



Vlnění 2 – FYZ2 2023 FS

Ing. Štěpán Kunc, Ph.D.

stepan.kunc@tul.cz

Interference

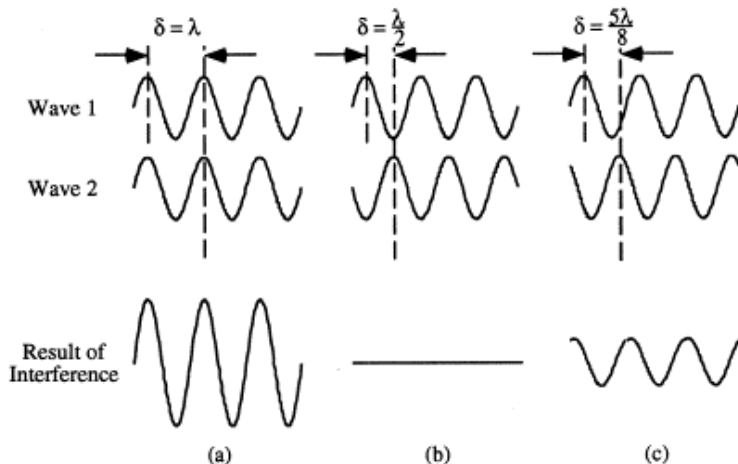
Pro skládání vln platí princip superpozice

$$\vec{u}(\vec{r}, t) = \vec{u}_1(\vec{r}, t) + \vec{u}_2(\vec{r}, t)$$

$$\vec{u}_1(\vec{r}, t) = \vec{u}_{m1} \sin(\omega_1 t - \vec{k}_1 \vec{r} + \varphi_0) = \vec{u}_{m1} \sin \Phi_1$$

$$\vec{u}_2(\vec{r}, t) = \vec{u}_{m2} \sin(\omega_2 t - \vec{k}_2 \vec{r} + \varphi_0) = \vec{u}_{m2} \sin \Phi_2$$

$$\vec{u}^2(\vec{r}, t) = u_{m1}^2 + u_{m2}^2 + 2\vec{u}_{m1}\vec{u}_{m2} \cos(\Phi_1 - \Phi_2)$$



Objeví se interferenční člen, který vlnu zesílí, zeslabí, nebo dokonce vyruší.

Tento člen je nenulový, pouze pokud vlny nemají ortogonální polarizace a fázový rozdíl je konstantní, jako je to v případě dvou monochromatických harmonických vln, stejné frekvence

Pro konstantní fázový rozdíl – **koherentní vlnění**,

Částečně koherentní, nekoherentní

Interference

$$\vec{u}^2(\vec{r}, t) = u_{m1}^2 + u_{m2}^2 + 2\vec{u}_{m1}\vec{u}_{m2} \cos(\Phi_1 - \Phi_2)$$

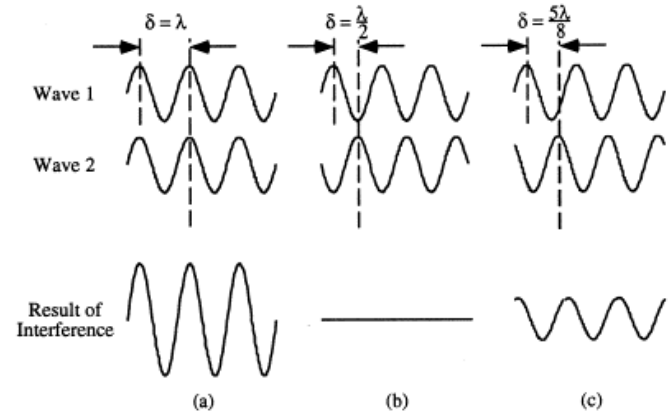
Je-li interferenční člen sudým násobkem π , vlny se zesílí - vlny jsou ve fázi

