

## Obsah

<b>15 Mechanické vlnění</b>	<b>1</b>
15.1 Rovnice postupného vlnění . . . . .	1
15.2 Interference . . . . .	2
15.3 Odraz . . . . .	2
15.4 Stojaté vlnění . . . . .	2
15.5 Huygensův princip . . . . .	5
15.6 Zvuk . . . . .	5

## 15 Mechanické vlnění

- přenos kmitání pružným prostředím – přenos kmitání jedné částice na druhou vazebnými silami
- nepřenáší se látka, přenáší se energie
- zvuk, světlo, vlny na vodě...
- zdrojem vlnění mechanický oscilátor
- druhy vlnění
  - příčné vlnění
    - \* kmitání v kolmém směru šíření vlnění (nahoru a dolů)
    - \* např. struna hudebního nástroje, vlna na vodě...
  - podélné vlnění
    - \* kmitání ve směru šíření vlnění (dopředu a dozadu)
    - \* typicky stlačování a rozpínání (stlačování vzduchu)
    - \* např. zvuk
- druhy dle přenosu energie
  - postupné vlnění – přenos energie prostředím
  - stojaté vlnění – nepřenos energie
- šíření vlny prostorem rychlostí  $v$
- vlnová délka  $\lambda$ ,  $[\lambda] = \text{m}$  – délka jedné periody v prostoru

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

### 15.1 Rovnice postupného vlnění

- výchylka  $y$  v daném bodě závislá na čase  $t$  a vzdálenosti od zdroje  $x$
- kmitání zdroje v bodě  $x = 0$  (žádné opoždění)

$$y = y_m \sin(\omega t)$$

- bod ve vzdálenosti  $x$  opožděn oproti zdroji o čas  $t'$ , který bylo potřeba na to, aby se vlna do daného bodu rychlostí  $v$  dostala

$$t' = \frac{x}{v}$$

$$y(x, t) = y_m \sin \omega (t - t')$$

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

$$y(x, t) = y_m \sin 2\pi \left( \frac{1}{T} \cdot t - \frac{1}{T} \cdot \frac{x}{v} \right)$$

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

$$\varphi_0 \neq 0 : y(x, t) = y_m \sin \left( 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) + \varphi_0 \right)$$

- fáze vlnění

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

$$\varphi_0 \neq 0 : 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) + \varphi_0$$

## 15.2 Interference

- skládání dvou a více vlnění
- výsledná hodnota výchylky dána součtem výchylek jednotlivých vlnění

$$y(x, t) = \sum_{i=1}^n y_{m_i} \sin \left( 2\pi \left( \frac{t}{T_i} - \frac{x}{\lambda_i} \right) + \varphi_{0_i} \right)$$

- speciální případ – vlnění mají stejnou vlnovou délku (frekvenci)
  - možno určit výsledný kmitavý pohyb jako superpozici kmitání dílčích vln
  - v obecných případech superpozice také platí, ale výsledný průvodič kmitání/vlnění se v čase mění
- fázový rozdíl vln

$$\Delta\varphi = 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x_1}{\lambda} \right) + \varphi_{0_1} - 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x_2}{\lambda} \right) + \varphi_{0_2}$$

$$\Delta\varphi = 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x_1}{\lambda} - \frac{t}{T} + \frac{x_2}{\lambda} \right) + \varphi_{0_1} + \varphi_{0_2}$$

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{1}{\lambda} (x_2 - x_1) + \varphi_{0_1} + \varphi_{0_2}$$

