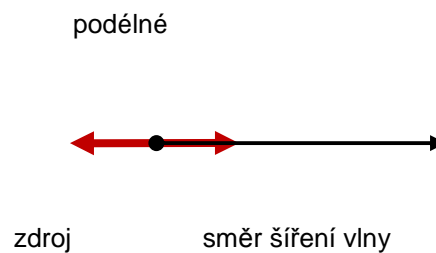
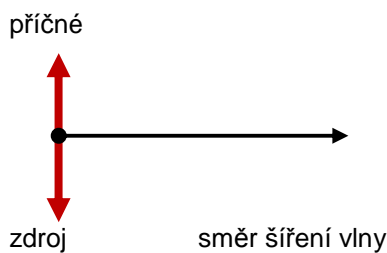


# MECHANICKÉ VLNĚNÍ

- uveďte rozdíly mezi mechanickým a elektromagnetickým vlněním
- zdroj mechanického vlnění musí ..... a to musí být přenášeno vhodným prostředím, které obsahuje ..... (ne vakuum!) = "pružné prostředí". Detektor (přijímač) musí obsahovat některé části, které .....
- Šíření vln není spojeno s přenosem látky !!!, přenáší se pouze energie – uveďte příklad

## 1. Dva základní typy postupného mechanického vlnění a jejich zdroje



lano, vlny na vodě, ...

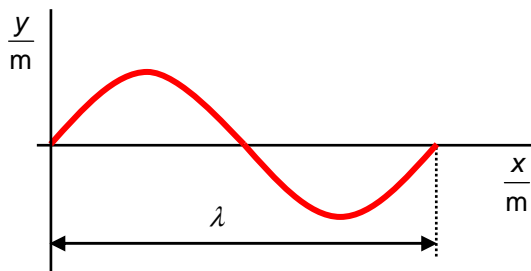
slinky, ZVUK

## 2. Vlnová délka ( $\lambda$ ), frekvence ( $f$ ) a rychlost vlnění

### Vlnová délka

= vzdálenost dvou nejbližších bodů, které kmitají se stejnou fází

= vzdálenost, do níž se vlnění rozšíří za periodu ( $T$ ) kmitání zdroje vlnění (v určitém prostředí)



Ne čas!

$$(s = v \cdot t)$$

$$\lambda = v \cdot T$$

$$[\lambda] = \text{m}$$

**frekvence** = počet kmitů zdroje za jednu sekundu

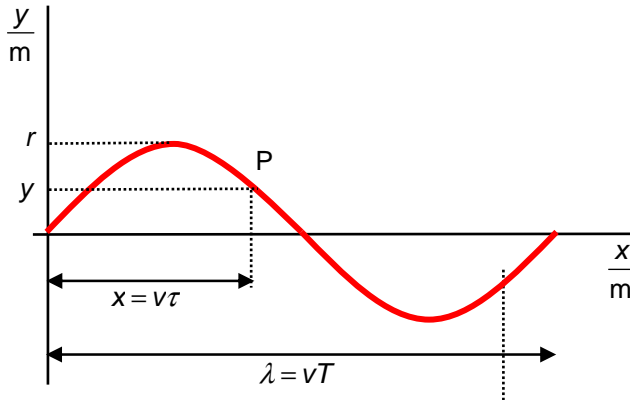
$$[f] = \text{Hz} = \text{s}^{-1}$$

**perioda** = doba, za kterou vykoná zdroj jeden kmit

$$[T] = \text{s}$$

### 3. Rovnice postupné vlny

Odvodíme rovnici pro okamžitou výchylku  $y$  v libovolném bodě  $P$  prostředí, ve kterém se vlnění šíří v čase  $t$  od okamžiku, kdy začal kmitat zdroj vlnění. Tato výchylka závisí nejen na čase, ale také na vzdálenosti od zdroje vlnění



$$y_P = f(t, x)$$

$$\text{zdroj: } y = r \sin \omega t = r \sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right)$$

$$\begin{aligned} \text{libovolný bod: } y_P &= r \sin \omega(t - \tau) = r \sin \omega\left(t - \frac{x}{v}\right) = r \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{vT}\right) = \\ &= r \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) \end{aligned}$$

