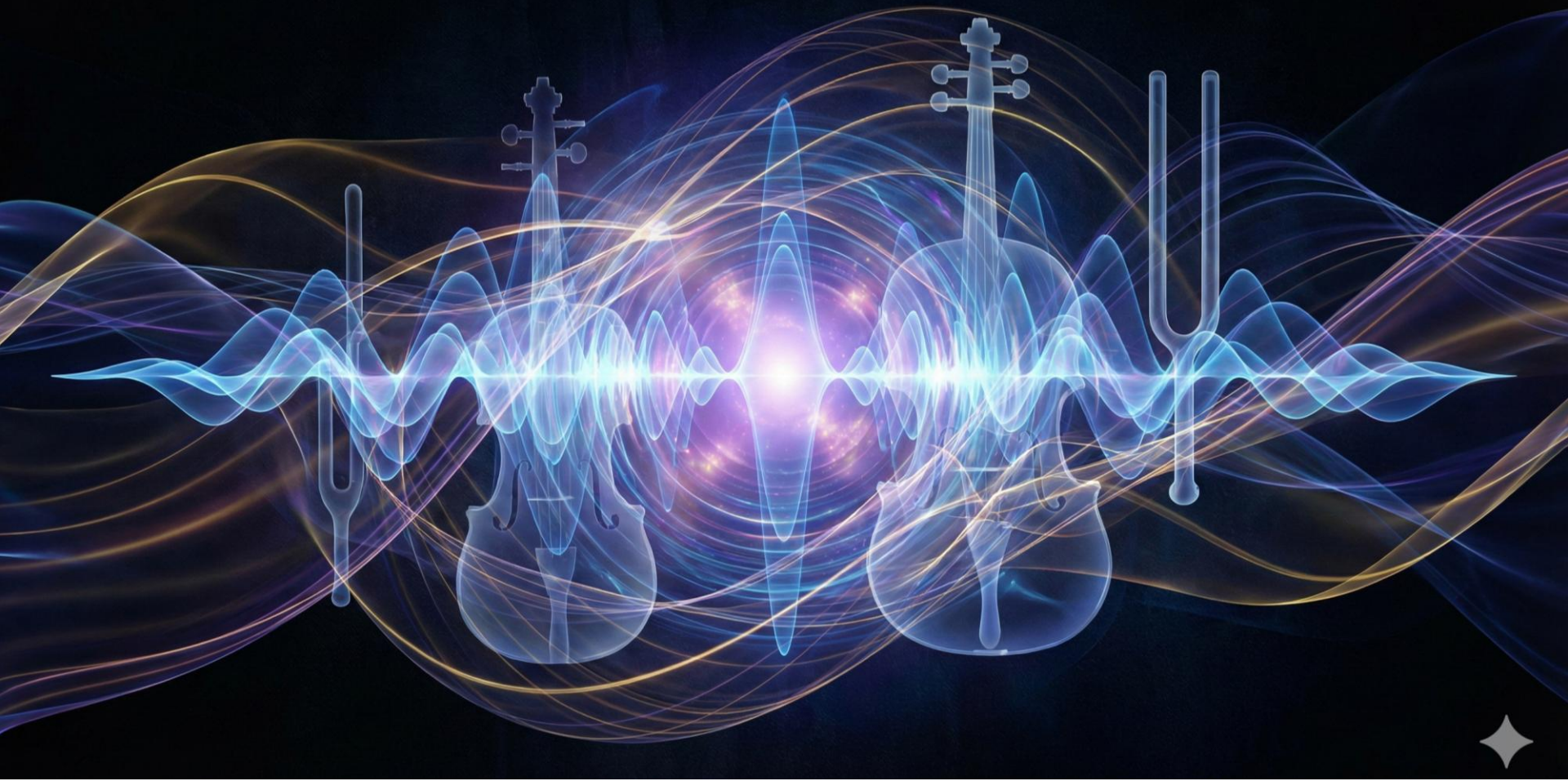




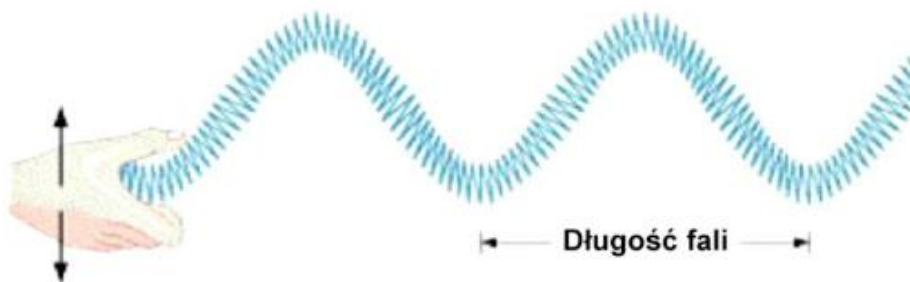
FIZYKA Z ELEMENTAMI FIZYKI RADIACYJNEJ I | WYKŁAD 9

Fale akustyczne

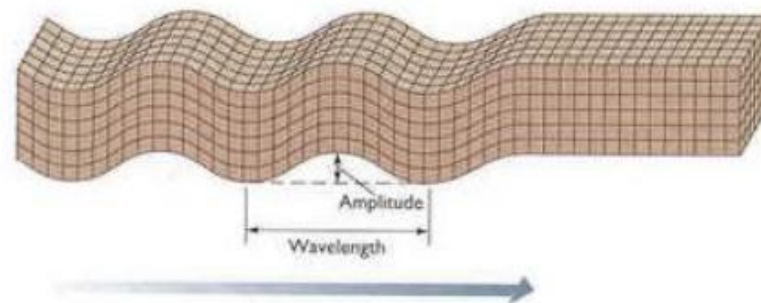
dr inż. Katarzyna Gwóźdź

Fale mechaniczne

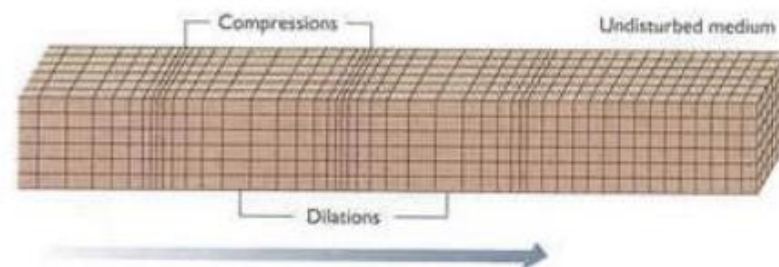
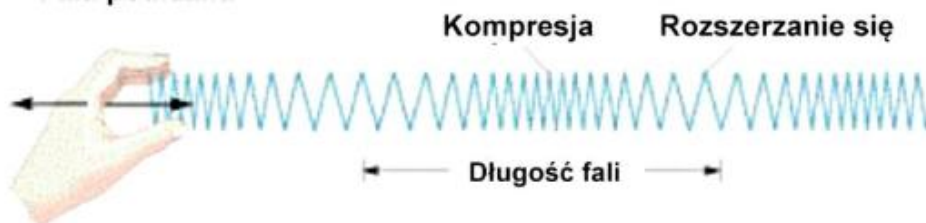
http://layer.uci.agh.edu.pl/~kanak/dydaktyka/Elektronika_W1/9-Fale.pdf



