

→ Mechanické vlnění

→ Emitační oscilátor = pohyb 1 bodu

→ vlnění = emitační hodně bodů, mezi kterými je vazba

→ postupné vlnění

→ R jednoho oscilátoru se ν přeneso na druhý

→ ν řadě bodů - oscilátory propojené vazbou

• příčné postupné vlnění - rozsáhlé / natažené vlákně

→ body emitují kolmo na směr šíření - emitují na ose y

→ kolmo k směru rychlosti šíření \vec{v}

• podélné postupné vlnění - šíření zvuku

→ body v řadě emitují podél směru šíření vlnění v ose x

→ vlnová délka - $\lambda = \lambda = \text{lambda}$

→ viz obrázek: body 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

→ v osazování, kdy bod 0 dozněl celý kmit, se vlnění došířilo až do bodu 8

⇒ $\lambda = \nu$ vzdálenost bodů 0 a 8

→ $\lambda = \nu$ vzdálenost, do které se vlnění došířilo během jedné periody

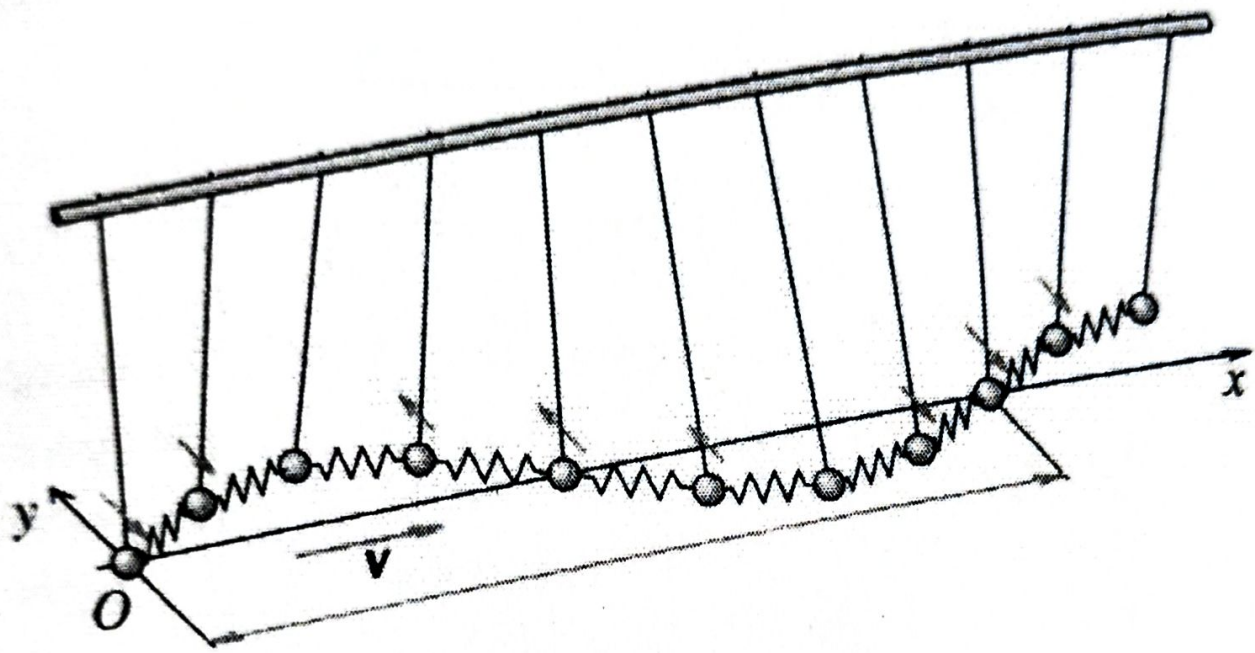
→ $\lambda = \nu$ vzdálenost 2 nejbližších bodů kmitajících se stejnou fází

