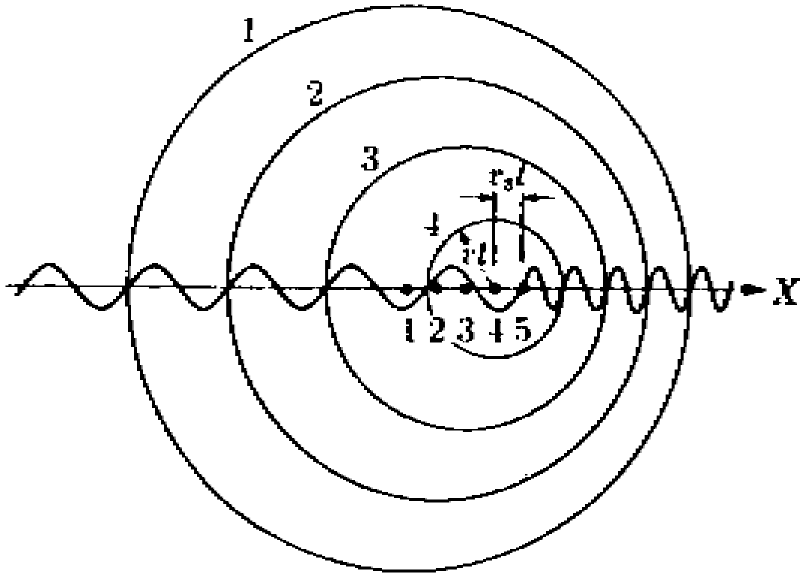
Efekt Dopplera dla fal dźwiękowych:

Jeśli źródło i/lub obserwator poruszają się w stosunku do materialnego ośrodka, w którym rozchodzą się fale – częstość obserwowana jest różna od częstości źródła.



1. Źródło porusza się z prędkością υ_S względem ośrodka, odbiornik nieruchomy.

W ciągu T źródło przesuwa się o $\upsilon_S \cdot T$, fala o cT

$\Rightarrow$ długość fali $\lambda = (c \mp \upsilon_S)T$

(-) – w kierunku ruchu źródła

$$\frac{\lambda}{\lambda_0} = \frac{(c \mp \upsilon_S)}{c}$$

$$\nu = c/\lambda \qquad \nu = \nu_0 \cdot \frac{c}{c \mp \upsilon_S} = \frac{\nu_0}{1 \mp \upsilon_S/c}$$

2. Źródło nieruchome względem ośrodka, odbiornik porusza się z prędkością υ_O względem ośrodka.

Długość fali bez zmiany.

Prędkość fali względem poruszającego się odbiornika

$$c' = c \pm \upsilon_O$$

(+) – odbiornik zbliża się do źródła.

Okres widziany przez odbiornik poruszający się względem źródła z prędkością υ_O:

$$T = \lambda / (c \pm \upsilon_O) \Rightarrow \nu = \frac{c \pm \upsilon_O}{\lambda}$$

Okres widziany przez nieruchomy odbiornik:

$$T_0 = \lambda / c \Rightarrow \nu_0 = \frac{c}{\lambda}$$

$$\nu = \nu_0 \cdot \frac{c \pm \upsilon_O}{c} = \nu_0 \left(1 \pm \frac{\upsilon_O}{c} \right)$$

3. Równoczesny ruch źródła i odbiornika względem ośrodka:

$$\nu = \nu_0 \cdot \frac{c}{c \mp \upsilon_S} \frac{c \pm \upsilon_O}{c}$$

$$\underline{\nu = \nu_0 \cdot \frac{c \pm \upsilon_O}{c \mp \upsilon_S}}$$

$$\underline{\nu = \nu_0 \cdot \frac{c \pm \upsilon_O}{c \mp \upsilon_S}}$$

- ważny jest ruch źródła i/lub odbiornika względem <u>ośrodka</u>.

$(+\upsilon_O)$ - odbiornik zbliża się do źródła,

$(-\upsilon_S)$ - ruch źródła w kierunku rozchodzenia się fali.

Niech $\upsilon_O = 0$ $\qquad \upsilon_S = 0{,}9\,c \Rightarrow \underline{\nu = 10\,\nu_0}$

$\upsilon_O = 0{,}9\,c$ $\qquad \upsilon_S = 0 \quad \Rightarrow \underline{\nu = 1{,}9\,\nu_0}$

Jeśli $\upsilon_O, \upsilon_S << c$:

$$\nu' = \frac{1 - \upsilon_O/c}{1 - \upsilon_S/c} = (1 - \upsilon_O/c)(1 - \upsilon_S/c)^{-1}$$

$$(1 - \upsilon_S/c)^{-1} \approx (1 + \upsilon_S/c)$$

$$\nu' = \left(1 - \frac{\upsilon_O}{c}\right)\left(1 + \frac{\upsilon_S}{c}\right)\nu = \left(1 - \frac{\upsilon_O}{c} + \frac{\upsilon_S}{c} - \frac{\upsilon_O \upsilon_S}{c}\right)\nu$$

$$\nu' \cong \left(1 - \frac{\upsilon_O - \upsilon_S}{c}\right)\nu \qquad \underline{\nu' \cong \left(1 - \frac{\upsilon_{O-S}}{c}\right)\nu}$$