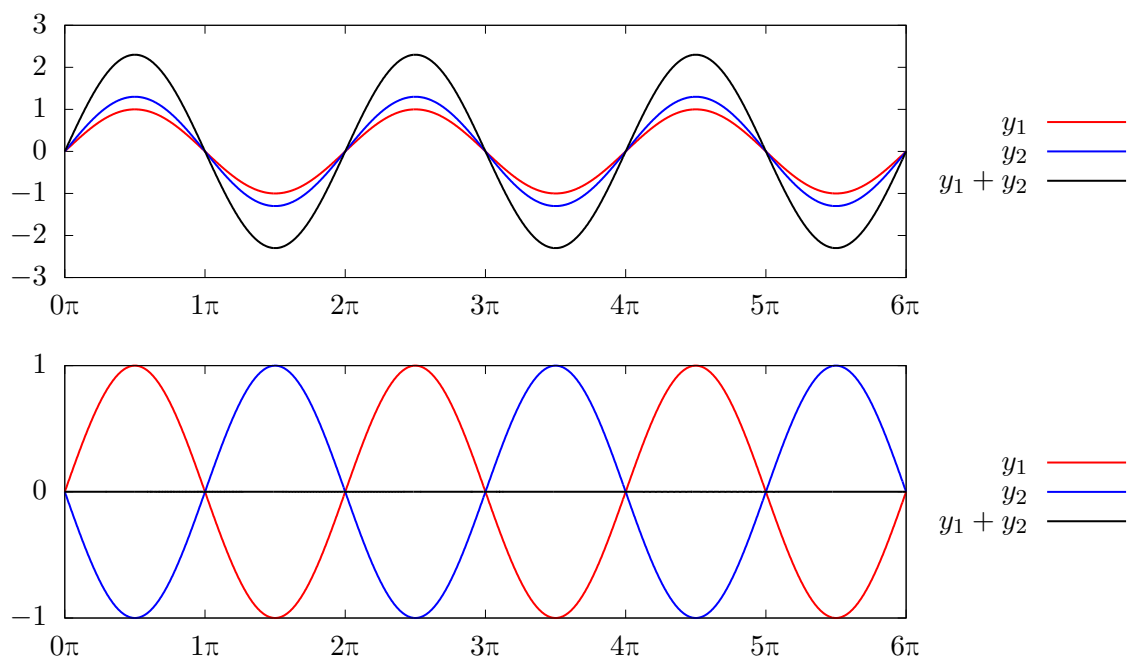
$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} d + \varphi_{0_1} + \varphi_{0_2}$$

$$\varphi_{0_1} + \varphi_{0_2} = 0 : \Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} d$$

