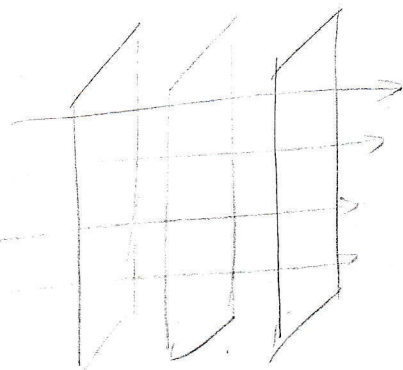
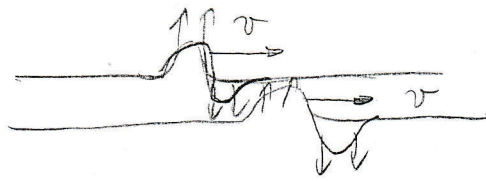


FALE

mechanika falowa

→ fale mechaniczne → przenoszenie energii w ośrodku o gęstości ρ

- fale poprzeczne
wyzdychanie $\perp \vec{v}$
- fale podłużne
wyzdychanie $\parallel \vec{v}$



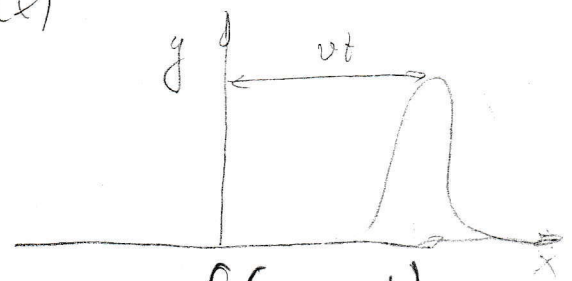
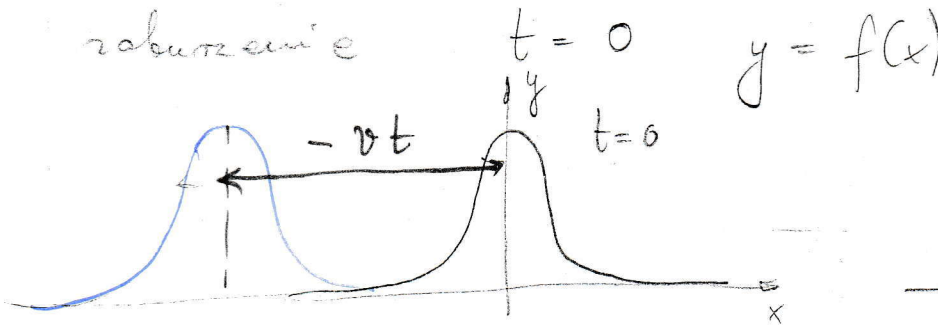
fala płaska



fala kulista

$$I \sim e^{i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)}$$

zakłócenie



fala $y = f(x+vt)$
"w lewo"

fala $y = f(x-vt)$
"prawy"

$$x - vt = \text{const} \Rightarrow \frac{dx}{dt} = v$$

(prędkość fazy)

$$y = y_m \sin \frac{2\pi}{\lambda} x \rightarrow$$

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

$$\lambda = vT$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

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

"paczka falowa"