#### Otázky:

- Máme postupné vlnění s vlnovou délkou 32 cm, maximální výchylkou 5 cm a frekvencí zdroje kmitání 2 Hz.
  - napište rovnici  $y = f(x, t)$
  - vypočítejte okamžitou výchylku bodu vzdáleného 8 cm od zdroje a v čase 0.5 s od počátku kmitání zdroje

- Určete maximální výchylku, vlnovou délku a rychlost vlnění popsaného rovnicí  $y_P = 0.1 \sin 2\pi(5t - 3.3x)$

- $\lambda = 40 \text{ cm}$ ,  $f = 0.4 \text{ Hz}$ ,  $r = 5 \text{ cm}$

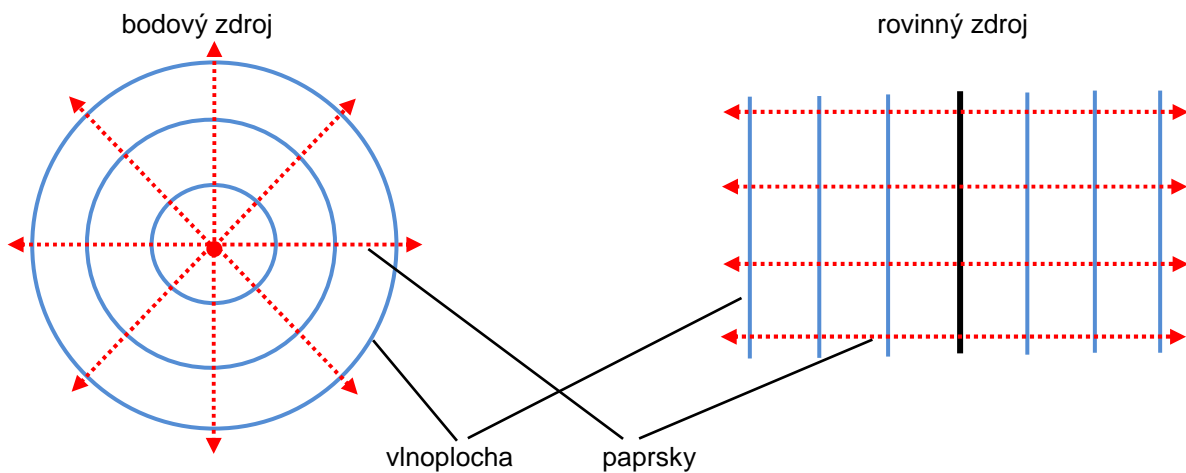
- napište rovnici postupného vlnění
- vypočítejte okamžitou výchylku bodu 45 cm od zdroje a 12 s od počátečního okamžiku

## 4. Šíření mechanických vln

### Vlnoplocha a paprsky

paprsky určují směr šíření vlnění

vlnoplocha je plocha, jejíž body kmitají se stejnou fází – „kam vlnění dospěje ve stejném čase měřeném obvykle od počátečního okamžiku“



### Huygensův princip (okolo 1620-1695)

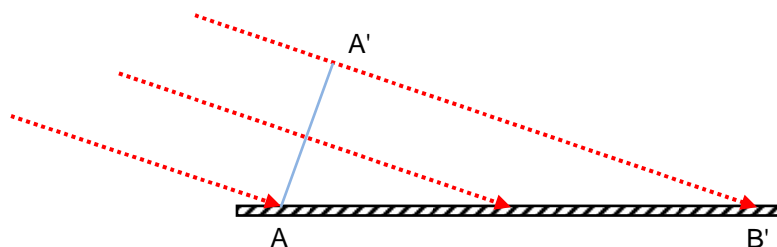
*Každý bod vlnoplochy, do něhož dospělo vlnění v určitém okamžiku, můžeme pokládat za zdroj elementárního (sekundárního) vlnění, které se z něho šíří v elementárních vlnoplochách. Vlnoplocha v dalším časovém okamžiku je vnější obalová plocha všech elementárních vlnoploch.*

Tento princip umožňuje vysvětlit dva důležité jevy – odraz, lom vlnění a další vlnové jevy, např.

