

Wykład dla studentów Politechniki Białostockiej
pt: „Efekt Dopplera” opracowany
przez prof. Antoniego Rewińskiego.

Zjawisko Dopplera występuje wtedy, gdy obserwator porusza się względem źródła dźwięku lub źródło względem obserwatora. Zjawisko to polega na tym, że obserwator odbiera fale o innej częstotliwości niż częstotliwość drgań źródła. Na początku zrobimy następujące założenia. Ośrodek jest bezdyspersyjny, to znaczy że prędkość fazowa dźwięku równa się prędkości grupowej. Przy czym prędkość dźwięku zależy od własności sprężystych ośrodków i wynosi:

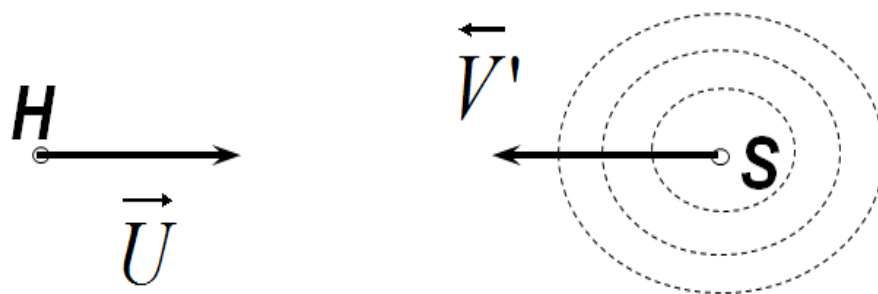
$$V = \lambda \cdot \nu \quad (1)$$

Trzeba podkreślić, że np. w powietrzu rozchodzą się tylko fale podłużne, których prędkość wynosi:

$$V = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (2)$$

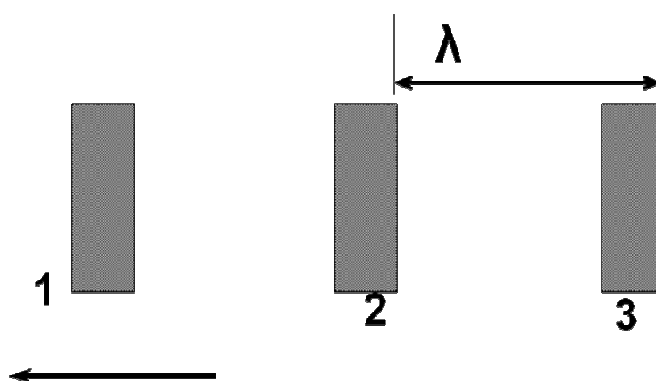
Oznacza to, że we wzorze (1) iloczyn $\lambda \cdot \nu$ dla danego ośrodka jest wartością stałą.

1) Rozpatrzmy pierwszy przypadek: obserwator H porusza się z prędkością $U < V$ względem ośrodka a źródło S jest nieruchome.



Rys.1

Zróbmy teraz doświadczenie myślowe. Nie widzimy tego w jaki sposób rozchodzi się fala podłużna w powietrzu. Dlatego można zrobić wirtualne zdjęcie tego procesu. Na zdjęciu powstają zagęszczenia i rozrzedzenia ośrodka.



Rys.2

Zgodnie z definicją najbliższa odległość pomiędzy punktami drgającymi w jednakowej fazie to długość fali λ . Przy czym liczba zagęszczeń które

przechodzą przez spoczywającego obserwatora w ciągu 1s to częstotliwość ν źródła. Przypuśćmy, że obserwator H porusza się z prędkością U do źródła. Wówczas prędkość względna w układzie „obserwator-źródło” będzie równa $U+V$. Oznacza to, że przez poruszającego się obserwatora przejdzie więcej zagęszczeń ν' w ciągu 1s niż w stanie nieruchomym.

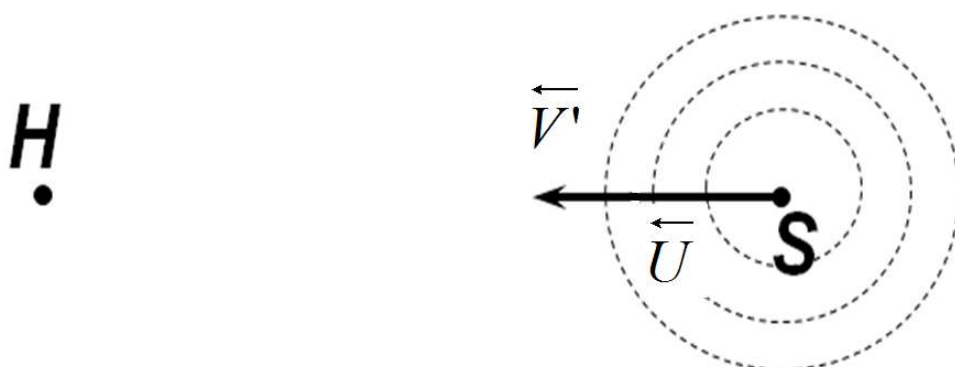
$$\nu' = \frac{U + V}{\lambda} = \left(1 + \frac{U}{V}\right) \nu \quad (3)$$

Ponieważ stosunek $U/V > 1$, to częstotliwość ν' odbierana przez obserwatora jest większa niż częstotliwość źródła.