Fala poprzeczna



Fala podłużna



Animacja:

<https://www.edukator.pl/resources/applet/fala-podluzna>

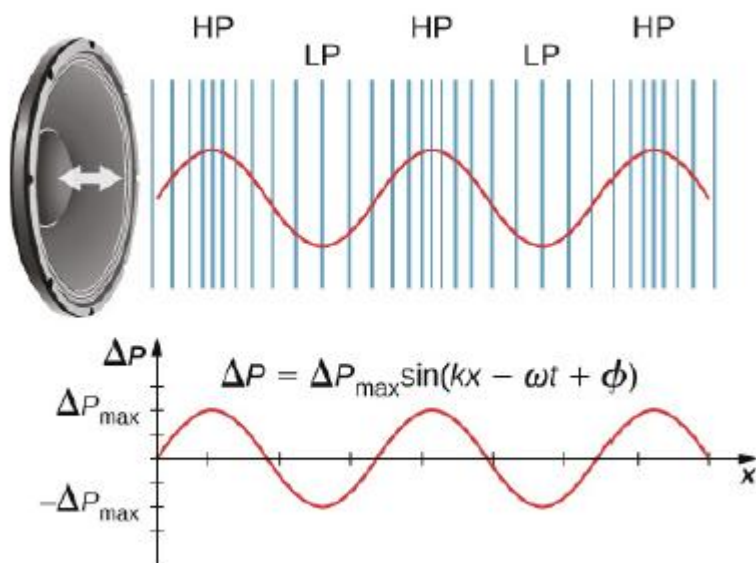
Fale akustyczne

Doświadczenie 8.15

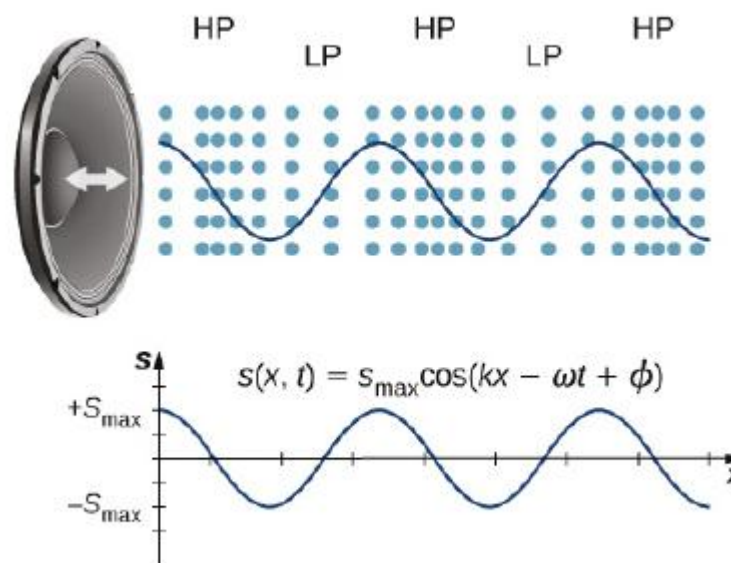
Doświadczenie 8.22

Dźwięk jest zaburzeniem atomów, który jest znacznie bardziej uporządkowany niż ich ruchy termiczne.

HP = Zagęszczenie LP = Rozrzedzenie



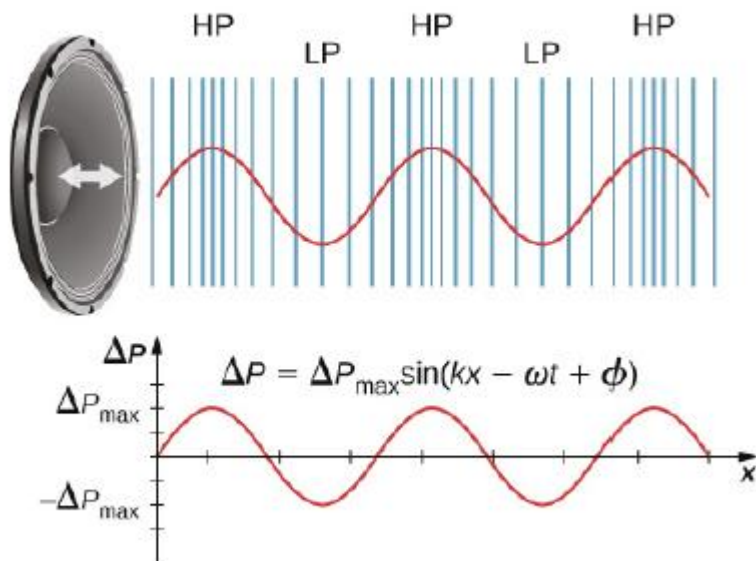
(a)



(b)

Opis matematyczny

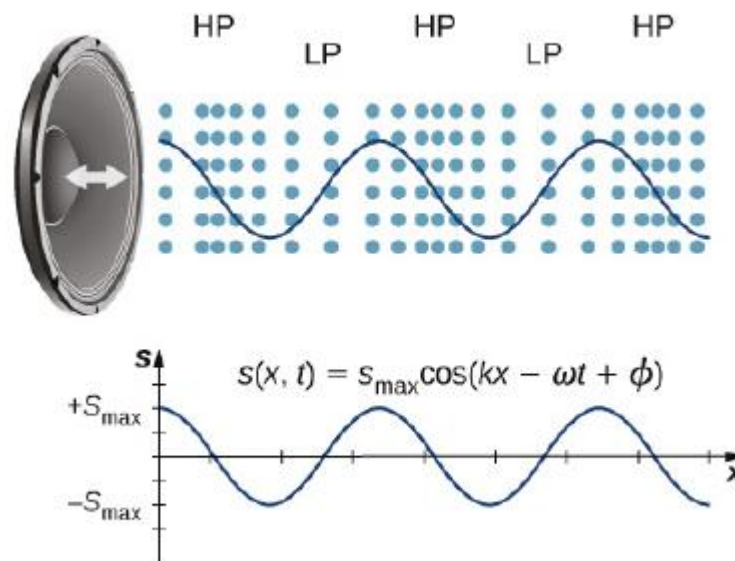
HP = Zagęszczenie LP = Rozrzedzenie



(a)

