac{\lambda}{4},$$

pre vzdialenosť uzlov

$$x = (2n + 1) \frac{\lambda}{4}. \tag{14}$$

Uzly sú body, ktoré kmitajú v $(2n+1)$ - násobkoch štvrtiny vlnovej dĺžky.



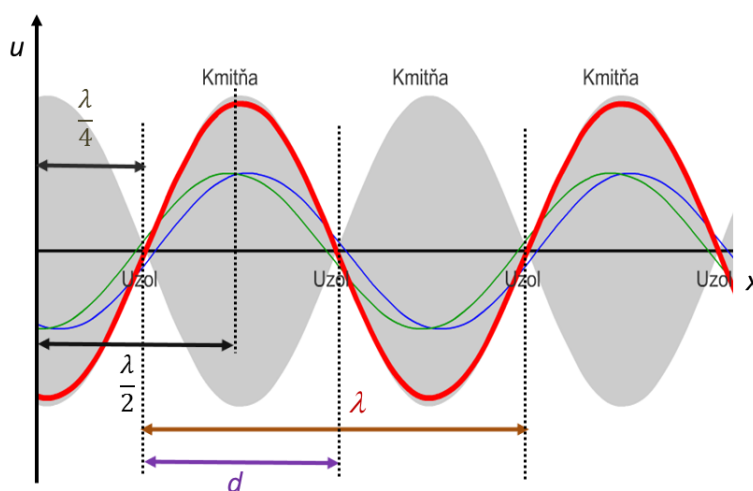
Pri úprave vzťahov (13) a (14) sme použili poznatok, že $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, preto sa rovnice pri úprave súčasne násobili a delili členom 2λ alebo 2.

Z obr. 4.11 vyplýva, že vzdialenosť dvoch kmitní (uzlov) je

$$d = \frac{\lambda}{2}. \quad (15)$$

Túto vzdialenosť je možné odvodiť nasledovným postupom. Pomocou vzťahu (14) sa vyjadří poloha $(n+1)$ -vej a n -tej častice. Potom pre ich vzdialenosť

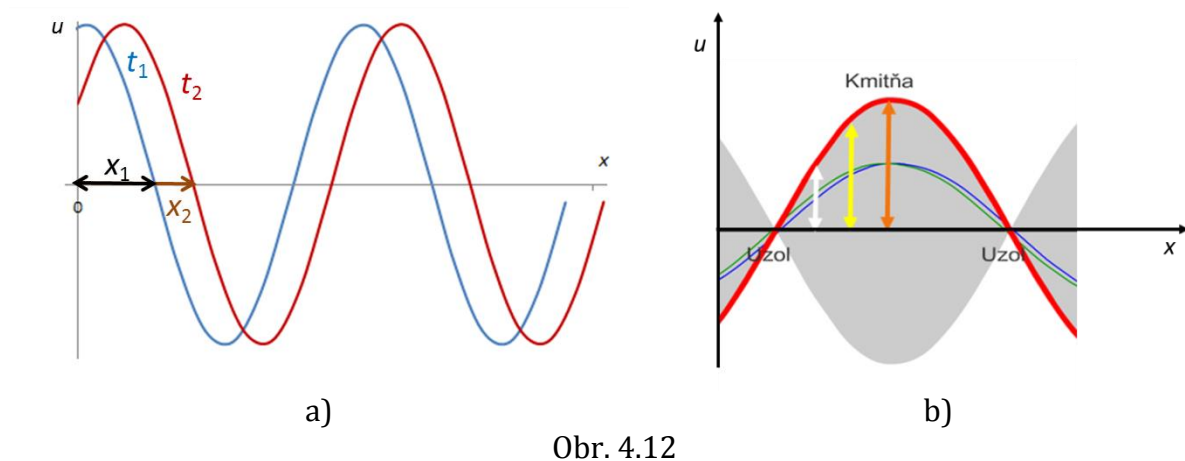
$$d = (n + 1) \frac{\lambda}{2} - n \frac{\lambda}{2} = n \frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{2} - n \frac{\lambda}{2} = \frac{\lambda}{2}.$$



