

Dźwięk.

Cechy dźwięku, natura światła

**Fale dźwiękowe (akustyczne) -
podłużne fale mechaniczne rozchodzące się w
ciałach stałych, cieczech i gazach.**

Zakres słyszalnej częstotliwości f :

- **$20 \text{ Hz} < f < 20\,000 \text{ Hz}$ (20 kHz)**

Podział dźwięków:

- **infradźwięki $< 20 \text{ Hz}$ - 20 kHz $<$ ultradźwięki**

Jak powstaje dźwięk?

- **drżanie strun (gitara, struny głosowe),**
- **drżanie słupów powietrza (organy),**
- **drżanie płyt i membran (bęben, głośnik).**

Jak rozchodzi się dźwięk?

- **Elementy drżające zagęszczają i rozrzedzają otaczający je ośrodek, który przenosi fale dźwiękowe na duże odległości.**

Prędkość dźwięku

- **Ciało stałe**

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

E - moduł Younga, ρ - gęstość ciała

- **Ciecz**

$$v = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

K - moduł ścisłości

- **Gaz**

$$v = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}}$$

p - ciśnienie

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

Prędkość dźwięku w wybranych ośrodkach [m/s]

- Powietrze (20°C)
 - Wodór
 - Woda
 - Żelazo
 - Guma
- 340
 - 1286
 - 1450
 - 5130
 - 54

Ciśnienie i natężenie dźwięku

Równanie dźwiękowej fali harmoniczej rozchodzącej się w kierunku osi „x” z prędkością v ma postać

$$\Psi = A \cos(kx - \omega t)$$

$$p = p_m \sin(kx - \omega t)$$

$$p_m = k\rho v^2 A$$

p_m – amplituda ciśnienia fali, ρ - gęstość ośrodka

Zmiany ciśnienia fali są przesunięte w fazie o $\pi/2$ względem wychyleń cząsteczek ośrodka.

Natężeniem fali I nazywamy moc fali P przypadającą na jednostkę powierzchni S prostopadłej do kierunku rozchodzenia się fali

$$\mathbf{I} = \frac{\mathbf{P}}{\mathbf{S}} \quad [\text{wat} / \text{m}^2]$$

Dla fali dźwiękowej

$$\mathbf{I} = \frac{\mathbf{P}}{\mathbf{S}} = \frac{1}{2} \mathbf{v} \rho \omega^2 \mathbf{A}^2$$

Ucho ludzkie

20 Hz < zakres słyszalności < 20 kHz

Progi słyszalności (dla $\omega=1$ kHz):

- Najśłabszy słyszalny przez ucho ludzkie (*próg słyszalności*) dźwięk ma amplitudę ciśnienia równą

$$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2.$$

- Najsilniejszy dźwięk, jaki może znieść ucho ludzkie (*granica bólu*), ma wartość

$$p_{\max} = 20 \text{ N/m}^2.$$

(dla porównania ciśnienie atmosferyczne wynosi $p = 10^5 \text{ N/m}^2$).

- $I_0 = 10^{-12} \text{ [W/m}^2]$ – natężenie minimalne (próg słyszalności);
- $I_{\max} = 1 \text{ [W/m}^2]$ - natężenie maksymalne (granica bólu).

Skale pomiarowe

Poziomem ciśnienia dźwięku nazywamy wielkość, którą wyrażamy w decybelach (dB).

$$L_1 = 20 \cdot \log \frac{p}{p_0}$$

$$p = p_0$$

$$L_1 = 0 \text{ dB,}$$

$$p = 100p_0$$

$$L_1 = 40 \text{ dB,}$$

$$p = p_{\max}$$

$$L_1 = 120 \text{ dB.}$$

***Poziom głośności* L_2 wyrażony w *fonach* związany jest z natężeniem dźwięku następującą zależnością**

$$L_2 = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0}$$

Należy pamiętać, że omówione skale pomiarowe są logarytmiczne i mała zmiana ich wartości wywołana jest przez duże zmiany np. natężenia dźwięku.