$$\Delta p(x, t) = \Delta p_{\max} \sin(kx - \omega t + \phi)$$

Zmiana ciśnienia powietrza

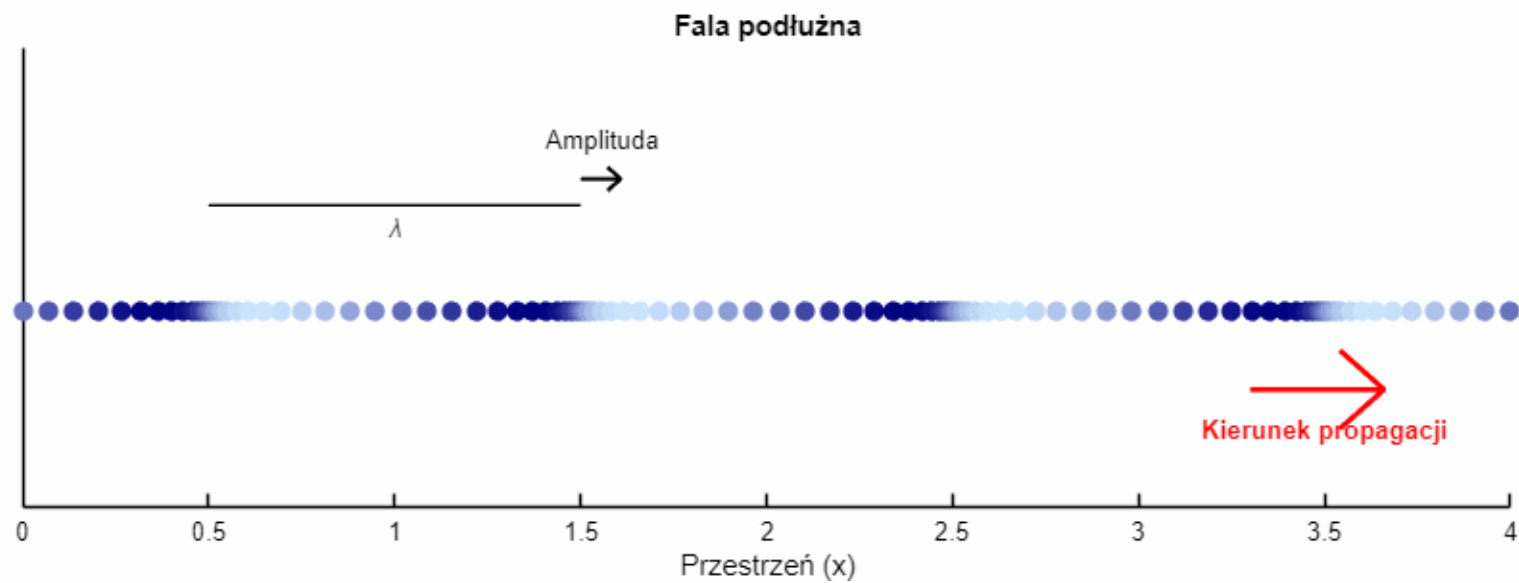


(b)

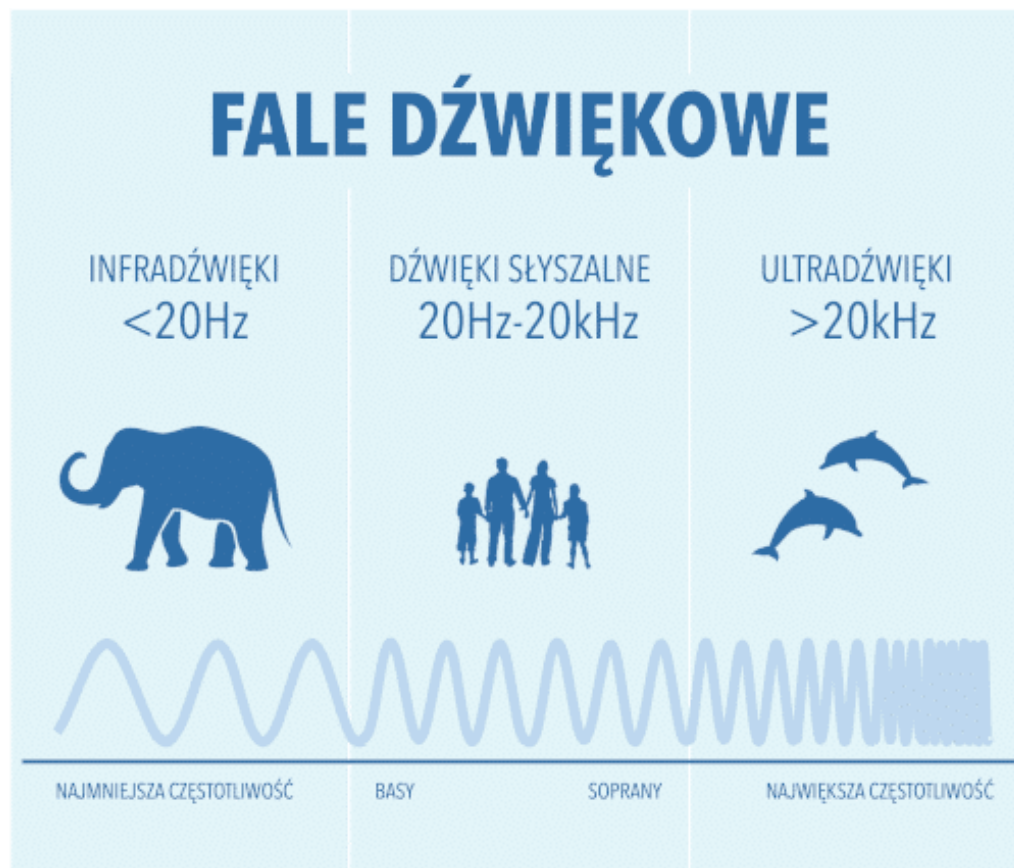
$$s(x, t) = s_{\max} \sin(kx - \omega t + \phi)$$

