

Ruch falowy

- **Fala jest zaburzeniem, rozchodzącym się w ośrodku, przy czym żadna część ośrodka nie wykonuje zbyt dużego ruchu**
- **Fala rozchodzi się w przestrzeni niosąc ze sobą energię, ale niekoniecznie musi nieść ze sobą materię (masę). Ruch fali nie jest tym samym co ruch materii, w której fala się przemieszcza**

Fale mechaniczne, rodzaje fal

Fale mechaniczne mogą rozchodzić się tylko w ośrodkach sprężystych.

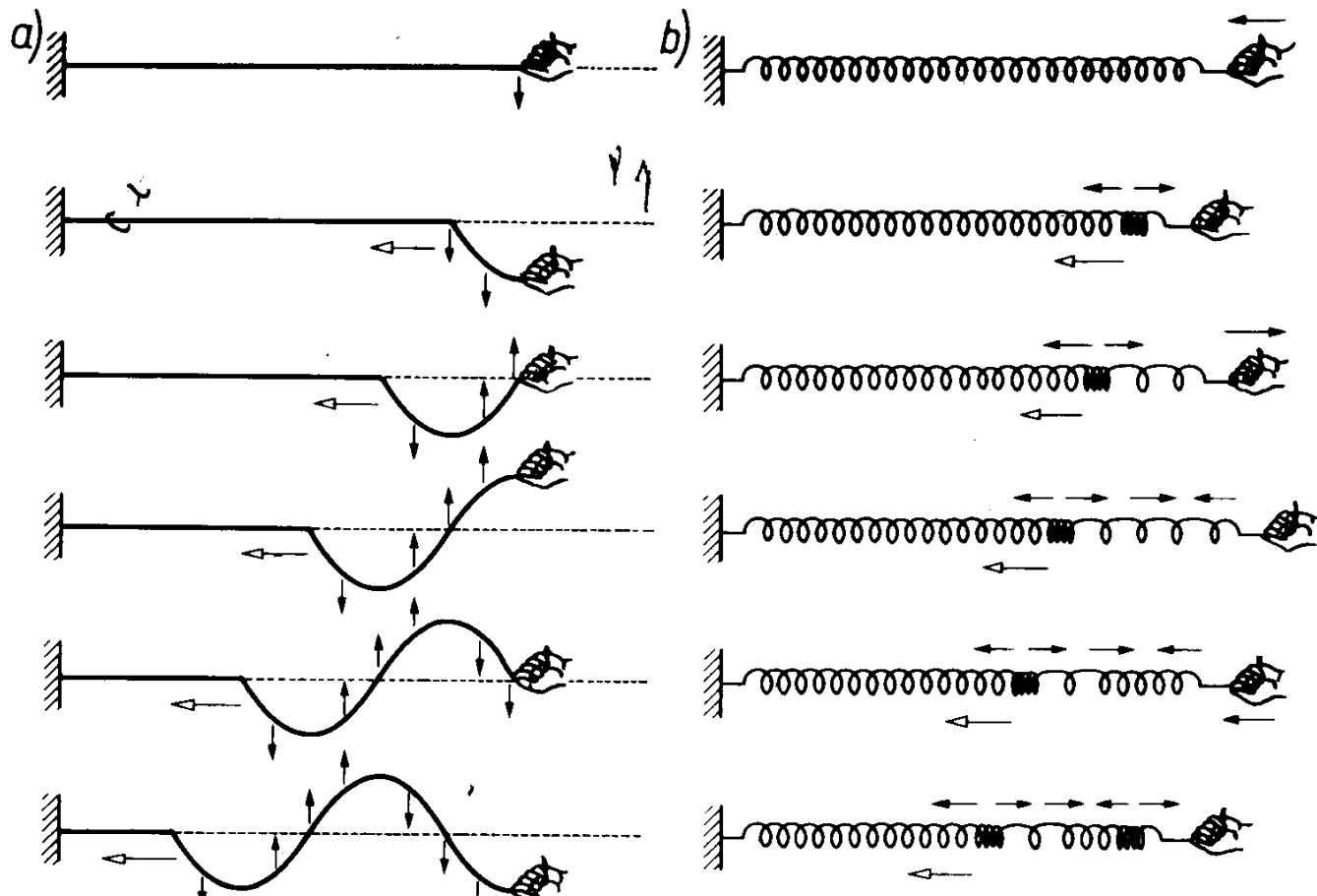
Falę mechaniczną nazywamy **poprzeczną** gdy zaburzenie cząsteczek ośrodka jest prostopadłe do kierunku rozchodzenia się fali

Falę mechaniczną nazywamy **podłużną** gdy zaburzenie cząsteczek ośrodka jest równoległe do kierunku rozchodzenia się fali

Fala

a) poprzeczna,

b) podłużna



Ogólne równanie fali

$$\Psi = f(x, t)$$

Ψ - wychylenie cząstek ośrodka z położenia równowagi,

x – kierunek rozchodzenia się fali (przypadek jednowymiarowy),

t – czas.

f – jest funkcją opisującą kształt rozchodzącej się fali (np. funkcją trygonometryczną)

Ośrodek, w którym porusza się fala nazywamy niedispersyjnym jeżeli fala o danym kształcie porusza się w nim ze stałą prędkością, a jej kształt nie zmienia się.

