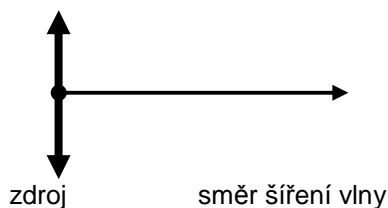


MECHANICKÉ VLNĚNÍ

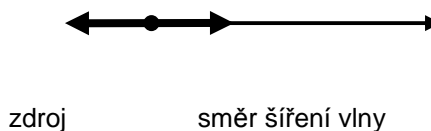
- uveďte rozdíly mezi mechanickým a elektromagnetickým vlněním
- zdroj mechanického vlnění musí a to musí být přenášeno vhodným prostředím, které obsahuje (ne vakuum!) = "pružné prostředí". Detektor (přijímač) musí obsahovat některé části, které
- Šíření vln není spojeno s přenosem látky !!!, přenáší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

1. Dva základní typy postupného mechanického vlnění a jejich zdroje

příčné



podélné



lano, vlny na vodě, ...

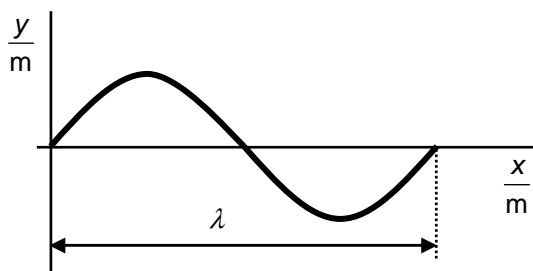
slinky, ZVUK

2. Vlnová délka (λ), 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

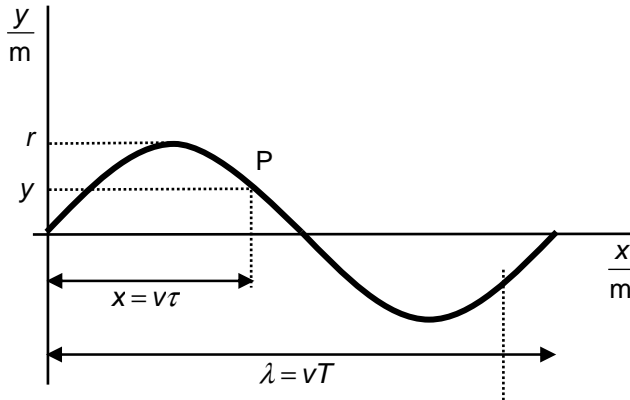
$$[f] = \text{Hz} = \text{s}^{-1}$$

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 $y_P = 0.1 \sin 2\pi(5t - 3.3x)$

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

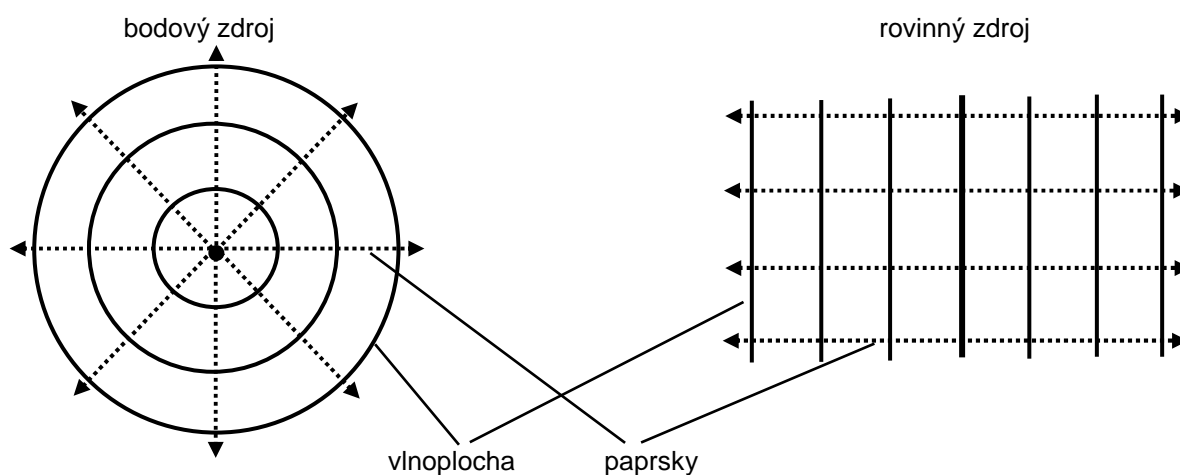
- napište rovnici postupného vlnění
- vypočítejte okamžitou výchylku bodu 45 cm od zdroje a 12 s od počátečního okamžiku