Wychylenie cząsteczek powietrza

Fale akustyczne

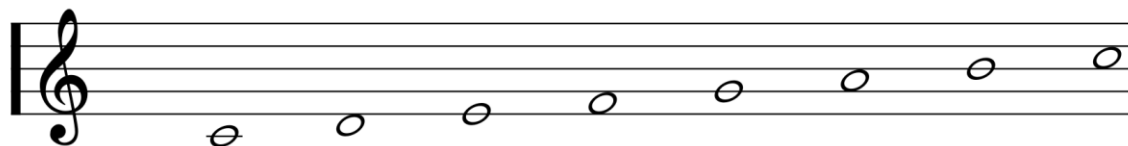


Własności - częstotliwość



<https://leszekbober.pl/wp-content/uploads/2021/05/Rodzaje-fal-dzwiekowych.png>

Własności - częstotliwość

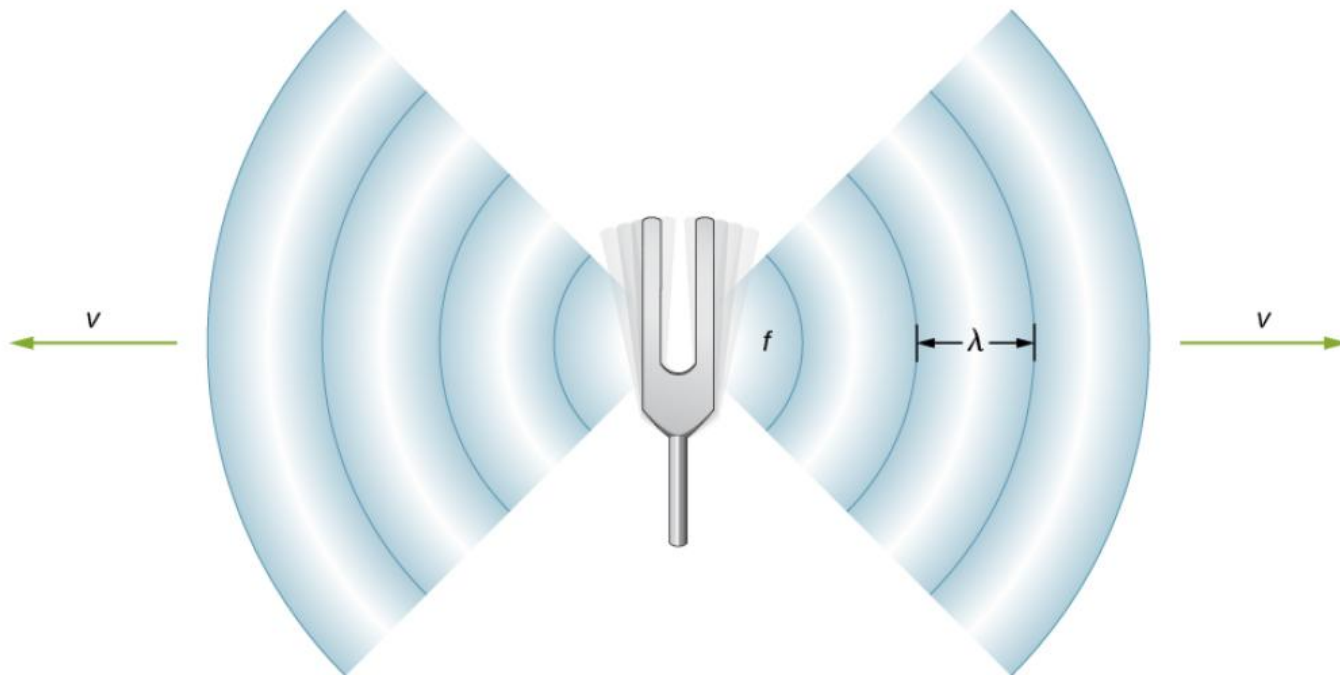


nazwa dźwięku	c ¹	d ¹	e ¹	f ¹	g ¹	a ¹	h ¹	c ²
f [Hz]	264 f_0	297 $\frac{9}{8}f_0$	330 $\frac{5}{4}f_0$	352 $\frac{4}{3}f_0$	396 $\frac{3}{2}f_0$	440 $\frac{5}{3}f_0$	495 $\frac{15}{8}f_0$	528 $2f_0$
nazwa interwału	tonika (prima)	sekunda wielka	tercja wielka	kwarta	kwinta	seksta	septyma wielka	oktawa

<https://zpe.gov.pl/a/fale-dzwiekowe-jako-przyklad-fal-harmoniczych-cechy-dzwiekow-wysokosc-i-glosnosc/D7sUd5nIJ>

Własności – prędkość

$$v = f\lambda = \frac{\lambda}{T}$$



Własności – prędkość

$$v = \sqrt{\frac{\text{sprężystość}}{\text{bezwładność}}}$$



Gaz doskonały

- $v = \sqrt{\frac{\kappa p}{\rho}}$
- $\kappa = \frac{C_p}{C_v}$
- p – ciśnienie
- ρ – gęstość
- C_p, C_v - ciepło właściwe



Ciecz

- $v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$
- E – moduł Younga
- ρ – gęstość



Ciało stałe

- $v = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$
- K – współczynnik sprężystości objętościowej
- ρ – gęstość

Własności – prędkość



Gaz (0°C)

- Powietrze
 - 331 m/s
- Tlen
 - 316 m/s
- Hel
 - 965 m/s
- Wodór
 - 1290 m/s



Ciecz (20°C)

- Etanol
 - 1160 m/s
- Rtęć
 - 1450 m/s
- Woda
 - 1540 m/s



Ciało stałe

- Guma
 - 54 m/s
- Polietylen
 - 920 m/s
- Ołów
 - 1960 m/s
- Aluminium
 - 5120 m/s
- Szkło
 - 5640 m/s
- Stal
 - 5960 m/s

Własności – prędkość

Prędkość dźwięku może się zmieniać, gdy dźwięk przechodzi z jednego ośrodka do drugiego, ale zwykle częstotliwość pozostaje taka sama.

Wzór na prędkość dźwięku w powietrzu:

$$v = 331 \frac{m}{s} \sqrt{\frac{T}{273K}}$$

Własności – prędkość

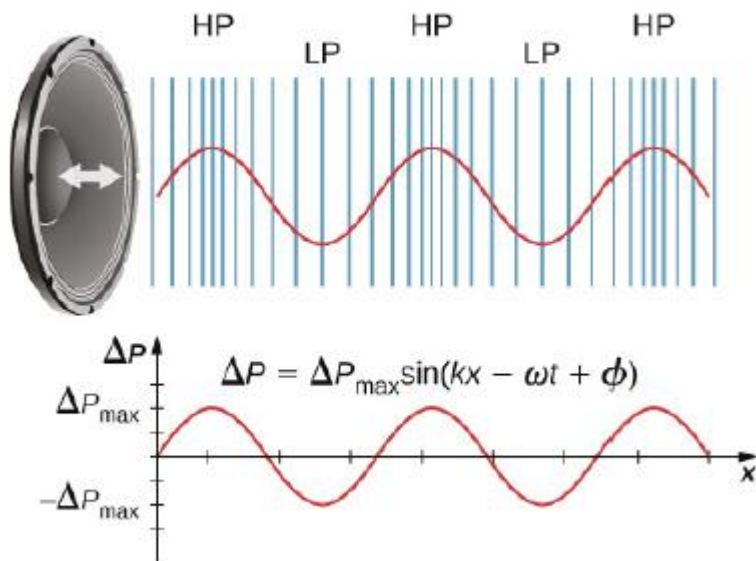
Musi spełniać równanie falowe. Warunek propagacji fali.

$$\frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial x^2}$$

Aby fala mogła propagować w ciele z daną prędkością, funkcja fali musi spełniać równanie falowe.

Własności – amplituda

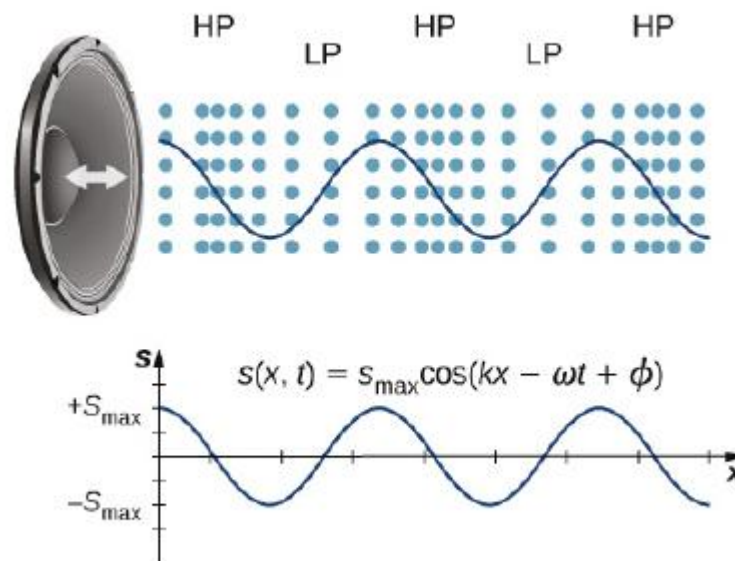
HP = Zagęszczenie LP = Rozrzedzenie



(a)

$$\Delta p(x, t) = \Delta p_{\max} \sin(kx - \omega t + \phi)$$

Maksymalna zmiana ciśnienia



(b)

$$s(x, t) = s_{\max} \sin(kx - \omega t + \phi)$$

Maksymalne wychylenie
cząsteczek powietrza

Własności – natężenie

Moc przenoszona przez falę na jednostkę powierzchni.