W chwili $t=0$ kształt fali można zapisać w postaci

$$\Psi=f(x), t=0$$

Po czasie t równanie fali ma postać

$$\Psi=f(x-vt), t>0$$

Równanie fali harmoniczej płaskiej

Rozchodzenie się fali harmoniczej płaskiej polega na przenoszeniu się w pewnym kierunku (np. „x”) drgań harmoniczych.

$$\Psi = \Psi_m \cos(\omega t + \varphi)$$

Przypuśćmy, że w chwili $t=0$ mamy ciąg fal opisanych równaniem

$$\Psi = \Psi_m \cos \frac{2\pi}{\lambda} x$$

Jeżeli fala przesunie się w „+” kierunku osi x z prędkością fazową v , to równanie fali ma teraz postać

$$\Psi = \Psi_m \cos \frac{2\pi}{\lambda} (x - vt)$$

- Długość fali λ jest to odległość między dwoma najbliższymi punktami, leżącymi na promieniu fali, w których fala ma tę samą fazę.
- Okres T jest czasem, w którym fala przebiega odległość równą λ , a więc

$$\lambda = vT$$

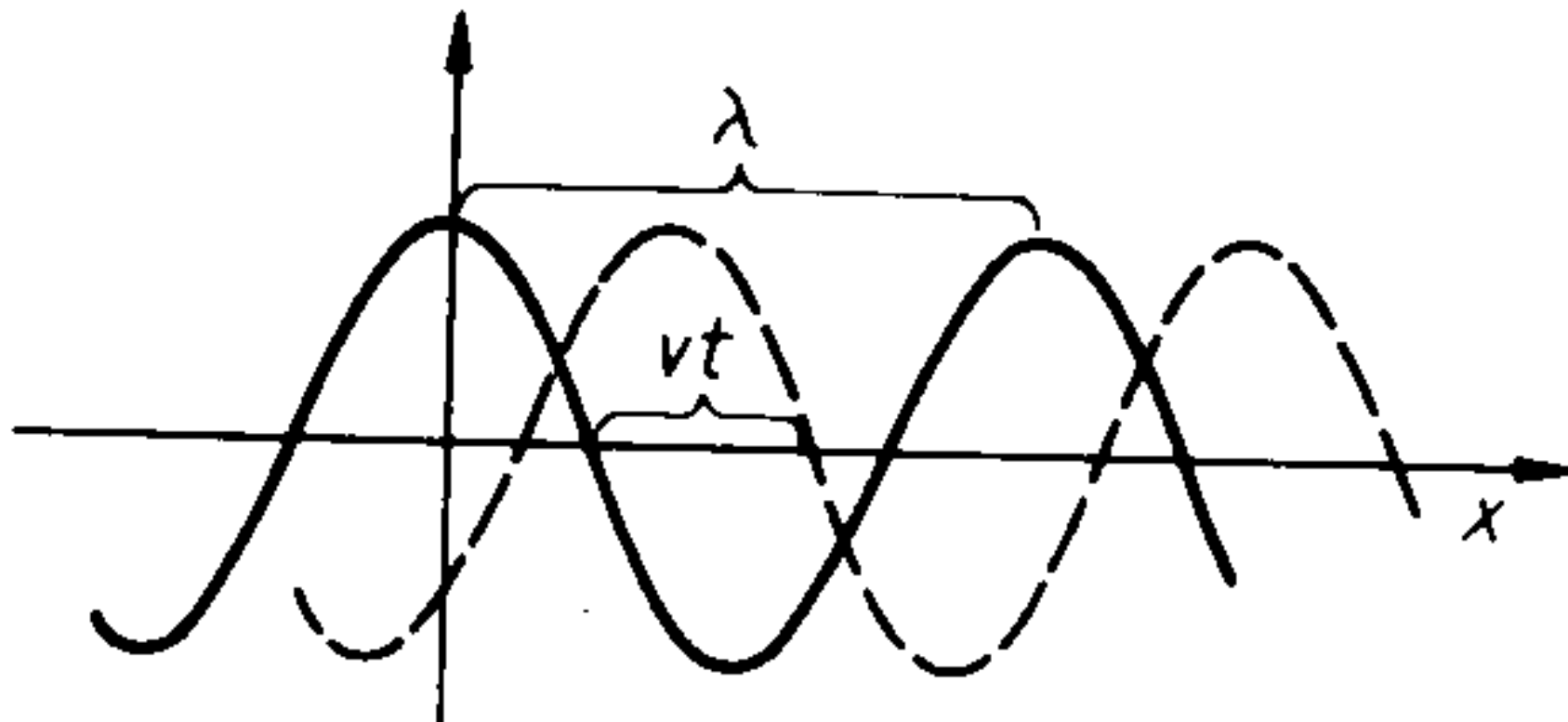
$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\Psi = \Psi_m \cos 2\pi \left(\frac{x}{\lambda} - \frac{t}{T} \right)$$

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

$$\Psi = \Psi_m \cos(kx - \omega t + \varphi)$$



Fala harmoniczna płaska w dwóch chwilach czasu $t=0$ (linia ciągła) i $t>0$ (linia przerywana)

- **Równanie fali poruszającej się w kierunku ujemnym osi x ma postać**

$$\Psi = \Psi_m \cos(kx + \omega t)$$

- **Podobnie jak w dla drgań harmonicznyc**
równanie fali harmonicznej płaskiej można
zapisać przy użyciu funkcji sinus, tzn.