$$\Phi_1 - \Phi_2 = 2n\pi$$

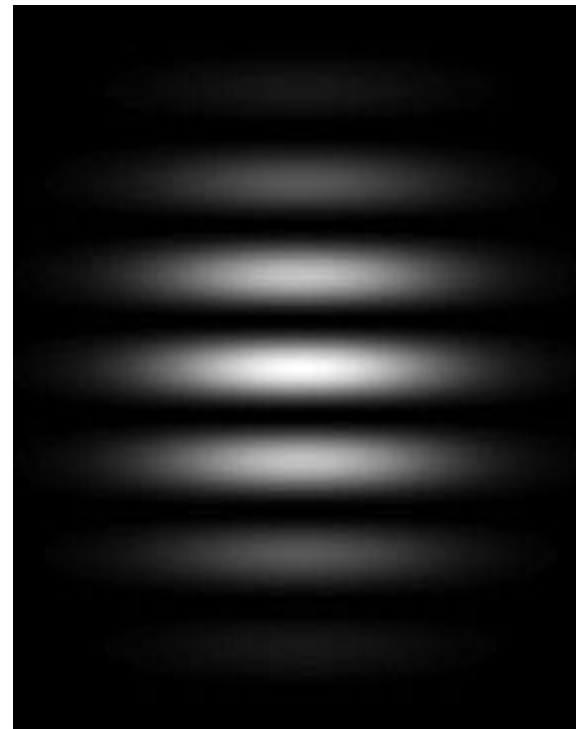
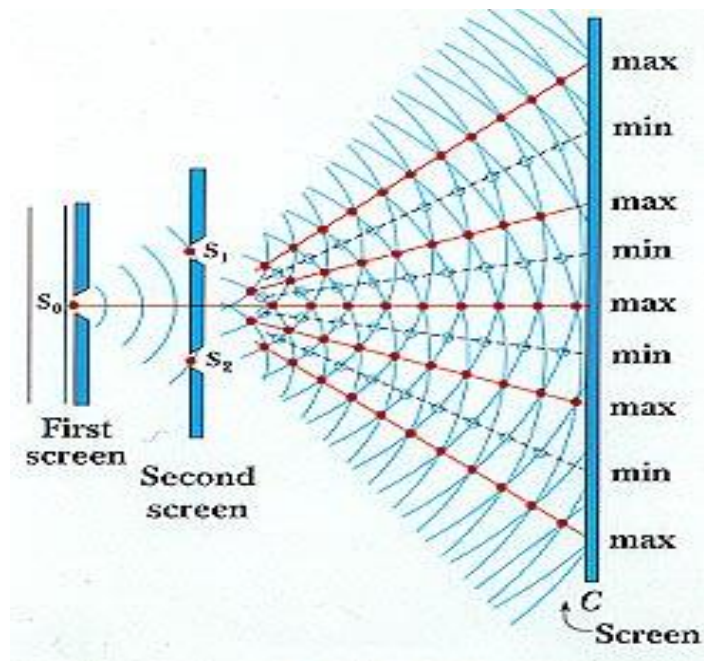
Je-li interferenční člen lichým násobkem π , vlny se zeslabí - vlny jsou ve protifázi