$$I = \frac{P}{A}$$

$$I = \frac{(\Delta p_{\max})^2}{2\rho v}$$

$$[I] = \frac{W}{m^2}$$

Dla fali kulistej:

$$A = 4\pi r^2$$

Gdy fala oddala się od źródła:

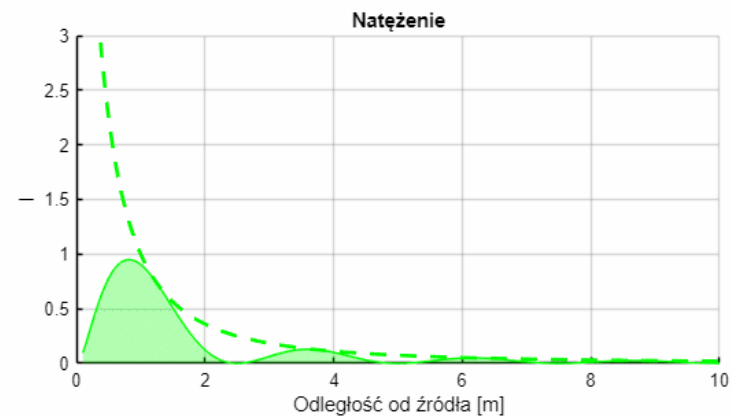
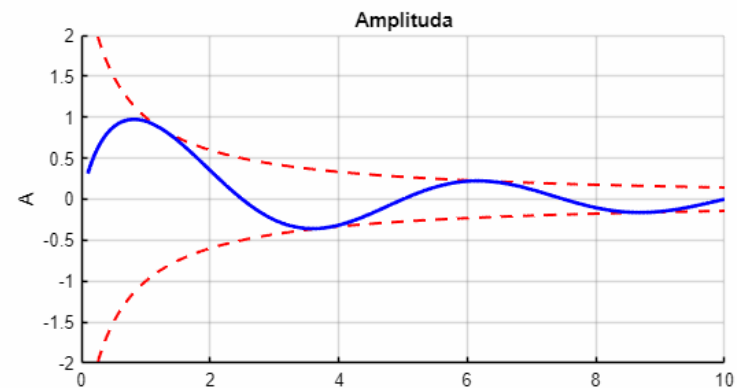
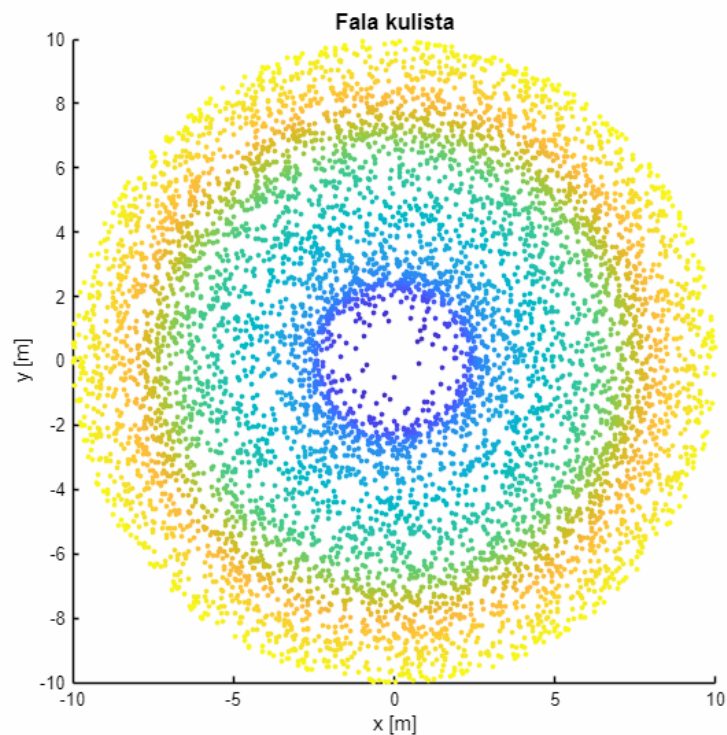
$$r_2 > r_1 \quad P_1 = P_2$$