$$\Psi = \Psi_m \sin(kx - \omega t + \varphi)$$

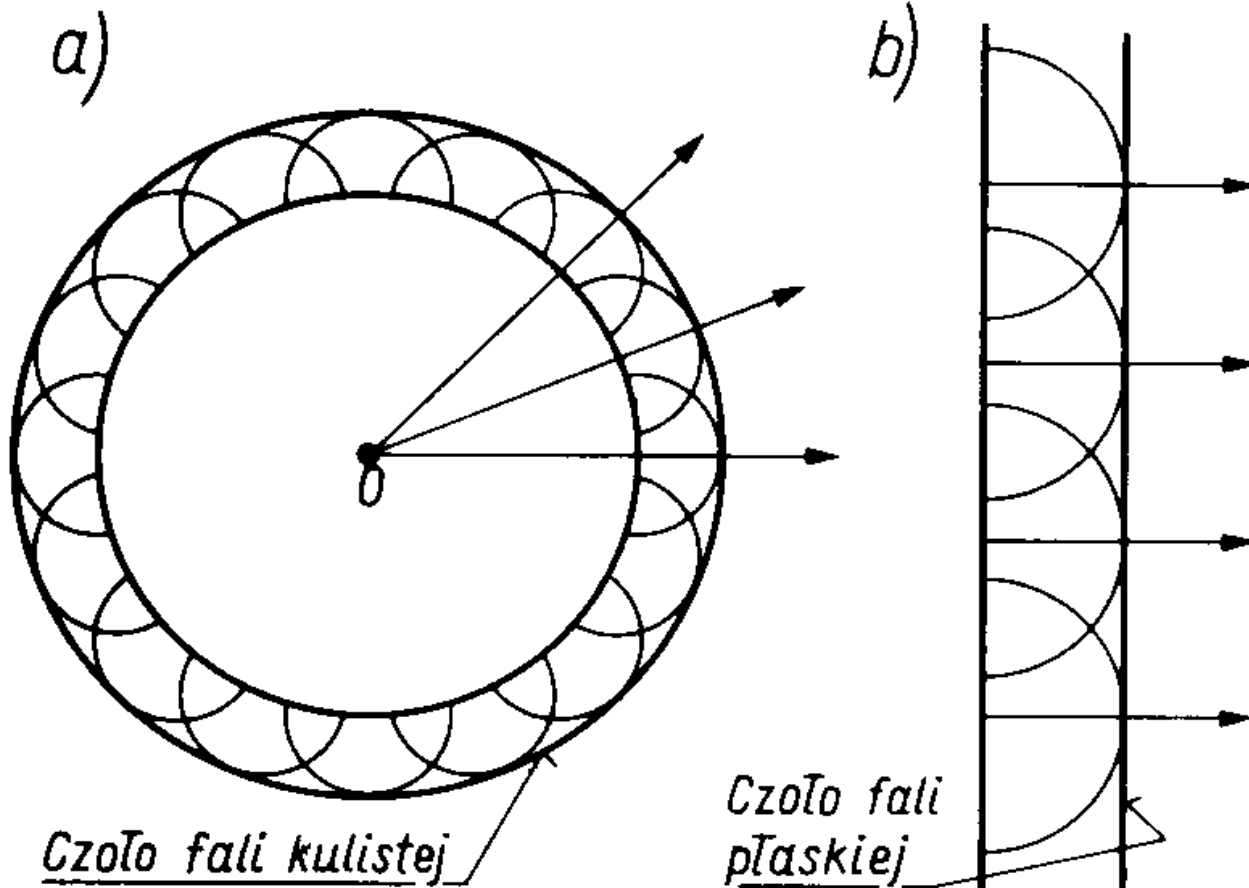
Zasada Huygensa

- **Powierzchnia falowa** jest to powierzchnia utworzona z punktów ośrodka znajdujących się w tej samej fazie drgań.
- Fala, której powierzchnie falowe są kulami współśrodkowymi nazywa się **falą kulistą**.
- Fala, której powierzchnie falowe są zbiorem płaszczyzn równoległych nazywa się **falą płaską**.
- **Czoło fali** jest to powierzchnia falowa, która w danej chwili jest najbardziej odległa od źródła fali.

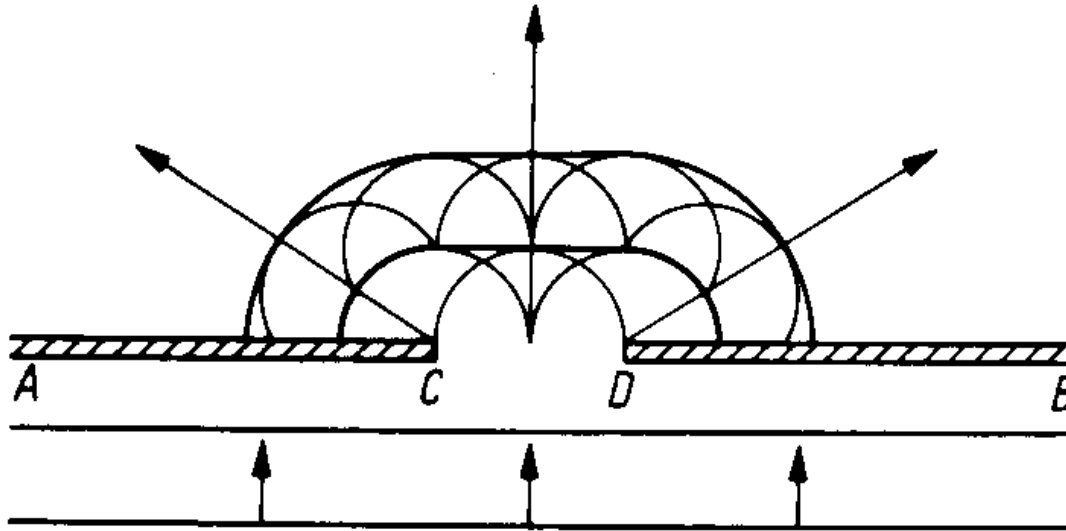
Zasada Huygensa:

Każdy punkt ośrodka, do którego dociera czoło fali, staje się źródłem nowej fali, która w ośrodku niedispersyjnym jest falą kulistą.

Rozchodzenie się fali: a) kulistej, b) płaskiej wg konstrukcji Huygensa



- **Konstrukcja Huygensa dla fali płaskiej przechodzącej przez przegrodę.**



- **Jeżeli rozchodząca się fala natrafia na przeszkodę, to powierzchnia falowa ulega zniekształceniu. Zjawisko to nazywamy *dyfrakcją* (ugięciem) fali.**

Superpozycja fal

Słuchając orkiestry słyszymy dźwięki grane przez poszczególne instrumenty;

Fale o różnej częstotliwości przebiegają przez antenę radiową (telewizyjną).