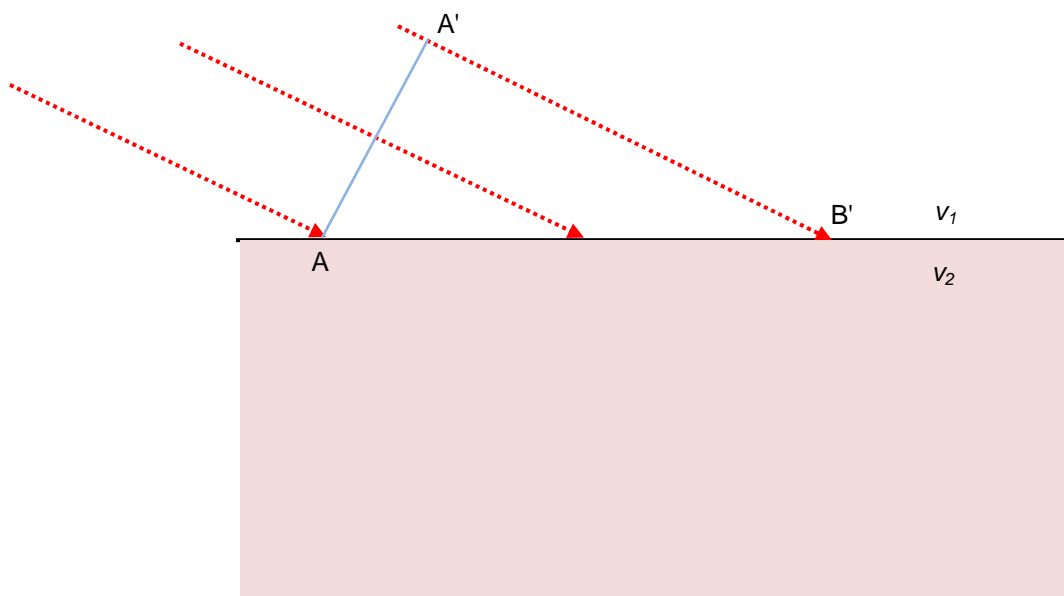
### OHYB (DIFRAKCE)



## ODRAZ



## LOM



## INTERFERENCE

Místo, kde se vlnění setkávají, dochází k jejich skládání, výsledek – superpozice jednotlivých vlnění

[http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Wave\\_Interference](http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Wave_Interference)

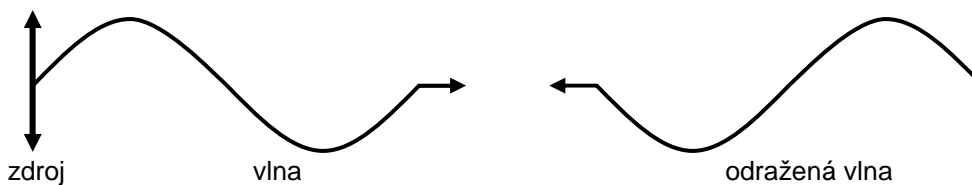
## 5. Stojaté vlnění

- **postupné vlnění** – „volný pohyb (šíření) vlny v nějakém prostředí“  
postupným vlněním se přenáší energie