$\lambda = \nu \cdot T$ - $\nu = \text{rychlost šíření vlnění}$

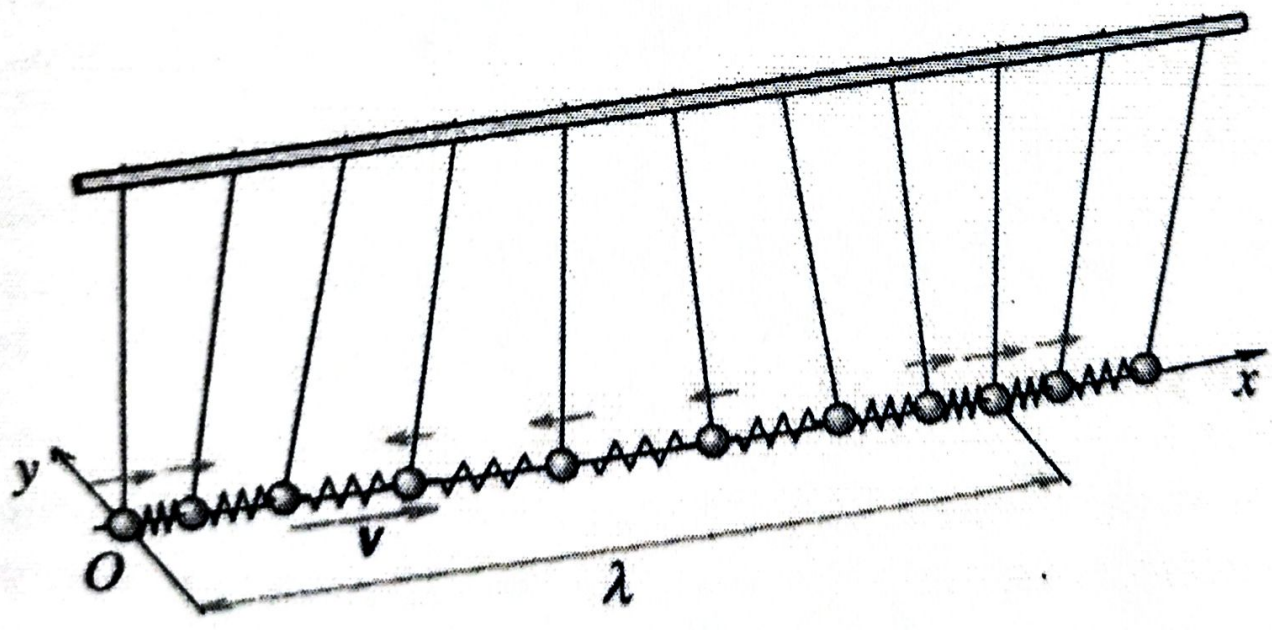
$[\lambda] = m$

$$\nu = \frac{\lambda}{T} = f \cdot \lambda$$

- nemá ν přenos ν částky, ale přenos energie kmitační

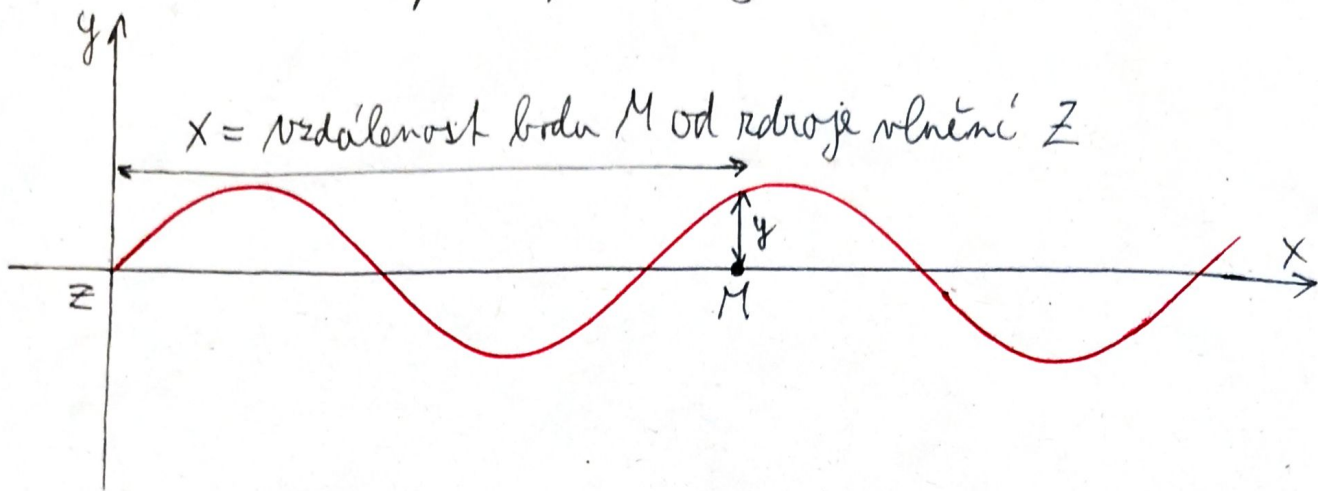


2-3 Vznik postupného vlnění



2-5 Postupné vlnění podélné

→ rovnice postupné vlny



→ graf příčného postupného vlnění v čase t

→ zobrazuje okamžité výchylky všech bodů vlnění

→ $x = v \cdot \tau$ - v = rychlost šíření

τ = doba, za kterou se vlnění dostalo z Z do M

→ bod M koná kmitavý pohyb

$\Rightarrow y = y_m \sin[\omega \cdot (t - \tau)]$ → bod M kmitá se zpožděním τ

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

$$y = y_m \sin\left[2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{v \cdot T}\right)\right]$$

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

→ $y(x, t)$ → funkce dvou proměnných

$$\{y\} = y_m \sin\left[2\pi \left(f \cdot \{t\} - \frac{1}{\lambda} \cdot \{x\}\right)\right]$$

⇒ rovnice postupné vlny popisuje okamžitou výchylku bodu v čase t a ve vzdálenosti x od zdroje vlnění

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

→ příklad

$$\{y\} = 5 \cdot 10^{-4} \cdot \sin [2\pi (150 \cdot \{t\} - 2,5 \{x\})]$$

rychlost šíření v , v_m bodů = ?

$$\bullet \lambda = v \cdot T \Rightarrow v = f \cdot \lambda = 150 \cdot \frac{1}{2,5} \text{ m/s}$$

$$\underline{v = 60 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}$$

$$\bullet v_m = \omega \cdot y_m = 2\pi f \cdot y_m = 2\pi \cdot 150 \cdot 5 \cdot 10^{-4} = 0,15\pi$$

$$\underline{v_m = 0,471 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}$$

