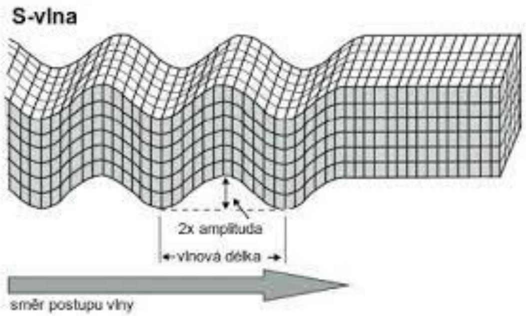

depositphotos


S-vlna
2x amplituda
vlnová délka
směr postupu vlny

Vlny

VLNĚNÍ

- zvláštní druh pohybu, při kterém se přenášejí kmity.

Prostředím postupuje pouze rozruch a spolu s ním **energie** kmitů.

Částice prostředí zůstávají na místě a pouze **kmitají** kolem svých rovnovážných poloh.

Kmity - periodicky se opakující změny stavu

Šíření kmitů od místa svého vzniku do okolí - vzniká děj nazvaný **vlnění**

Vlnění je děj závislý na čase, jehož podstatou je ***šíření periodických změn fyzikálních veličin***

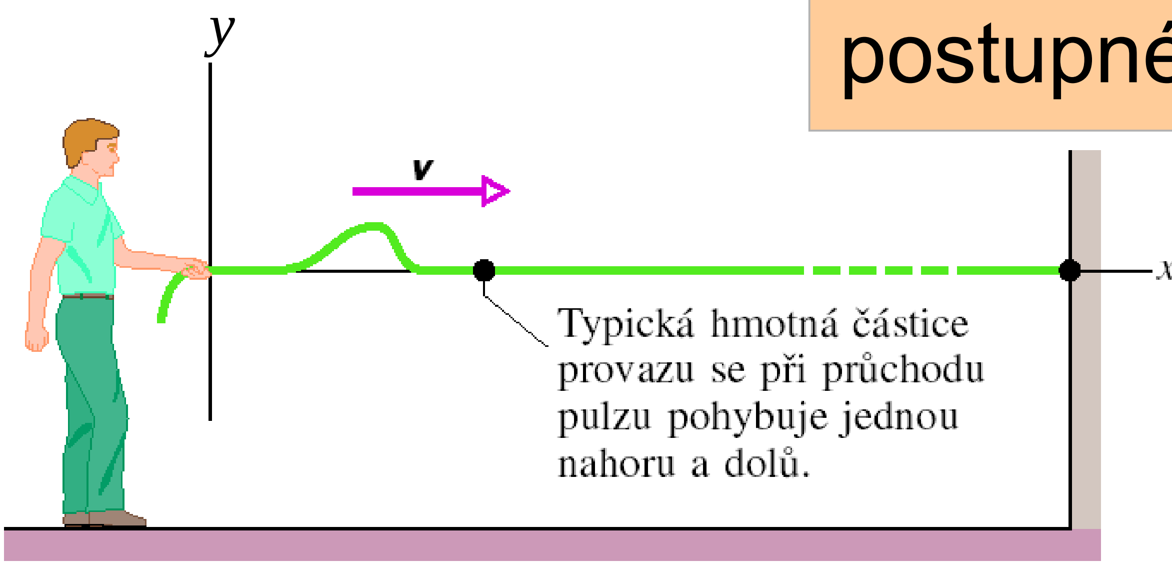
(např. mechanických výchylek, nebo změn vektorů intenzity elektrické nebo magnetické složky elektromagnetického pole, apod.)

Vlny – základní popis

postupné, příčné

Pulz:

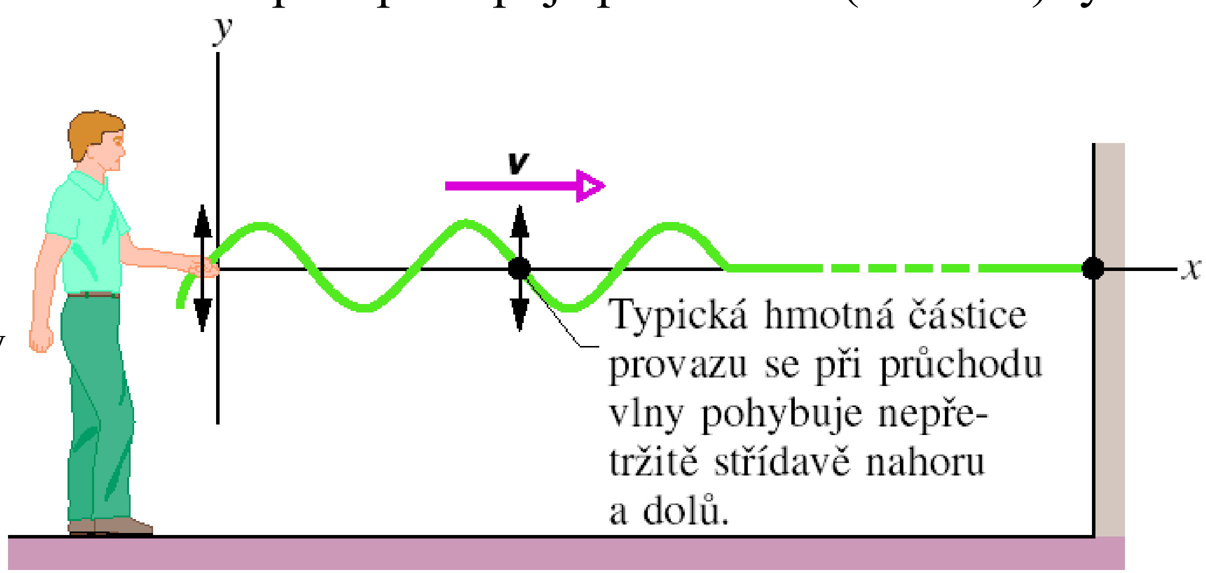
Východisko:
napnuté vlákno; krajním bodem pohnu nahoru a poté zpět do rovnovážné polohy



Vlna/pulz postupuje prostředím (fázovou) rychlostí $\vec{v}$

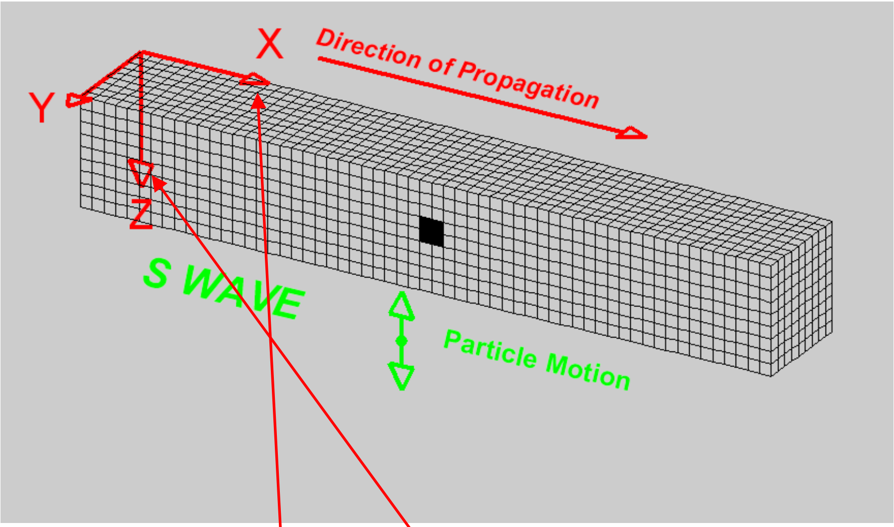
Vlna:

Východisko:
napnuté vlákno; krajním bodem pohybuji harmonicky nahoru a dolů, vždy o stejnou vzdálenost od rovnovážné polohy



Vlny – základní popis

postupné, příčné



Proč **POSTUPNÁ** ?

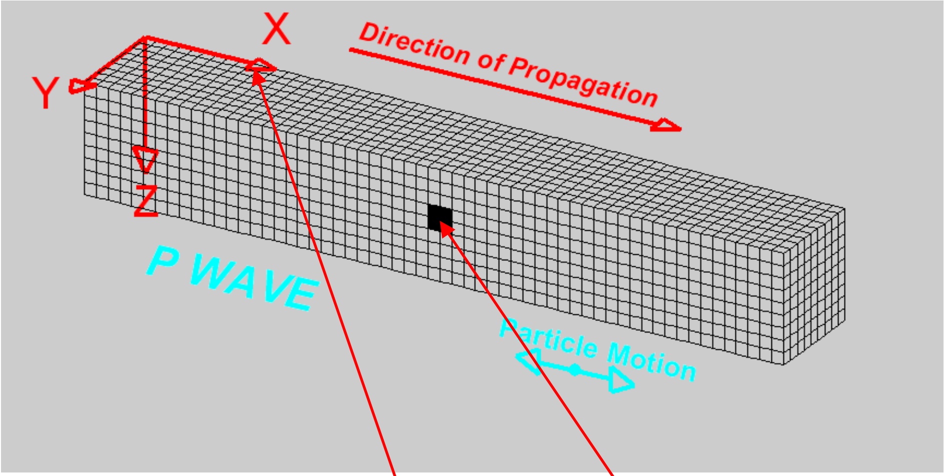
Rozruch (pulz/vlna) **postupuje** prostředím od místa vybuzení „do nekonečna“

Proč **PŘÍČNÁ** ?

Částice prostředí kmitá kolmo, tj. **příčně** na směr šíření.