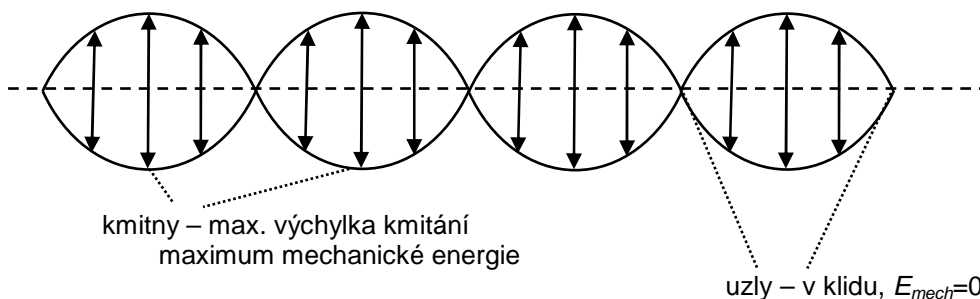
všechny body kmitají se stejnou amplitudou – jako zdroj, za předpokladu, že se energie vlnění nepřeměňuje na jiný druh – ideální případ

- **stojaté vlnění** – když se dvě postupující vlny setkávají – interferenční obrazec, jedna vlna je obvykle odražená od konce pružného prostředí

stojatým vlněním se energie nepřenáší, pouze se periodicky mění kinetická energie hmotných bodů v potenciální energii pružnosti a naopak (k domu dochází i u postupného vlnění)

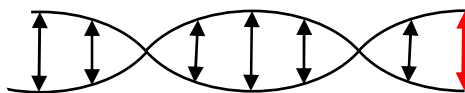


⇒  
Stojaté vlnění

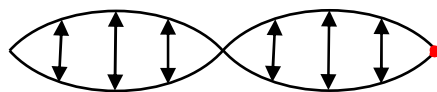


konec pružného vlákna může být

volný (“konec lana”) – kmitna



pevný (“konec lana”) - uzel



### Rovnice stojatého vlnění

2 postupné vlny přicházejí proti sobě a setkávají se – když mají stejnou amplitudu (podobnou) a frekvenci vzniká stabilní uspořádání.

O: Je vlnová délka stejná?

Pohyb v opačném směru – ne zpožděná vlna

Výsledná výchylka bodu – složení – součet těchto dvou vln

$$y_P = y_1 + y_2 = r \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{\lambda} x\right) + r \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} x\right)$$

podívejte se do tabulek:

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

Vyznačte, čemu odpovídá  $\alpha, \beta$  v předchozí rovnici:

$$y_P = r \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} x\right) + r \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{\lambda} x\right) = 2r \sin \omega t \cos\left(-\frac{2\pi}{\lambda} x\right) = 2r \sin \omega t \cos \frac{2\pi}{\lambda} x$$

$$y_P = \underbrace{2r \cos \frac{2\pi}{\lambda} x}_{\text{“fáze” kmitajícího bodu – mění se s časem}} \sin \omega t$$

Maximální výchylka  $P = A$ , závisí na poloze – vzdálenosti od zdroje  $x$ , vlnové délce (rychlosti vlnění a periodě zdroje) a na amplitudě kmitání zdroje

$$y_P = A \sin \omega t$$

$$A = 2r \cos \frac{2\pi}{\lambda} x$$

kmitna :  $A=2r$   
uzel:  $A=0$

### Otázky:

4. Jak vyplývají vztahy pro amplitudy vlnění v kmitnách a v uzlech z obecné rovnice pro amplitudu  $A$ ?

5. Je dáno stojaté vlnění  $r = 2 \text{ cm}$ ,  $v = 3 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $f = 2 \text{ Hz}$

- určete amplitudu kmiten;
- jaká je maximální výchylka bodu 10 cm od zdroje;
- vypočtete okamžitou výchylku 12 s od počátku vlnění.

## 6. Struny a trubice, vyšší harmonické frekvence

Struny, píšťaly a ostatní hudební nástroje vydávají mnoho různých frekvencí. Nejnižší frekvence (největší vlnová délka) – určují základní výšku tónu. Všechny vydávané frekvence se skládají a podle toho můžeme rozlišit barvu tónu jednotlivých hudebních nástrojů.