→ interference vlnění = skládání

→ existují 2 zdroje vlnění \Rightarrow skládám rovnice postupných vln

→ bod M má od Z_1 vzdálenost x_1 , a od Z_2 vzdálenost x_2

→ jednoduchý případ \Rightarrow stejné: y_m, T, λ

$$Z_1: y_1 = y_m \cdot \sin \left[2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x_1}{\lambda} \right) \right]$$

$$Z_2: y_2 = y_m \cdot \sin \left[2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x_2}{\lambda} \right) \right]$$

$$\bullet \text{Max: } d = \frac{\lambda}{2} \cdot 2k$$

$$\Rightarrow \Delta\varphi = \pi \cdot 2k = 0$$

$$\bullet \text{Min: } d = \frac{\lambda}{2} (2k+1)$$

$$\Rightarrow \Delta\varphi = \pi (2k+1) \equiv \pi$$

} na druhé straně

→ drahový rozdíl vlnění: $d = x_1 - x_2$

→ fázový rozdíl vlnění

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

$$\underline{\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot d} \Rightarrow \Delta\varphi \sim d \quad \#$$

→ výsledná výchylka v bodě M:

$$y = y_1 + y_2 = y_m \left[\sin(\varphi_1) + \sin(\varphi_2) \right]$$

$$y = y_m \cdot 2 \sin \left(\frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} \right) \cos \left(\frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2} \right) \quad \wedge \quad \cos(x) = \cos(-x)$$

$$y = 2 \cdot y_m \cdot \cos \left(\frac{\Delta\varphi}{2} \right) \cdot \sin \left[\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x_1}{\lambda} + \frac{t}{T} - \frac{x_2}{\lambda} \right) \right]$$

$$y = 2 \cdot y_m \cdot \cos \left(\frac{\Delta\varphi}{2} \right) \cdot \sin \left[\pi \left(\frac{2t}{T} - \frac{x_1 + x_2}{\lambda} \right) \right]$$

$$\underline{y = y_m \cdot \sin \left[2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x_1 + x_2}{2\lambda} \right) \right]} \rightarrow 2 \cdot y_m \cdot \cos \left(\frac{\Delta\varphi}{2} \right) = \text{konst.}$$

→ obecně

$$y = \sum_{i=1}^n y_i$$

→ interferenční maximum

→ rozdíl $d =$ násobek λ

⇒ amplituda výsledných kmitů je největší možná

→ interferenční minimum

→ rozdíl $d =$ lichý násobek $\frac{1}{2} \lambda$

⇒ amplituda výsledných kmitů je nejmenší možná

→ kmitů se mohou i úplně vyrušit

→ příklady

2) $\{y\} = 0,1 \cdot \sin [2\pi (5 \cdot \{t\} - 3,3 \cdot \{x\})]$

$y_m, \lambda, \nu = ?$

• $y_m = 0,1 \text{ m} = 10 \text{ cm}$

• $\lambda = \frac{1}{3,3} = \underline{\underline{0,30 \text{ m}}}$

• $\nu = \lambda \cdot f = \frac{5}{3,3} = \underline{\underline{1,51 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}}$

3) $f = 0,4 \text{ Hz}$

$y_m = 5 \text{ cm} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$

$x = 45 \text{ cm} = 0,45 \text{ m}$

$L = 12 \text{ m}$

$\lambda = 60 \text{ cm} = 0,6 \text{ m}$

y , rovnice postupné vlny = ?

$\{y\} = 5 \cdot 10^{-2} \cdot \sin [2\pi (0,4 \cdot \{t\} - \frac{10}{6} \cdot \{x\})]$

$y = 5 \cdot 10^{-2} \cdot \sin [2\pi (0,4 \cdot 12 - \frac{10}{6} \cdot 0,45)] \text{ m}$

$y = 0,02 \text{ m} = 2 \text{ cm}$

↪ 4) $\varphi_0 = \frac{\pi}{4} \Rightarrow$ rovnice postupné vlny = ?

$\{y\} = 5 \cdot 10^{-2} \cdot \sin [2\pi (0,4 \cdot \{t\} - \frac{5}{3} \cdot \{x\}) + \frac{\pi}{4}]$

$\{y\} = 5 \cdot 10^{-2} \cdot \sin [\pi (0,8 \cdot \{t\} - \frac{10}{3} \cdot \{x\}) + 0,25]$

→ stojaté vlnění

• odraz vlnění na pevném konci

- poslední bod v řadě netmitá - je upevněný
- ⇒ odraz má opačnou fázi než původní vlnění

• odraz vlnění na volném konci

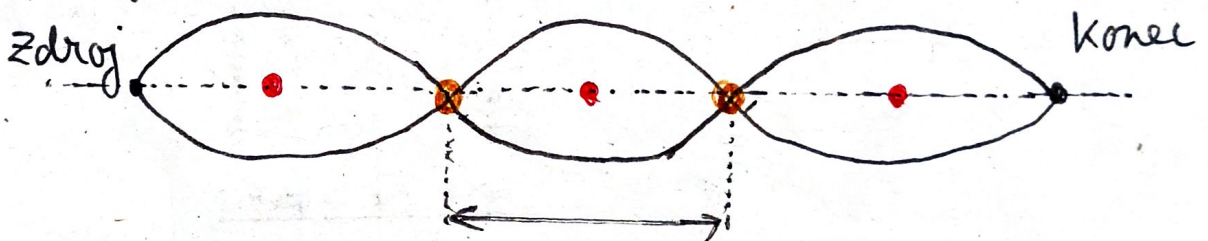
- poslední bod v řadě kmitá volně
- ⇒ odraz má stejnou fázi jako původní vlnění