$$\Phi_1 - \Phi_2 = (2n + 1)\pi$$

Při rovnosti amplitud u_m se mohou dokonce vyrušit

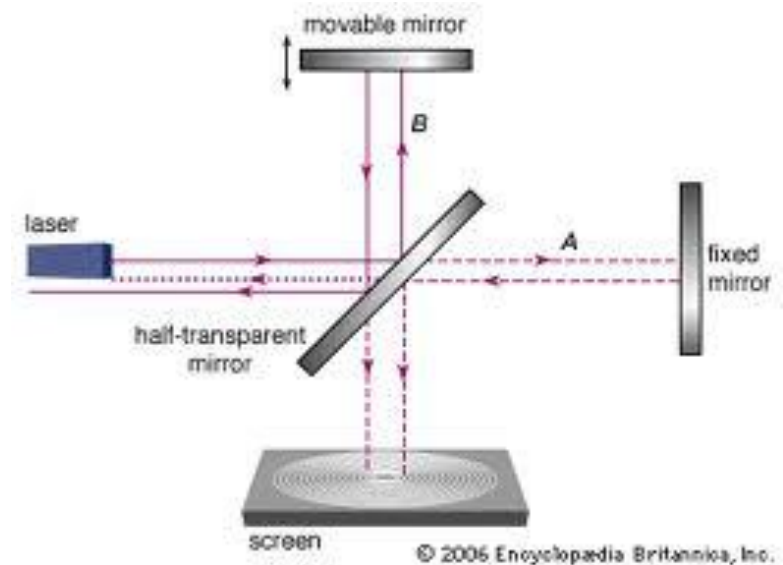
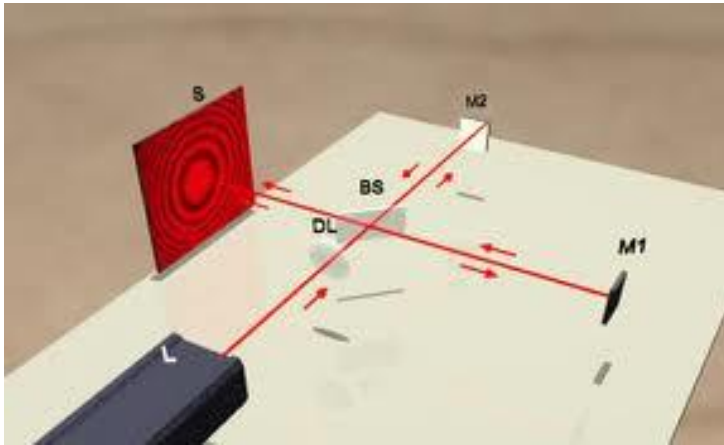


Youngův pokus



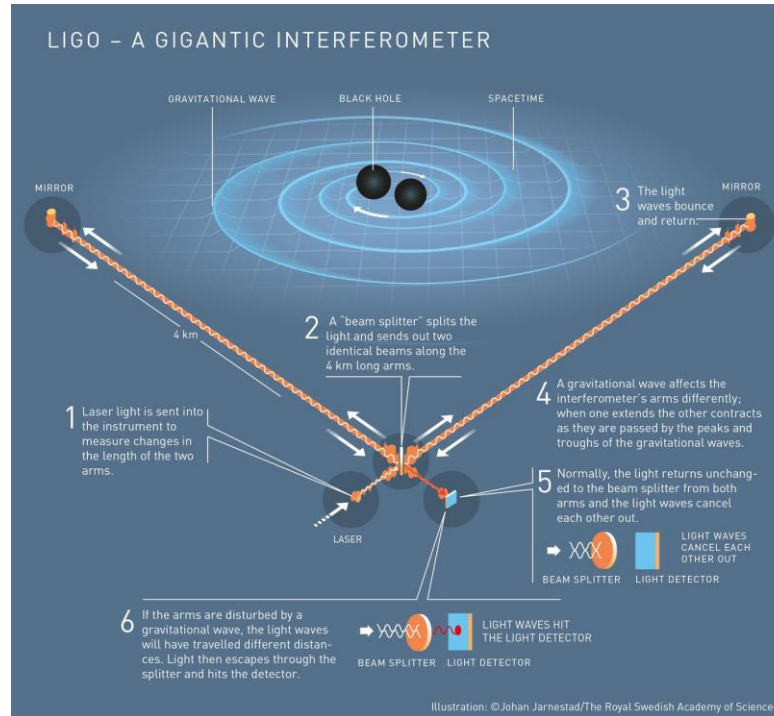
Michelsonův interferometr

Velmi citlivá metoda k měření posunutí, otočení, dalších mechanických veličin, změny indexu lomu Jevů, mající vliv na změnu indexu lomu (teplota, elektrické a magnetické pole, tlak, koncentrace látek..)



Michelsonův interferometr - Ligo

Velmi citlivá metoda k měření posunutí, otočení, dalších mechanických veličin, změny indexu lomu Jevů, mající vliv na změnu indexu lomu (teplota, elektrické a magnetické pole, tlak, koncentrace látek..)