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)

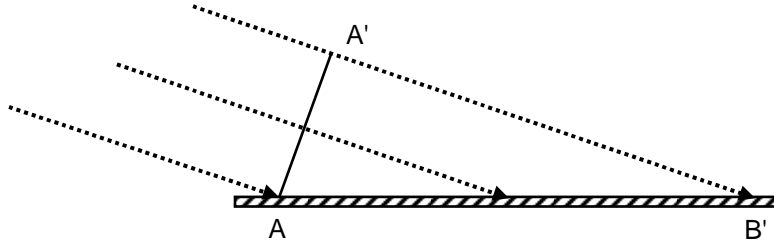
Každý bod vlnoplochy, do něhož dospělo vlnění v určitém okamžiku, můžeme pokládat za zdroj elementárního (sekundárního) vlnění, které se z něho šíří v elementárních vlnoplocháčkách. Vlnoplocha v dalším časovém okamžiku je vnější obalová plocha všech elementárních vlnoploch.

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

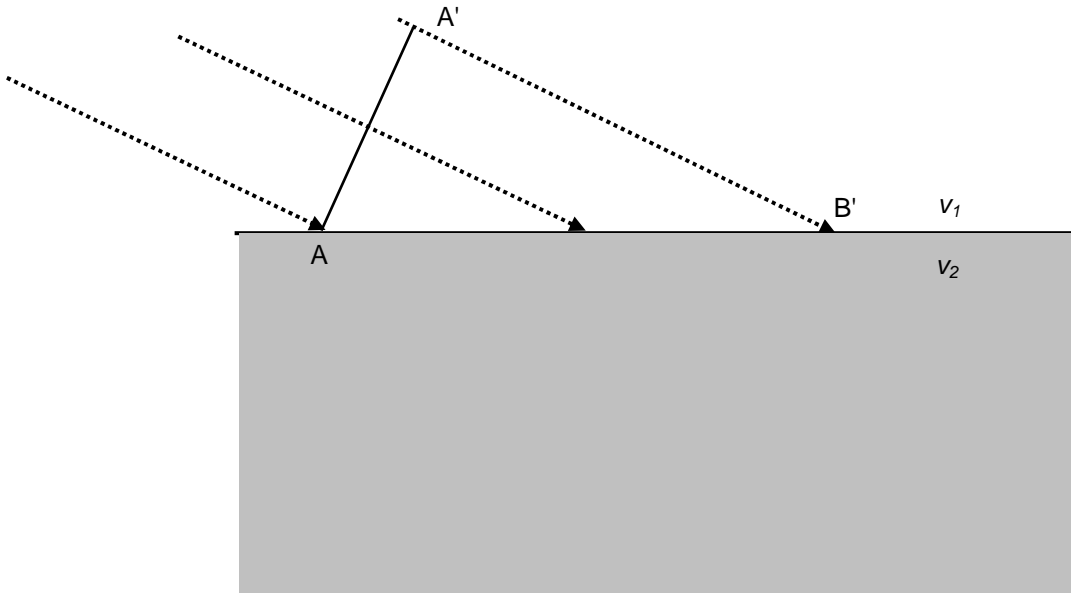
OHYB (DIFRAKCE)



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

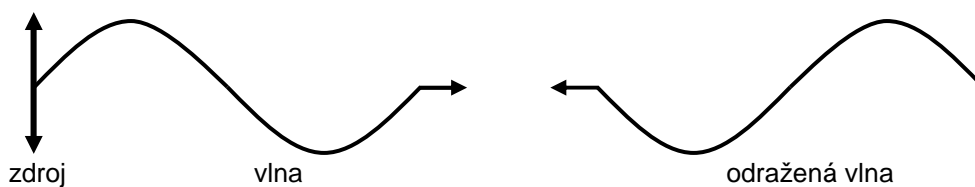
5. Stojaté vlnění

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

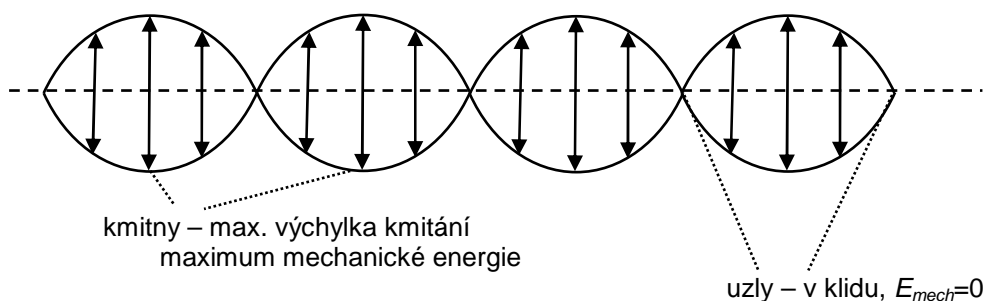
všechny body kmitají se stejnou amplitudou – jako zdroj, za předpokladu, že se energie vlnění nepřeměňuje na jiný druh – ideální případ