→ stojaté vlnění vznikne složením postupného a odraženého vlnění

• kmity = body, které kmitají s největší amplitudou

• uzly = body, které netmitají - $y_m = 0$

→ body mezi nimi kmitají s různými amplitudami



↳ body mezi sousedními uzly kmitají se stejnou periodou

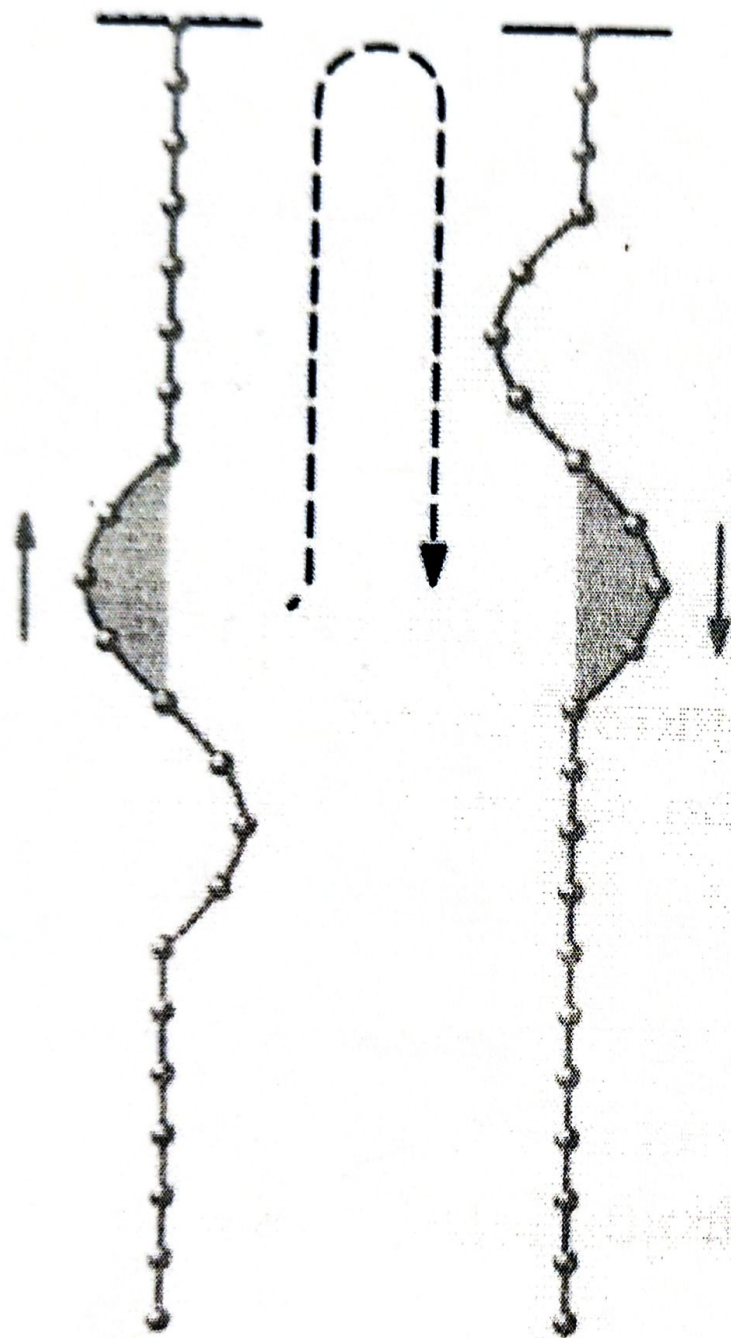
→ vzdálenost sousedních uzlů = $\frac{\lambda}{2}$