dyspersja

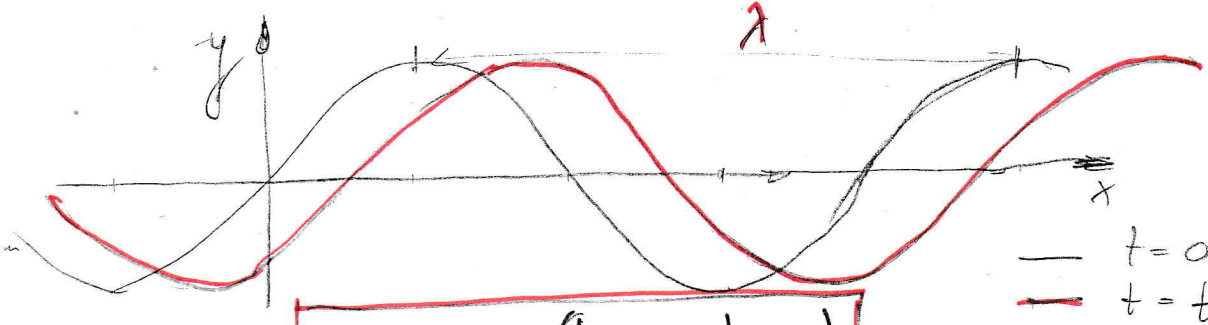
$$y = y_m \sin(kx - \omega t)$$

$$v_g = -\lambda \frac{dv}{d\lambda} + v$$

prędkość grupowa

$$v_g = v_f$$

$$\frac{dv}{d\lambda} = 0$$

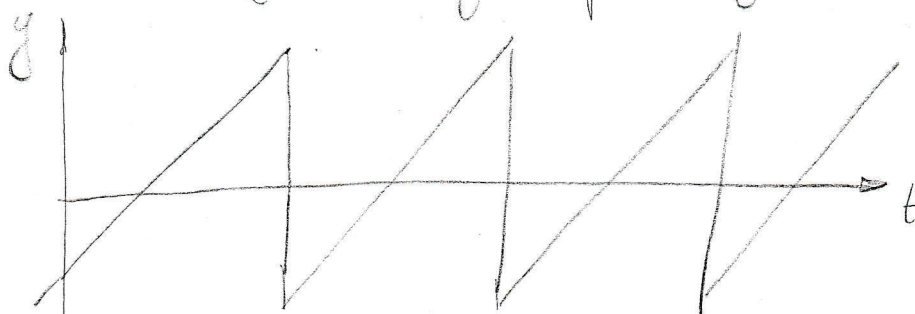


$$y = y_m \sin(kx - \omega t - \varphi)$$

— $t=0$
— $t=t$

φ - faza początkowa

• dwie fale mogą przebiegać niezależnie od siebie



$$y(t) = \sum_{i=0}^{\infty} A_i \sin i\omega t + \sum_{i=1}^{\infty} B_i \cos i\omega t$$

$$A_i = \int y(t) \sin i\omega t dt$$

$$B_i = \int y(t) \cos i\omega t dt$$

82. Fouriera dowolny ruch periodyczny

$$y(t) = A_0 + A_1 \sin \omega t + A_2 \sin 2\omega t + A_3 \sin 3\omega t + \dots + B_1 \cos \omega t + B_2 \cos 2\omega t + \dots$$

prędkość

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

siła

masa jedn. dł.

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$$

$$\square = \nabla^2 - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2}$$

$$\nabla^2 u = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$$

$$\square u = 0$$

$$u = u(x, y, z; t)$$

Interferencja fal

$$y_1 = y_m \sin(kx - \omega t - \varphi)$$

$$y_2 = y_m \sin(kx - \omega t)$$

$\Rightarrow$

$$y = y_1 + y_2 = 2y_m \cos \frac{\varphi}{2} \sin(kx - \omega t - \frac{\varphi}{2})$$

amplituda

wzmocnienie

$$\frac{\varphi}{2} = n\pi$$

osłabienie

$$\frac{\varphi}{2} = n\frac{\pi}{2}$$

natężenie $I \sim |A|^2$

$$I \sim 4y_m^2 \cos^2 \frac{\varphi}{2} \quad I \sim I_0 \cos^2 \frac{\varphi}{2}$$

Fale stojące

$$y_1 = y_m \sin(kx - \omega t)$$

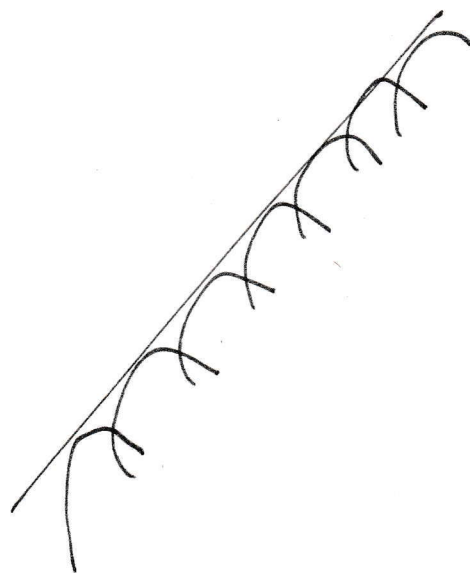
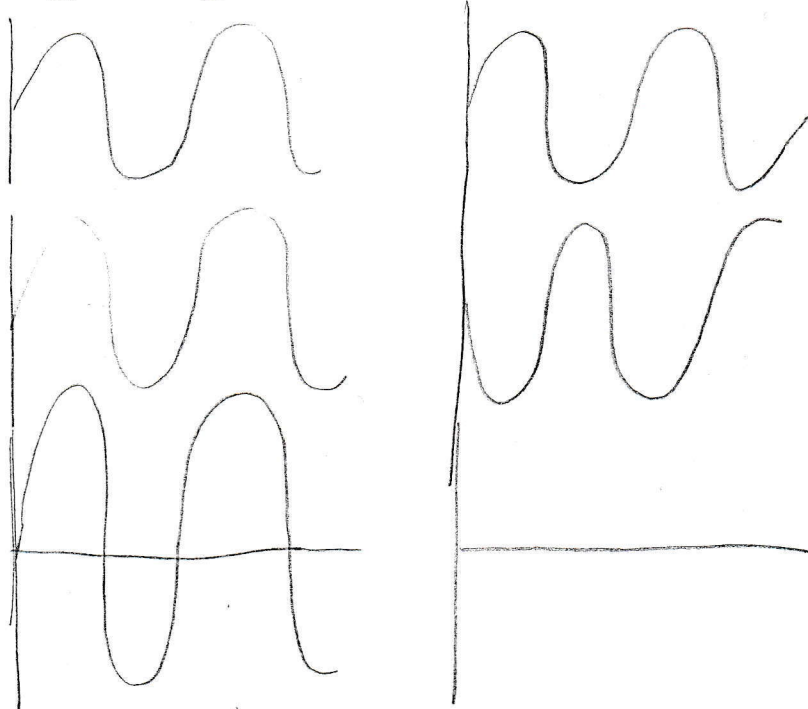
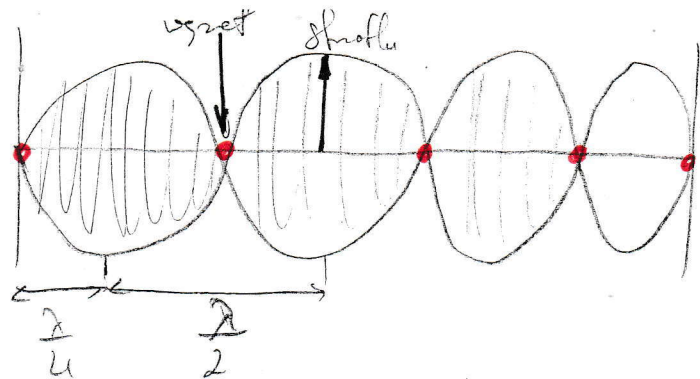
$$y_2 = y_m \sin(kx + \omega t)$$