$$P_1 = I_1 4\pi r_1^2 \quad P_2 = I_2 4\pi r_2^2$$

$$I_1 4\pi r_1^2 = I_2 4\pi r_2^2$$

$$I_2 = I_1 \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2$$

Własności – natężenie



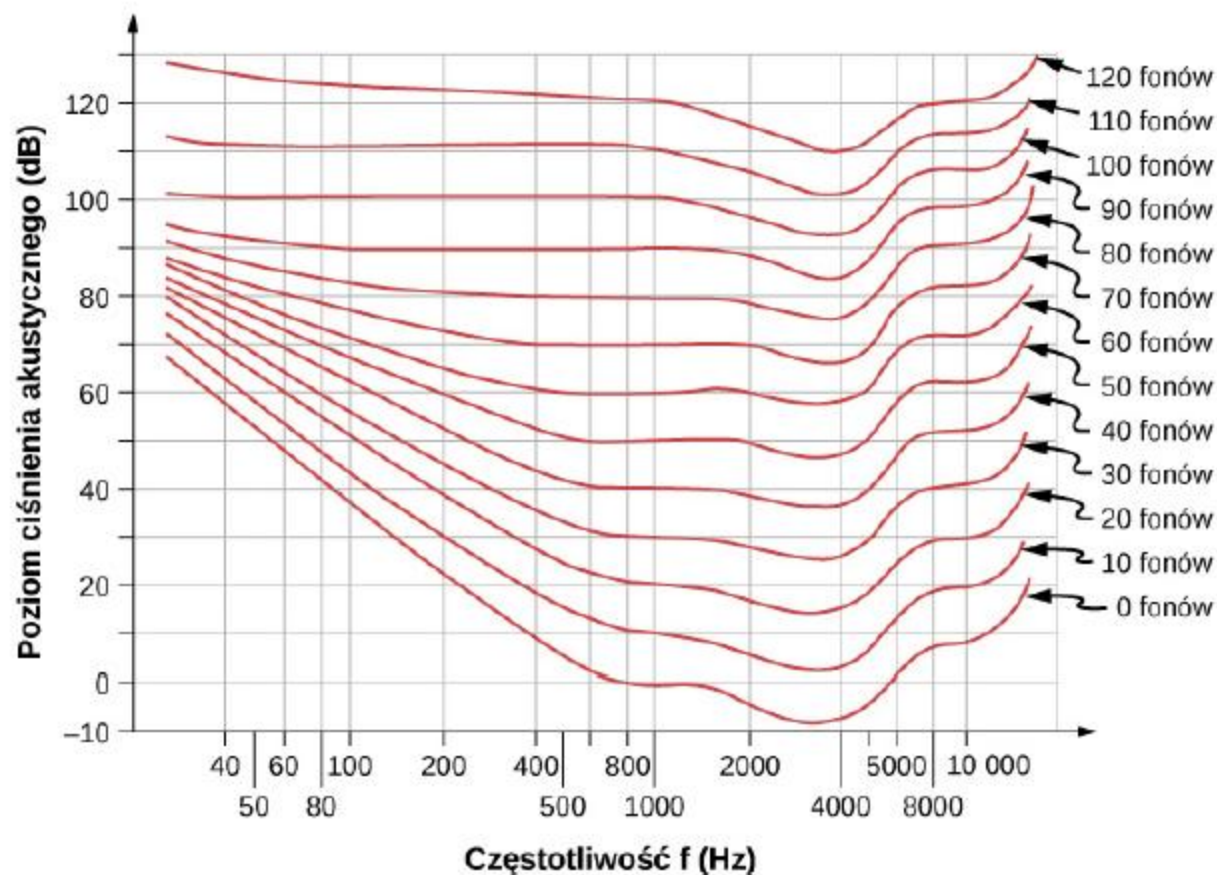
Własności – natężenie

$$\beta = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad [\beta] = dB$$

β [dB]	I [$\frac{W}{m^2}$]	Przykład/efekt
0	10^{-12}	Próg słyszenia dla 1000 Hz
10	10^{-11}	Szelest liścia
60	10^{-6}	Rozmowa
90	10^{-3}	Wewnątrz samochodu ciężarowego, uszkodzenia słuchu powodowane długą ekspozycją na hałas
100	10^{-2}	Głośny zakład przemysłowy, syrena w odległości 30 m, uszkodzenia słuchu powodowane 8-godzinną ekspozycją na hałas
120	10^1	Głośny koncert rockowy, młot pneumatyczny w odległości 2 m, próg bólu
140	10^2	Samolot odrzutowy w odległości 30 m, silny ból, utrata słuchu
160	10^4	Zniszczenie błony bębenkowej

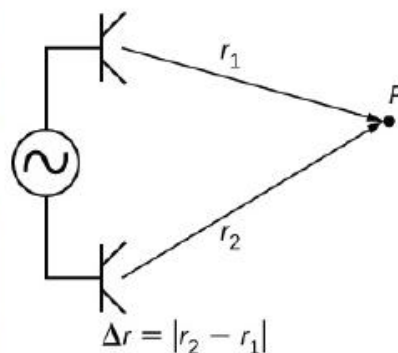
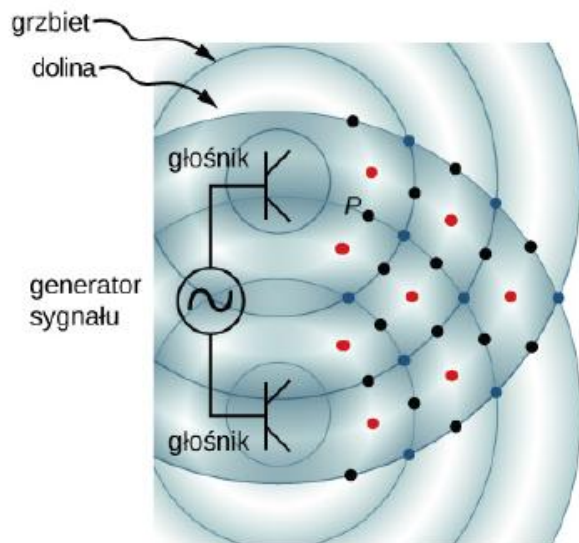
Własności – ciśnienie akustyczne

Fon – opisuje percepcję głośności, wielkość subiektywna

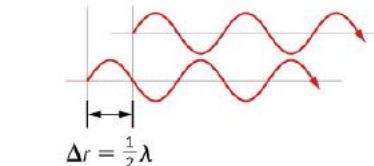
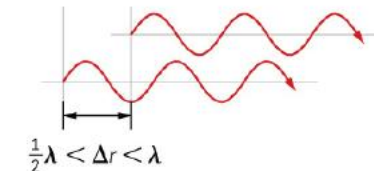
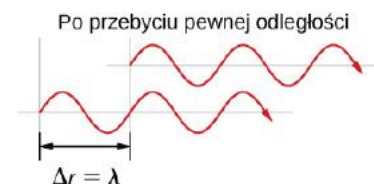
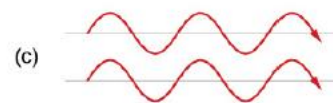
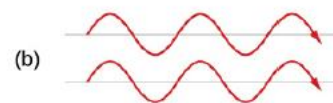


Własności – interferencja

Różnica w fazie wynika z różnicy długości dróg propagacji

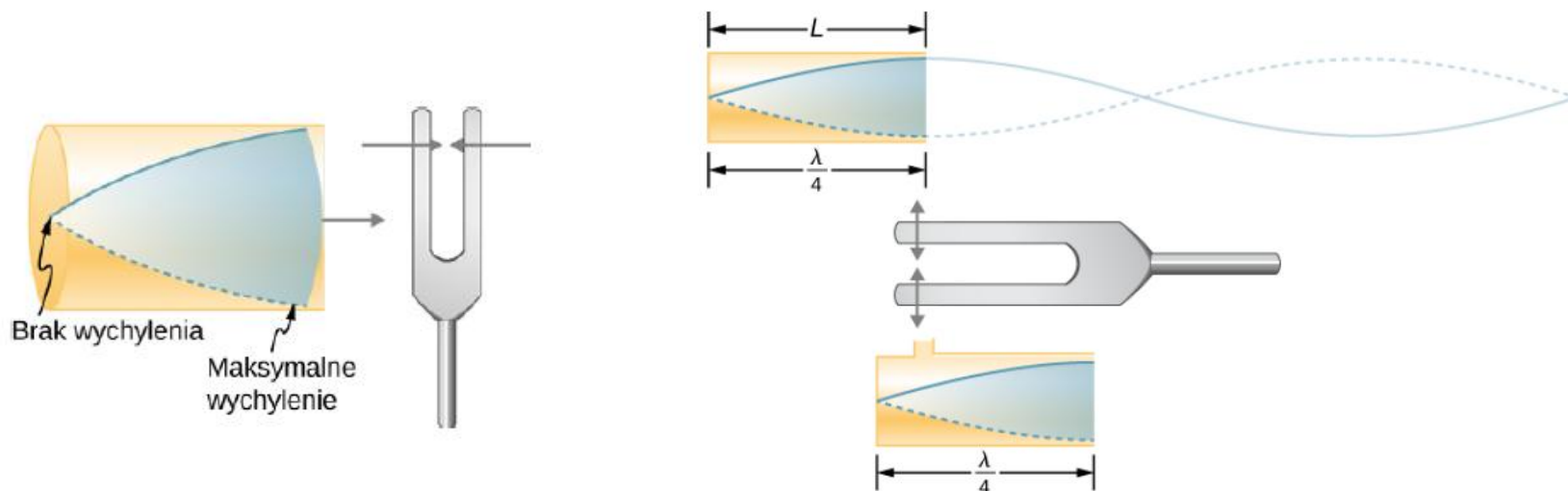


- Interferencja konstruktywna – dwa grzbiety
- Interferencja konstruktywna – dwie doliny
- Interferencja destruktywna – jeden grzbiet i jedna dolina