→ vzdálenost kmity a uzlu = $\frac{\lambda}{4}$

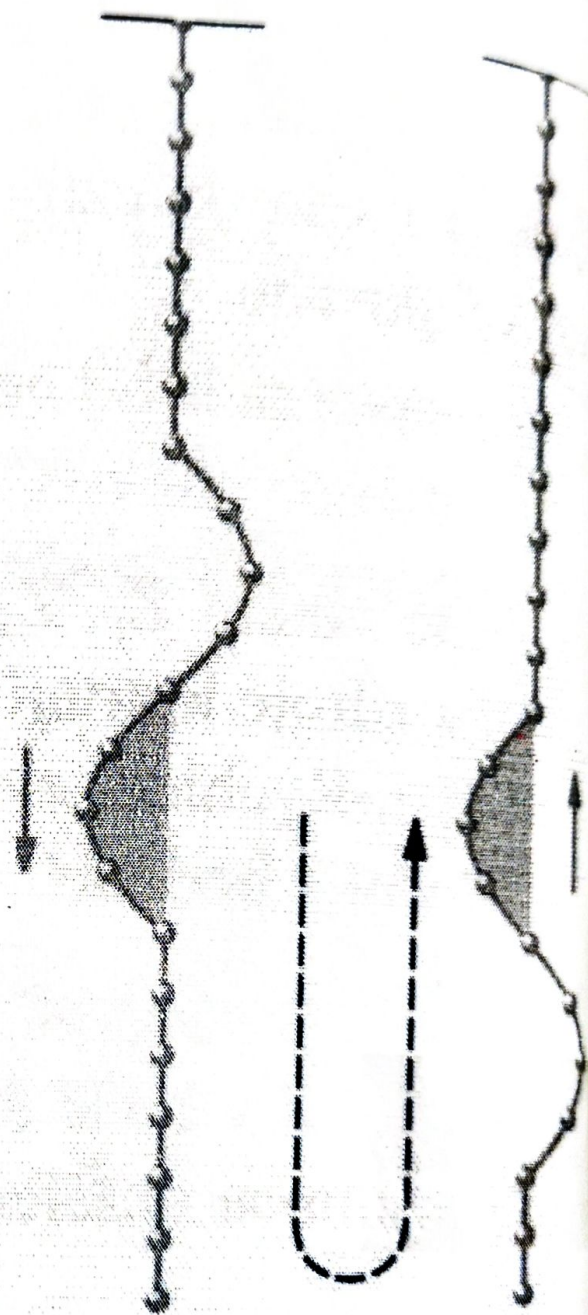
→ nedochází k přenosu energie mezi body

- pouze se E_k bodu mění na E_p a naopak

realizuje v postupném vlnění k němu dochází



2-13 Odraz vlnění
na pevném konci



2-14 Odraz vlnění
na volném konci

→ vlnění v izotropním prostředí

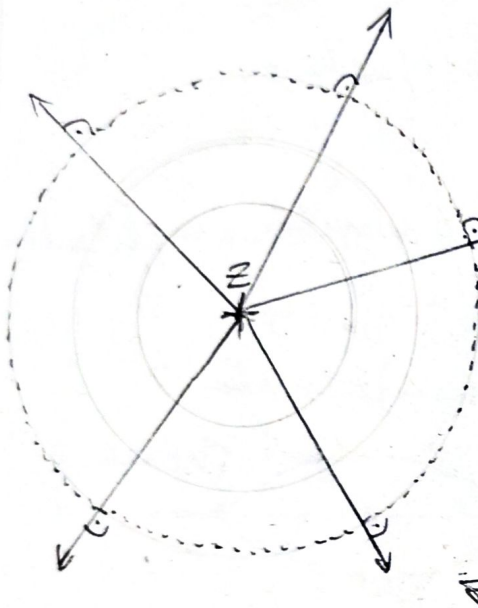
- i. prostředí = všude jsou stejné podmínky

→ bodový zdroj, ze kterého se vlnění šíří všemi směry stejnou rychlostí

→ body, do kterých se doširoka za určitou dobu tvoří kulovou plocha = vlnoplocha

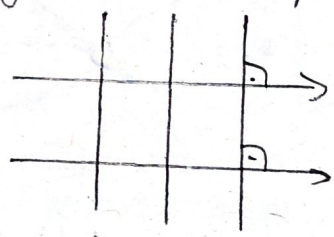
↳ množina bodů, které kmitají se stejnou fází a mají stejnou vzdálenost od Z

jinými slovy



→ řádky znázorňují směr šíření a jsou kolmé na vlnoplochy

→ pokud bychom byli hodně daleko od zdroje, tak by kulová vlnoplocha připomínala rovinu