Př.: Šíření podél osy *x* → okamžitá výchylka bodu z rovnovážné polohy ve směru osy *z* je funkcí souřadnice *x* a času *t* → výchylku označíme *z(x,t)* [nebo *y(x,t)*,případně obecným výrazem *u(x,t)*]

Vlny – základní popis

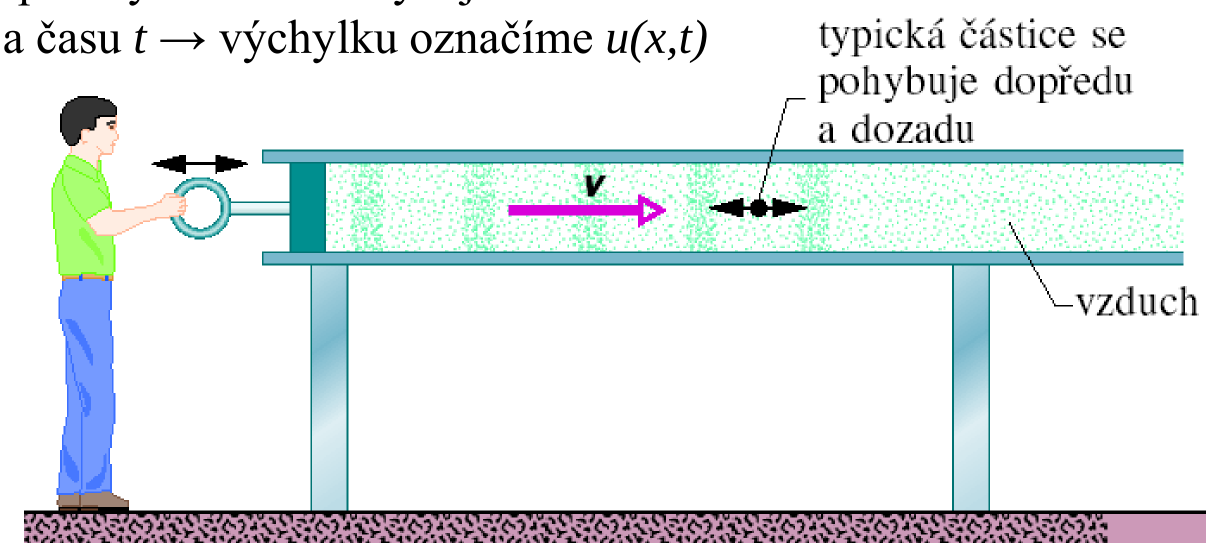


postupná podélná

Proč **PODÉLNÁ** ?

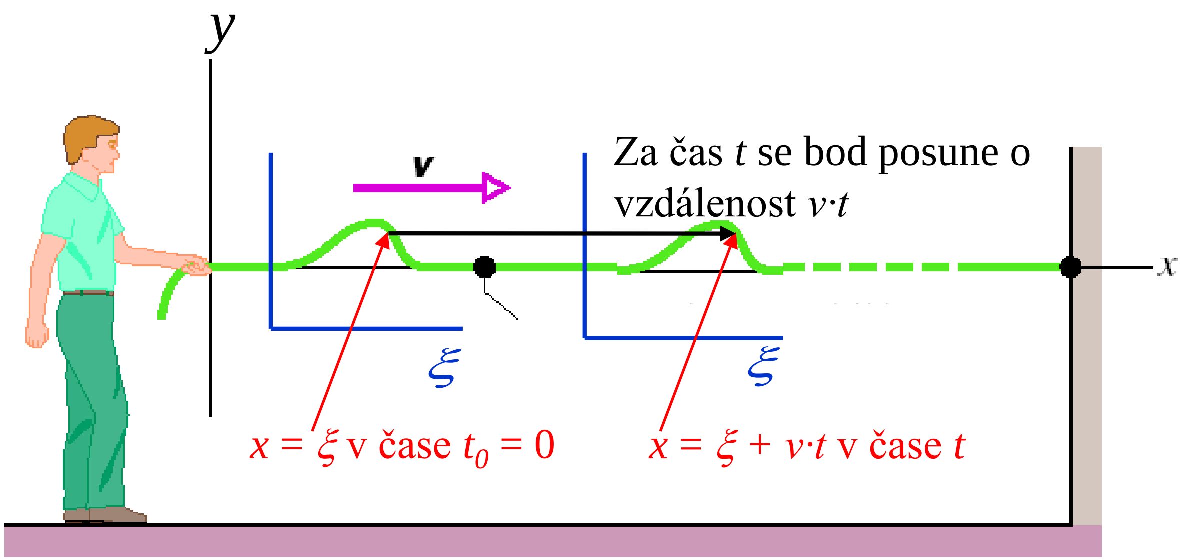
Částice prostředí kmitá rovnoběžně se směrem šíření, tj. **podél** směru šíření.

Př.: Šíření podél osy x → okamžitá výchylka bodu z rovnovážné polohy ve směru osy x je funkcí souřadnice x a času t → výchylku označíme $u(x,t)$



Pulz – popis výchylky

Na vlákně se šíří pulz, zajímá nás výchylka (souřadnice y) jednotlivých částic vlákna (souřadnice x) v čase t, tj. ***y*(*x*,*t*)**



$$y = f(\xi)$$

Zvolíme pomocnou souřadnou soustavu [ξ; y], ve které popíšeme tvar pulzu pomocí (nějaké/vhodné) funkce f v čase $t_0 = 0$:

$y(\xi) = f(\xi)$

Předpoklad: souřadná soustava [ξ; y] se pohybuje podél vlákna stejnou rychlostí v, jakou se šíří pulz;
tj. popis výchylky v soustavě [ξ; y] se nemění.

Vyjádříme souřadnici x:

$x = \xi + v \cdot t \longrightarrow \xi = x - v \cdot t$

$$\boxed{\begin{aligned} y(\xi) &= f(\xi) \\ y(x,t) &= f(x - vt) \end{aligned}}$$

Výchylka y jednotlivých částic vlákna (souřadnice x) v čase t je potom popsána pomocí této funkce $f(x - vt)$

Vlnová rovnice

Okamžitou výchylku postupné vlny lze obecně popsat rovnicí: $u(x,t) = f(x - vt)$

Provedeme druhou derivaci a) podle času a b) podle prostorové souřadnice →

Vlnová rovnice:

$$\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2}$$

Řešení:

$$\boxed{u(x,t) = f(x - vt) + g(x + vt)}$$

vlna postupující zleva doprava

vlna postupující zprava doleva

v - **fázová rychlost šíření vlny**

Harmonická postupná vlna

Harmonická vlna: jednotlivé body vlákna (prostoru) harmonicky kmitají, tj. jejich výchylku z rovnovážného stavu popíšeme pomocí funkce sinus (nebo cosinus)

$$\boxed{y(x,t) = y_m \sin\left[\omega\left(t - \frac{x}{v}\right) + \varphi\right] = \\ = y_m \sin(\omega t - kx + \varphi)}$$

$$k = \frac{\omega}{v}$$

POZOR! Toto k není tuhost

Výchylku z rovnovážné polohy bodu se souřadnicí x lze popsat:

$$y(t) = y_m \sin(\omega \Delta t + \varphi) = y_m \sin(\omega(t - t_{x0}) + \varphi)$$

Výraz $\Delta t = t - t_{x0}$ zahrnuje zpoždění, se kterým se vlnění rychlostí v rozšíří do bodu se souřadnicí x

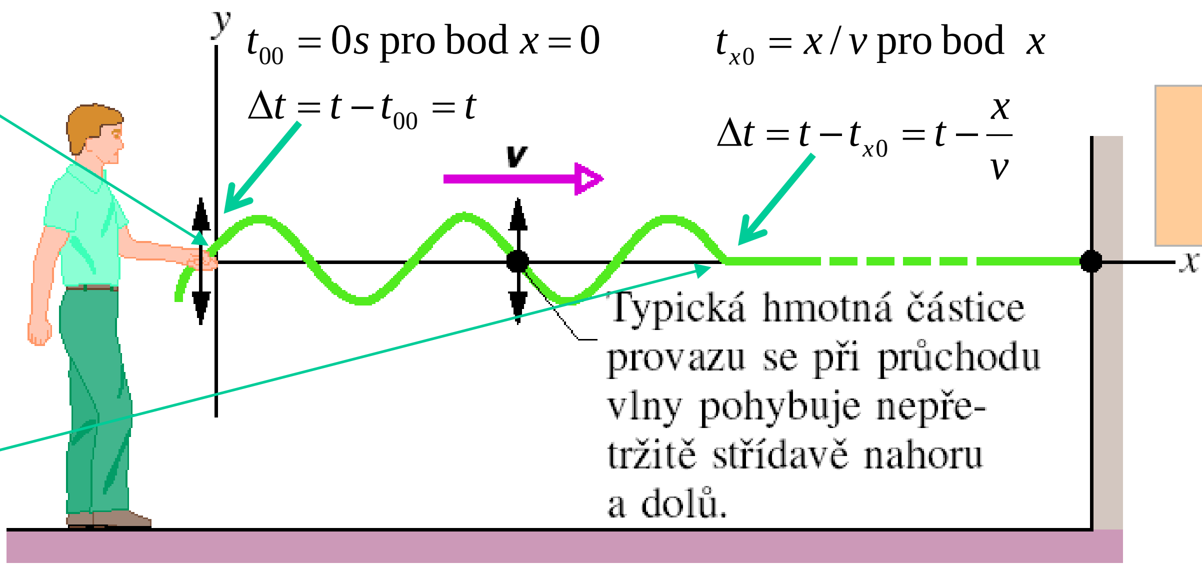
Krajní bod kmitá „celou dobu“

$t_{00} = 0s$ pro bod $x = 0$

$\Delta t = t - t_{00} = t$

$t_{x0} = x / v$ pro bod x

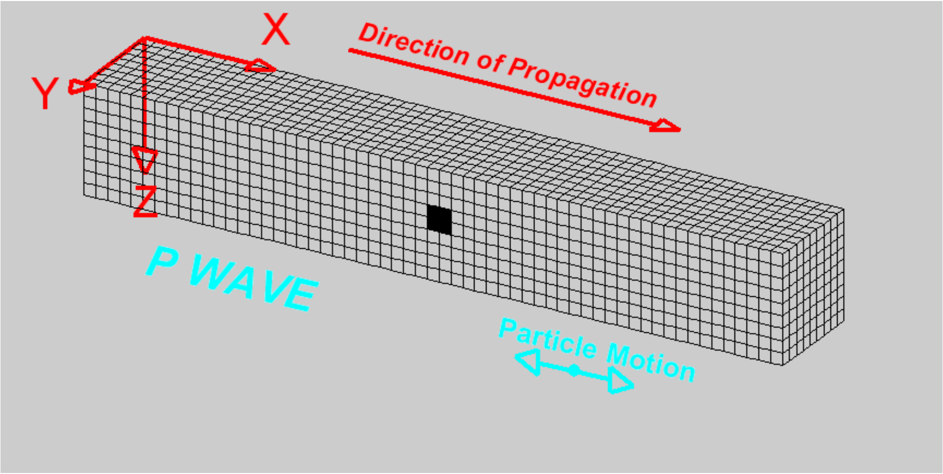
$\Delta t = t - t_{x0} = t - \dfrac{x}{v}$