Stojaté vlnění

Vlnění interferuje samo se sebou po odrazu (např. v rezonátoru) Odražené vlnění je shodné, ale šíří se opačným směrem

Vlny, které se zpočátku potkávají s nahodilou fází, se v průměru vyruší

Ale postupně se budou potkávat s definovaným fázovým rozdílem, určeném polohou

$$\vec{u}(\vec{r}, t) = \vec{u}_m(\vec{k}\vec{r}, t) + \vec{u}_m(-\vec{k}\vec{r}, t)$$

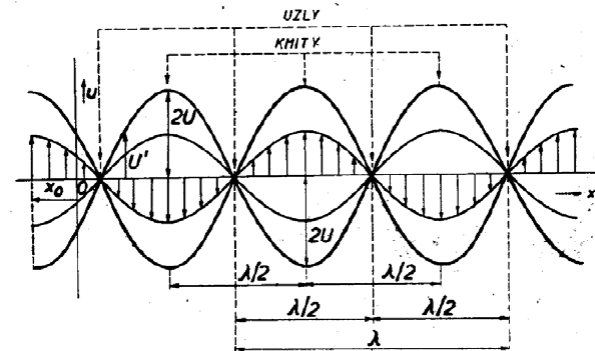
$$\vec{u}(\vec{r}, t) = \vec{u}_m \sin(\omega t - \vec{k}\vec{r}) + \vec{u}_m \sin(\omega t + \vec{k}\vec{r} + \varphi_0)$$

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

$$\vec{u}(\vec{r}, t) = 2 \vec{u}_m \cos \vec{k}\vec{r} \sin \omega t \quad \Rightarrow$$

Kmitny a uzly

$$\vec{U}_m(\vec{r}, t) = 2 \vec{u}_m \cos \vec{k}\vec{r}$$



Všechny body kmitají ve fázi, ale s amplitudou, závislou na poloze

Odraz na rozhraní

na pevném konci

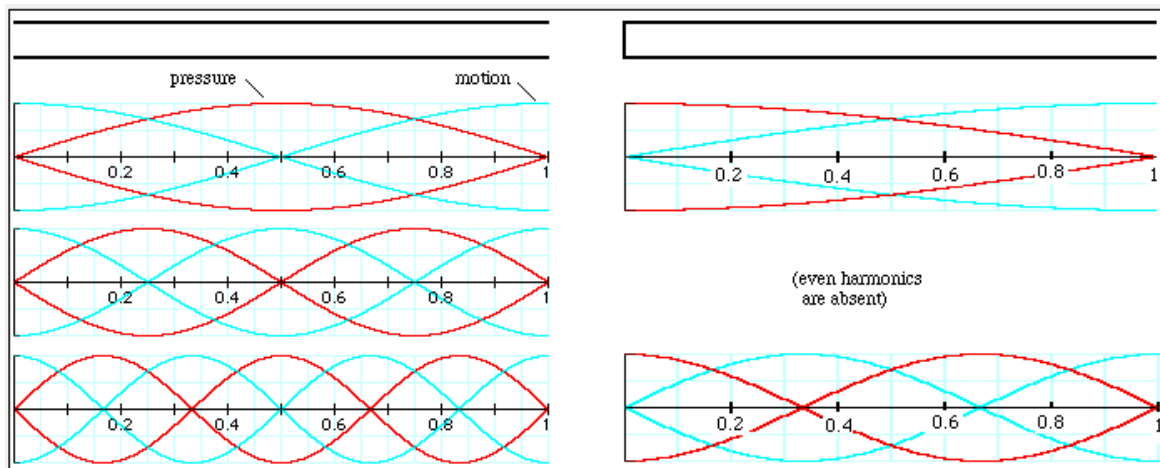
na volném konci

Přechod mezi místy s vyšší rychlostí do oblasti s nižší rychlostí

Přechod mezi místy s nižší rychlostí do oblasti s vyšší rychlostí

<https://www.acs.psu.edu/drussell/Demos/reflect/reflect.html>

Otevřená vs uzavřená píšťala



$$n \frac{\lambda_n}{2} = l$$

$$f = \frac{v}{\lambda_n} = n \frac{v}{2l}$$

$$(2n + 1) \frac{\lambda_n}{4} = l$$

$$f = \frac{v}{\lambda_n} = (2n + 1) \frac{v}{4l}$$

Vlastní frekvence – těmito frekvencemi kmitají objekty

a) S oběma pevným či volnými konci (např. struna, otevřená píšťala)