- **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)

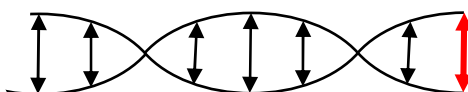


⇒
Stojaté vlnění

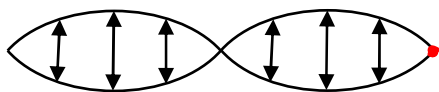


konec pružného vlákna může být

volný (“konec lana”) – kmitna



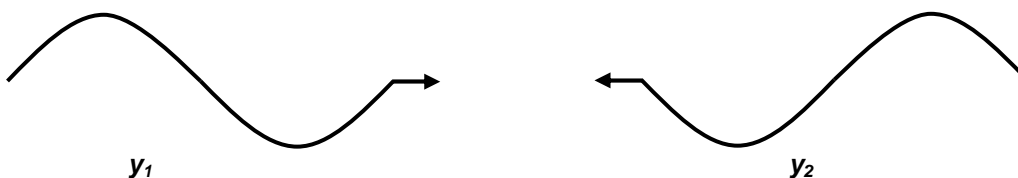
pevný (“konec lana”) - uzel



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?



$$y_1 = r \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{T} \frac{x}{v}\right)$$

$$y_2 = r \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{T} \frac{x}{v}\right)$$

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 α, β v předchozí rovnici:

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

$$y_P = \underbrace{2r \cos \frac{2\pi}{\lambda} x}_{\text{"fáze" kmitajícího bodu}} \sin \omega t$$

"fáze" kmitajícího bodu – mění se s časem

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.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

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

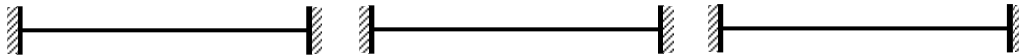
OTEVŘENÁ PÍŠŤALA



UZAVŘENÁ PÍŠŤALA



STRUNA



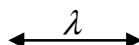
ZVUK

7. Zdroje, šíření a detekce zvuku

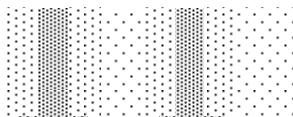
- **podstata zvuku**

podélné mechanické vlnění – zhušťování a zředování molekul (vzduchu)

slabý (tichý) zvuk



silný (hlasitý) zvuk
(velký rozdíl v hustotě)



- **zdroje**

musí kmitat, aby mohly vyvolat zhušťování a zředování 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 ⁻¹
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

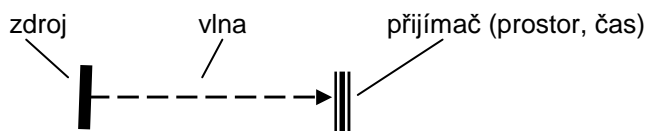
= množství akustické energie procházející za jednotku času (tj. akustický výkon) jednotkovou plochou postavenou kolmo na směr šíření zvuku

- 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

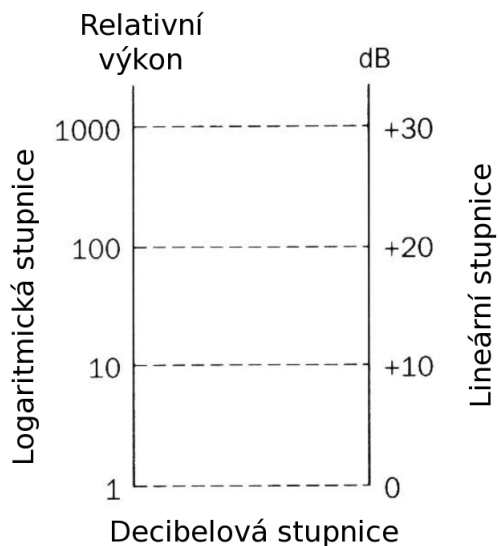
DECIBEL – logaritmická míra hladiny akustického výkonu používaná hlavně v lékařství

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

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 prenatální 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?



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

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



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