Do bodu x se kmity rychlostí v dostanou až za dobu $t_{x0} \rightarrow$ platí: $x = v \cdot t_{x0}$

příčná

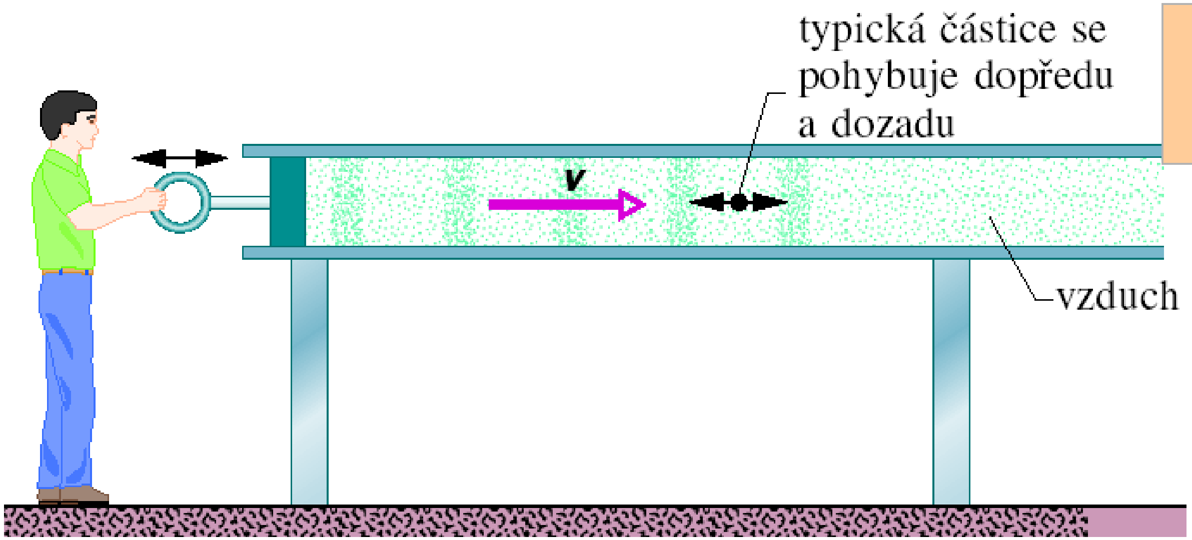
Harmonická postupná vlna



$$u(x,t)=u_m \sin\left[\omega\left(t-\frac{x}{v}\right)+\varphi\right]=$$
$$=u_m \sin(\omega t-kx+\varphi)$$

$$k=\frac{\omega}{v}$$

Obdobně pro podélnou vlnu: výchylku z rovnovážné polohy bodu se souřadnicí x lze popsat: $$u(t)=u_m \sin(\omega \Delta t+\varphi)$$



podélná

Harmonická postupná vlna

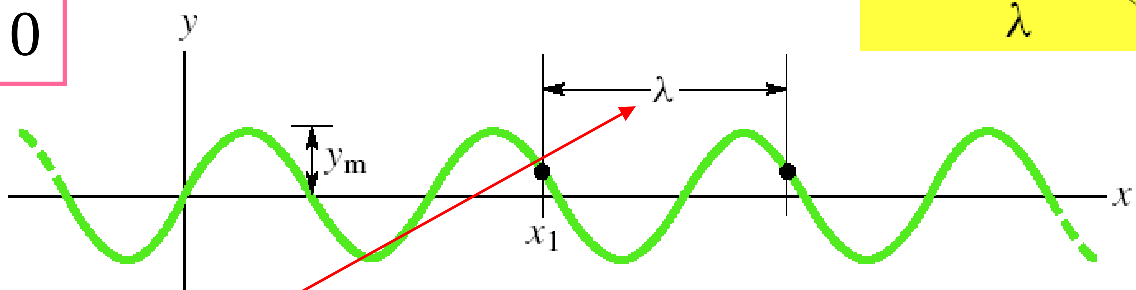
$$y(x,t) = y_m \sin(kx - \omega t + \varphi)$$

Výchylka závisí na dvou proměnných – prostorové souřadnici a času. Pro zobrazení průchodu vlny prostředím tak máme dvě možnosti:

1. Zobrazení výchylky v prostoru v jednom časovém okamžiku

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \qquad \text{(úhlový vlnočet)}$$

$$\boxed{t = 0}$$

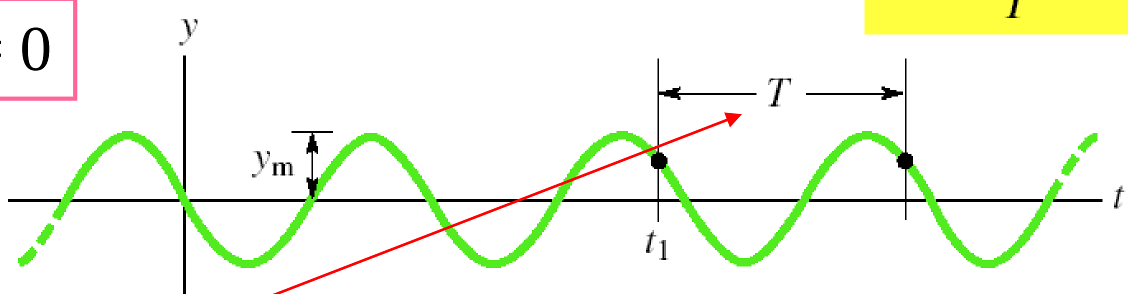


λ .. vlnová délka = nejkratší vzdálenost, mezi dvěma body se stejnou výchylkou v libovolném čase

2. Zobrazení výchylky jednoho bodu prostředí v čase

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \qquad \text{(úhlová frekvence)}$$

$$\boxed{x = 0}$$



T .. perioda = nejkratší čas, za který se výchylka daného bodu (stav systému) začne opakovat

Harmonická postupná vlna

$$y(x,t) = y_m \sin(kx - \omega t + \varphi)$$

Odvození vztahu pro úhlový vlnočet: $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

$$y(x,t) = y_m \sin(kx - \omega t + \varphi) = y_m \sin(k(x+\lambda) - \omega t + \varphi)$$

$$\sin\underbrace{(kx - \omega t + \varphi)} = \sin\underbrace{(k(x+\lambda) - \omega t + \varphi)}$$

$$\cancel{kx} - \cancel{\omega t} + \cancel{\varphi} + 2\pi = \cancel{kx} + k\lambda - \cancel{\omega t} + \cancel{\varphi}$$

$$2\pi = k\lambda \rightarrow k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

Odvození vztahu mezi úhlovou frekvencí a periodou vlnění: $\omega = \frac{2\pi}{T}$

$$y(x,t) = y_m \sin(kx - \omega t + \varphi) = y_m \sin(kx - \omega(t+T) + \varphi)$$

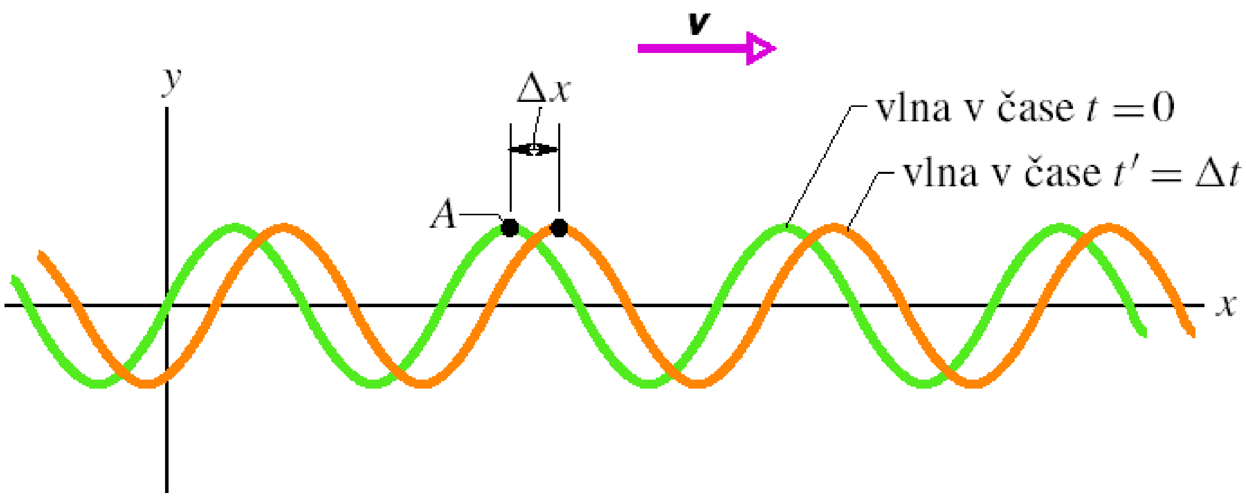
$$\sin\underbrace{(kx - \omega t + \varphi)} = \sin\underbrace{(kx - \omega(t+T) + \varphi)}$$

$$\cancel{kx} - \cancel{\omega t} + \cancel{\varphi} - 2\pi = \cancel{kx} - \cancel{\omega t} - \omega T + \cancel{\varphi}$$

$$2\pi = \omega T \rightarrow \omega = \frac{2\pi}{T}$$

Harmonická postupná vlna

$$y(x,t) = y_{\mathrm{m}} \sin(kx - \omega t + \varphi)$$



Obr. 17.5 Dva snímky postupné vlny popsané v rov. (17.2) s $\varphi = 0$. První snímek zachycuje vlnu v čase $t = 0$, druhý v pozdějším čase $t' = \Delta t$. Během časového intervalu Δt se celá křivka posunula o vzdálenost Δx doprava.