Fale mogą przebiegać ten sam obszar przestrzeni niezależnie od siebie.

Czy możliwe jest rozłożenie skomplikowanych ruchów falowych na kombinację fal prostych?

Twierdzenie Fouriera:

- **Dowolny periodyczny ruch cząstki może być przedstawiony w postaci kombinacji liniowej ruchów harmonicznym prostych (tzw. *analiza Fouriera*).**

Jeżeli na przykład $y(t)$ reprezentuje ruch źródła fali o okresie T , to $y(t)$ możemy przedstawić w postaci *szeregu Fouriera* postaci:

$$\begin{aligned} y(t) = & A_0 + A_1 \sin \omega t + A_2 \sin 2\omega t + A_3 \sin 3\omega t + \dots \\ & + B_1 \cos \omega t + B_2 \cos 2\omega t + B_3 \cos 3\omega t + \dots \end{aligned}$$

Gdy ruch nie jest periodyczny (np. pojedynczy impuls falowy) suma zostaje zastąpiona odpowiednią całką.

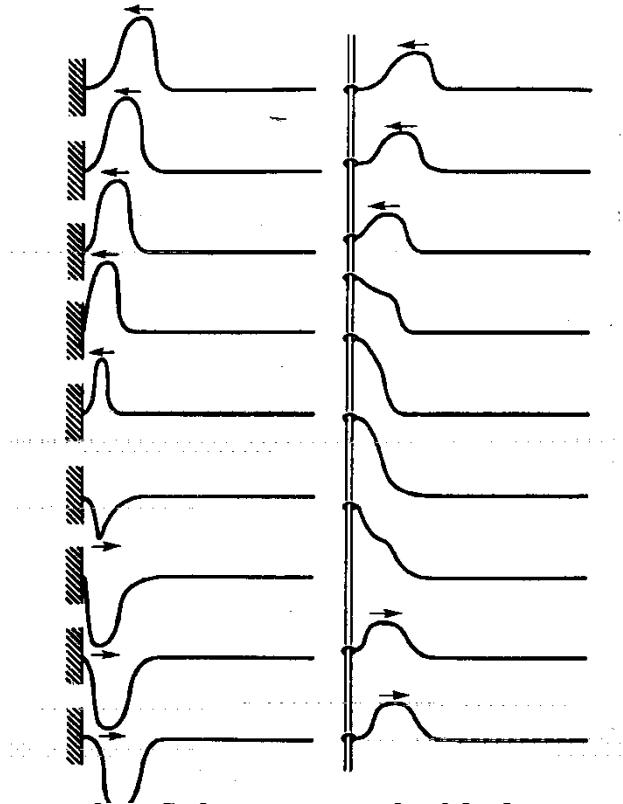
Zjawiska związane z ruchem falowym

Fala jest formą transportu energii.

Zjawiska charakterystyczne dla ruchu fal:

- odbicie i załamanie,
- dyfrakcja, interferencja i polaryzacja,
- dyspersja,
- efekt Dopplera.

Odbicie fali



Odbicie impulsu falowego od różnie zamocowanego końca sznura:

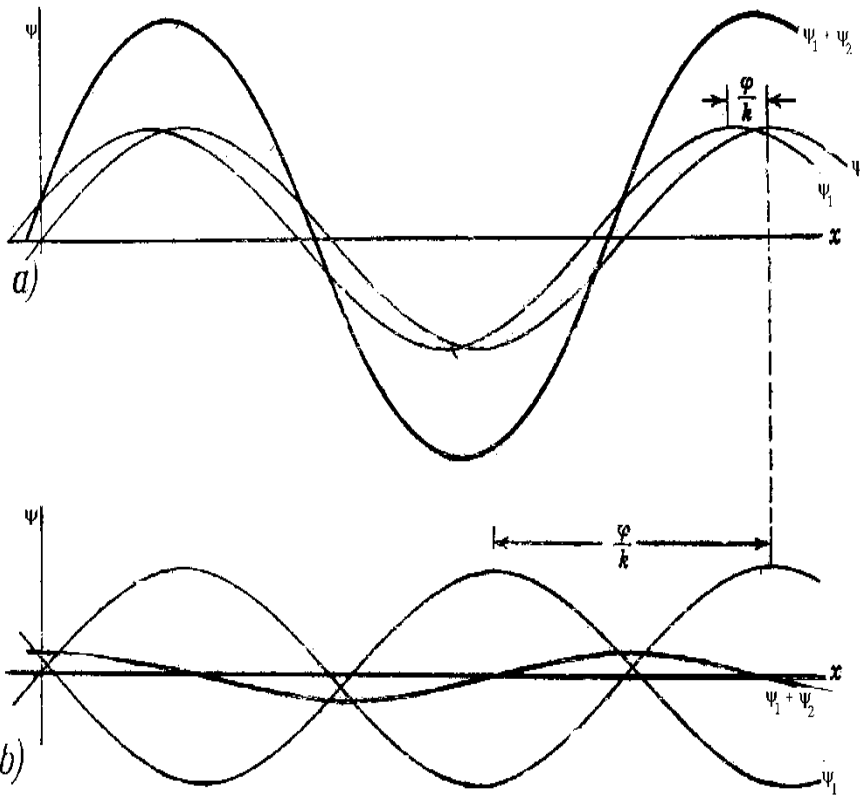
- a) przy odbiciu od zamocowanego na sztywno końca faza zmienia się skokowo o π .
- b) swobodny koniec odbija falę bez zmiany fazy