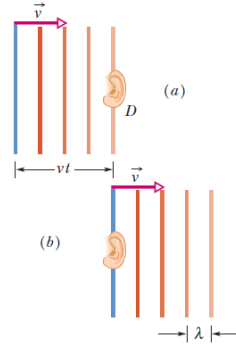
Do délky l se vejde celý počet půlvln

b) S jedním pevným a druhým volným koncem

Do délky l se vejde lichý počet čtvrtvln

Dopplerův jev

Zdroj v klidu



c – rychlost šíření vlny v prostředí

$$f_0 = \frac{c}{\lambda_0}$$

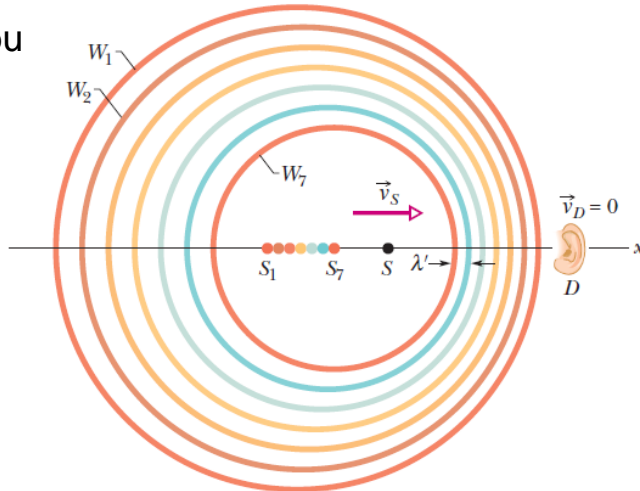
Změní se vlnová délka

$$\lambda' = \lambda_0 - v_z T$$

$$\frac{1}{f'} = \frac{\lambda_0 - v_z T}{c} = \frac{1}{f_0} - \frac{v_z}{c} \frac{1}{f_0}$$

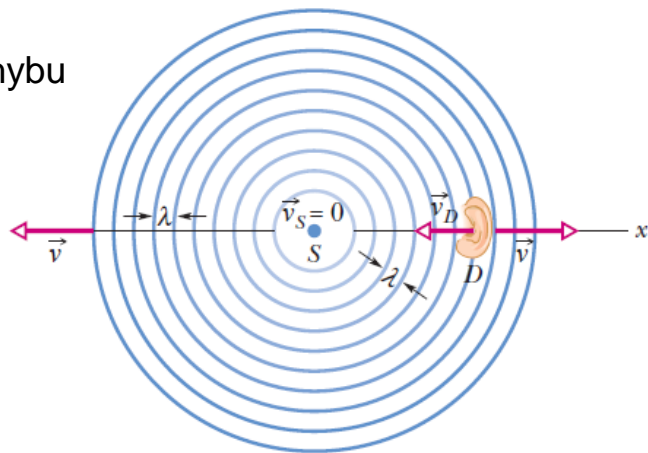
$$f' = f_0 \frac{c}{c - v_z}$$

Zdroj v pohybu



Dopplerův jev

Pozorovatel v pohybu

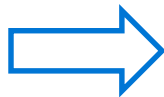


Relativní rychlost vlny vůči pozorovateli $c - v_p$

$$f' = \frac{c - v_p}{\lambda_0}$$

$$f' = \frac{c - v_p}{\lambda_0} = \frac{c(c - v_p)}{c\lambda_0} = f_0 \frac{c - v_p}{c}$$

