

Fale mechaniczne.

1. Ruch falowy.

Fala mechaniczna - zaburzenie, które rozchodzi się w danym ośrodku, polega na drganiach cząsteczek ośrodka, np. fala na powierzchni wody.

Fala (mechaniczna) harmoniczna - zaburzenie rozchodzące się w danym ośrodku, polega na drganiach harmonicznym cząsteczek ośrodka.

Poprzeczna fala mechaniczna - cząsteczki ośrodka drgają prostopadle do kierunku rozchodzenia fali (zaburzenia), np. fala na powierzchni wody, fala rozchodząca się na sprężynie.

Podłużna fala mechaniczna - cząsteczki ośrodka drgają równolegle do kierunku rozchodzenia się fali, np. fala akustyczna (dźwiękowa) rozchodząca się w gazach, fala rozchodząca się na sprężynie.

Impuls falowy - pojedyncze zaburzenie rozchodzące się w danym ośrodku.

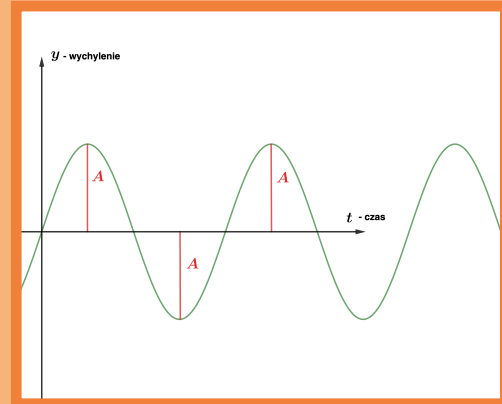
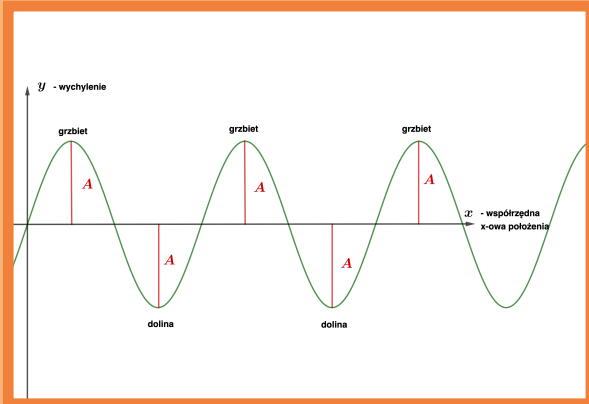
Fala morska - złożenie fali poprzecznej i podłużnej.

Uwaga!

1. Fale mechaniczne rozchodzą się w ośrodkach sprężystych.
2. Fala mechaniczna rozchodzi się ze skończoną prędkością.
3. Fala mechaniczna przenosi energię.

2. Matematyczny opis fal.

Interesuje nas harmoniczna fala mechaniczna.



1. Amplituda (A) - maksymalne wychylenie z położenia równowagi.
2. Długość fali (λ) - długość od grzbietu do najbliższego grzbietu lub od doliny do najbliższej doliny.
3. Okres drgań (T) - czas, w którym fala pokona drogę równą długości fali.
4. Częstotliwość fali (f) - odwrotność okresu.
5. Częstość kołowa lub kątowna (ω): $\omega = \frac{2\pi}{T}$ lub $\omega = 2\pi f$.
6. Wartość prędkości rozchodzenia się fali w danym ośrodku: $v = \frac{\lambda}{T}$ lub $v = \lambda \cdot f$.

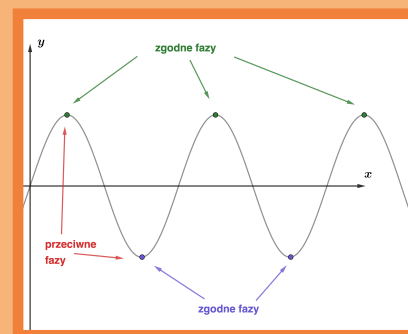
Funkcja falowa harmonicznej fali mechanicznej (poprzecznej lub podłużnej) - opisuje jak wychylenie zależy od czasu t i współrzędnej x -owej położenia.

$$y = y(x; t) = A \cdot \sin\left[\omega\left(t - \frac{x}{v}\right) + \varphi_0\right], \text{ gdzie:}$$

φ_0 - faza początkowa,

$\left[\omega\left(t - \frac{x}{v}\right) + \varphi_0\right]$ - faza fali.

