



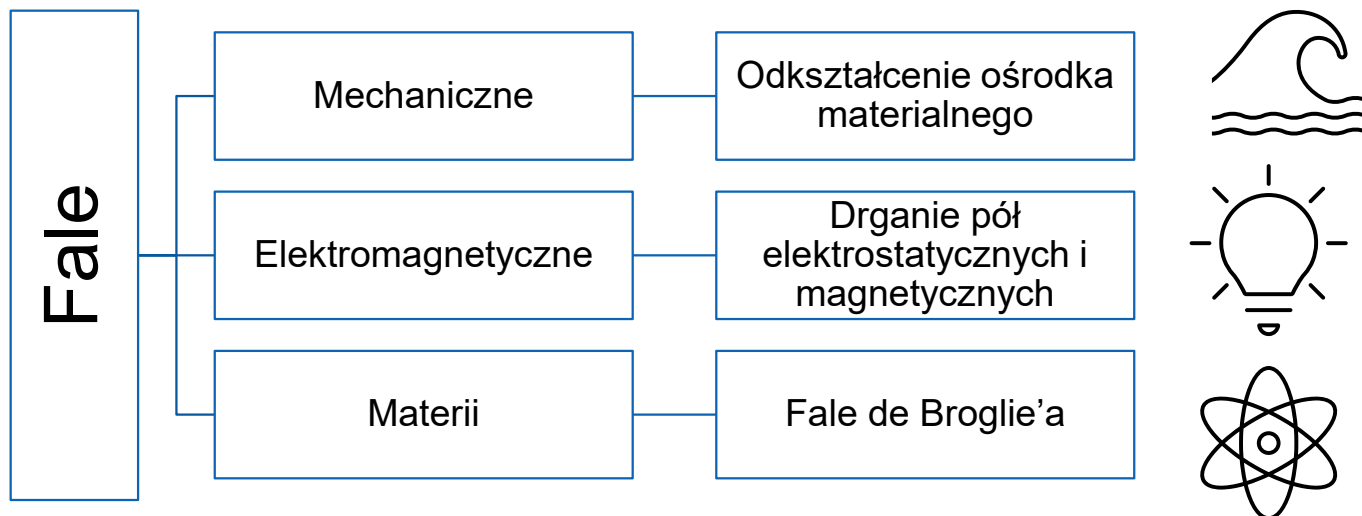
FIZYKA Z ELEMENTAMI FIZYKI RADIACYJNEJ I | WYKŁAD 8

Fale mechaniczne

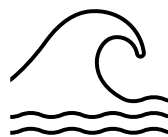
dr inż. Katarzyna Gwóźdź

Fala

Zaburzenie, które się porusza w ośrodku.



Fale mechaniczne



Podlegają zasadą dynamiki Newtona

Działają siły sprężystości

Ośrodek jest materialny

Przenoszą energię i pęd

Nie przenoszą masy



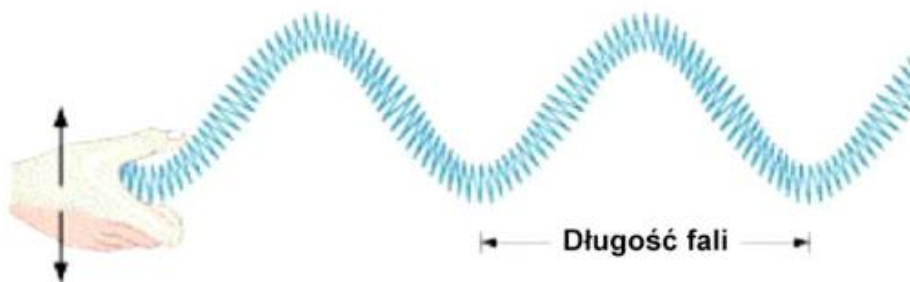
Przykłady:

- Fale na wodzie
- Fale akustyczne
- Fale sejsmiczne
- Drgająca struna

Fale mechaniczne

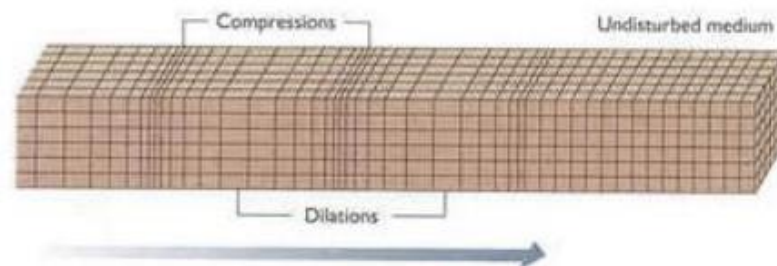
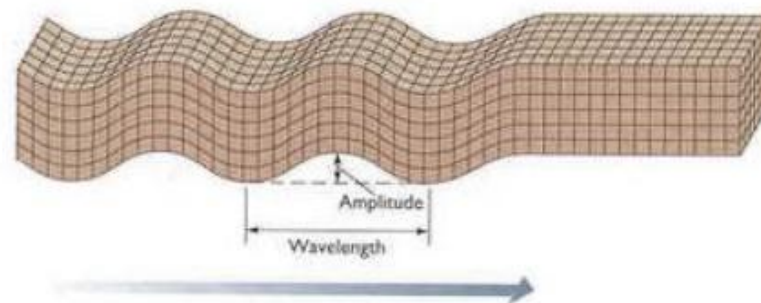
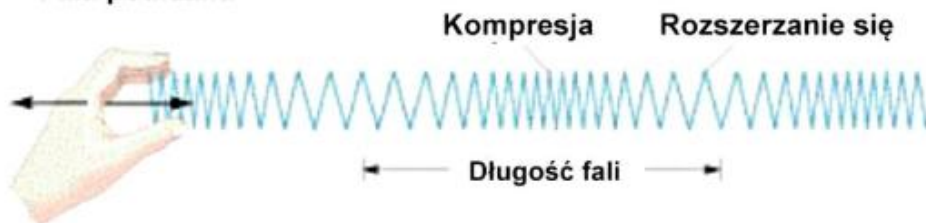
Doświadczenie 8.13