Interferencja fal

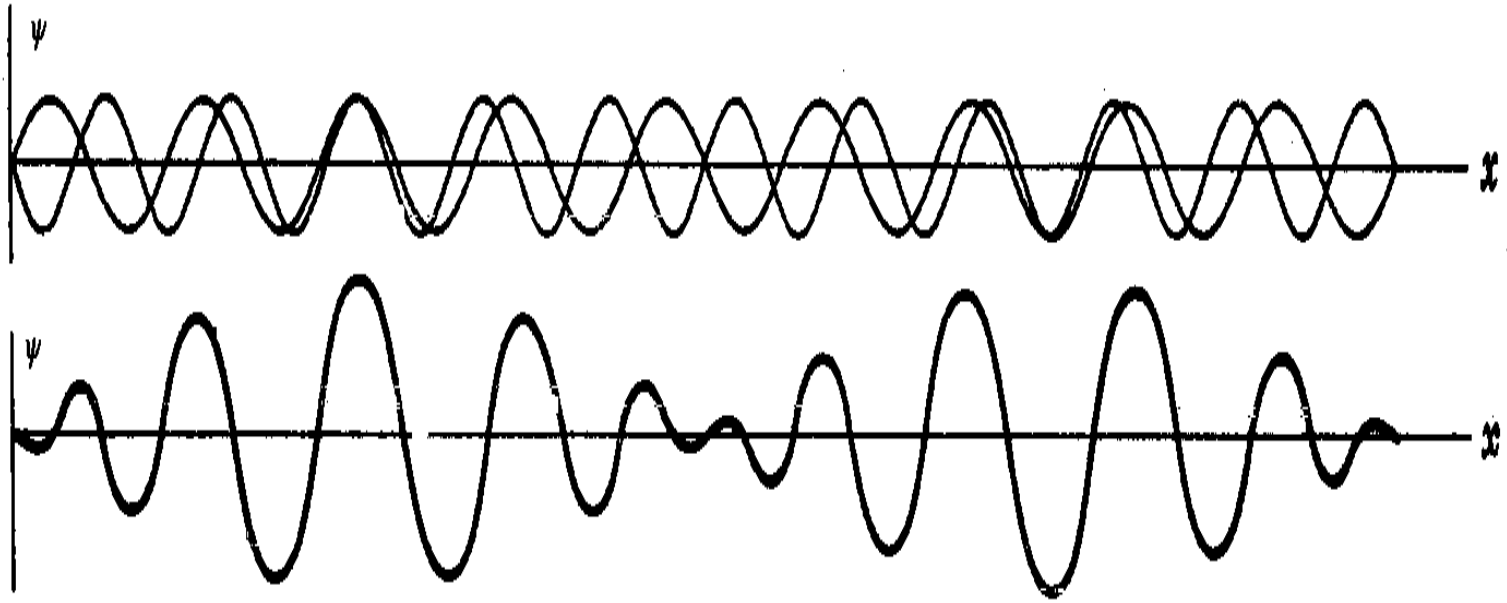
- ***Interferencją fal*** nazywamy zjawisko nakładania się dwóch lub więcej fal prowadzące do zwiększenia lub zmniejszenia amplitudy fali wypadkowej, w zależności od różnicy faz fal składowych, rozchodzących się w przestrzeni z jednakowymi pulsacjami.
- ***Interferencja*** zachodzi dla wszystkich rodzajów fal, niezależnie od ich natury

Dodanie dwóch fal o jednakowych pulsacjach i amplitudach:

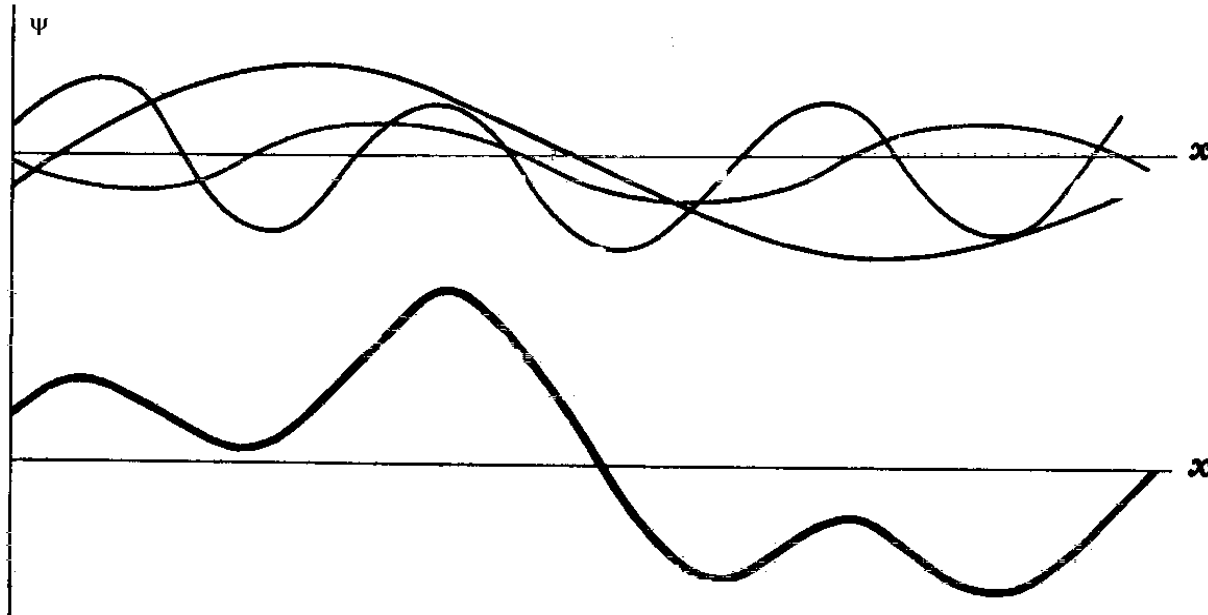
- a). o nieznacznie różniących się fazach początkowych φ/k ;
- b) przesuniętych w fazie o prawie π .