Fala stojąca

Wynik interferencji dwóch fal poruszających się w przeciwnych kierunkach

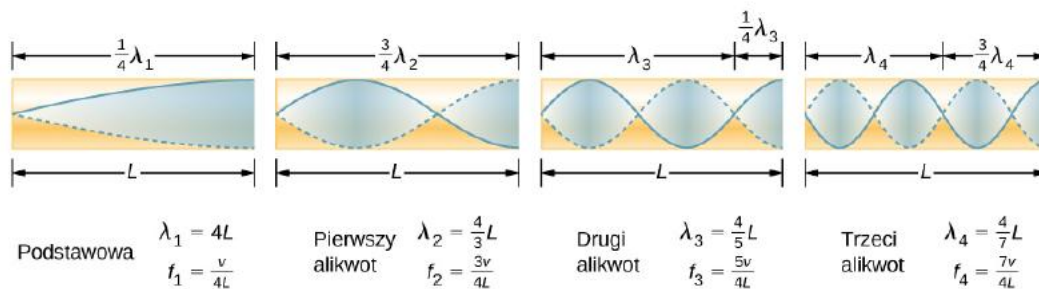


Rezonans akustyczny

Doświadczenie 8.18

Doświadczenie 8.17

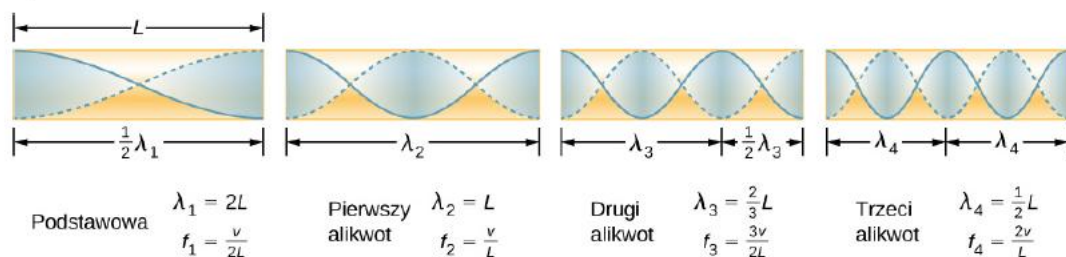
Wzmocnienie fal o częstotliwości bliskiej częstotliwości własnej układu



$$f_n = n \frac{v}{4L} \quad n = 1, 3, 5 \dots$$

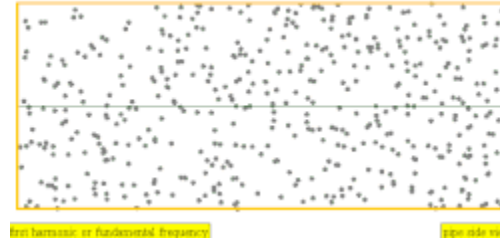
Rezonans akustyczny

Wzmocnienie fal o częstotliwości bliskiej częstotliwości własnej układu

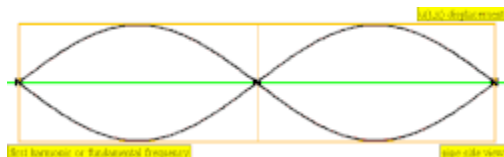


$$f_n = n \frac{v}{2L} \quad n = 1, 2, 3, 4, 5 \dots$$

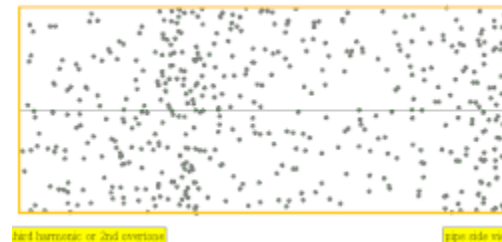
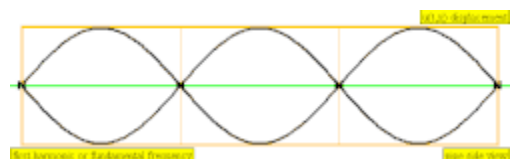
Harmoniczne



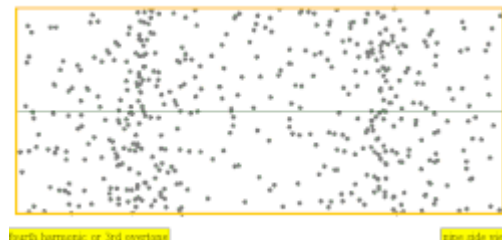
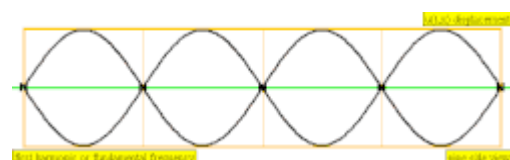
1



2



3

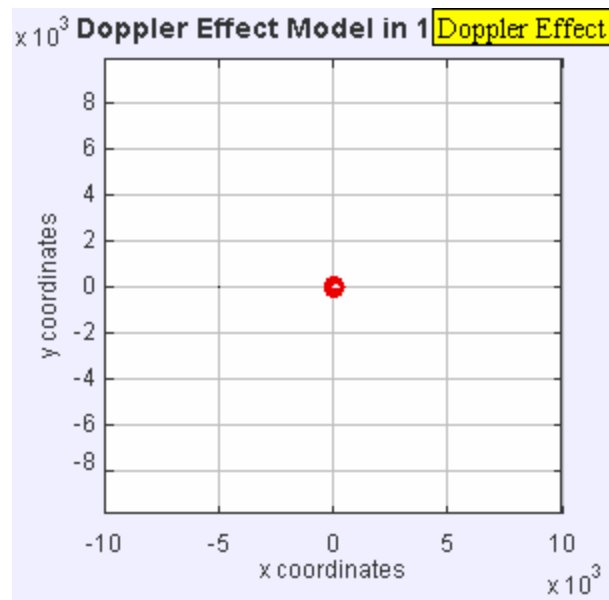
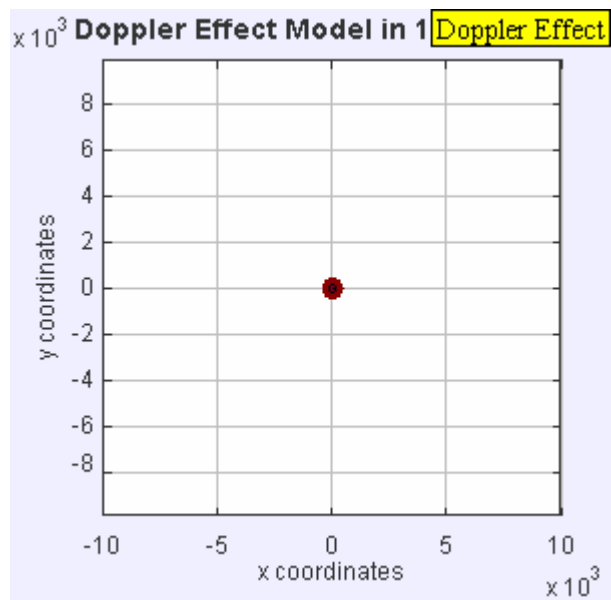