Harmonická postupná vlna

Fyzikální význam veličin:

$$y(x,t) = y_m \sin(kx - \omega t + \varphi)$$

$$u(x,t) = u_m \sin(kx - \omega t + \varphi)$$

y, u - **okamžitá výchylka** z rovnovážné polohy bodu v prostoru, v němž se šíří vlnění; jednotky $[y] = [u] = \mathrm{m}$

y_m, u_m - **amplituda** výchylky; jednotky $[y_m] = [u_m] = \mathrm{m}$

$kx - \omega t + \varphi$ - **okamžitá fáze** vlny; φ – počáteční fáze. $[kx - \omega t + \varphi] = [\varphi] = \mathrm{rad}$

ω - úhlová frekvence kmitavého pohybu zdroje i všech bodů prostředí, v němž se vlnění šíří – **úhlová frekvence vlnění**; jednotky $[\omega] = \mathrm{rad \cdot s^{-1}}$

f - **frekvence vlnění**; jednotky $[f] = \mathrm{Hz} = \mathrm{s^{-1}}$ $\omega = 2\pi f$

$\frac{1}{f} = T$ - **perioda** ; jednotky $[T] = \mathrm{s}$

$$v_p(x,t) = \frac{\partial y(x,t)}{\partial t}$$

Příčná rychlost vlnění – jak rychle se mění velikost výchylky daného bodu.

Pro: $y(x,t) = y_m \sin(kx - \omega t) \rightarrow v_p(x,t) = -\omega \cdot y_m \cos(kx - \omega t)$

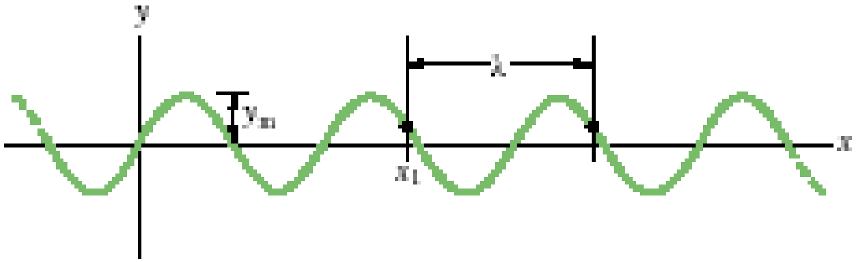
Harmonická postupná vlna

Vzdálenost, kterou urazí vlnění za dobu jedné periody – **vlnová délka**

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

λ - **vlnová délka,** jednotky $[\lambda] = \mathrm{m}$
v - **fázová rychlost šíření vlnění,** jednotky $[v] = \mathrm{ms}^{-1}$

(**vlnová délka =** nejmenší vzdálenost dvou bodů, které kmitají ve stejné fázi)



Snímek struny, kterou se šíří sinusová vlna, v daném okamžiku t

$\frac{1}{\lambda}$ - **prostý vlnočet,** který určuje, kolik vln se vytvoří na úseku dlouhém 1metr.

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$ - **úhlový vlnočet,** určuje, o kolik radiánů se změní fáze vlny na délce 1m ve směru šíření vlny, jednotky $[k] = \mathrm{rad \cdot m^{-1}}$

$$\boxed{v = \frac{\omega}{k}}$$ - **disperzní vztah**

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi f}{\lambda f} = \frac{\omega}{v}$$

Rychlost šíření vln na struně a v plynu

Napětí struny – charakterizuje pružnost systému

$$v = \sqrt{\frac{\tau}{\mu}} \quad \text{(rychlost vlny na struně)},$$

$[\tau] = \mathrm{N}$
$[\mu] = \mathrm{kg\ m^{-1}}$

Lineární hustota $\mu = m/L$ – charakterizuje setrvačnost systému

$$v = \sqrt{\frac{K}{\varrho}} \quad \text{(rychlost zvuku)}$$

$$K = -\frac{\Delta p}{\Delta V / V} \quad \text{(definice } K\text{)}$$

$[K] = \mathrm{Pa}$

modul objemové pružnosti

ρ ..objemová hustota; $[\rho] = \mathrm{kg\ m^{-3}}$

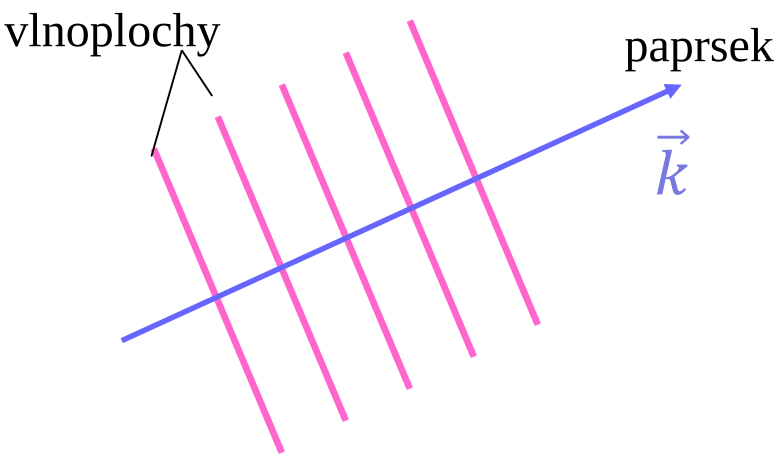
Tabulka 18.1 **Rychlost zvuku**

PROSTŘEDÍ	$\frac{v}{\mathrm{m \cdot s^{-1}}}$	PROSTŘEDÍ	$\frac{v}{\mathrm{m \cdot s^{-1}}}$	PROSTŘEDÍ	$\frac{v}{\mathrm{m \cdot s^{-1}}}$
Plyny[a]		*Pevné látky*[a]		*Kapaliny*[a]	
Vzduch (0 °C)	331	Hliník	6 420	Voda (0 °C)	1 402
Vzduch (20 °C)	343	Ocel	5 941	Voda (20 °C)	1 482
Helium	965	Žula	6 000	Mořská voda[b]	1 522
Vodík	1 284				

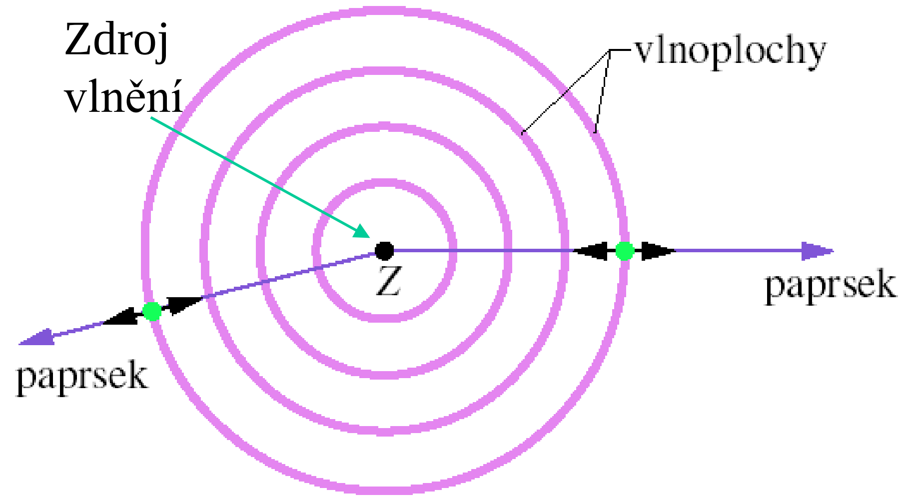
Tvar vlny

3D

Vlny rovinné



Vlny kulové



vlnoplochy – místa se stejnou fází, tj. vzdálenost dvou sousedních vlnoploch je rovna vlnové délce

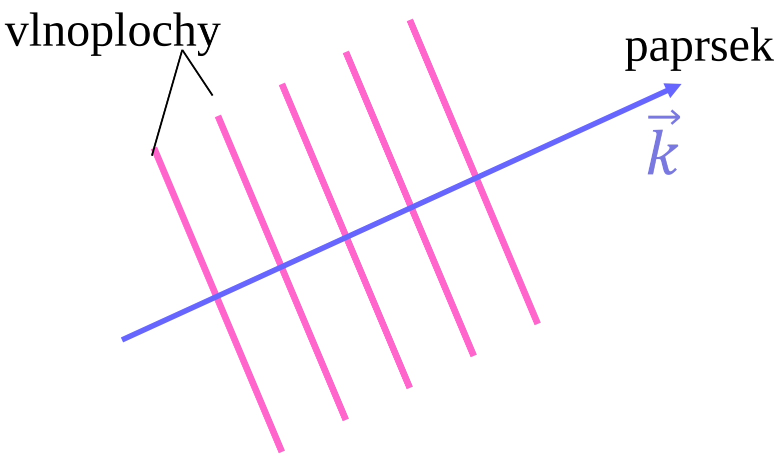
paprsek – určuje směr šíření vlny, paprsek a vlnoplocha jsou na sebe navzájem kolmé v každém bodě vlnoplochy