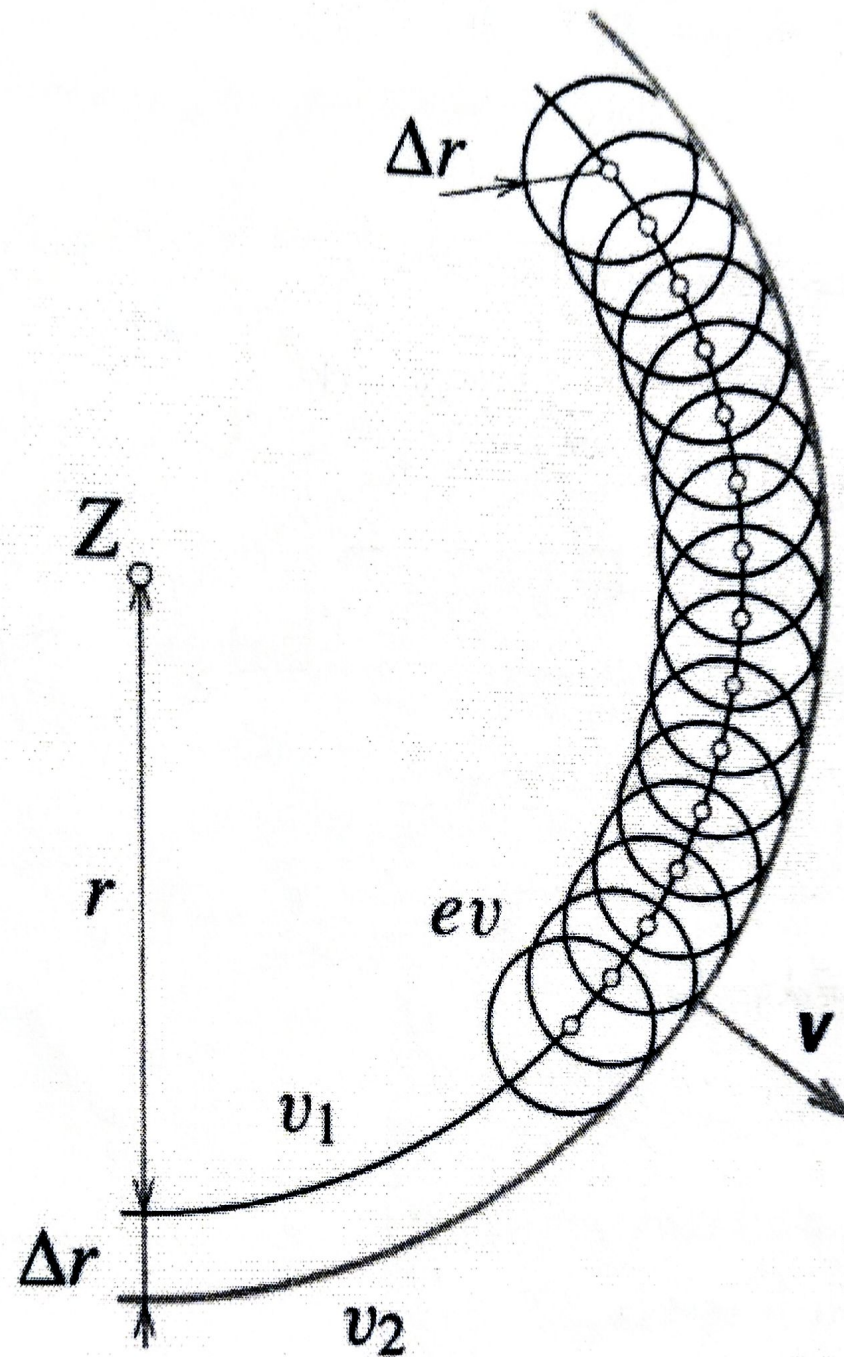
→ Huygensov princip

→ každý bod vlnoplochy kmitá = je zdroj elementárního vlnění, které se šíří v elementárních vlnoplochách

→ vlnoplocha v následujícím časovém okamžiku bude obalovou plochou elementárních vlnoploch

→ fázet = kolnice k vlnoploše ⇒ znázorňuje směr šíření

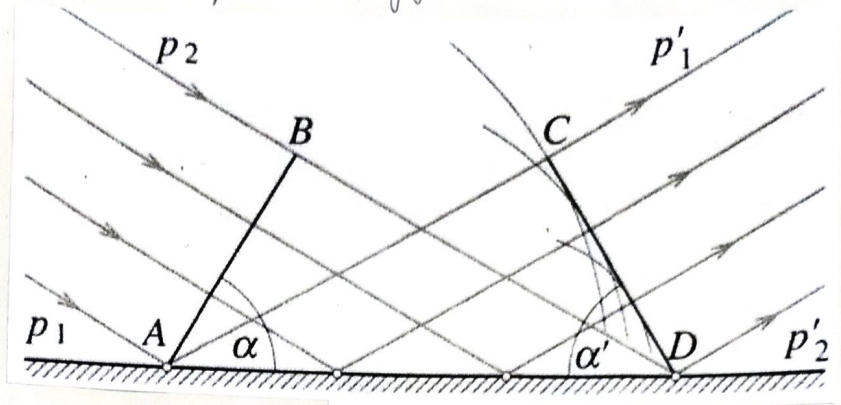
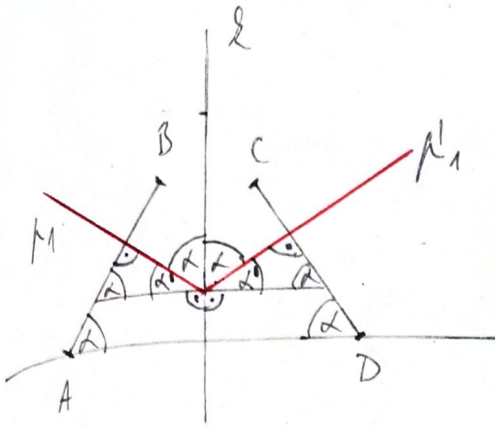
↳ fázet se zvyšují všude jinde než je na obalové vlnoploše



2-21 K výkladu Huygensova principu

→ Odraz vlnění → zákon odrazu

→ odraz vlnění na přelomu podle Huygensova principu

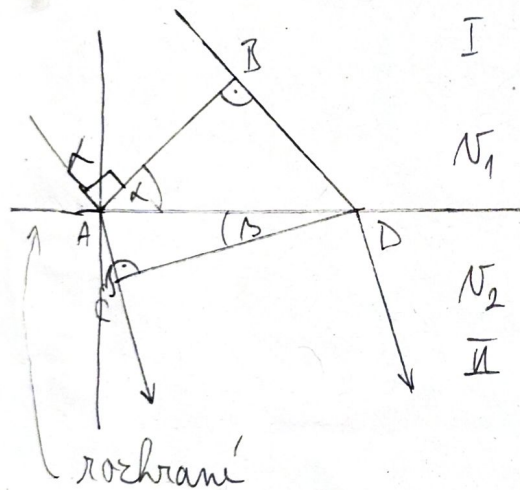


AB = dopadající rovinná vlnoplocha

→ úhel dopadu vícuje paprsek a osa ξ

→ zákon odrazu: úhel dopadu = úhel odrazu a odražený paprsek leží v rovině kolmé na rovině dopadu

→ Lom vlnění → zákon lomu



I

→ v prostředí I a II jsou jiné rychlosti šíření vlnění

N_1

→ za tu dobu co se vlnění z B dostane do D, se z A dostane do C

N_2

$$\Rightarrow |BD| = N_1 \cdot t \quad |AC| = N_2 \cdot t$$

$$\Rightarrow \sin(\alpha) = \frac{|BD|}{|AD|} \Rightarrow |BD| = |AD| \cdot \sin(\alpha)$$

$$\Rightarrow \sin(\beta) = \frac{|AC|}{|AD|} \Rightarrow |AC| = |AD| \cdot \sin(\beta)$$

$$\Rightarrow \frac{|BD|}{|AC|} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow \frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)} = \frac{N_1}{N_2} = n = \text{index lomu}$$