υ_{O-S} - prędkość obserwatora względem źródła

$\upsilon_{O-S} > 0 \rightarrow \nu' < \nu$ - oddalanie

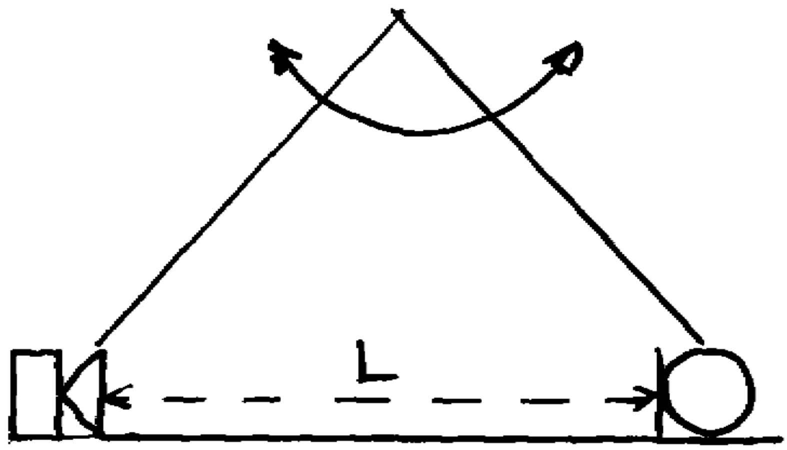
$\upsilon_{O-S} < 0 \rightarrow \nu' > \nu$ - zbliżanie

Jeśli kierunki υ_O i υ_S nie są zgodne z kierunkiem łączącym źródło i obserwatora – należy wziąć rzuty prędkości na ten kierunek.

Dla υ_{O-S} tworzącej kąt α z kierunkiem propagacji

$$\underline{\nu' = \left(1 - \frac{\upsilon_{O-S}\cos\alpha}{c}\right)\nu}$$

Równoczesny ruch źródła i odbiornika:



Rozważamy tylko składową podłużną ruchu:

$$\nu' = \nu_0 \frac{c - \upsilon_O}{c - \upsilon_S} \Rightarrow \nu_0; \qquad \upsilon_O = \upsilon_S = \upsilon_d$$

$$\varphi = \omega\left(\frac{x}{c} - t\right)$$

$$\Delta\varphi = \varphi(L,t) - \varphi(0,t)$$

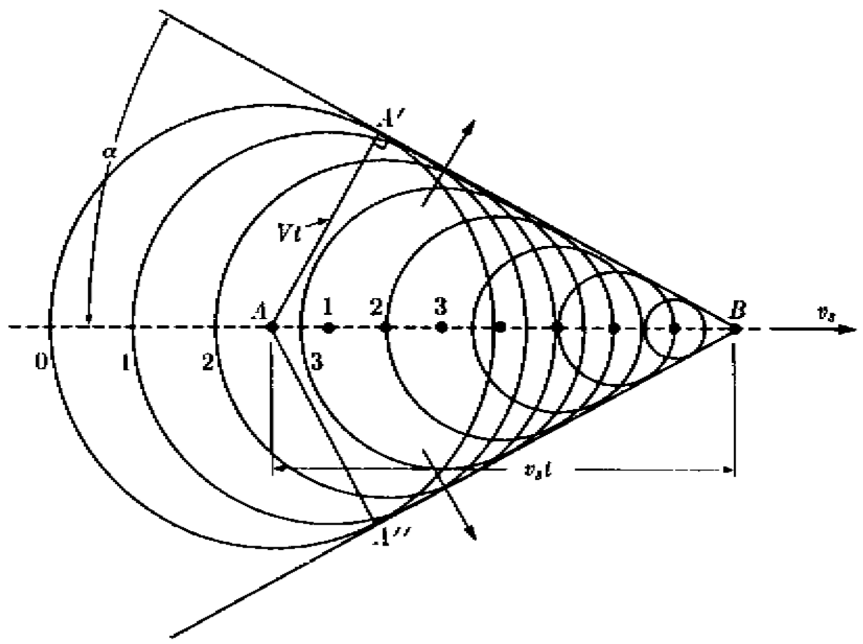
$$\Delta\varphi = \omega\left(\frac{L}{c} - t\right) + \omega t = \omega\frac{L}{c} \qquad\qquad \Delta\varphi = f(c)$$

Dodatkowe przesunięcie fazowe przy ruchu względem ośrodka w kierunku propagacji ($\upsilon << c$):

$$\Delta\varphi(c-\upsilon_d) - \Delta\varphi(c) = \omega L\left(\frac{1}{c-\upsilon_d} - \frac{1}{c}\right) \cong \omega L\frac{\upsilon_d}{c^2}$$

Fala uderzeniowa:

Szczególny przypadek –fala uderzeniowa (Macha) – dla prędkości źródła większej od prędkości propagacji.



W czasie t fala wyemitowana w A doszła do A′, źródło z A do B.

Powierzchnia styczna do frontów fal tworzy stożek o rozwartości $\underline{\sin\alpha = \upsilon/\upsilon_S}$ $\Rightarrow$ rozchodzi się fala stożkowa.