$\Rightarrow$

$$y = y_1 + y_2 = 2y_m \sin kx \cos \omega t$$

$$kx = \pi, 2\pi, 3\pi \quad (\text{węzły})$$

$$\left\{ \begin{array}{l} kx = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2} \\ x = \frac{\lambda}{4}, \frac{3}{4}\lambda, \frac{5}{4}\lambda \end{array} \right\} \quad \text{strzałki}$$



Fale dĺžkovo

infradiv $< 20 \text{ Hz}$ — 20 kHz $< \text{ultradiv}$

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho_0}}$$

modul sťahovosť
(žiaruga)
gustota

$$v = \sqrt{\frac{E \rho_0}{\rho_0}}$$

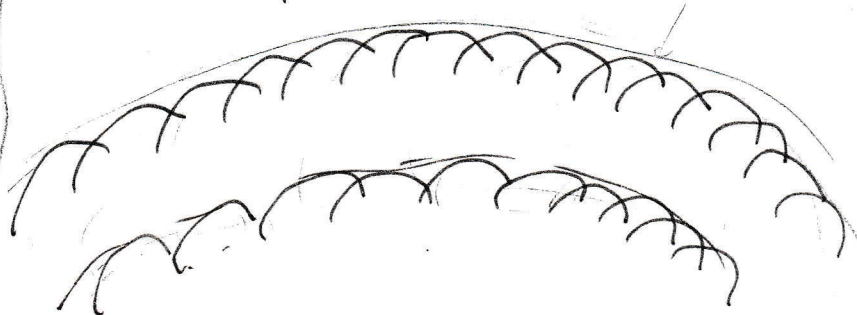
$$n = \frac{c_p}{c_v}$$

poradie	331
H_2	1286
O_2	317
Al	5100
Cu	3560
Fe	5130
guma	54

Zasada Huygensova

Každý bod do ktorého došla
fala, máva svoj vlastný zdroj
vlny nové fali kulisty → fala
organkova (parabolna).

obviedu



prawa Snella

Dubnienie

- interferencja w przestrzeni - fala stojąca
- interferencja w czasie - **dubnienie**

$$y_1 = y_m \cos 2\pi \nu_1 t$$

$$y_2 = y_m \cos 2\pi \nu_2 t$$

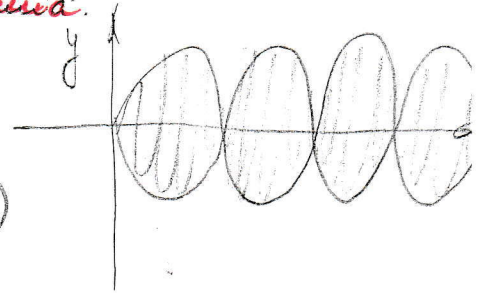
$$y = y_1 + y_2 = y_m (\cos 2\pi \nu_1 t + \cos 2\pi \nu_2 t)$$

$$\cos a + \cos b = 2 \cos \frac{a-b}{2} \cos \frac{a+b}{2}$$

$$y = \left[2y_m \cos 2\pi \left(\frac{\nu_1 - \nu_2}{2} \right) t \right] \cos 2\pi \left(\frac{\nu_1 + \nu_2}{2} \right) t$$

$$\bar{\nu} = \frac{\nu_1 + \nu_2}{2}$$

$$\Delta \nu = \frac{\nu_1 - \nu_2}{2}$$



Zjawisko Dopplera

ruch obserwatora

$$\nu' = \frac{\nu \pm \frac{v_o}{\lambda} + \frac{v_o t}{\lambda}}{t} = \frac{\nu + \frac{v_o}{\lambda}}{1} = \frac{\nu + \frac{v_o}{v}}{1}$$