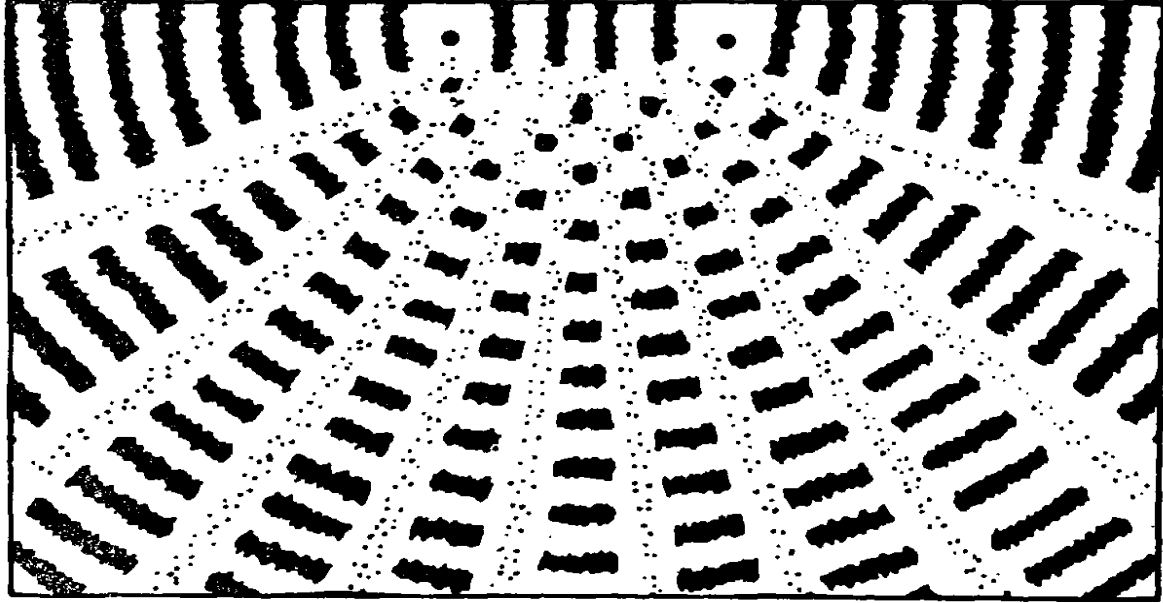
- W przypadku a) powstaje fala wypadkowa o amplitudzie prawie dwukrotnie większej od amplitudy każdej z fal składowych;
- W przypadku b) powstaje fala, której amplituda jest bliska 0;
- W obydwu przypadkach pulsacja pozostaje niezmienną.



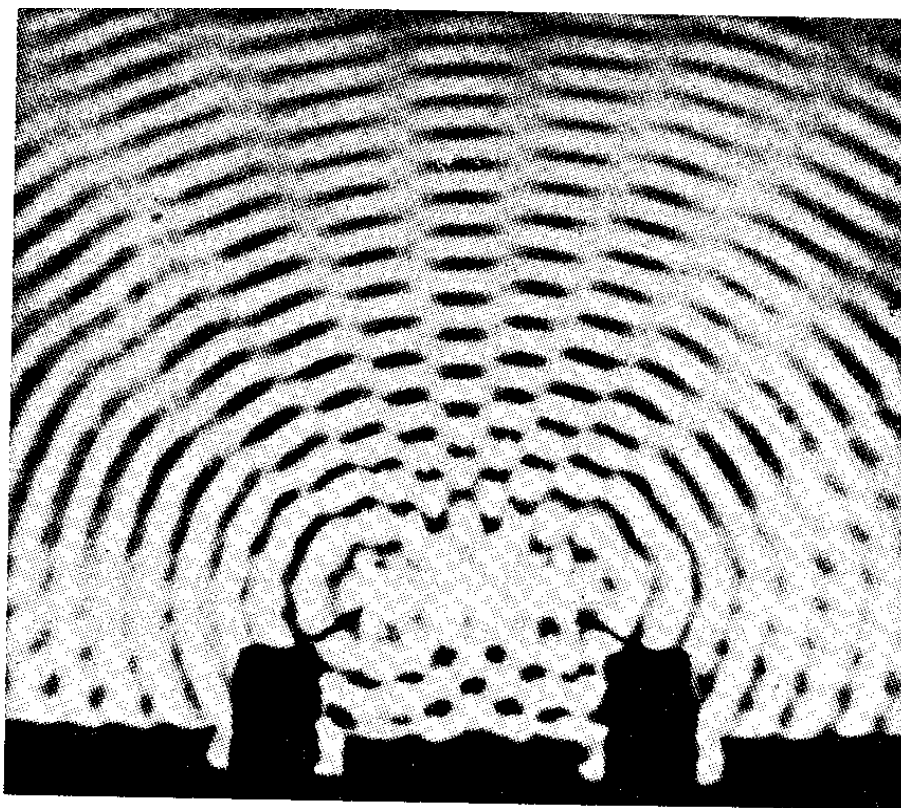
Dodanie dwóch fal o prawie takich samych pulsacjach (efekt dudnienia)