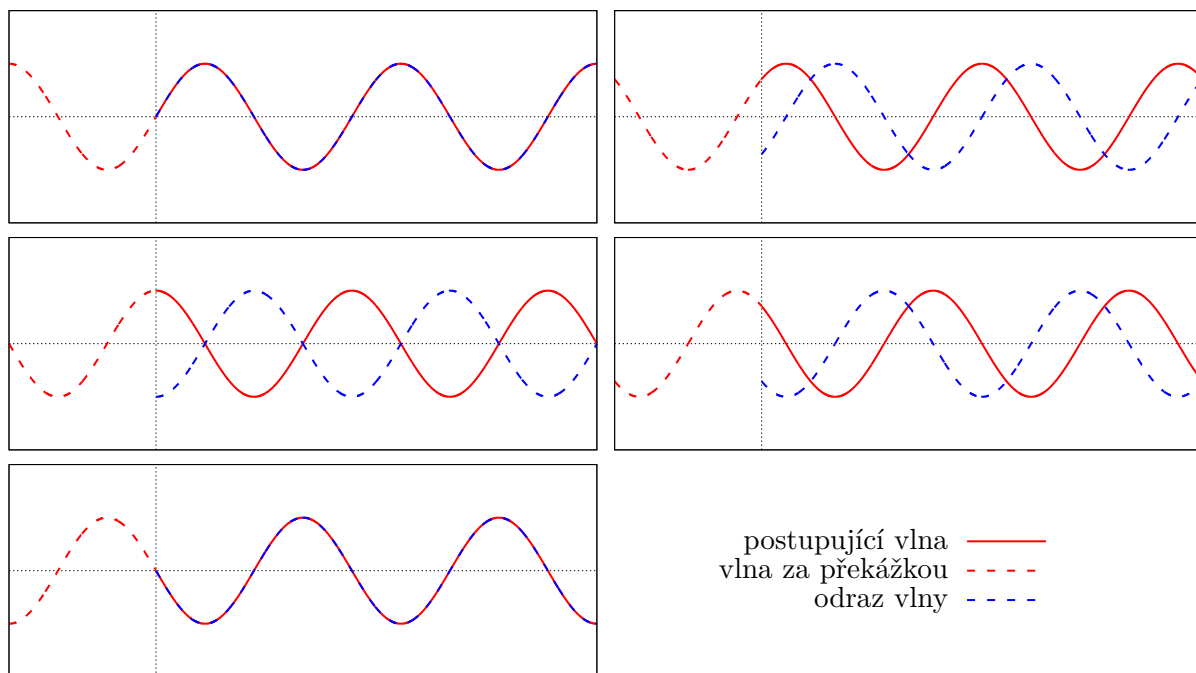
- $x_1, x_2$  – vzdálenost bodu vzhledem k prvnímu a druhému zdroji
- $\varphi_{0_1}, \varphi_{0_2}$  – počáteční fázové posuny vln
- $d$  – vzájemná vzdálenost zdrojů
- speciální případ – fázový posun roven celému počtu půlvln
  - interferenční maximum
    - \* každou druhá půlvlna
    - \*  $d = 2k\lambda/2 = k\lambda; k \in \mathbb{N}_0$
    - \* vlny mají stejnou fázi ( $\Delta\varphi = 0$ )
    - \* přesné sčítání vln a maxim ( $y_m = y_{m_1} + y_{m_2}$ )
  - interferenční minimum
    - \* každá druhá půlvlna + 1 půlvlna
    - \*  $d = (2k + 1)\lambda/2; k \in \mathbb{N}_0$
    - \* vlny mají přesně opačnou fázi
    - \* vzájemné odečítání vln a maxim ( $y_m = y_{m_1} - y_{m_2}$ )

## 15.3 Odraz

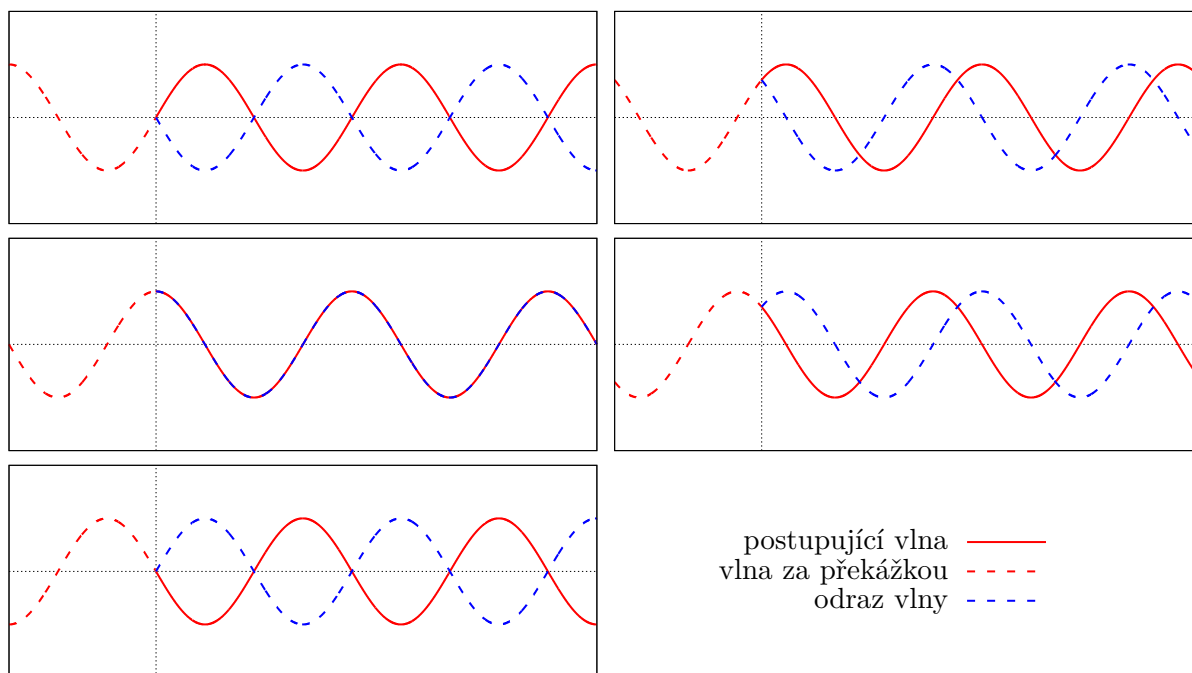
- odraz vlnění od konce řady bodů
- pevný konec
  - opačná fáze
- volný konec
  - stejná fáze