V dostatečné vzdálenosti od zdroje („v nekonečnu“) lze **kulovou** vlnu považovat za vlnu **rovinnou**

Tvar vlny

3D

Vlny rovinné



Výchylka $u(\vec{r},t)$ bodu popsaného polohovým vektorem $\vec{r}$ v čase t:

$$u(\vec{r},t) = A\sin\left(\vec{k}\cdot\vec{r} - \omega t + \varphi\right)$$

$$u(\vec{r},t) = A\exp\left[\mathrm{i}\left(\vec{k}\cdot\vec{r} - \omega t + \varphi\right)\right]$$

$\vec{k}$ je vlnový vektor (jeho velikost udává úhlový vlnočet, vektor je kolmý na vlnoplochu, pro izotropní prostředí má směr shodný se směrem šíření)

ω je úhlová frekvence vlnění

A je amplituda vlny – konstantní v čase a prostoru (nezávisí na čase ani na prostorové souřadnici)

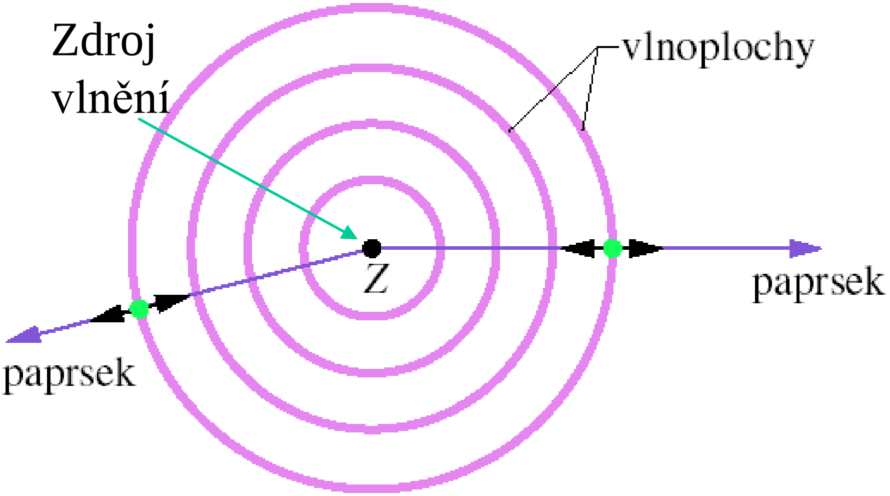
vlnoplochy – místa se stejnou fází

paprsek – určuje směr šíření vlny

Tvar vlny

3D

Vlny kulové



vlnoplochy – místa se stejnou fází

paprsek – určuje směr šíření vlny

Výchylka *u(r,t)* bodu ležícího ve vzdálenosti *r* od zdroje v čase *t:*

$$u(r,t) = \frac{C}{r}\sin(kr - \omega t + \varphi)$$

$$u(r,t) = \frac{C}{r}\exp[i(kr - \omega t + \varphi)]$$

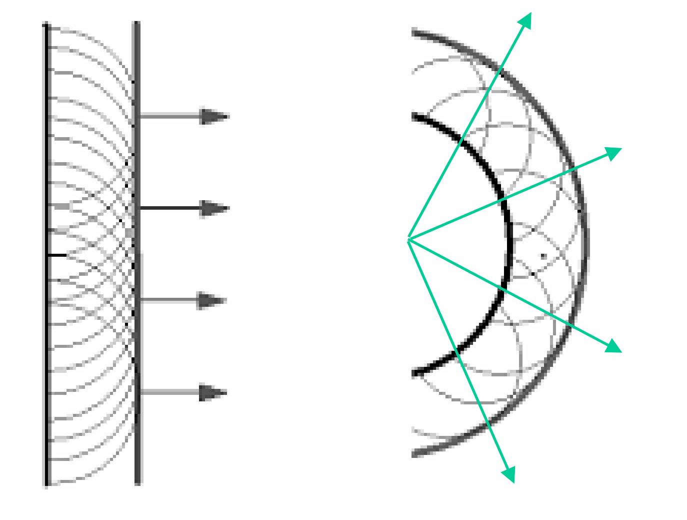
Kde k je úhlový vlnočet, ω je úhlová frekvence vlnění.

Amplituda vlny je dána výrazem $\frac{C}{r}$, kde C je konstanta a r vzdálenost od zdroje. Amplituda je konstantní v čase a klesá nepřímo úměrně se vzdáleností od zdroje.

Difrakce (ohyb) vlnění

Huygensův (Huygens-Fresnelův) princip: Každý bod prostoru, do kterého vlnění dospěje, se stává elementárním zdrojem vlnění. Elementární vlnoplochy jednotlivých bodů se sčítají.

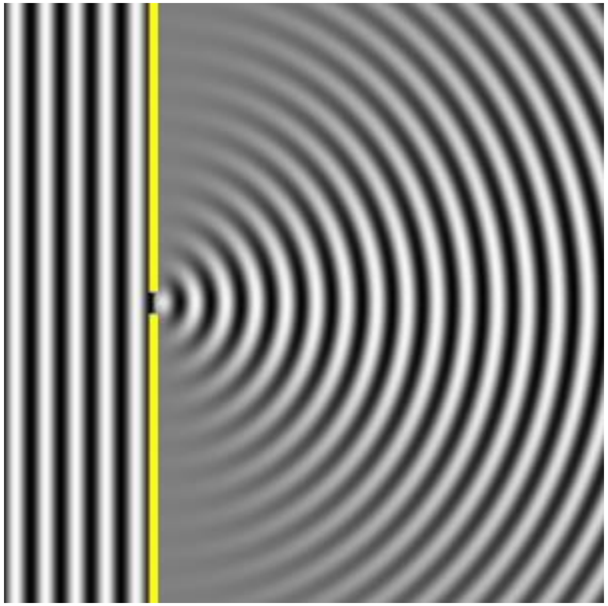
Obálka elementárních vlnoploch bodů ležících na společné vlnoploše, vytvoří následující společnou vlnoplochu ve vzdálenosti vlnové délky (tj. s časovým odstupem jedné periody).



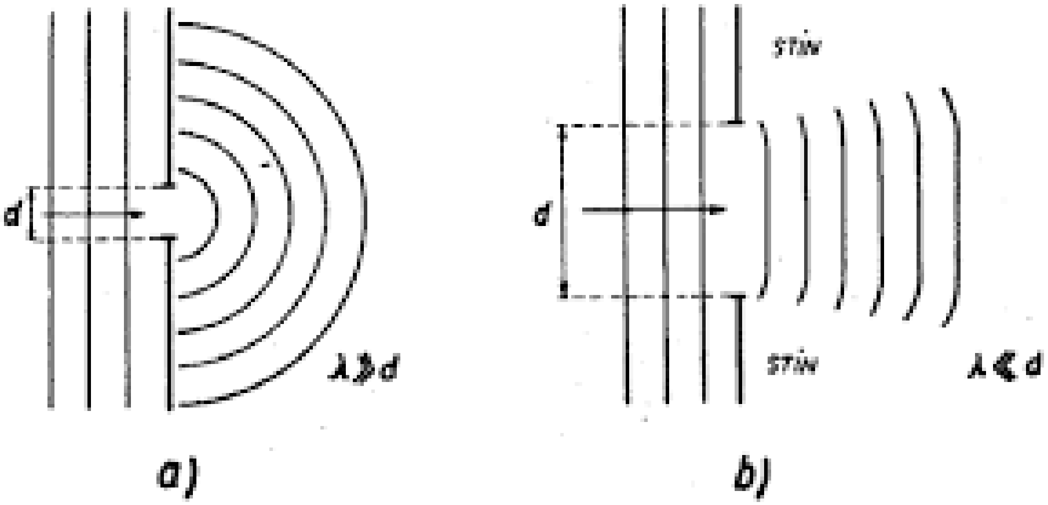
Difrakce (ohyb) vlnění

Difrakce vlny = ohyb: vlna se šíří za překážku do oblast tzv. geometrického stínu.

Ohyb vln se projeví více, pokud bude rozměr překážky (např. štěrbiny) srovnatelný s vlnovou délkou dopadajícího vlnění.