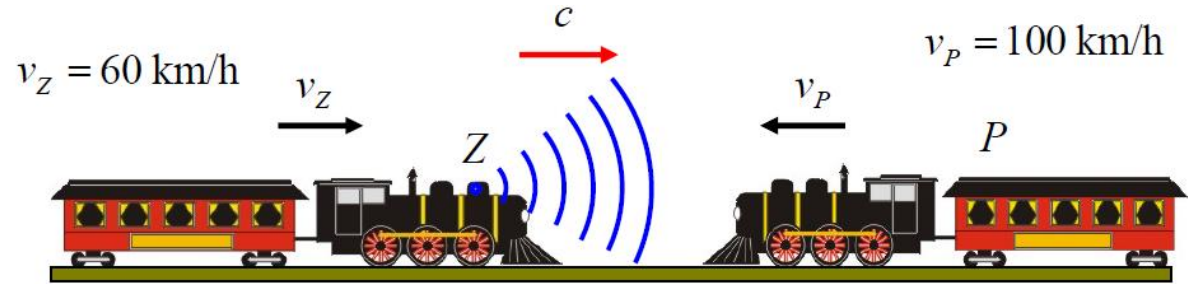
Pozorovatel i zdroj v pohybu



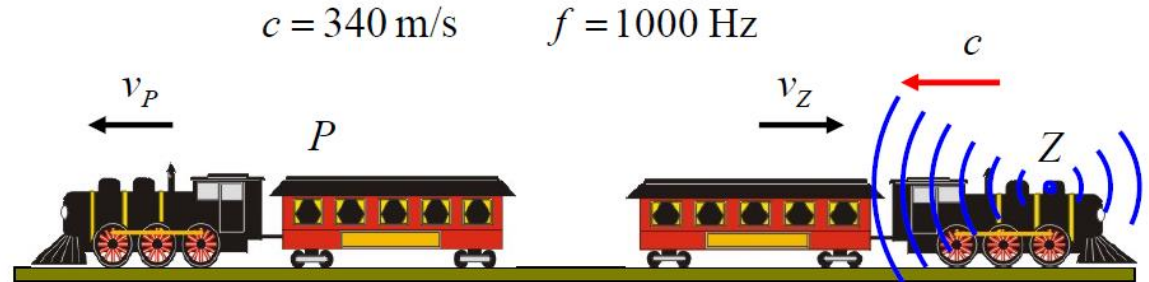
$$f' = f_0 \frac{c \pm v_p}{c \pm v_z}$$