Uwaga!

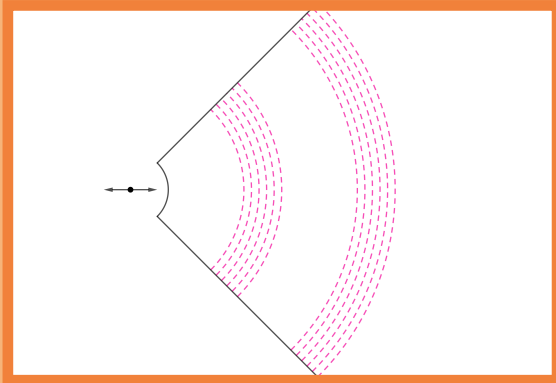


Wybieramy dwa dowolne punkty ośrodka.

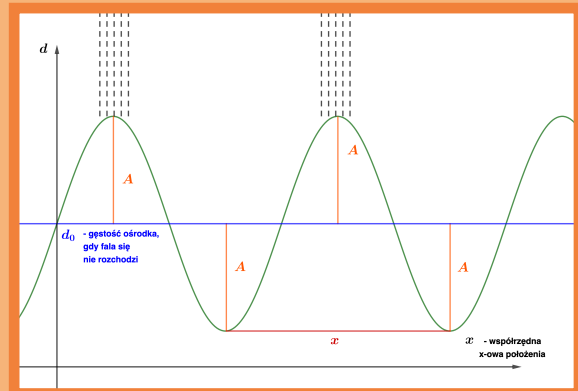
1. Punkty te drgają zgodnie w fazie, jeżeli różnica faz wynosi $2\pi \cdot m$, gdzie m należy do zbioru liczb całkowitych.
2. Punkty te drgają przeciwnie w fazie, jeżeli różnica faz wynosi $\pi(2m + 1)$, gdzie m należy do zbioru liczb całkowitych.

3. Fale dźwiękowe.

Spojrzenie z góry.



Spojrzenie z boku.



Fala dźwiękowa (akustyczna) - fala mechaniczna, której zaburzenia polegają na zmianie gęstości ośrodka.

Ultradźwięki - dźwięki o częstotliwości wyższej od 20000Hz .

Infradźwięki - dźwięki o częstotliwości niższej od 20Hz .

Uwaga!

1. Fala akustyczna rozchodząca się w gazach jest falą podłużną.
2. Wartość prędkości rozchodzenia się dźwięku w powietrzu wynosi $340\frac{\text{m}}{\text{s}}$.
3. Zakres słyszalności $20\text{Hz} - 20000\text{Hz}$.

Częstotliwość dźwięku odbieramy jako jego wysokość.

Fala dźwiękowa (akustyczna) rozchodząca się w powietrzu o danej częstotliwości (ton czysty) jest harmoniczną falą podłużną.

$$d = d(x; t) = A \cdot \sin\left[\omega\left(t - \frac{x}{v}\right) + \varphi_0\right] + d_0, \text{ gdzie:}$$

$d = d(x; t)$ - gęstość ośrodka w chwili t i dla położenia x ;

d_0 - gęstość ośrodka, gdy fala się nie rozchodzi,

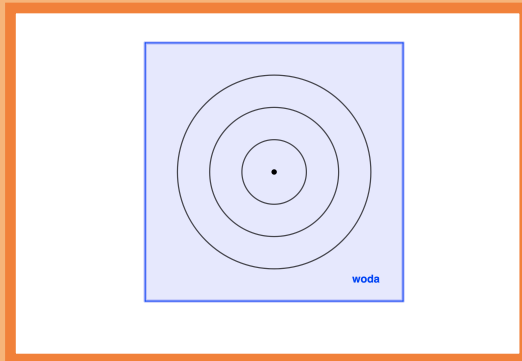
φ_0 - faza początkowa/przesunięcie fazowe

4. Rozchodzenie się fal, odbicie i załamanie fali.

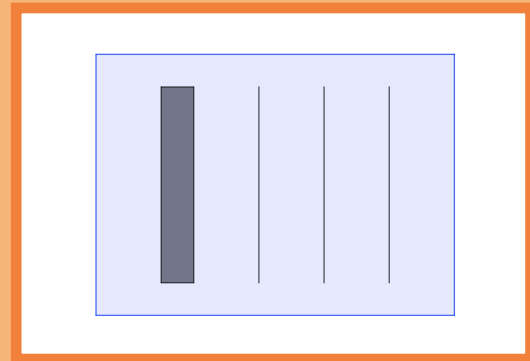
Doświadczenie.