$\alpha = \text{úhel dopadu}$
 $\beta = \text{úhel lomu}$

$N_1 < N_2 \rightarrow \alpha < \beta$
 $N_1 > N_2 \rightarrow \alpha > \beta$

→ zákon lomu

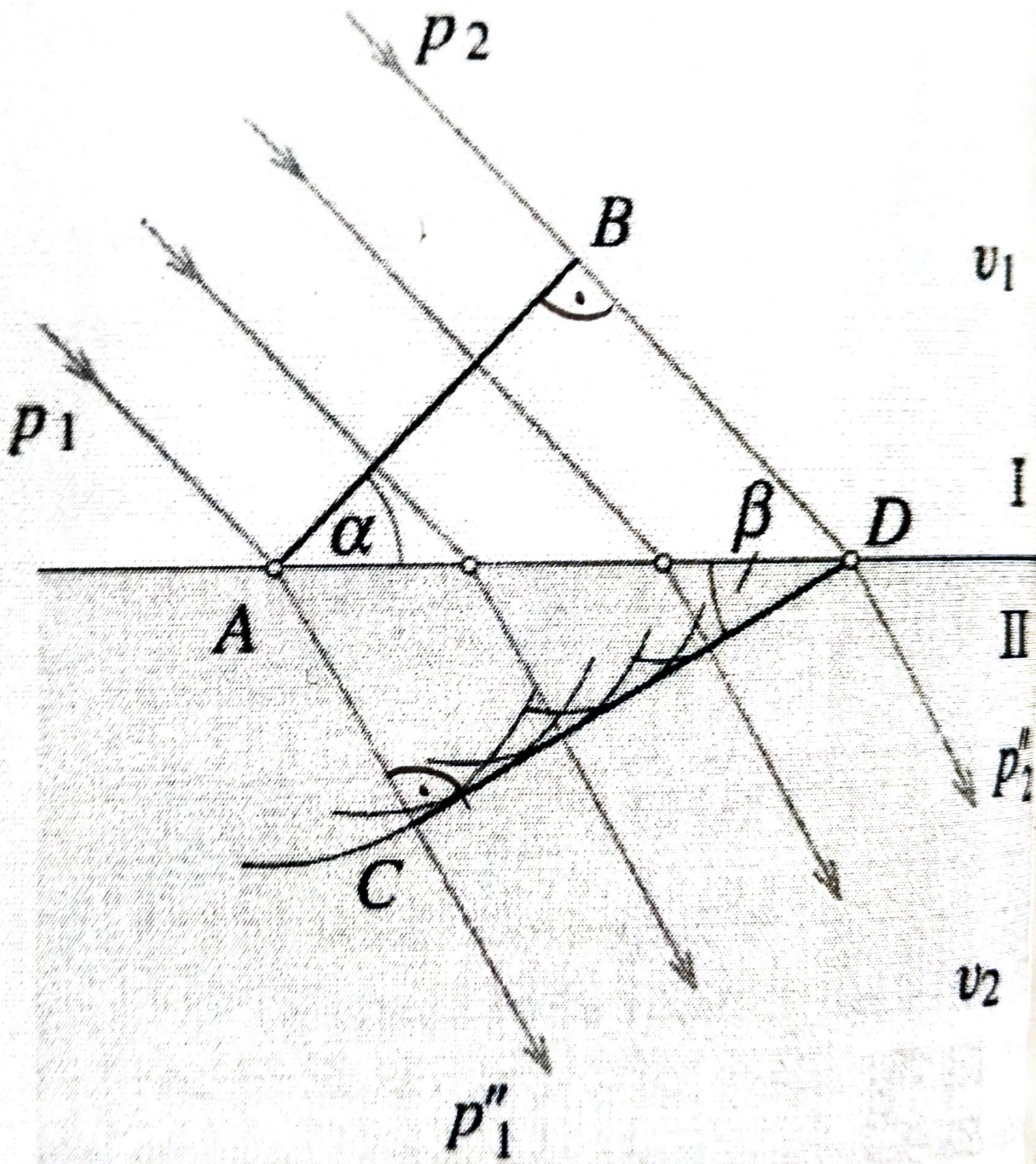
→ vlnění narazilo na rohový zlom přehled

→ vlnění se vždy odrazí (jeho část)

→ a část se může lámat a přijít do druhého prostředí

↳ při úplném odrazu se vůbec neláme

→ část E se absorbuje



a)

2-25 Lom vlnění



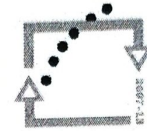
evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

1) Napnutým vláknem se šíří postupné příčné vlnění frekvence 350 Hz a vlnové délky 30 cm. Vypočítejte:

- fázovou rychlost šíření vlnění,
- fázový rozdíl kmitání dvou bodů vlákna, které jsou od sebe vzdáleny 225 mm,
- nejmenší vzdálenost mezi dvěma body vlákna, které kmitají s opačnými fázemi.

$$(a) v = \lambda f = 105 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}; \quad b) \Delta\varphi = 2\pi \frac{\Delta x}{\lambda} = \frac{3}{2}\pi; \quad c) \Delta x = \lambda \frac{\Delta\varphi}{2\pi} = \frac{\lambda}{2} = 0,15 \text{ m}$$

2) Stojaté vlnění vzniklo interferencí dvou proti sobě postupujících příčných postupných vlnění frekvence 0,8 kHz a rychlosti šíření 1 160 m·s⁻¹. Vypočítejte vzdálenost sousedních uzlů stojatého vlnění.

$$(l = \frac{v}{2f} = 0,725 \text{ m} (= 725 \text{ mm}))$$

3) Membrána reproduktoru kmitá harmonicky s frekvencí 1 760 Hz. Vypočítejte vlnovou délku zvukového vlnění, které se od reproduktoru šíří:

- ve vzduchu, kde je za daných podmínek rychlost šíření zvuku 334,4 m·s⁻¹,
- ve vodě, kde se zvuk šíří rychlostí 1 452 m·s⁻¹.

$$(\lambda = \frac{v}{f} \Rightarrow \lambda_a = 0,19 \text{ m} (= 19 \text{ cm}); \quad \lambda_b = 0,825 \text{ m} (= 82,5 \text{ cm}))$$

4) Zvukové vlnění o frekvenci 440 Hz (komorní a) vzniká kmitáním zdroje s amplitudou výchylky 0,1 mm a s nulovou počáteční fází. Okolním prostředím se vlnění šíří fázovou rychlostí 320 m·s⁻¹.