Cechy dźwięku

**Fale
akustyczne**

Tony

**Wywołane są
przez drgania
harmoniczne
proste**

Dźwięki

**Powstają w
wyniku
nakładania się
drgań
harmonicznych**

Dźwięk

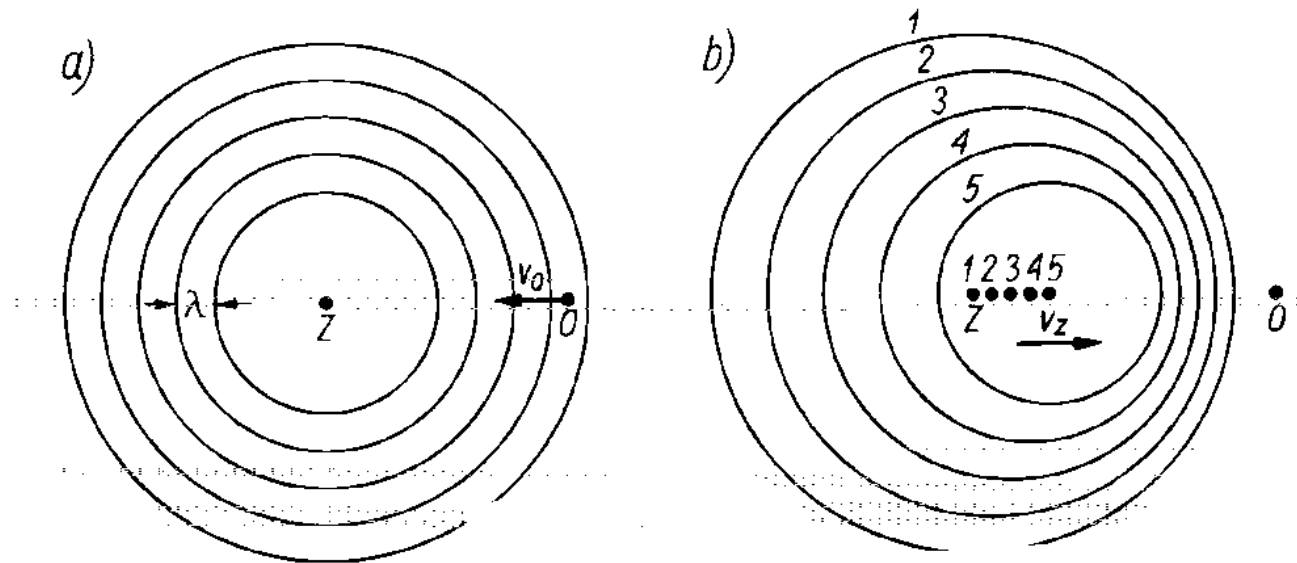
- **Wysokość** - Rośnie ze wzrostem pulsacji ω
- **Barwa** - Zależy od składu fali (różnych ω)
- **Natężenie** - Rośnie ze wzrostem amplitudy

Zjawisko Dopplera

Zmiana częstotliwości fali (np. wysokości dźwięku) wywołana względnym ruchem źródła fali i obserwatora nazywa się efektem Dopplera.

Efekty obserwowane dla dźwięku:

- Gdy obserwator porusza się w kierunku nieruchomego źródła słyszy dźwięk wyższy (o większej częstotliwości), gdy się oddala niższy,
- gdy źródło porusza się w kierunku nieruchomego obserwatora ten słyszy dźwięk wyższy, gdy się oddala niższy.



Zjawisko Dopplera:

- a) zbliżający się obserwator odbiera fale o większej częstotliwości,
- b) źródło zbliża się do obserwatora (fala ma mniejszą długość z przodu, a większą z tyłu)

- f - częstotliwość dźwięku emitowana ze źródła „Z”,
- f^* - częstotliwość słyszana przez obserwatora „O”,
- v_z - prędkość „Z”, v_o - prędkość „O”,
- v - prędkość dźwięku w danym ośrodku.

$$f^* = f \frac{v \pm v_o}{v \mp v_z}$$

- znaki górne w liczniku i mianowniku odpowiadają sytuacji gdy „Z” i „O” poruszają się „do siebie”, a znaki dolne - „od siebie”.

Ultradźwięki

ultradźwięki – dźwięki o częstotliwości większej od 20 kHz (nie są słyszalne dla ludzi, ale np. pies słyszy je doskonale). Górna granica 10^9 Hz (GHz) → powyżej, *hiperdźwięki*.

Podstawowe własności:

- Krótkie, w porównaniu do fal słyszalnych, długości fali, np. dla 100 kHz → około 3 mm w powietrzu.
- W związku z tym, nie ulegają silnemu ugięciu, można przyjąć, że rozchodzą się w przybliżeniu prostoliniowo.
- Można wytwarzać ich skierowane wiązki o dużym natężeniu.
- Ultradźwięki są wytwarzane przez generatory:
- mechaniczne (piszczalki, syreny → okresowe przerywanie strumienia powietrza),
- magnetostrykcyjne,
- piezoelektryczne.