Interesują nas grzbiety fali, spojrzenie z góry.

fala kolista



fala płaska



Fala płaska (mechaniczna lub elektromagnetyczna) - grzbiety (lub doliny) mają kształt linii prostych równoległych do siebie.

Fala kolista (mechaniczna lub elektromagnetyczna) - grzbiety (lub doliny) mają kształt okręgów.

Fala kulista (mechaniczna lub elektromagnetyczna) - grzbiety (lub doliny) mają kształt sfer.

Promień fali - linia prostopadła do grzbietów i dolin.

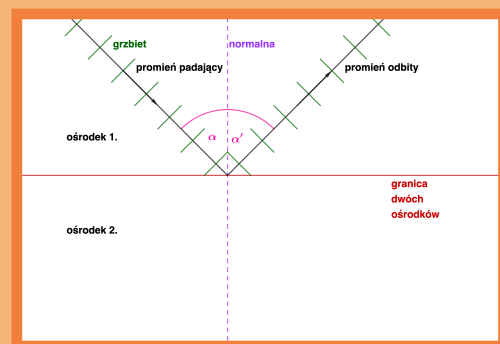
Odbicie fali (mechanicznej lub elektromagnetycznej).

normalna - prosta prostopadła do granicy dwóch ośrodków,

α - kąt padający,

α' - kąt odbicia,

Prawo odbicia - kąt padania równa się kątowi odbicia. Promień padający, odbity i normalna leżą w jednej płaszczyźnie ($\alpha = \alpha'$).



Załamanie fali (mechanicznej lub elektromagnetycznej) - zmiana kierunku rozchodzenia się fali. Do załamania fali dochodzi podczas przejścia fali do innego ośrodka, w którym wartość prędkości rozchodzenia się fali jest inna.

β - kąt załamania,

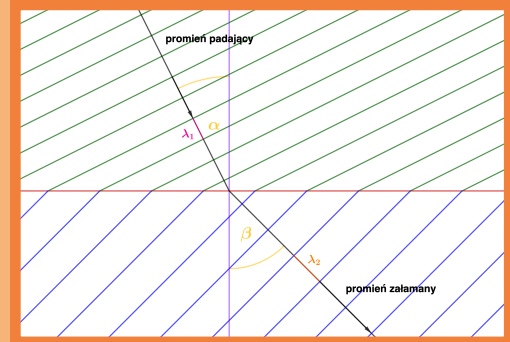
$\lambda_1 < \lambda_2$,

λ_1, λ_2 - długości fali w ośrodku 1. i 2. odpowiednio.

Prawo załamania - stosunek sinusa kąta padania do sinusa kąta załamania jest stały, promień padający, załamany i normalna leżą w jednej płaszczyźnie.

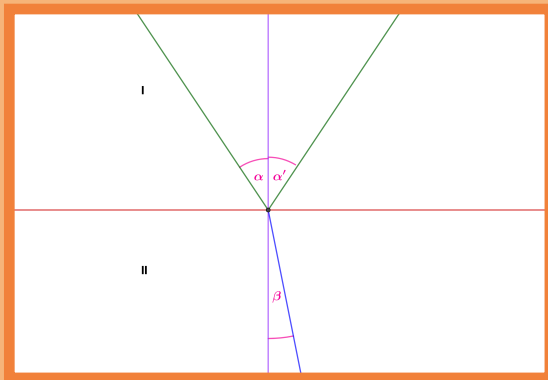
v_1, v_2 - wartości prędkości rozchodzenia się fali w ośrodku 1. i 2.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \text{const} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

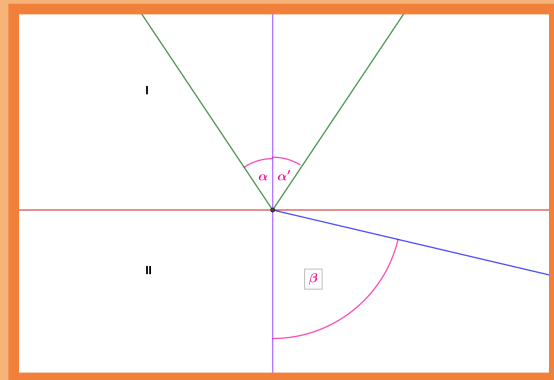


Podczas przejścia fali (mechanicznej lub elektromagnetycznej) do innego ośrodka zmianie nie ulega okres (T) i częstotliwość (f). Zmienia się długość fali (λ) i wartość prędkości rozchodzenia się fali (v).