Huygensův princip pro šíření vln



Zdroj: https://www.wikiskripta.eu/w/%C5%A0%C3%AD%C5%99en%C3%AD_akustick%C3%A9ho_vln%C4%9Bn%C3%AD

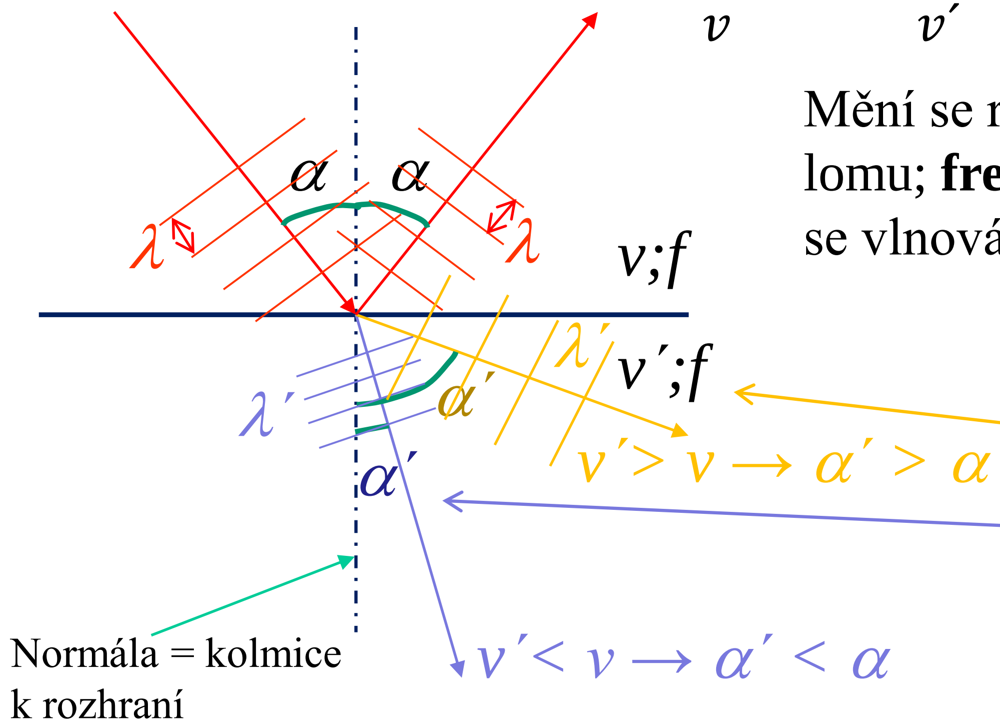
Odraz a lom vlny

Zákon odrazu a lomu: Při dopadu vlny na rozhraní dvou prostředí **pod úhlem α** vůči normále k rozhraní, dochází k odrazu a lomu vlny.

Úhel odrazu je **roven úhlu dopadu** (obojí vzhledem k normále k rozhraní).

Úhel lomu vypočítáme z úhlu dopadu a rychlostí šíření vln v obou prostředích následovně:

$$\frac{\sin(\alpha)}{v} = \frac{\sin(\alpha')}{v'} \rightarrow \sin(\alpha') = \sin(\alpha)\frac{v'}{v}$$



Mění se rychlost šíření → mění se úhel lomu; **frekvence** se zachovává → mění se vlnová délka:

$$\lambda = \frac{v}{f} \rightarrow \lambda' = \frac{v'}{f}$$

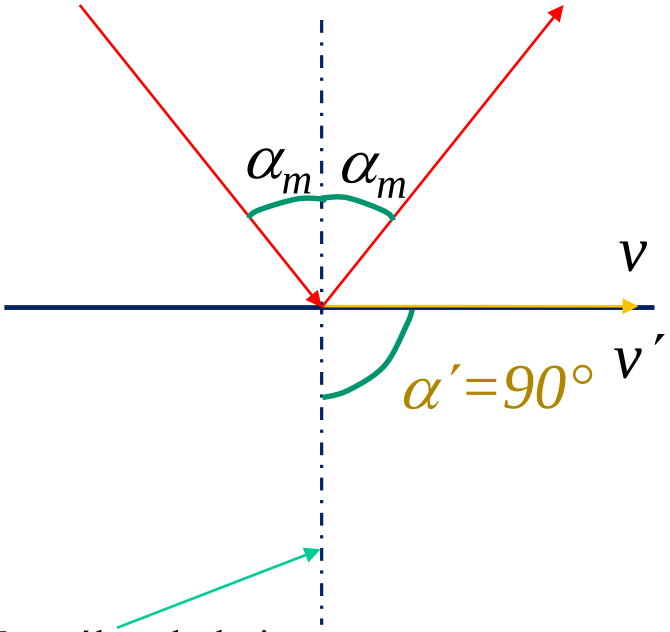
$$v' > v \rightarrow \lambda' > \lambda;$$

$$v' < v \rightarrow \lambda' < \lambda$$

Odraz a lom vlny

Totální odraz: může nastat v případě, že je $v < v'$. Pokud vlnění dopadne na rozhraní pod úhlem větším než je mezní úhel α_m, nedojde k lomu, ale pouze k odrazu.

$$\frac{\sin(\alpha_m)}{v} = \frac{\sin(90°)}{v'} \rightarrow \sin(\alpha_m) = 1\,\frac{v}{v'} = \frac{v}{v'}$$



Normála = kolmice k rozhraní

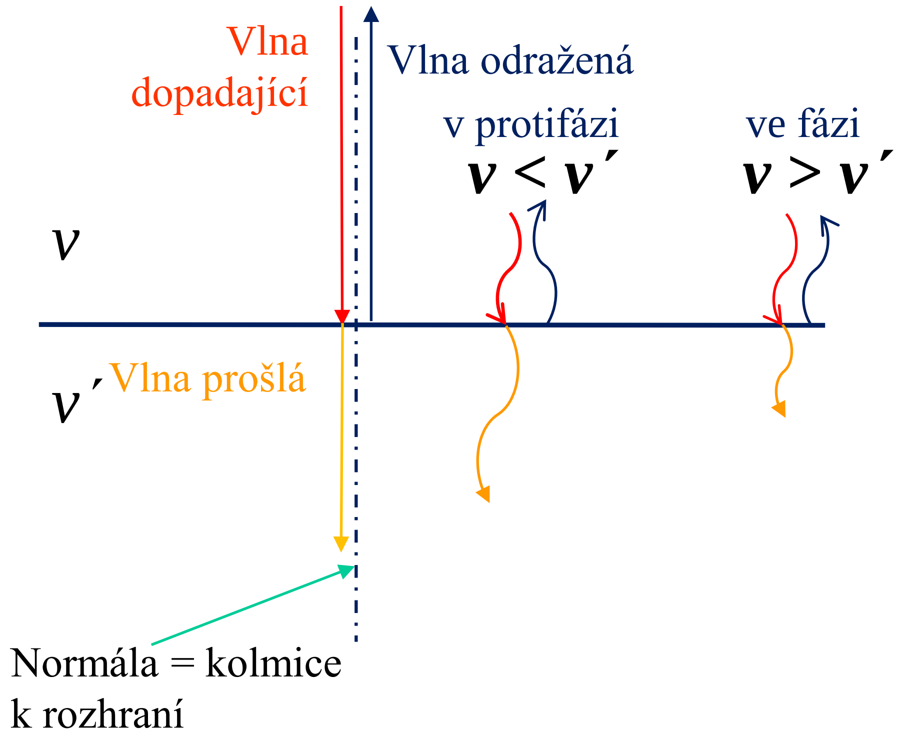
Pro úhel dopadu větší (nebo rovno) meznímu úhlu se vlna pouze odrazí – energie odražené vlny je stejná jako energie vlny dopadající – při totálním odrazu zvukové vlny se nezmění její hlasitost.

Odraz a lom vlny

Vlny dopadající kolmo na rozhraní: dochází k odrazu od rozhraní zpět a k průchodu vlny do prostředí za rozhraní.

Pro $\boldsymbol{v} < \boldsymbol{v}'$ (např. zvuková vlna prochází ze vzduchu do vody) se vlna odráží **v protifázi** – mluvíme o odrazu **na pevném konci**.

Pro $\boldsymbol{v} > \boldsymbol{v}'$ se vlna odráží **ve fázi** mluvíme o odrazu **na volném konci**.



Při odrazu i průchodu vlny se frekvence vlnění zachovává → mění se vlnová délka:

$$\lambda = \frac{v}{f} \rightarrow \lambda' = \frac{v'}{f}$$

$$v > v' \rightarrow \lambda > \lambda'$$

$$v < v' \rightarrow \lambda < \lambda'$$

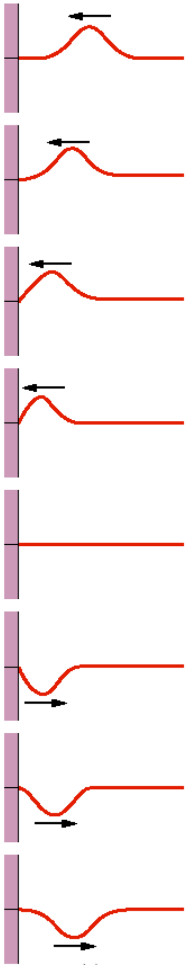
Odraz vlny - okrajové podmínky

Pokud postupná vlna dopadne na ohraničené prostředí, dochází k odrazu vlny. Vlna se odrazí **ve fázi** s dopadající vlnou (při odrazu „na volném konci“) nebo **v protifázi** (odraz „na pevném konci“)

odraz na pevném konci

$$y(0,t) = 0$$

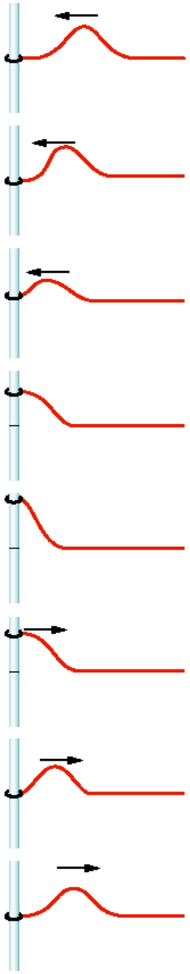
v protifázi



odraz na volném konci

$$\left.\frac{\partial y(x,t)}{\partial x}\right|_{x=0} = 0$$

ve fázi



Energie a intenzita vlny

Vlnivý pohyb **přenáší energii.**

Výkon vlny (Tok energie plochou): $dP = \dfrac{dE}{dt}$

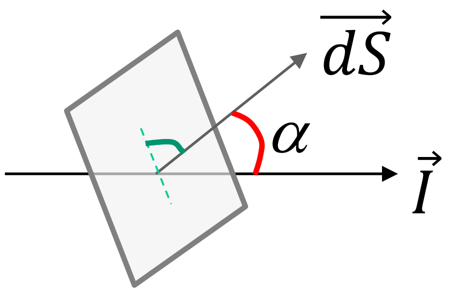
číselně je roven energii, kterou vlnění za 1 sekundu pronese pomyslnou plochou.