- Sestavte rovnici postupné vlny uvedeného vlnění a vypočítejte jeho vlnovou délku.
- Vypočítejte okamžitou výchylku, rychlost a zrychlení hmotného bodu ve vzdálenosti 8 cm od zdroje v čase $t = 12,75 \text{ ms}$.

$$(a) \{y\} = 1 \cdot 10^{-4} \sin \pi(880\{t\} - 2,75\{x\}); \quad \lambda = \frac{v}{f} = \frac{8}{11} \text{ m} \doteq 0,727 \text{ m};$$

$$b) y = 1 \cdot 10^{-4} \sin \pi(880\{t\} - 2,75\{x\}) \text{ m} = 0;$$

$$v = 2\pi f y_m \cos \pi(880\{t\} - 2,75\{x\}) = -0,088\pi \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \doteq -0,276 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} (= -v_m);$$

$$a = -4\pi^2 f^2 y_m \sin \pi(880\{t\} - 2,75\{x\}) = 0$$

5) Zvuk o frekvenci 170 Hz se šíří ve vzduchu rychlostí 340 m·s⁻¹, ve vodě rychlostí 1 450 m·s⁻¹. Vypočítejte:

- úhel lomu zvukového vlnění, dopadá-li ze vzduchu na vodní hladinu pod úhlem dopadu 10°,
- maximální úhel dopadu, při kterém projde zvuk hladinou ze vzduchu do vody,
- vlnovou délku zvuku ve vzduchu a ve vodě.

MECHANICKÉ VLNĚNÍ

1, $f = 350 \text{ Hz}$

$\lambda = 300 \text{ mm}$

a, $v = ?$

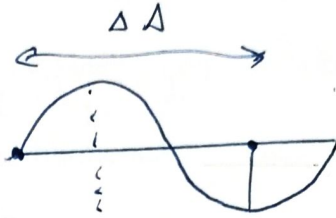
b, $\Delta s = 225 \text{ mm} \rightarrow \Delta \varphi = ?$

c) opacné fáze $\rightarrow \Delta = ?$

c) $\Delta = \frac{\lambda}{2} = \underline{\underline{150 \text{ mm}}}$

a, $v = \lambda f = 350 \cdot 0,3 \text{ m/s} = \underline{\underline{105 \text{ m/s}}}$

b, $\Delta \varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta s = 2\pi \cdot \frac{225}{300} = \underline{\underline{\frac{3}{2}\pi}}$



$\Delta s = \frac{3}{4}\lambda$

opacné fáze

2, $f = 800 \text{ Hz}$

$v = 1160 \text{ m/s}$

$l = ?$

$l = \frac{1}{2}\lambda = \frac{1}{2} \frac{v}{f} = \frac{1160}{1600} \text{ m} = \underline{\underline{725 \text{ mm}}}$

3, $f = 1760 \text{ Hz}$

v_1, v_2

$\lambda = ?$

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

a, $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{320}{440} \text{ m} = \underline{\underline{727 \text{ mm}}}$ $\frac{1}{\lambda} = \frac{11}{8}$

4, $f = 440 \text{ Hz}$

$y_m = 0,1 \text{ mm}$

$v = 320 \text{ m/s}$

a, $\lambda = ?$

b, $x = 8 \text{ cm}$
 $t = 12,75 \text{ ms}$ } $y, v, a = ?$

b, $\{y\} = y_m \sin \left[2\pi(440\{t\}) - \frac{11}{8}\{x\} \right]$

$\{y\} = 10^{-4} \sin \left[\pi(880\{t\}) - 2,75\{x\} \right] = 0$

$\{v\} = 10^{-4} \cos \left[\pi(880\{t\}) - 2,75\{x\} \right] \cdot \pi 880$

$v = -\pi \cdot 0,088 \text{ m/s} = \underline{\underline{-0,276 \text{ m/s}}}$

$\underline{\underline{a = 0}}$

5, $f = 170 \text{ Hz}$

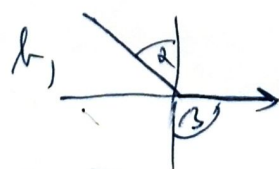
$v_1 = 340 \text{ m/s}$

$v_2 = 1450 \text{ m/s}$

a, $\alpha = 10^\circ \rightarrow \beta = ?$

b, $\alpha_m = ?$

a, $\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} \Rightarrow \beta = \arcsin \left(\frac{v_2}{v_1} \sin \alpha \right) = \underline{\underline{49,8^\circ}}$



$\beta = \frac{\pi}{2}$

$\sin \beta = 1$

$\Rightarrow \alpha_m = \arcsin \left(\frac{v_1}{v_2} \right) = \underline{\underline{13,56^\circ}}$