Porównanie.



$$\begin{aligned} v_1 &> v_2 \\ \alpha &> \beta \\ \lambda_1 &> \lambda_2 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} v_1 &< v_2 \\ \alpha &< \beta \\ \lambda_1 &< \lambda_2 \end{aligned}$$

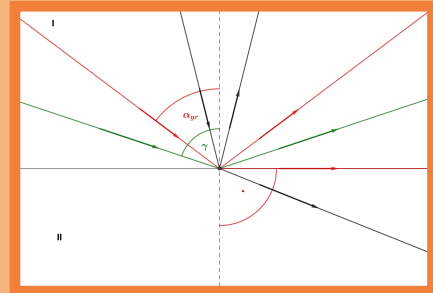
5. Całkowite wewnętrzne odbicie.

Całkowite wewnętrzne odbicie (fali elektromagnetycznej lub mechanicznej).

„Warunek 1.”

Aby mówić o całkowitym wewnętrznym odbiciu musi być spełniony warunek $v_1 < v_2$.

α_{gr} - kąt graniczny - kąt padania, dla którego kąt załamania wynosi 90°



„Warunek 2.”

Jeżeli kąt padania jest większy od kąta granicznego to promień w całości ulega odbiciu. Takie zjawisko nazywamy całkowitym wewnętrznym odbiciem.

$\alpha > \alpha_{gr} \iff$ całkowite wewnętrzne odbicie

Matematyka.

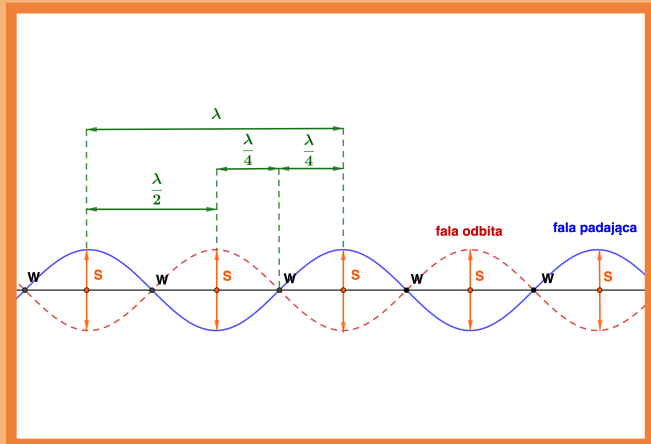
$$\begin{array}{l} \alpha = \alpha_{gr} \\ \beta = 90^\circ \\ \sin(90^\circ) = 1 \end{array} \quad \begin{array}{l} \frac{\sin(\alpha_{gr})}{\sin(90^\circ)} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \\ \sin(\alpha_{gr}) = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \end{array}$$

6. Superpozycja fal. Fale stojące.

Zasada superpozycji fal - nakładanie się fal w wyniku czego powstaje fala „wypadkowa”.

Fala stojąca - powstaje w wyniku nakładania się dwóch fal o tych samych częstotliwościach, amplitudach i biegnących w przeciwne strony. Fala stojąca nie niesie energii.

W - węzeł - punkt, który nie drga
 S - strzałka - punkt, dla którego wychylenie jest maksymalne



Fala stojąca na linie.

Jeden koniec liny jest nieruchomy, a drugi porusza się.

l - długość liny.

1. Jedna strzałka, jeden węzeł.

$$l = \frac{\lambda_1}{4}; \lambda_1 = 4l; f_1 = \frac{1 \cdot v}{4l}$$

2. Dwie strzałki, dwa węzły.

$$l = \frac{3\lambda_2}{4}; \lambda_2 = \frac{4l}{3}; f_2 = \frac{3v}{4l} \Rightarrow f_2 = 3 \cdot f_1$$

3. Sytuacja ogólna.

$$f_n = \frac{(2n-1)v}{4l}, \text{ gdzie: } n - \text{liczba strzałek/węzłów; } n = 1, 2, 3, \dots$$

Wzory z poprzednich zagadnień:

$$v = \frac{\lambda}{T}, \quad v = \lambda \cdot f \Rightarrow f = \frac{v}{\lambda}$$