Dodanie trzech fal o różnych pulsacjach daje falę wypadkową o złożonym kształcie



Teoretyczny obraz interferencji fal pochodzących z dwóch źródeł punktowych

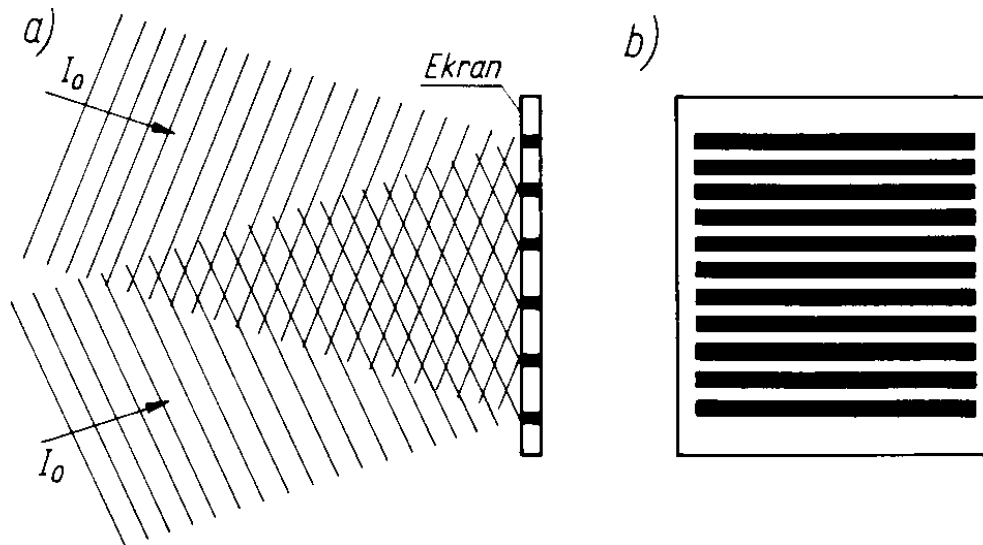


Sfotografowany obraz interferencyjny utworzony przez fale z dwóch punktowych źródeł

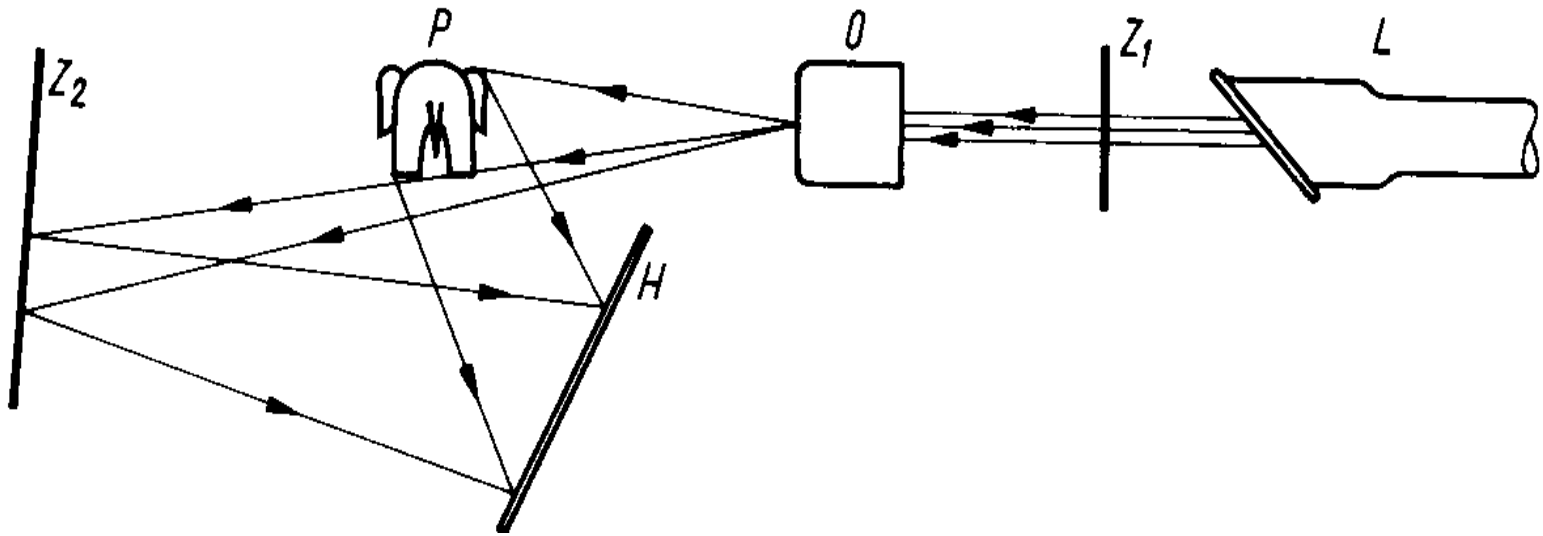
Holografia

holografia - otrzymywanie obrazów przestrzennych, za pomocą światła spójnego.

- a) Schemat interferencji dwóch wiązek światła laserowego,
b) obraz interferencyjny