Trubice – kmitání vzduchového sloupce, rychlost vlnění je .....

Struny – zdroj je kmitající struna, rychlost vlnění je určena napětím struny.

Použijte různé zdroje a načrtněte rozložení kmiten a uzlů pro základní a první dvě vyšší harmonické frekvence v níže uvedených případech. Vyjděte přitom ze zákonitostí odrazu vln na volném a pevném konci. Pro oba typy píšťal najděte vztah mezi délkou trubice a frekvencí tónů, které vydává.

Základní frekvence

2. harmonická

3. harmonická

### OTEVŘENÁ PÍŠŤALA


### UZAVŘENÁ PÍŠŤALA

--	--	--

### STRUNA

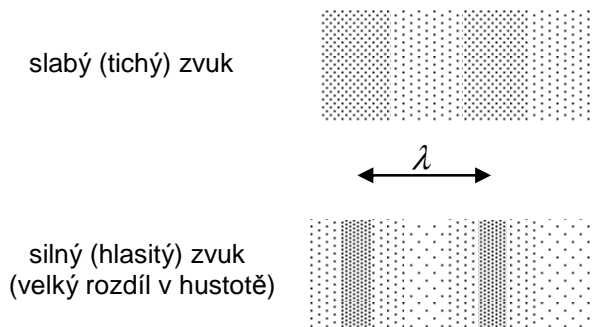
--	--	--

# ZVUK

## 7. Zdroje, šíření a detekce zvuku

- **podstata zvuku**

podélné mechanické vlnění – zhušťování a zředňování molekul (vzduchu)



- **zdroje**

musí kmitat, aby mohly vyvolat zhušťování a zředňování okolního prostředí

hluk – neperiodické kmitání

hudební zvuky – periodické kmitání

- **přenášející prostředí**

musí obsahovat částice – ve vakuu se zvuk nešíří!!! (pružné prostředí)

prostředí	Rychlost zvuku při 20°C v m·s <sup>-1</sup>
vzduch	340
voda	1500
sklo, ocel	okolo 5000

Diskutujte o hodnotách v tabulce. Vysvětlete, proč se k protihlukové bariéře blízkosti dálnic používá železobeton, ačkoliv se v něm zvuk šíří rychleji než ve vzduchu.

- **přijímač**

musí mít membránu schopnou kmitat – mikrofón nebo ušní bubínek ( $\Delta p \approx 10^{-5} \text{ Pa}$ )



## 8. Vlastnosti zvuku

- výška**

je určena nejnižší frekvencí, s níž kmitá zdroj zvuku, tj. základní frekvencí  $\times$  všimněte si, že tón o oktávu vyšší má dvojnásobnou frekvenci (440 Hz – 880 Hz)

- barva tónu (tembr)**

závisí na celočíselných násobcích základní frekvence = vyšších harmonických frekvencí (2., 3., 4., ... harmonická frekvence), tzv. alikvotních tónech – na tom, které z nich zdroj vydává a v jakém vzájemném poměru jsou jejich intenzity (relativní část energie připadající na jednotlivé vyšší harmonické frekvence).

ŽÁDNÝ TEMBR – zdroj vydává pouze jednu frekvenci = základní = jednoduchý tón – ladička, tónový generátor

TEMBR složených tónů zvuku je důležitou charakteristikou pro odlišení hudebních nástrojů, lidského hlasu (řeči, zpěvu)

- intenzita a hlasitost**

**INTENZITA (AKUSTICKÁ INTENZITA)** je objektivní veličina (charakteristika zvuku) měřená přístroji

= množství akustické energie procházející za jednotku času (tj. akustický výkon) jednotkovou plochou postavenou kolmo na směr šíření zvuku