Obr. 15.1: Interferenční maximum a minimum vlnění



Obr. 15.2: Odraz vlny od pevného závěsu



Obr. 15.3: Odraz vlny od volného závěsu

## 15.4 Stojaté vlnění

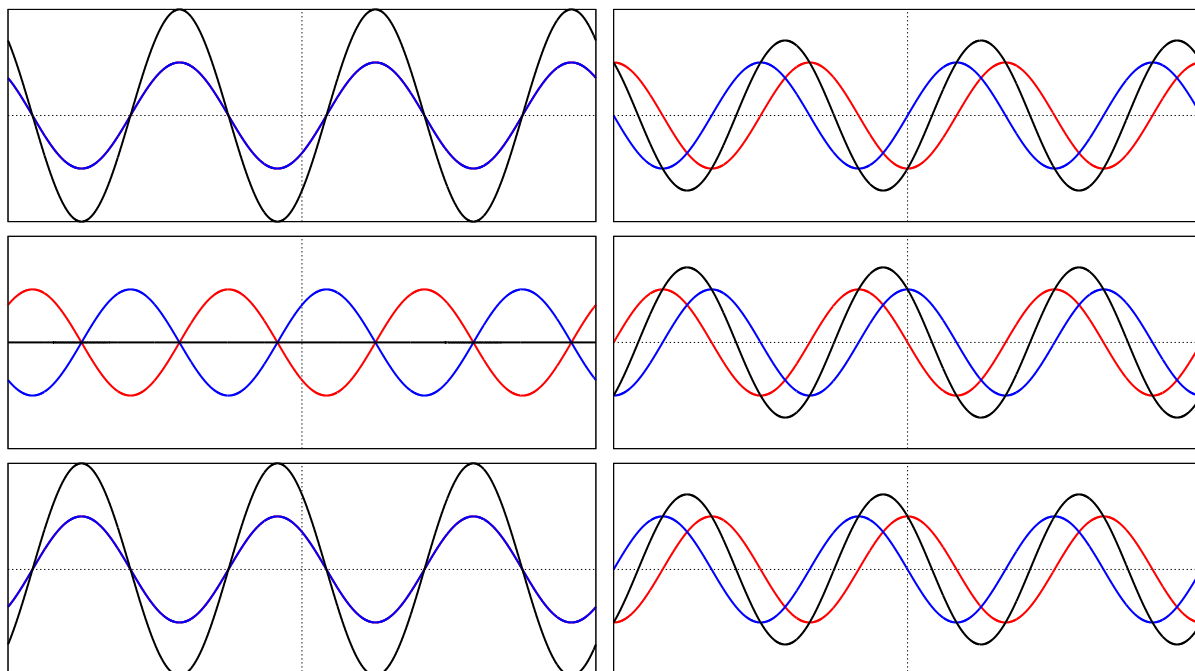
- vlnění nepostupuje prostorem, „stojí na místě“
- kmitání všech bodů se stejnou fází
- rozdílná maximální výchylka pro každý bod
- vznik interferencí postupného přímého vlnění a vlnění odraženého od pevného konce
- pouze mezi pevnými konci
- nekmitající místo – uzel; kmitající maximum – kmitna
- vzdálenost dvou uzlů nebo dvou kmiten rovna  $\lambda/2$
- příklad – strunové nástroje