Dopplerův jev- vlaky

1

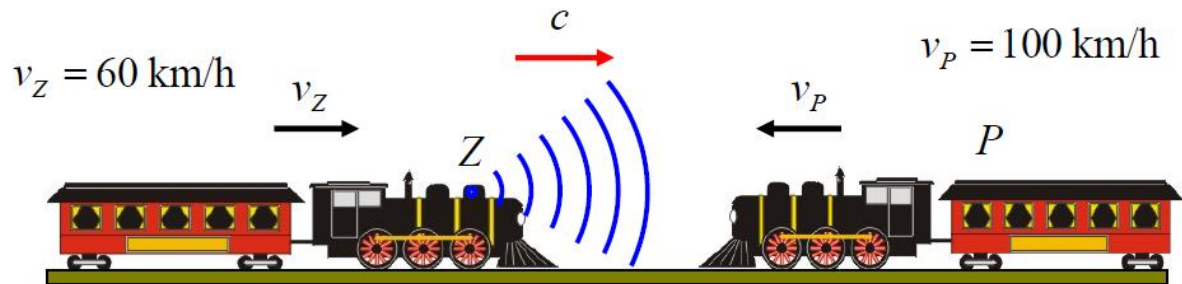


2



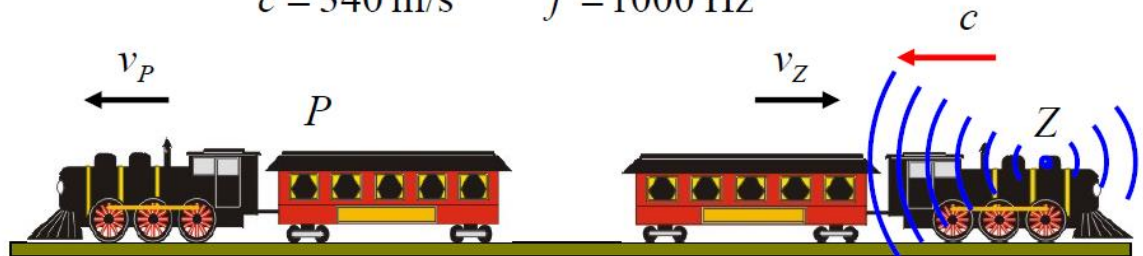
Dopplerův jev- vlaky

1



$c = 340 \text{ m/s}$ $f = 1000 \text{ Hz}$

2



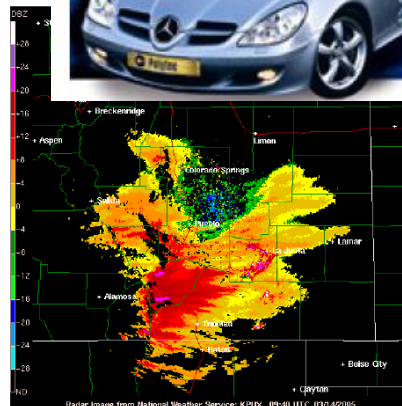
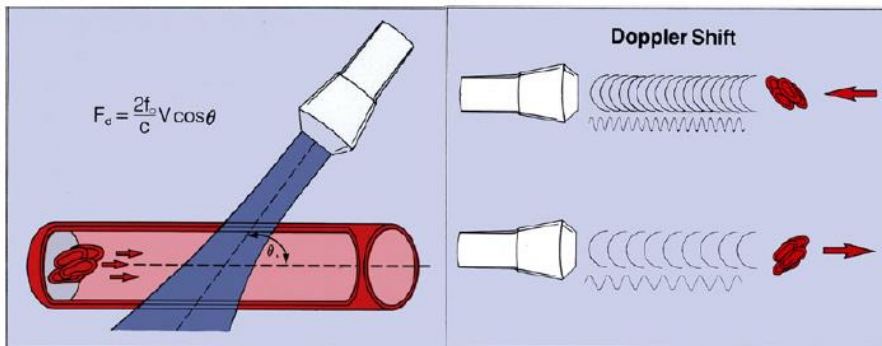
$$f'_1 = f \frac{c + v_P}{c - v_Z} \doteq 1137 \text{ Hz}$$

$$f'_2 = f \frac{c - v_P}{c + v_Z} \doteq 875 \text{ Hz}$$

Dopplerův jev- aplikace

Dopplerův jev má široké spektrum aplikací jak v mechanické tak elektromagnetickém vlnění

- Měření vibrací
- Měření rychlostí
- Dopplerovský radar
- Dopplerovský sonar
- Dopplerovská ultrasonografie,.....

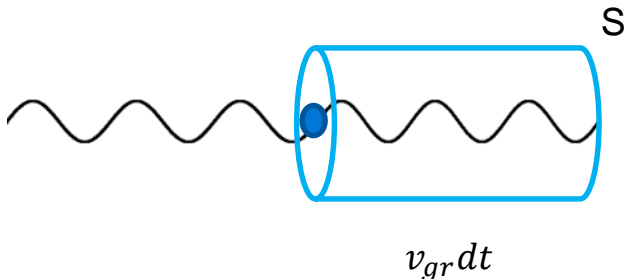


Intenzita vlnění

Intenzita

energie, která projde danou plochou za určitý čas

$$I = \frac{1}{S} \frac{dE}{dt} \quad \text{W/m}^2$$



Pro mechanickou vlnu – energie kmitajících bodů o hmotnosti dm

$$w = \frac{dE}{dV} = \frac{1}{2} \frac{dm}{dV} v^2 = \frac{1}{2} \rho \omega^2 u_m^2$$