Magnetostrykcja – zmiana liniowych wymiarów ferromagnetyków w silnych polach magnetycznych.

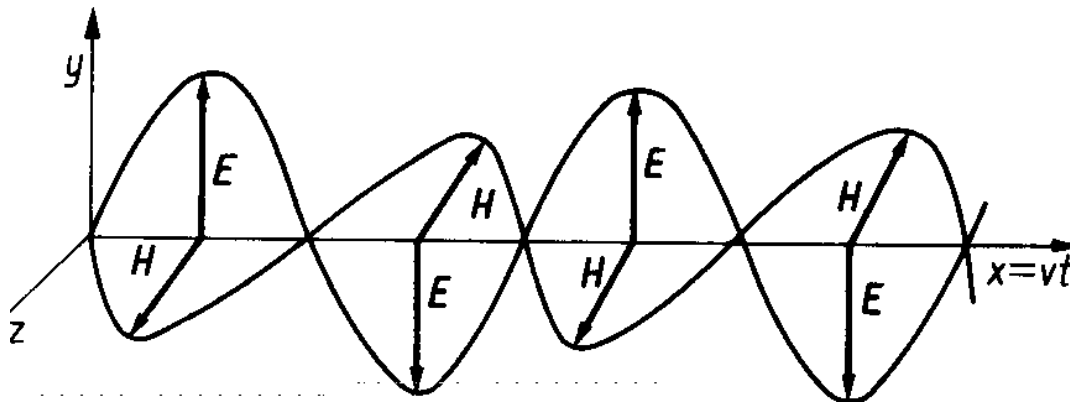
Zjawisko piezoelektryczne → wytwarzanie napięcia elektrycznego przez kryształ poddany rozciąganiu albo ścisłaniu (możliwe jest zjawisko odwrotne).

Zastosowanie ultradźwięków

- **defektoskopia materiałów,**
- **lokacja ultradźwiękowa,**
- **wytwarzanie emulsji substancji trudno rozpuszczalnych,**
- **działanie koagulacyjne,**
- **medycyna.**

Fale elektromagnetyczne

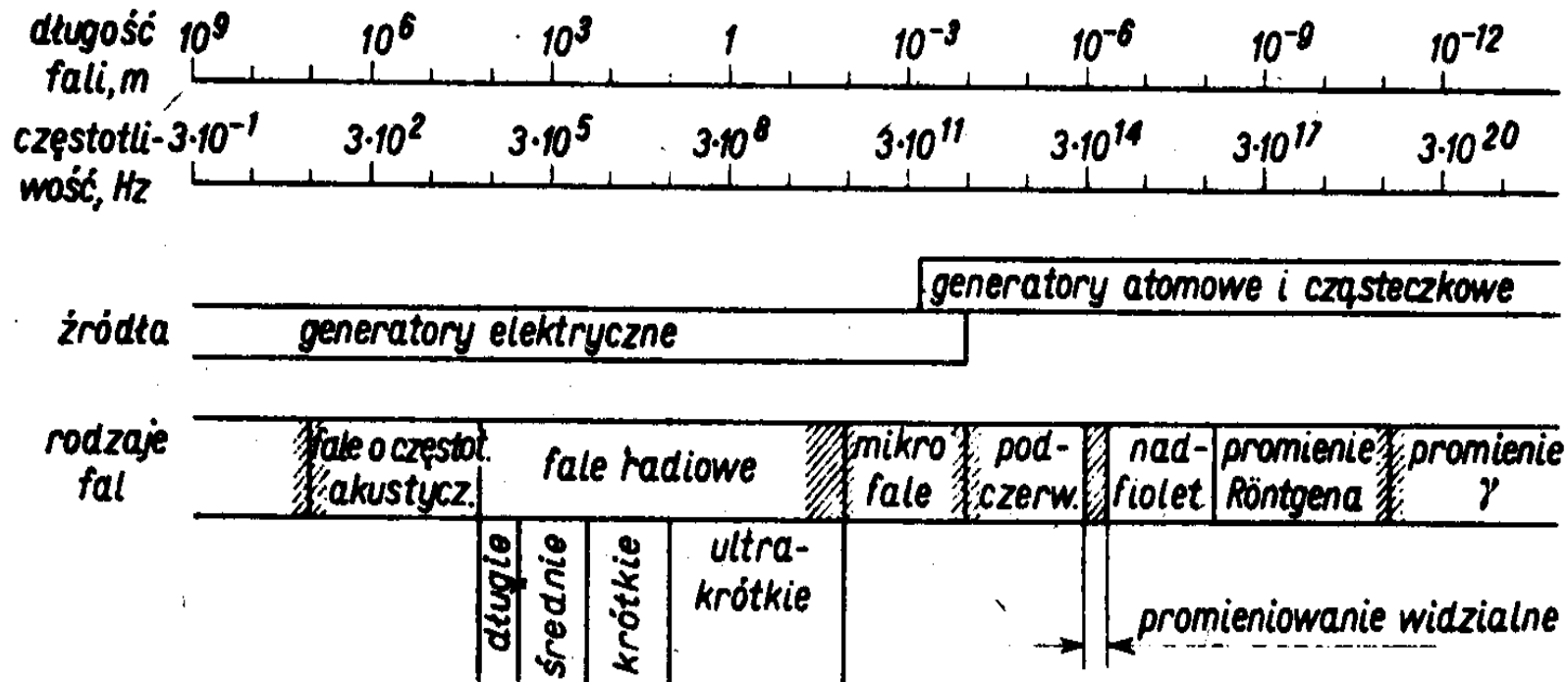
Ciąg wzajemnie sprzężonych pól elektrycznych i magnetycznych stanowi *falę elektromagnetyczną*.