Abychom mohli porovnávat množství energie přenášené různými vlnami, definujeme veličinu **Intenzita vlnění *I*** [I] = W.m^{-2}

Intenzita vlnění I je číselně rovna **energii, která za 1 sekundu** v daném místě **projde plochou jednotkové velikosti**, nastavenou **kolmo ke směru** šíření vlnění. Vektor **intenzity vlnění** $\vec{I}$ má orientaci ve směru šíření vlny (paprsku).

Výkon vlny (tok energie plochou) procházející plochou dS, jejíž normála svírá se směrem šíření vlnění úhel α potom vypočítáme podle vztahu:

$$dP = \vec{I} \cdot \overrightarrow{dS} = I \cdot dS \cdot \cos\alpha$$



Energie a intenzita vlny

Intenzita vlnění I - výpočet

Kmitající částice o hmotnosti m má celkovou energii (viz. kmity – celková energie oscilátoru):

$$E = \frac{1}{2} m\omega^2 u_m^2 = E_k + E_p$$

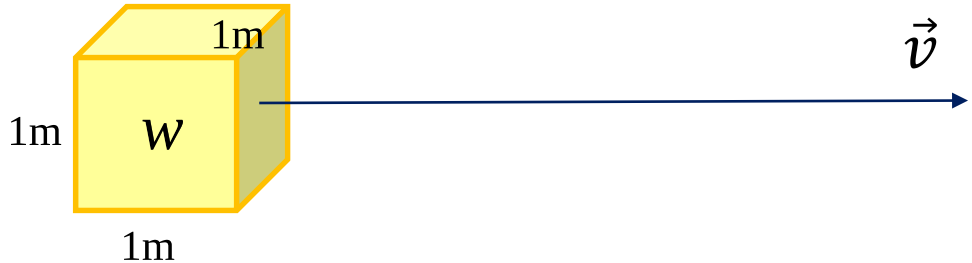
ω - úhlová frekvence vlny
u_m – amplituda výchylky vlny

$\Rightarrow$ **Objemová hustota energie, která je přenášena postupným vlněním**

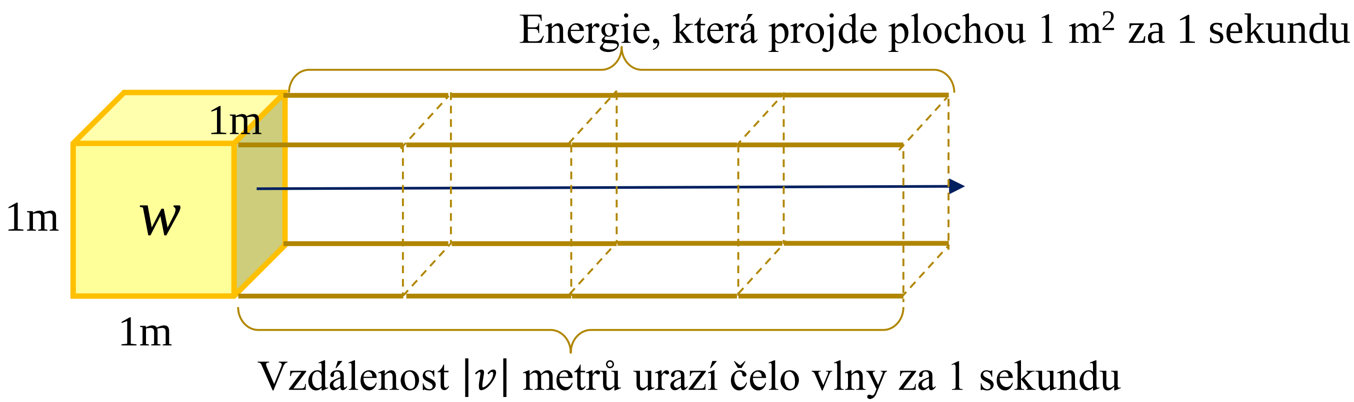
$$w = \frac{E}{V} = \frac{1}{2}\frac{m}{V}\omega^2 u_m^2 = \frac{1}{2}\rho\omega^2 u_m^2$$

w - energie „uschovaná" v objemu 1 m^3

Za 1 sekundu se energie přesune o vzdálenost o velikosti $|v|$ (v je rychlost šíření vlnění).



Energie a intenzita vlny



Energie, která za 1 sekundu projde pomyslnou plochou 1m², postavenou kolmo na směr šíření vlnění = **intenzita vlnění**:

$$\boxed{I = w \cdot v = \frac{1}{2} v \rho \omega^2 u_m^2}$$

Střední výkon přenášený vlnou ve struně:

$$\boxed{\overline{P} = \frac{1}{2} v \mu \omega^2 u_m^2}$$

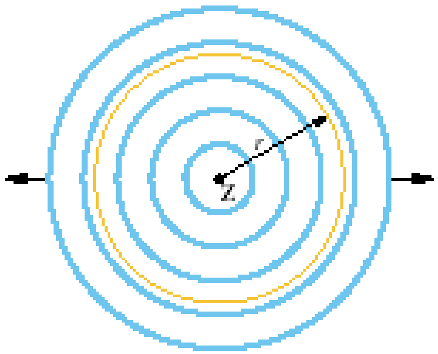
Energie a intenzita vlny

U **kulových vln** (od zdroje se šíří rozruch všemi směry v izotropním prostředí) klesá **intenzita** se čtvercem vzdálenosti *r* od zdroje

$$\boxed{I(r) = \frac{P_z}{4\pi r^2}}$$

kde P_z je výkon zdroje kulových vln.

Vlna postupuje izotropním prostředím do všech směrů – ve vzdálenosti *r* od zdroje je vyzářená energie (celý výkon zdroje) „rozprostřena“ do povrchu koule o poloměru *r*.



Povrch koule: $S(r) = 4\pi r^2$

Intenzita vlny ve vzdálenosti *r* od zdroje:

$$I(r) = \frac{P_Z}{S(r)} = \frac{P_Z}{4\pi r^2}$$

Výkon, který projde plochou *S* ve vzdálenosti *r* od bodového zdroje: $P(r) = I(r) \cdot S$

Intenzita zvuku a její hladiny

Celková **energie vlny závisí na amplitudě výchylky** kmitajících částic prostředí. Amplitudy polohové výchylky **zvukové vlny**, kterou může zaznamenat lidské ucho, leží **v rozmezí 10^{-11} m** (nejslabší slyšitelný zvuk) a **10^{-5} m** (nejhlasitější snesitelný zvuk) → 6 řádů = 10^6 x.

Intenzita zvuku - úměrná druhé mocnině amplitudy → 12 řádů = 10^{12} x.

Zavedeme veličinu **hladina intenzity zvuku β**:

$$\boxed{\beta = (10\,\mathrm{dB}) \log \frac{I}{I_0}}$$

Kde dB je zkratka jednotky decibel,

I je intenzita zvuku. Intenzita vzroste 10x → **hodnota β** vzroste o 10 dB

I_0 je referenční hodnota intenzity, odpovídající nejnižší lidským uchem slyšitelné úrovni zvuku. (I_0 = 10^{-12} Wm^{-2}).

Pro funkci logaritmus (log) platí:
$y = \log x \rightarrow x = 10^y$; např. $y = \log 100 = \log 10^2 = 2 \rightarrow x = 10^y = 10^2 = 100$

Intenzita zvuku a její hladiny

$$\boxed{\beta = (10\,\mathrm{dB})\log\frac{I}{I_0}}$$

(I_0 = 10^{-12} Wm^{-2})

Některé hladiny intenzity zvuku v dB:

Práh slyšitelnosti. β = 0 dB ($I = I_0$ = 10^{-12} Wm^{-2})

Ševelení listů β = 10 dB (I = 10^{-11} Wm^{-2})

Běžný hovor β = 60 dB (I = 10^{-6} Wm^{-2})

Rockový koncert β = 110 dB (I = 10^{-1} Wm^{-2})

Práh bolesti β = 120 dB (I = 10^{0} Wm^{-2} = 1 Wm^{-2})

Proudový motor β = 130 dB (I = 10^{1} Wm^{-2} = 10 Wm^{-2})

Hlasitost zvuku, kterou vnímáme, souvisí s hladinou intenzity zvuku.