$$I = w \cdot v_{gr} = \frac{1}{2} \rho \omega^2 u_m^2 v_{gr}$$

Hustota energie

$$w = \frac{dE}{dV}$$

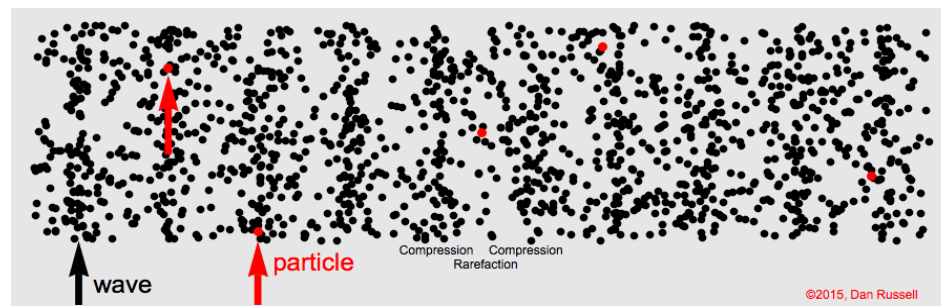
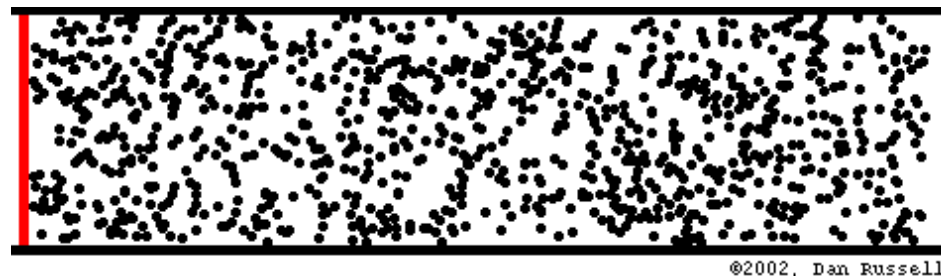
Za čas dt projde plochou S energie dE

$$dE = w \cdot S \cdot v_{gr} dt$$

$$I = \frac{1}{S} \frac{dE}{dt} = \frac{1}{S} \frac{w \cdot S \cdot v_{gr} dt}{dt} = w \cdot v_{gr}$$

Akustika

Zvuk - podélné vlnění o frekvencích 16 kHz – 20.000 Hz



Hladiny intenzity zvuku

Práh slyšitelnosti $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$

Práh bolesti $I = 10^0 \text{ W/m}^2$

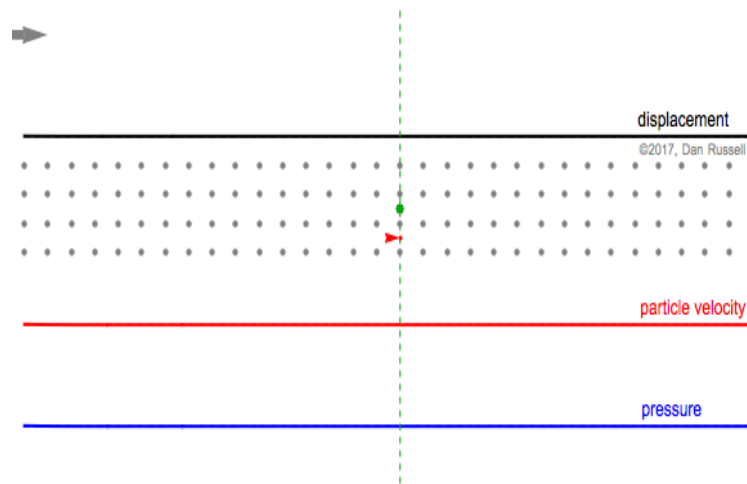
Hladiny intenzity zvuku $L = 10 \log \frac{I}{I_0}$

1 decibel = 1dB

$$p_{ef} \approx F/S \approx m\Delta v/\Delta t \quad I \approx u_m^2 \approx v_m^2 \approx p_{ef}^2$$

Hladiny akustického tlaku

$$L_p = 20 \log \frac{p_{ef}}{p_0}$$



<https://www.acs.psu.edu/drussell/demos.html>

<https://www.acs.psu.edu/drussell/Demos/phase-p-u-sine/phase-p-u-sine.html>