Obr. 4.11

Stojaté vlnenie sa líši od postupného vlnenia nasledujúcimi vlastnosťami

1. častice prostredia stojatého vlnenia kmitajú s rôznymi amplitúdami, pri postupnom vlnení častice prostredia kmitajú s rovnakou amplitúdou (obr. 4.12 a),
2. častice prostredia pri stojatom vlnení kmitajú medzi dvoma uzlami s rovnakou fázou (v rovnakom čase dosahujú svoje maximálne výchylky) (obr. 4.12 b), pri postupnom vlnení častice dosahujú amplitúdu v rôznych časoch (majú rôzne fázy),
3. pri postupnom vlnení dochádza k prenosu vlnenia prostredníctvom väzby, ktorá zabezpečuje aj prenos energie medzi časticami, ktoré si ju podávajú. Presvedčíme sa o tom napríklad pri viditeľnom svetle so Slnka, ktorého dopad lúčov na našu tvár je spojená s teplom, ktoré pociťujeme. Pri stojatom vlnení to neplatí. Keď sa skladajú dve rovnaké vlny oproti sebe, prenášajú rovnakú energiu opačnými smermi. Potom výsledná energia bude nulová. Preto výsledkom skladania je kmitanie častíc, ktoré si energiu neodovzdávajú.



Obr. 4.12



Na stojaté vlnenie pozrite videá zo zdroja:

<http://web.tuke.sk/feikf/video/stojate-vlnenie.html>

<http://web.tuke.sk/feikf/video/stojate-vlnenie---pruzina.html>

Kontrolka:

Vyberte správnu odpoveď: Pri stojatom vlnení

- a) všetky body prostredia kmitajú s rovnakou amplitúdou,,
- b) vlnenie sa šíri prostredím,
- c) dochádza k prenosu energie,
- d) existujú body, ktoré nekmitajú.

Stojaté vlnenie vzniká napríklad na strunových hudobných nástrojoch, kde počet uzlov a kmitní závisí od ich frekvencie. Základný tón vznikne pri stojatej vlne s jednou kmitňou uprostred, pri tzv. prvej harmonickej frekvencii. Druhý, ak stojaté vlnenie má dve kmitne. Podobne to funguje aj pri stojatom vlnení, ktoré vznikne na pružine.



Ak by sa skladali dve proti sebe postupné vlnenia s rôznymi amplitúdami, potom by vzniklo okrem stojateho vlnenia aj postupné vlnenie, ktoré by sa šíriло v smere vlny s väčšou amplitúdou. Takýto prípad nastáva napríklad v rádiolokátoroch pri čiastočnom odraze elektromagnetickej vlny na konci vlnovodu, ktorým sa vlna privádza k vysielacej anténe.

Použitá literatúra:

Červeň, I. 2007. Fyzika po kapitolách. 1.vydanie. Bratislava. Vydavateľstvo STU v Bratislave. 2007. ISBN 978-80-227-2668-9.

Haliday D., Resnick R., Walker J. 2000. Fyzika, Vysokoškolská učebnice obecné fyziky. 1. vyd. Brno: Vutium, 2000. ISBN 80-214-1868-0

Landau, L. D., Kitajgorodskij, A. I. 1975. Fyzika pro každého. Praha. Horizont.1975.

<http://obrazky.4ever.sk/>

http://www.gymza.sk/gymza/predmety/fyzika/web_fyzika/Stojate_vlnenie/standingwaves.html

<https://phet.colorado.edu/en/simulations/category/physics>

<http://web.tuke.sk/feikf/video/index.html>

<http://www.fch.vut.cz/lectures/video/>

<http://vojtahanak.cz/files/edu/kmity/bonus-sireni.html>

<http://hockicko.uniza.sk/Priklady/Pr265.htm>

<http://fyzika.jreichl.com/>

https://sk.wikipedia.org/wiki/R%C3%BDchlos%C5%A5_zvuku