## 15.5 Huygensův princip

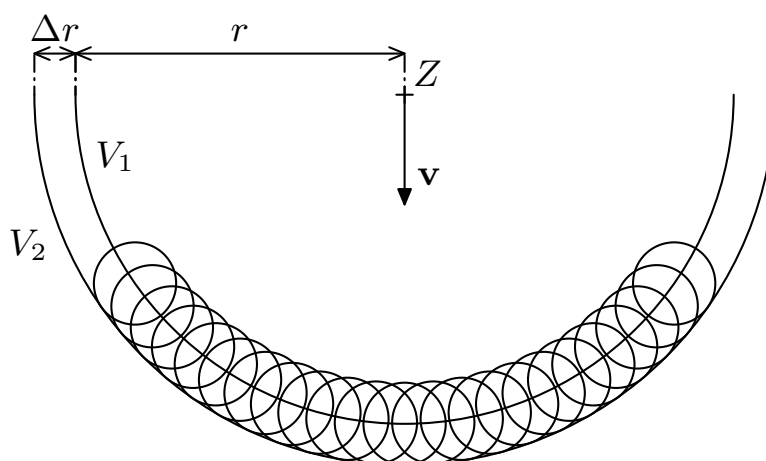
- při šíření vlny prostorem (po rovině namísto přímky)
- „Každý bod vlnoplochy, do něhož dospělo vlnění v určitém okamžiku, můžeme pokládat za zdroj elementárního vlnění, které se z něho šíří v elementárních vlnoplochách. Vlnoplocha v dalším časovém okamžiku je vnější obalová plocha všech elementárních vlnoploch“
- vlnoplocha – plocha kmitajících bodů se stejnou fází
- směr šíření vlny kolmý na vlnoplochu
- jednotlivé vlnoplochy spolu interferují a vytvářejí vnější vlnoplochu
- jestliže vlna narazí na štěrbinu, bude se štěrbinu chovat jako nový zdroj vlny
- viz otázka ??

## 15.6 Zvuk

- podélné vlnění šířící se (většinou) vzduchem
- vytvořen kmitáním jiných těles
- rozkmitání ušního bubínku – recepce zvuku
- amplituda vyjadřuje sílu/hlasitost zvuku, frekvence „výšku“ tónu
- rychlost šíření zvuku ve vzduchu  $v \approx 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- ultrazvuk
  - zvukové vlnění nad hranicí slyšitelnosti ( $\approx 20 \text{ kHz}$ )
  - využití – echolokace u zvířat, sonografie, stomatologie, zvlhčování vzduchu



Obr. 15.4: Stojaté vlnění (pohyb červené vlny doprava a modré doleva)



Obr. 15.5: Nákres Huygensova principu

- infrazvuk
  - zvuk pod hranicí slyšitelnosti ( $\approx 20$  Hz)
  - tlak v uších, bolestivé vnímání tělem, závratě
- ozvěna
  - odražení zvukové vlny od rozlehlé překážky a návrat k posluchači
  - vnímání zvuku opožděně
  - možno slyšet vlnu a rozeznat i několikrát za sebou
  - využití – sonar, ultrasonografie
- dozvuk
  - doznívání zvuku ztrátami energie
  - na rozdíl od ozvěny nelze rozeznat jednotlivé vlny, splynutí v jedno
  - doba dozvuku – čas poklesnutí amplitudy zvuku o 60 dB
  - velký dozvuk – kostely, staré mohutné sály...