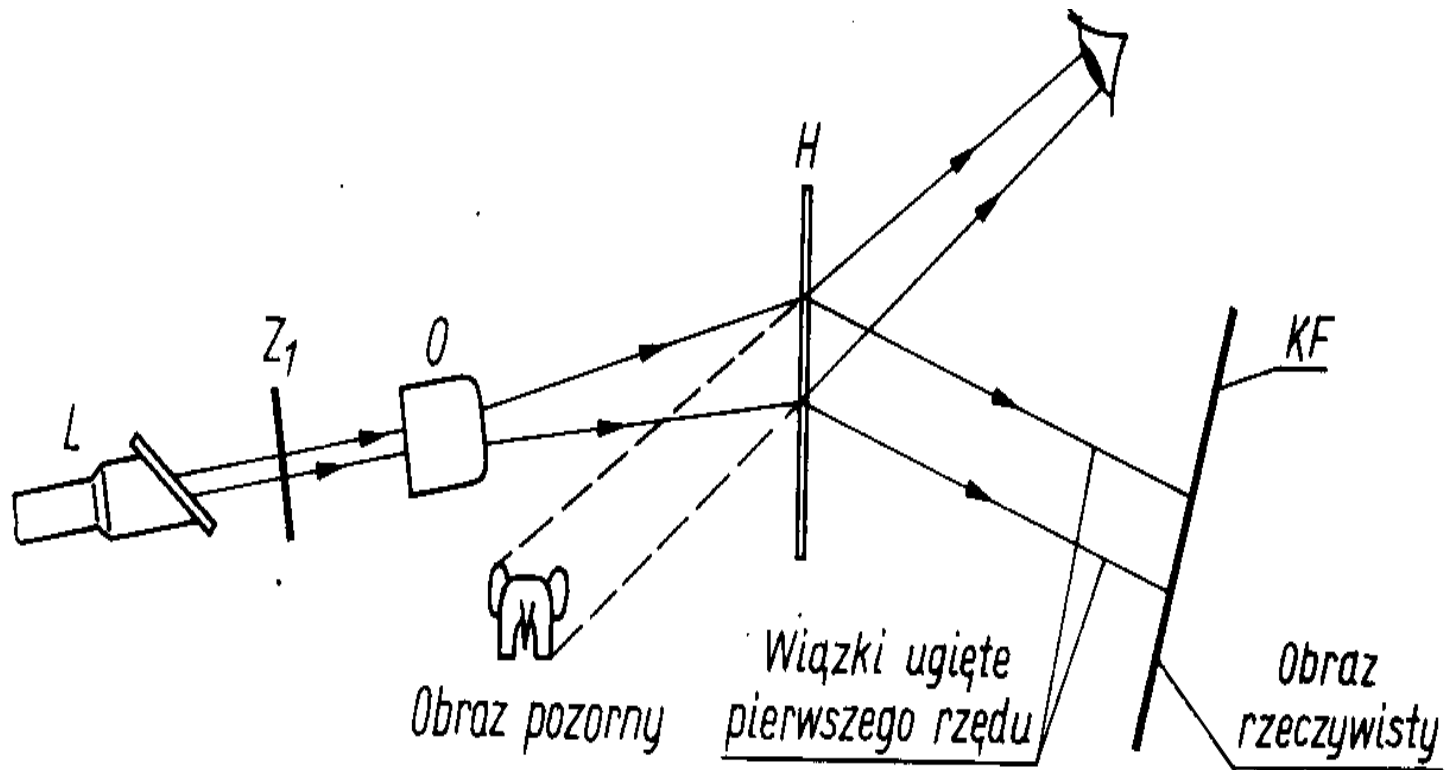
- 1 etap - → fotograficzny zapis obrazu interferencyjnego



Zasada rejestracji:

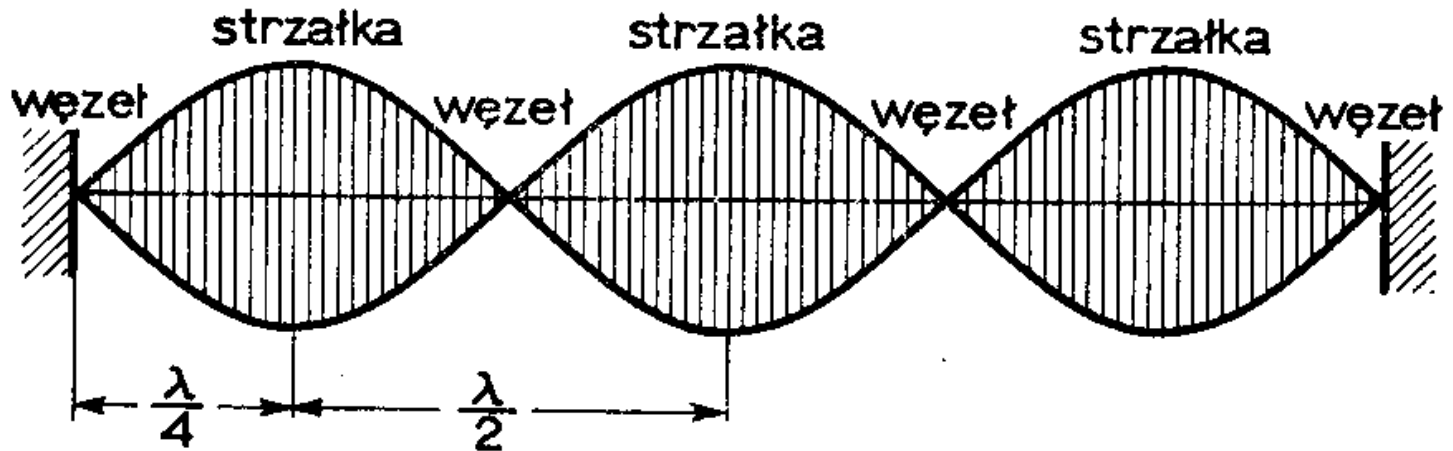
- Światło z lasera L po przejściu przez zwierciadło Z₁ i obiektyw O, który wytwarza wiązkę rozbieżną oświetla przedmiot P i zwierciadło Z₂.
- Światło rozproszone od różnych miejsc przedmiotu P mieszając się z wiązką odbitą od zwierciadła Z₂ pada na płytę fotograficzną H.
- Na płycie H zarejestrowany zostaje obraz interferencyjny przedmiotu P (hologram).

- 2 etap - → rekonstrukcja obrazu.
- Światłem z lasera L oświetlamy hologram H.
- Otrzymane w ten sposób dwie wiązki ugięte pierwszego rzędu dają jedna obraz rzeczywisty, np. na kliszy fotograficznej KF, druga - pozorny



Fale stojące

- Superpozycja fali padającej i fali odbitej tworzy falę stojącą.



- Węzły i strzałki są położone na przemian.
- Odległości między kolejnymi węzłami (lub strzałkami) wynoszą $\lambda/2$.