4

Efekt Dopplera

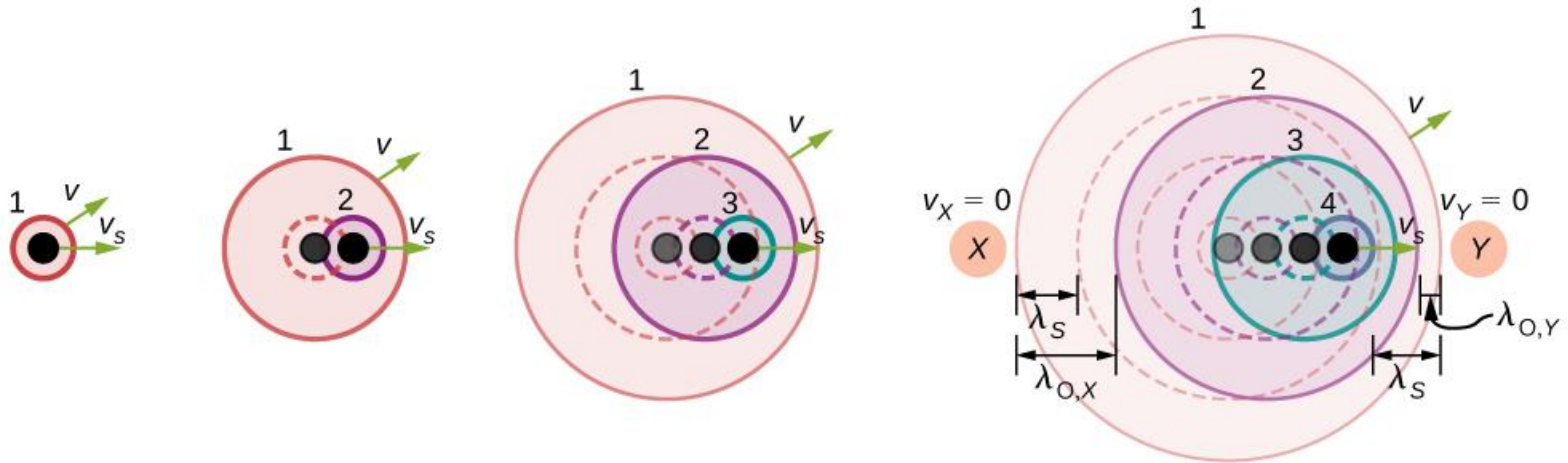
Doświadczenie 8.25

Zmiana odbieranej częstotliwości dźwięku w wyniku ruchu źródła dźwięku lub obserwatora.



https://pl.wikipedia.org/wiki/Efekt_Dopplera

Efekt Dopplera



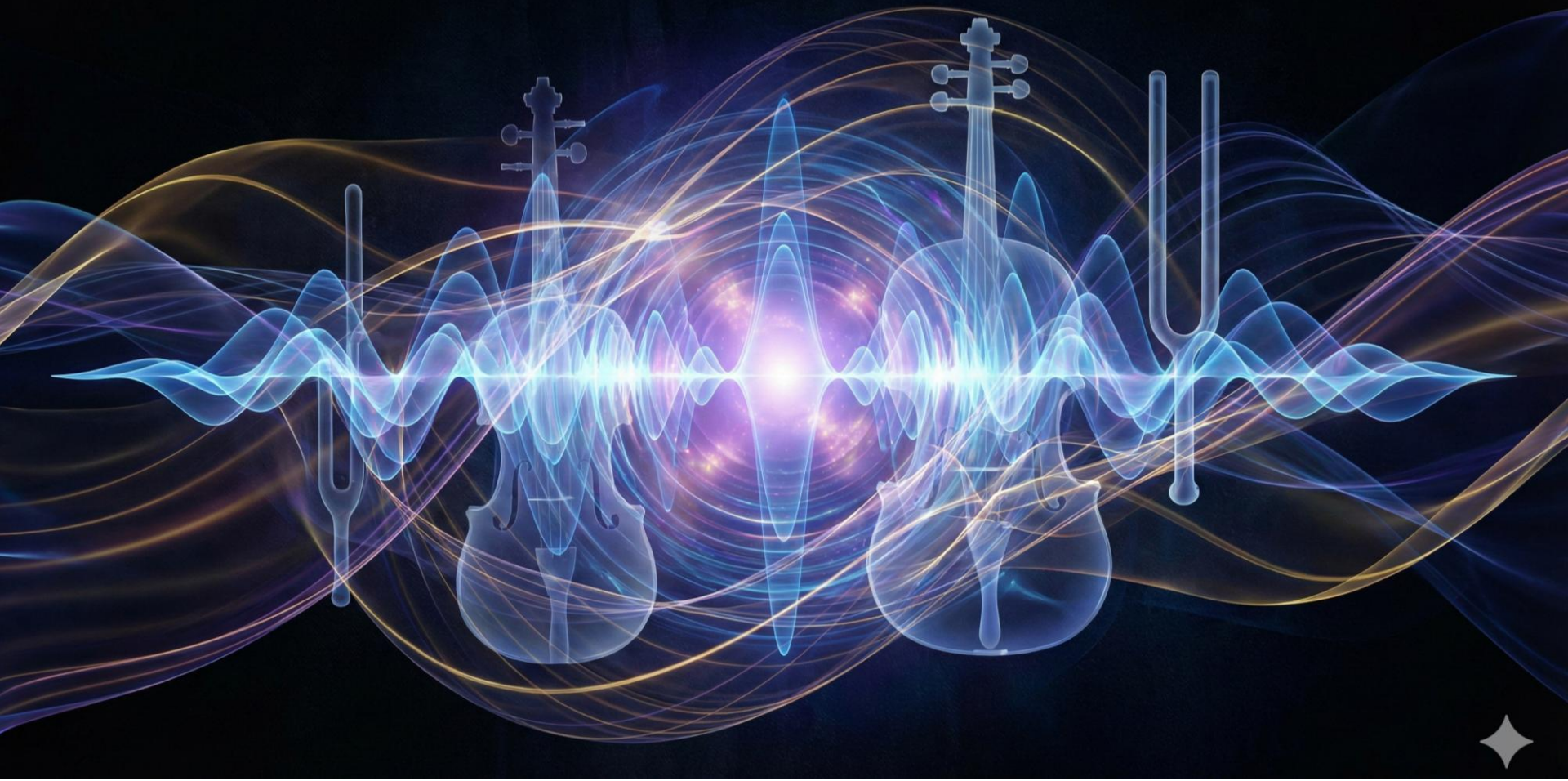
$$\lambda_o = \lambda_s + v_s T_s$$

$$v T_o = v T_s + v_s T_s$$

$$\frac{v}{f_o} = \frac{v}{f_s} + \frac{v_s}{f_s} = \frac{v + v_s}{f_s}$$

$$f_o = f_s \left(\frac{v}{v_s} \right)$$

o – obserwator
s – stacjonarnie



FIZYKA Z ELEMENTAMI FIZYKI RADIACYJNEJ I | WYKŁAD 9

Dziękuję za uwagę!

dr inż. Katarzyna Gwóźdź