7. Matematyczny opis fali stojącej.

Fala padająca:

$$y_1 = A \cdot \sin[\omega(t - \frac{x}{v}) + \varphi_0]; \quad \varphi_0 = 0$$

$$y_1 = A \cdot \sin(\omega t - \frac{\omega x}{v})$$

Fala odbita:

$$y_2 = A \cdot \sin[\omega(t + \frac{x}{v}) + \varphi_0]$$

$$y_2 = A \cdot \sin(\omega t + \frac{\omega x}{v} + \varphi_0)$$

Fala „wypadkowa”:

$$y = y_1 + y_2$$

$$y = A \cdot \sin(\omega t - \frac{\omega x}{v}) + A \cdot \sin(\omega t + \frac{\omega x}{v} + \varphi_0)$$

$$y = A[\sin(\omega t - \frac{\omega x}{v}) + \sin(\omega t + \frac{\omega x}{v} + \varphi_0)]$$

Matematyka: $\sin \alpha + \sin \beta = 2 \cdot \sin(\frac{\alpha + \beta}{2}) \cdot \cos(\frac{\alpha - \beta}{2})$

$$\alpha = \omega t + \frac{\omega x}{v} + \varphi_0$$

$$\beta = \omega t - \frac{\omega x}{v}$$

$$\frac{\alpha + \beta}{2} = \omega t + \frac{\varphi_0}{2}$$

$$\frac{\alpha - \beta}{2} = \frac{\omega \cdot x}{v} + \frac{\varphi_0}{2}$$

$$y = A \cdot 2 \cdot \cos(\frac{\omega \cdot x}{v} + \frac{\varphi_0}{2}) \cdot \sin(\omega t + \frac{\varphi_0}{2})$$

$|A \cdot 2 \cdot \cos(\frac{\omega \cdot x}{v} + \frac{\varphi_0}{2})|$ - amplituda,
nie zależy od czasu t , zależy od
położenia x .

8. Dźwięki proste i złożone.

Dźwięk prosty (czysty ton) - harmoniczna fala dźwiękowa (jedna częstotliwość).

Dźwięk złożony - superpozycja dźwięków prostych (składowych) o różnych częstotliwościach.

Barwa (widmo) dźwięku - związana jest z amplitudą dźwięków składowych.

Uwaga!

Struna gitary wytwarza dźwięki o różnych częstotliwościach:

f_1 - częstotliwość podstawowa (najniższa częstotliwość),

$f_2 = 2f_1$ - druga harmoniczna,

$f_3 = 3f_1$ - trzecia harmoniczna, itd.

9. Fala stojąca na strunie.

Fala stojąca na strunie.

1. Jedna strzałka, dwa węzły.

$$l = \frac{2\lambda_1}{4} = \frac{\lambda_1}{2}; \lambda_1 = 2l; f_1 = \frac{1 \cdot v}{2l} - \text{częstotliwość}$$

podstawowa (f_1)

2. Dwie strzałki, trzy węzły.

$$l = \frac{4\lambda_2}{4} = \lambda_2; f_2 = \frac{2 \cdot v}{2l} \Rightarrow f_2 = 2f_1 - \text{druga harmoniczna } (f_2)$$

3. Sytuacja ogólna.

$$f_n = \frac{nv}{2l}, f_n = n \cdot f_1 - n\text{-ta harmoniczna } (f_n)$$

n - liczba strzałek; $n + 1$ - liczba węzłów; $n = 1, 2, 3, \dots$

Wzory z poprzednich zagadnień:

$$v = \frac{\lambda}{T}, v = \lambda \cdot f \Rightarrow f = \frac{v}{\lambda}.$$

10. Piszczalka zamknięta i otwarta.

Piszczalka zamknięta - rura z jednej strony zamknięta, a z drugiej - otwarta, np. butelka.

l - długość piszczałki

1. Jedna strzałka, jeden węzeł.

$$l = \frac{\lambda_1}{4}; \lambda_1 = 4l; f_1 = \frac{1 \cdot v}{4l}$$

2. Dwie strzałki, dwa węzły.

$$l = \frac{3\lambda_2}{4}; \lambda_2 = \frac{4l}{3}; f_2 = \frac{3v}{4l} \Rightarrow f_2 = 3 \cdot f_1$$

3. Sytuacja ogólna.

$$f_n = \frac{(2n-1)v}{4l}, \text{ gdzie: } n - \text{liczba strzałek/węzłów; } n = 1, 2, 3, \dots$$

Wzory z poprzednich zagadnień:

$$v = \frac{\lambda}{T}, \quad v = \lambda \cdot f \Rightarrow f = \frac{v}{\lambda}$$

Uwaga!