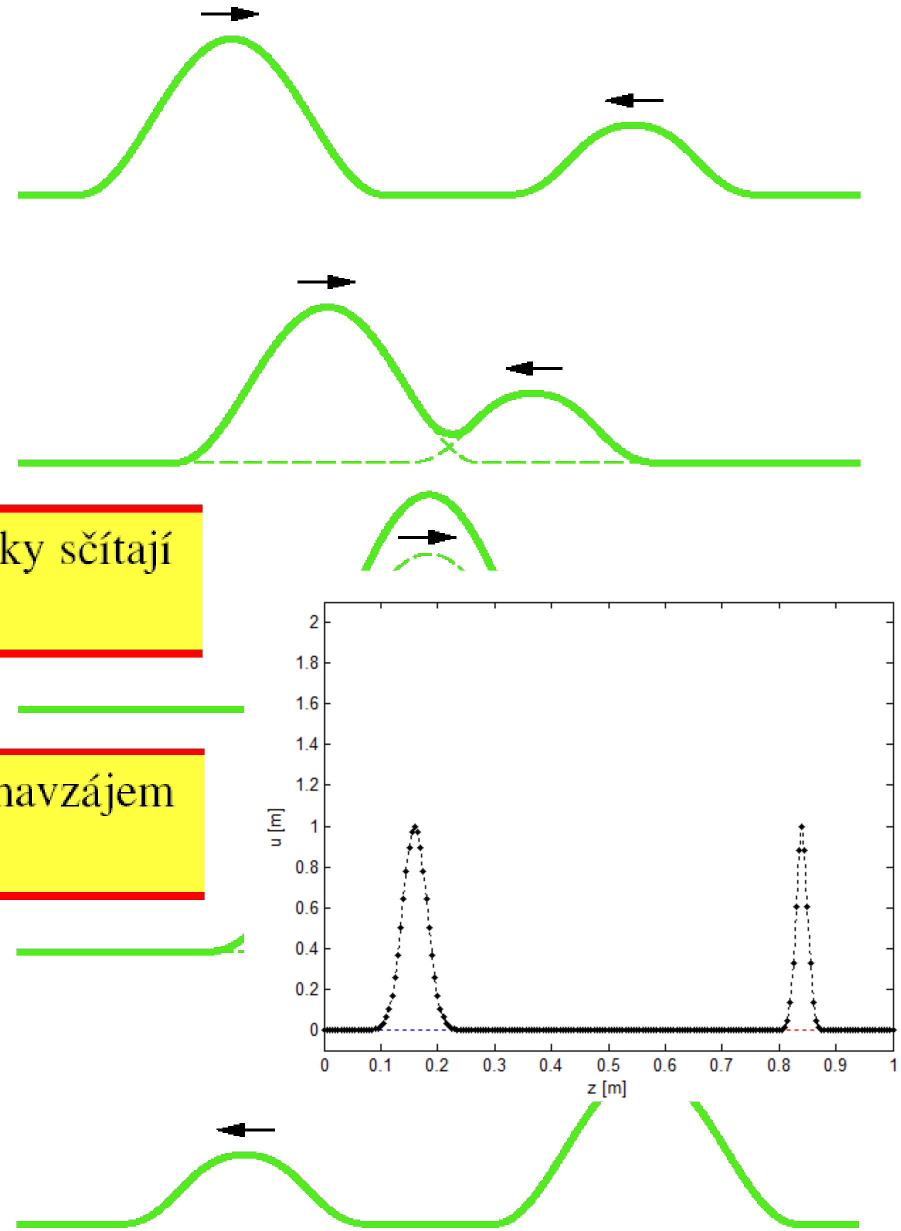
Princip superpozice

Prostředím postupují současně dvě (nebo více) různé vlny.

$$y'(x,t) = y_1(x,t) + y_2(x,t).$$

U překrývajících se vln se výchylky algebraicky sčítají a vytvářejí jednu výslednou vlnu.

Překrývající se vlny se při svém postupu navzájem neovlivňují.



Interference vln

Dvě harmonické vlny o stejné amplitudě, stejné frekvenci a stejné vlnové délce vzájemně fázově posunuté o φ **postupující ve stejném směru**:

$$y_1(x,t) = y_m \sin(\omega t - kx) \qquad y_2(x,t) = y_m \sin(\omega t - kx + \varphi)$$

Výsledná vlna se vypočítá jako součet výchylek vstupních vln:

$$\boxed{y = y_1 + y_2 = y_m \sin(\omega t - kx) + y_m \sin(\omega t - kx + \varphi) = \left(2 y_m \cos\frac{1}{2}\varphi\right) \sin\left(\omega t - kx + \frac{1}{2}\varphi\right)}$$

(užije se vzorec pro součet dvou funkcí sinus)

$$\sin\alpha + \sin\beta = 2 \sin\frac{\alpha+\beta}{2} \cos\frac{\alpha-\beta}{2}$$

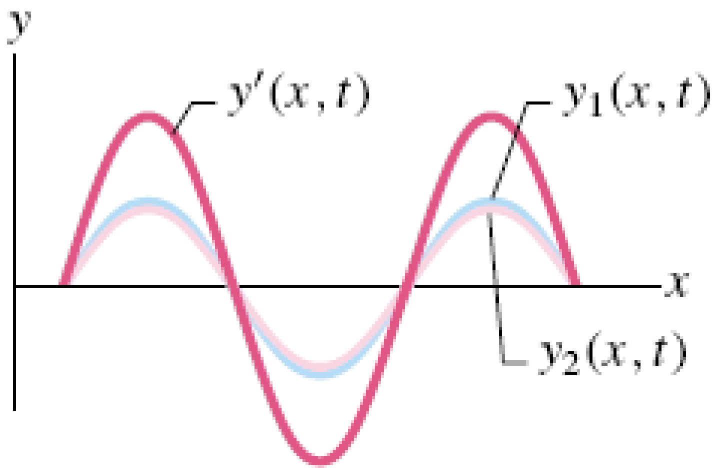
Vzniká sinusová vlna stejné frekvence (stejné ω) a vlnové délky (stejné k) postupující ve směru původních vln

Amplituda výsledné vlny: $$\boxed{y'_m = 2 y_m \cos\frac{1}{2}\varphi}$$

Závisí na vzájemném **fázovém posuvu** původních vln

Interference vln

Pro $\boxed{\varphi = 2\pi m, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots}$ (**vlny ve fázi**) je $y_m{}' = 2y_m \cos 0 = 2y_m$

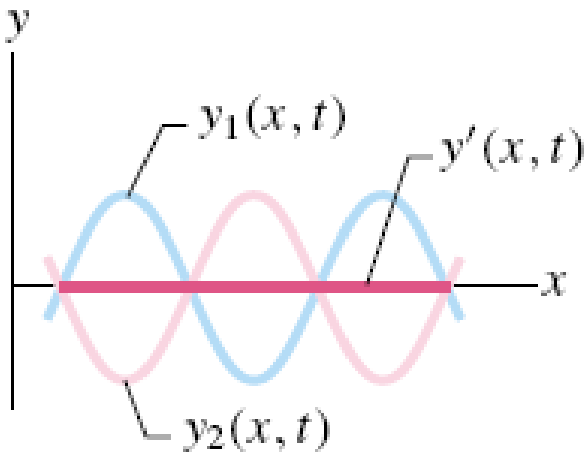


(maximální zesílení)

Konstruktivní interference

Pro $\boxed{\varphi = \pi(2m+1), \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots}$ (**vlny v opačné fázi**) je

$$y_m{}' = 2y_m \cos \frac{\pi}{2} = 0$$



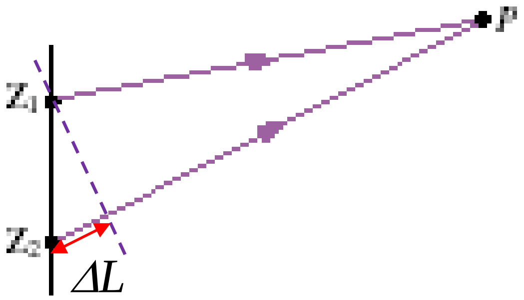
(maximální zeslabení)

Destruktivní interference

Interference vln

Fázový rozdíl může vzniknout i tak, že se **dvě vlny šíří po různě dlouhých drahách**.

Příklad – dva bodové zdroje Z_1, Z_2 zvukového vlnění o vlnové délce λ a frekvenci ω, které jsou ve fázi.



V bodě P dochází k interferenci vlnění

Platí

$$\frac{\varphi}{2\pi} = \frac{\Delta L}{\lambda}$$

ΔL je **dráhový rozdíl vln**, φ je jejich fázový rozdíl v bodě P

Konstruktivní interference

$$\boxed{\varphi = 2\pi m, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\Delta L = m\lambda, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots}$$

Destruktivní interference

$$\boxed{\varphi = \pi(2m+1), \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\Delta L = (2m+1)\frac{\lambda}{2}, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots}$$

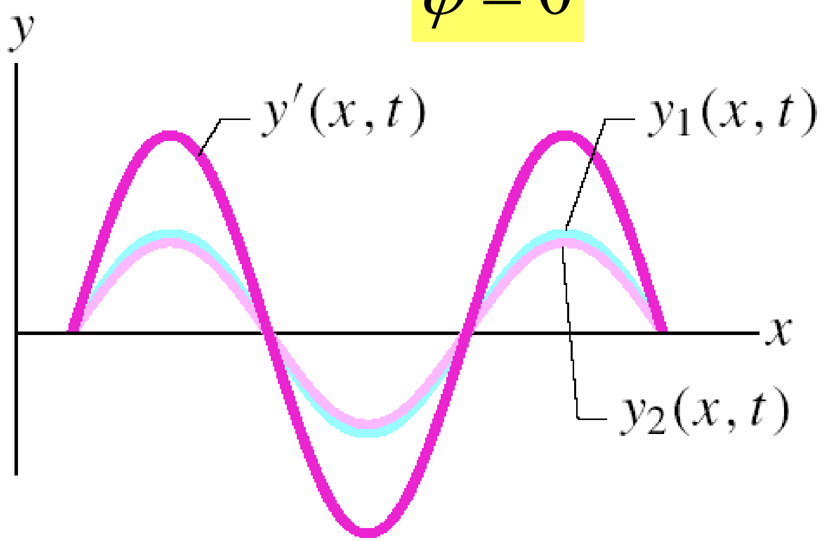
Interference vln

Tabulka 17.1 Fázové rozdíly a jim odpovídající druh interference[a]

Fázový rozdíl ve stupních	Fázový rozdíl v radiánech	Dráhový rozdíl ve vln. délkách	Amplituda výsledné vlny	Druh interference
0	0	0	$2y_m$	úplně konstruktivní
120	$2\pi/3$	0,33	y_m	částečná
180	π	0,50	0	úplně destruktivní
240	$4\pi/3$	0,67	y_m	částečná
360	2π	1,00	$2y_m$	úplně konstruktivní
865	15,1	2,40	$0{,}60y_m$	částečná

$$y'(x,t) = [2y_m \cos(\varphi/2)] \sin(kx - \omega t + \varphi/2)$$

$\varphi = 0$



$\varphi = \pi$