- lze ji použít také pro ultrazvukové i infrazvukové vlnění

$$I = \frac{\text{energie}}{\text{čas} \times \text{plocha}}$$

dopadající na detektor

$$[I] = \frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m}^2} = \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$$



$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$

výkon zdroje  
vzdálenost od zdroje

**HLASITOST** je dána subjektivním vnímáním zvuku a závisí na citlivosti ucha!

$f \in (16 \text{ Hz}, 16 \text{ kHz})$  slyšitelné zvuky – někteří autoři uvádějí: 8 Hz, 20 kHz

práh slyšení – když ucho začíná slyšet zvuk (závisí na frekvenci)  
práh bolesti

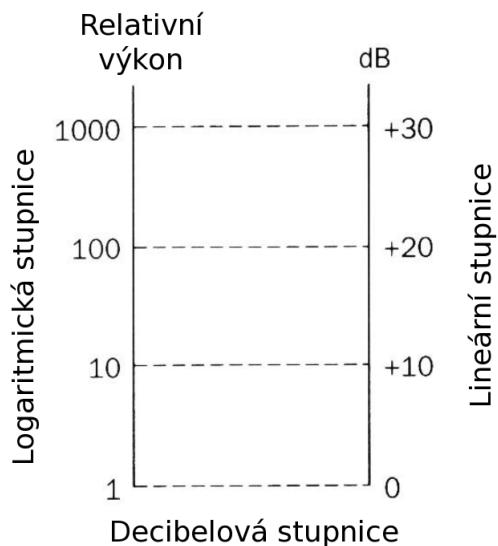
DECIBEL – logaritmická míra hladiny akustického výkonu používaná hlavně v lékařství

$$\text{hladina akustického výkonu v belech} = \log_{10} \frac{P}{P_0}$$

hodnoty, pro které určujeme hladinu akustického výkonu

$$\text{hladina akustického výkonu v decibelech } B = 10 \log_{10} \frac{P}{P_0} = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0}$$

hodnoty prahu slyšení



Zvuk	Hladina AV v dB
Práh slyšení	0
Šepot	30
Běžný hovor	60
Rušná ulice	70
Hlučná továrna	90
Start tryskového letadla	100
Hlasitý hrom	110
Práh bolesti	120

### Dopplerův jev pro zvuk

Při relativním pohybu zdroje zvuku nebo pozorovatele vnímá pozorovatel zvuk jiné frekvence, než je frekvence vysílaná nepohybujícím se zdrojem.

<http://www.walter-fendt.de/ph14e/dopplereff.htm>

Úkol:

Uveďte a prodiskutujte příklady Dopplerova jevu.

## 9. Infrazvuk a ultrazvuk

Infrazvuk má frekvenci menší než 16 Hz; ultrazvuk má frekvenci větší než 16 kHz. Infrazvuk i ultrazvuk využívají některá zvířata k dorozumívání, pomocí ultrazvuku určujeme vzdálenosti ve vodě (SONAR – sound navigation and ranging) a využívá se také v lékařství např. pro prenatalní diagnostiku. Překročení hranice intenzity infrazvuku a ultrazvuku je škodlivé, přestože je neslyšíme!

Úkol:

Porovnejte výhody a nevýhody použití rentgenu a ultrazvuku k diagnostice v lékařství.

Která zvířata používají k dorozumívání infra- a která ultrazvuk?

## 10. Záznam zvuku

Za pomoci různých zdrojů zjistěte, jak je zaznamenáván – „uskladňován“ zvuk – na magnetických páskách, gramofonových deskách a kompaktních discích (CD).

### MAGNETICKÁ PÁSKA

### GRAMOFONOVÁ DESKA

### CD

#### Odpovědi:

1. b)  $-0.05 \text{ m}$
2.  $0.1 \text{ m}$ ;  $0.3 \text{ m}$ ;  $1.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
3. b)  $-0.045 \text{ m}$
5.  $4 \text{ cm}$ ;  $-2 \text{ cm}$ ;  $0$



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