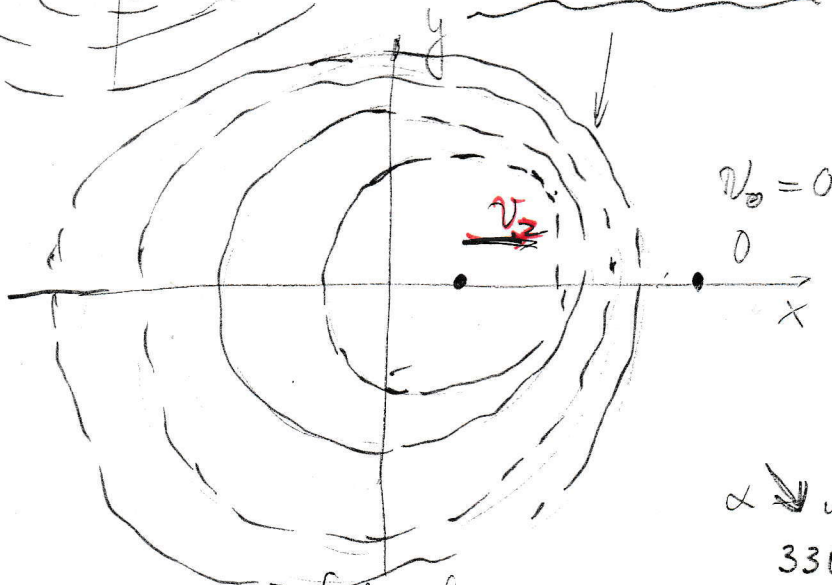
$$\nu' = \frac{\nu + \frac{v_o}{v}}{1} = \nu \left(1 + \frac{v_o}{v} \right)$$

$$\boxed{\nu' = \nu \left(1 \pm \frac{v_o}{v} \right)}$$

ruch źródła

$$\nu' = \frac{\nu}{\lambda'} = \frac{\nu}{(\nu - v_2) \frac{1}{\nu}} = \nu \left(\frac{\nu}{\nu - v_2} \right)$$

$$\boxed{\nu' = \nu \frac{\nu}{(\nu \pm v_2)}}$$



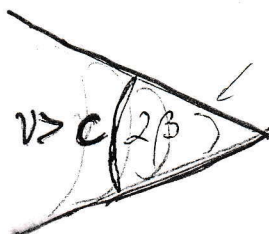
α maleje gdy $M \nearrow$

$$330 \frac{m}{s} \quad c \sim 1200 \frac{km}{h}$$

$$\boxed{M = \frac{v}{c}}$$

Bariera dźwięku

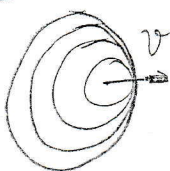
fala uderzeniowa:



stosunek Macha

$$\sin \beta = \frac{c}{v} = \frac{1}{M}$$

dźwięki "zagłuszone" - szum statyczny!



Dźwięki

Źródła (struny i powietrze) - fale stojące

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

$$n = 1$$

- drugie podstawowe

$$n = 2, 3$$

- wyższe harmoniczne

względnie podstawowe

$$\nu_0 = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}}$$

$$\sigma = \frac{F}{S} \leftarrow \begin{array}{l} \text{wartość napięcia} \\ \text{prężności} \end{array}$$

! - częstość drgania

Natężenie akustyczne (I)

$$\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] \text{ lub } \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

$$I = \rho \omega A^2 \nu / 2$$

A - amplituda
c - prędkość
 ω - częstość

$$\omega = 2\pi \nu$$

Moc akustyczna

$$P = \int_S I dS$$

$$x = \log_{10} (P_1 / P_2)$$

w belach (B)

$$1 \text{ dB} = 0.1 \text{ B}$$

$$x = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{P_1}{P_2} \right)$$

Np (neper)

miary jednostek względnych

$$\frac{P_1}{P_2} = 10^x$$

Słyszalność

L_N (poziom słyszalności)

$$L_N \sim \log I$$

prawo **Webera - Fechnera**
poziom głośności jest funkcją

względnie
stwierdzić!