Analogiczne wzory dostaliśmy w przypadku fali stojącej na linie.

Piszczalka otwarta - rura z obu stron otwarta. np. bum bum rurka

1. Dwie strzałki, jeden węzeł.

$$l = \frac{2\lambda_1}{4} = \frac{\lambda_1}{2}; \lambda_1 = 2l; f_1 = \frac{1 \cdot v}{2l}$$

2. Trzy strzałki, dwa węzły.

$$l = \frac{4\lambda_2}{4} = \lambda_2; f_2 = \frac{2 \cdot v}{2l}$$

3. Sytuacja ogólna.

$$f_n = \frac{nv}{2l}, \quad f_n = n \cdot f_1, \text{ gdzie: } n - \text{liczba węzłów; } n + 1 - \text{liczba strzałek; } n = 1, 2, 3, \dots$$

Uwaga!

Analogiczne wzory otrzymaliśmy w przypadku fali stojącej na strunie. Tylko tam n oznaczało liczbę strzałek, a tu n oznacza liczbę węzłów!

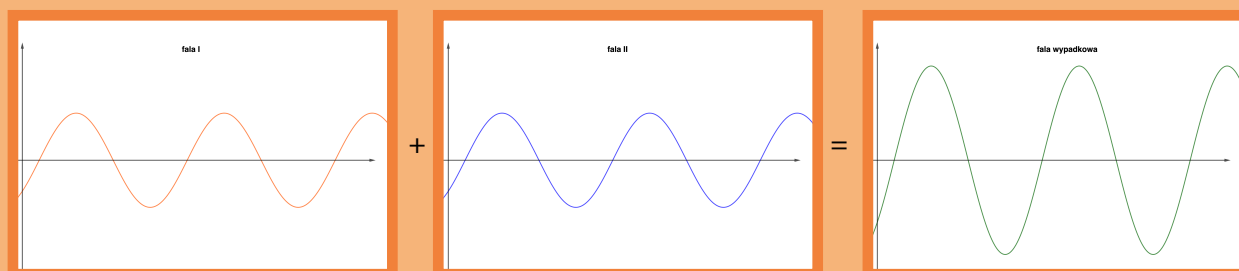
11. Interferencja fal.

Interferencja fal (fale mechaniczne lub elektromagnetyczne) - superpozycja fal o jednakowych częstotliwościach.

Fale spójne - fale o jednakowych częstotliwościach i amplitudach.

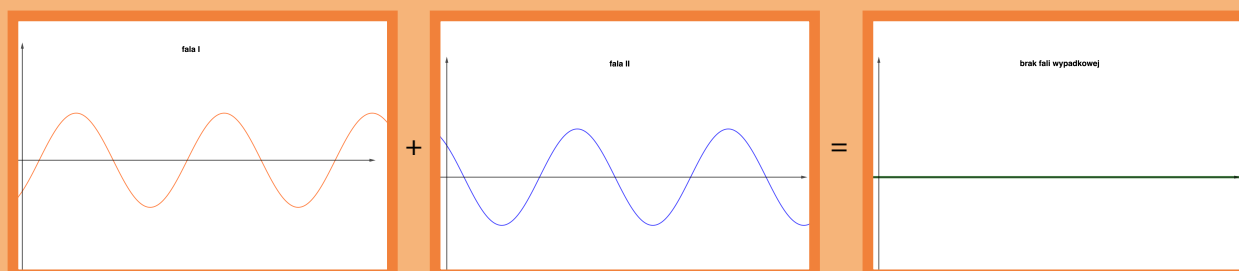
Interferencja fal spójnych.

1. Zgodne w fazie (grzbiet I + grzbiet II lub dolina I + dolina II).



Maksymalne wzmocnienie!

2. Przeciwnie w fazie (grzbiet I + dolina II lub dolina I + grzbiet II).



Wygaszenie!

Maksymalne wzmocnienie i wygaszenie - warunek różnica dróg.

Założenie: Interesują nas fale spójne (mechaniczne lub elektromagnetyczne).