Podstawowe własności:

- jest falą poprzeczną;
- rozchodzi się w próżni z prędkością równą $c=3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

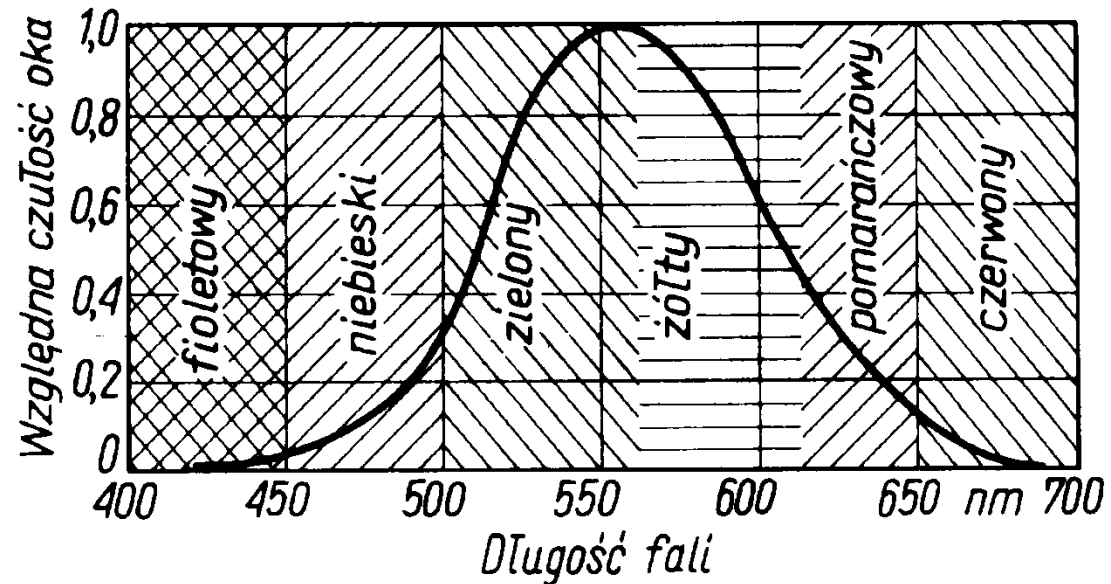
Widmo fal elektromagnetycznych



Światło widzialne

$400 \text{ nm} < \text{światło widzialne} < 700 \text{ nm}$

- *Czułość oka ludzkiego*



- Maksimum czułości oka przypada na promieniowanie o długości fali ok. 555 nm.
- Światło o tej długości wywołuje wrażenie koloru żółto-zielonego
- Granice światła widzialnego nie są ostro określone, ponieważ krzywa czułości zbliża się do osi długości fali w sposób asymptotyczny.

Współczynnik załamania światła

Bezwzględny współczynnik załamania światła
n jest równy

$$n = \frac{c}{v}$$

v - prędkość światła w danym ośrodku,

c - prędkość światła w próżni.

Ośrodek	n
Powietrze (war. normalne)	1.00029
Dwutlenek węgla	1.00045
Woda	1.333
Alkohol etylowy	1.362
Szkło (zwykłe)	1.516
Polietylen	1.50÷1.54
Diament	2.417