Rozpatrzmy przypadek, gdy obserwator oddala się źródła ($U \rightarrow -U$, (3)) wówczas

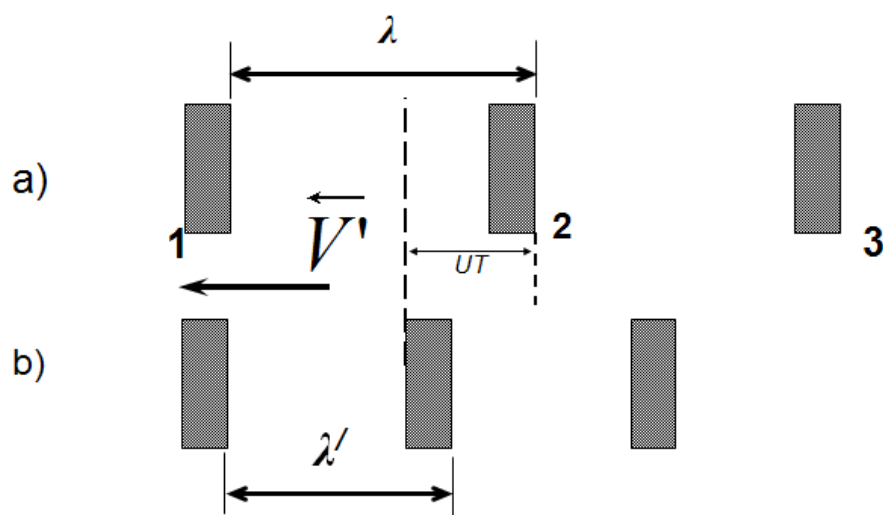
$$\nu' = \left(1 - \frac{U}{V}\right) \nu \Rightarrow \nu < \nu' \quad (4)$$

2) Rozpatrzmy teraz drugi przypadek. Obserwator H jest nieruchomy a źródło S porusza się z prędkością U do obserwatora.



Rys.3

Wykonajmy teraz dwa wirtualne zdjęcia fali podłużnej. Źródło znajduje się w stanie spoczynku rys.4a i źródło porusza się z prędkością U rys.4b.



Rys.4

Widać, że odległość pomiędzy zagęszczeniami w drugim przypadku jest mniejsza niż w pierwszym (Jak to wytłumaczyć?). Wiadomo, że źródło wysyła

zagęszczenia co T (okres drgań źródła). Gdy źródło jest nieruchome, wtedy odległość pomiędzy zagęszczeniami równa się długości fali λ (rys. 4a). Gdy źródło porusza się z prędkością U w ciągu czasu T , pokona odległość równą $U \cdot T$ i znów wysyła zagęszczenie. Oznaczy to, że odległość pomiędzy tymi zagęszczeniami λ' będzie mniejsza niż długość fali λ (rys. 4b).

$$\lambda' = \lambda - U \cdot T \Rightarrow \lambda' < \lambda \quad (5)$$

Trzeba jednak zaznaczyć, że prędkość fali V nie zależy od długości fali, a iloczyn $\lambda \cdot \nu$ jest wartością stałą dla naszego ośrodka i można go zapisać w postaci:

$$V = \lambda \cdot \nu = \lambda' \cdot \nu' \quad (6)$$

Częstotliwość ν' możemy obliczyć za pomocą wzoru:

$$\nu' = \frac{V}{\lambda'} = \frac{V}{\lambda - U \cdot T} \quad (7)$$

Biorąc pod uwagę, że $\lambda = \frac{V}{\nu}$ i $T = \frac{1}{\nu}$, otrzymujemy:

$$\nu' = \frac{V}{V - U} \nu \quad (8)$$

Ponieważ współczynnik $\frac{V}{V - U} > 1 \Rightarrow \nu' > \nu$

Gdy źródło oddala się od obserwatora otrzymujemy równanie:

$$\nu' = \frac{V}{V + U} \nu \quad (9)$$

A współczynnik przyjmuje postać $\frac{V}{V + U} < 1 \Rightarrow \nu' < \nu$