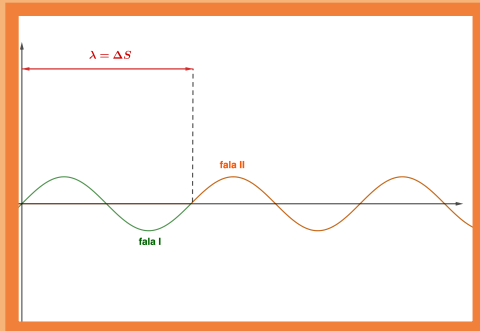
1. Maksymalne wzmocnienie.

$$\Delta S = n \cdot \lambda, \text{ gdzie:}$$

$$n = 0, 1, 2, \dots$$

ΔS - różnica dróg

λ - długość fali



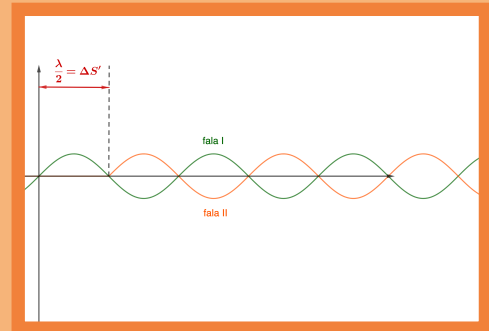
2. Wygaszenie.

$$\Delta S' = (2n' - 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$$

$$n' = 1, 2, 3, \dots$$

$\Delta S'$ - różnica dróg

λ - długość fali



Maksymalne wzmocnienie - opis za pomocą kąta.

Z_1, Z_2 - źródła fal (fale

mechaniczne lub
elektromagnetyczne

d - odległość między
źródłami

l - odległość od źródeł do
ekranu,

Θ_n - kąt zawarty między
maksymalnym

wzmocnieniem $n = 0$, a
maksymalnym

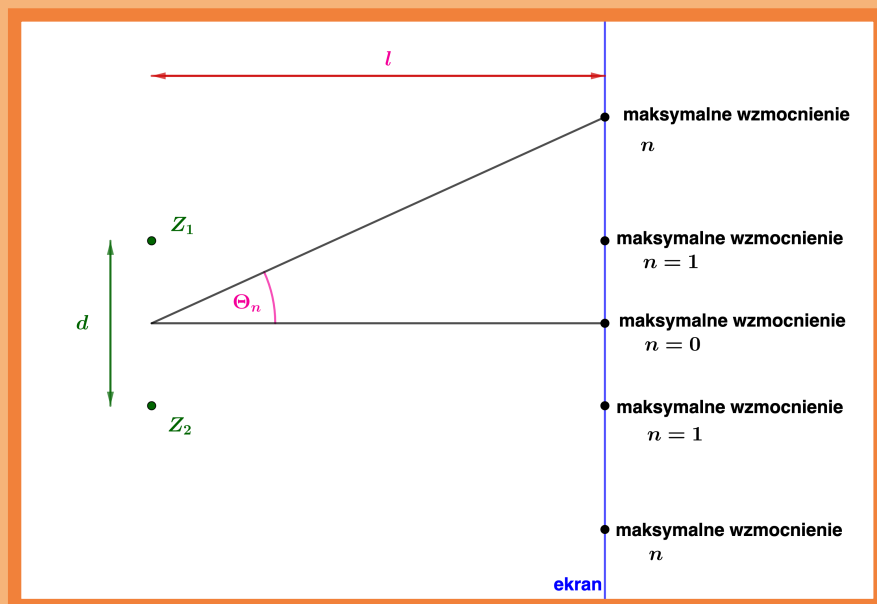
wzmocnieniem n

$$d \cdot \sin \Theta_n = \lambda \cdot n$$

$$n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

λ - długość fali

$$l \gg d$$



Wpisz tekst

Wpisz tekst

12. Dyfrakcja fali.

Dyfrakcja (ugięcie) fali (mechanicznej lub elektromagnetycznej) - zmiana kierunku rozchodzenia się fali. Do dyfrakcji dochodzi na przeszkodach, otworach, szczelinach.

Uwaga!

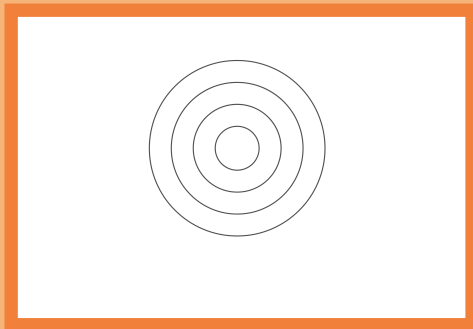
Dyfrakcja jest widoczna, gdy rozmiary przeszkody są porównywalne z długością fali (λ).

Zasada Huygensa - każdy punkt, do którego dochodzi fala, można traktować jako źródło wtórnej fali kulistej rozchodzącej się z tego punktu.

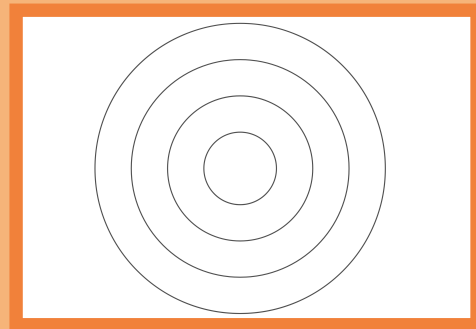
13. Efekt Dopplera.

Uwaga!

wyższa częstotliwość



niższa częstotliwość



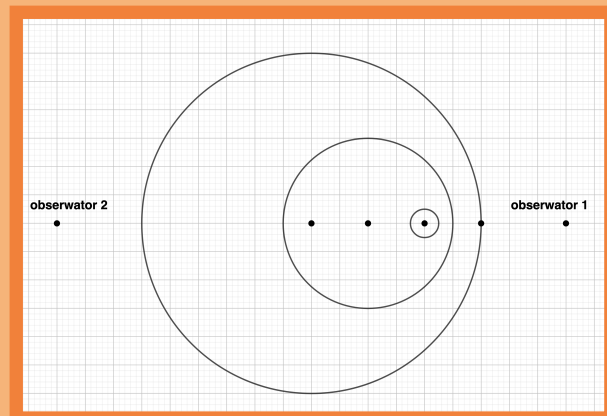
Efekt (zjawisko) Dopplera (fale mechaniczne lub elektromagnetyczne).

Źródło fali przemieszcza się w prawo.

Jeżeli źródło fali zbliża się do obserwatora, to obserwator powie, że częstotliwość fali jest wyższa. Jeżeli źródło fali oddala się od obserwatora, to obserwator powie, że częstotliwość fali jest niższa.

Przykład.

Karetki pogotowia porusza się na sygnale. Jeżeli karetka zbliża się do nas, to dźwięk jej syreny jest wyższy (wyższa częstotliwość). Jeżeli karetka się od nas oddala - dźwięk jest niższy (niższa częstotliwość).



Wzory.

1. Źródło i obserwator zbliżają się do siebie.

$$f_{zb} = \frac{f(v + v_{ob})}{v - v_z}, \text{ gdzie:}$$

f_{zb} - częstotliwość fali „podczas zbliżania”

f - częstotliwość fali „w sytuacji stacjonarnej”

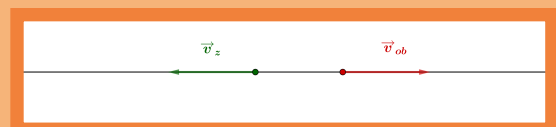
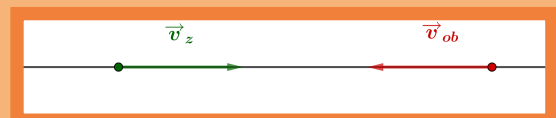
v - wartość prędkości fali

v_{ob} , v_z - wartości prędkości obserwatora i źródła (odpowiednio)

2. Źródło i obserwator oddalają się od siebie.

$$f_{od} = \frac{f(v - v_{ob})}{v + v_z}, \text{ gdzie:}$$

f_{od} - częstotliwość fali „podczas oddalania”



14. Natężenie dźwięku. Poziom natężenia dźwięku.

Natężenie dźwięku (I) (fala mechaniczna lub elektromagnetyczna).

$I = \frac{E}{t \cdot S}$, gdzie: E - energia fali [J], t - czas [s], S - pole powierzchni ustawionej prostopadle do kierunku rozchodzenia się fali [m^2], I - natężenie dźwięku [$\frac{J}{s \cdot m^2}$, $\frac{W}{m^2}$]

Uwaga!

Natężenie dźwięku zależy od częstotliwości dźwięku.

Próg słyszalności (I_0) - minimalne natężenie dźwięku, które słyszy przeciętny człowiek.

$$I_0 = 10^{-12} \frac{W}{m^2} \text{ dla } f = 1000 Hz$$

Poziom natężenia dźwięku (β): $\beta = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0}$, gdzie: β - poziom natężenia dźwięku [dB]