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



Fala poprzeczna

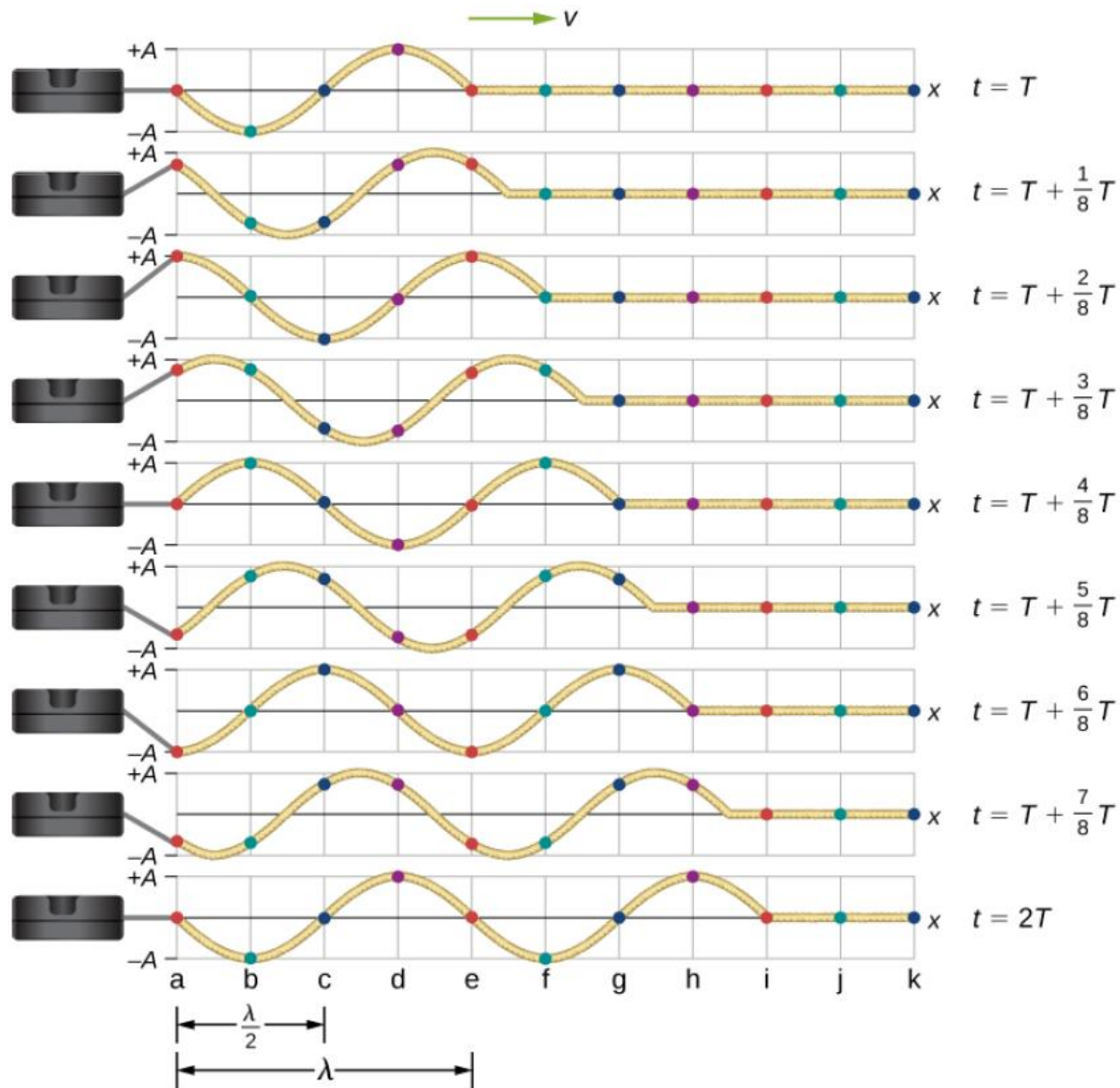
Fala podłużna



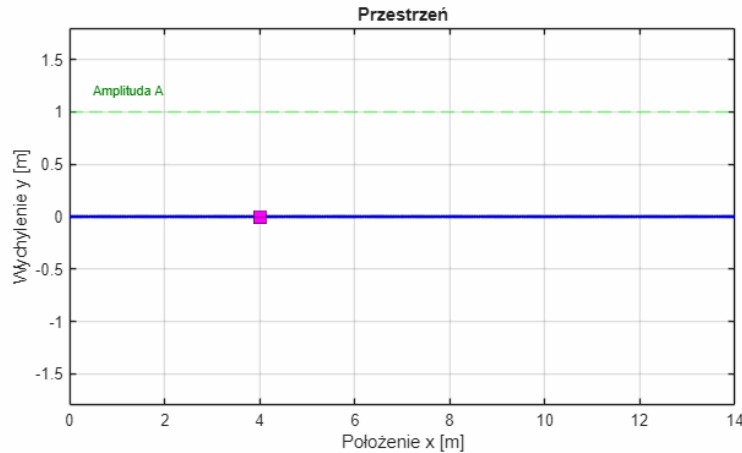
Animacja:

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

Fale mechaniczne



Fale mechaniczne



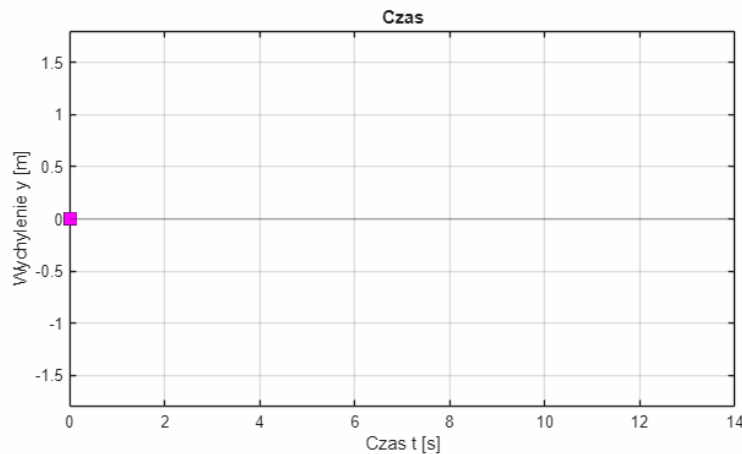
$$y(x, t) = A \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} x - \frac{2\pi}{T} t + \phi\right)$$

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

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

Liczba falowa

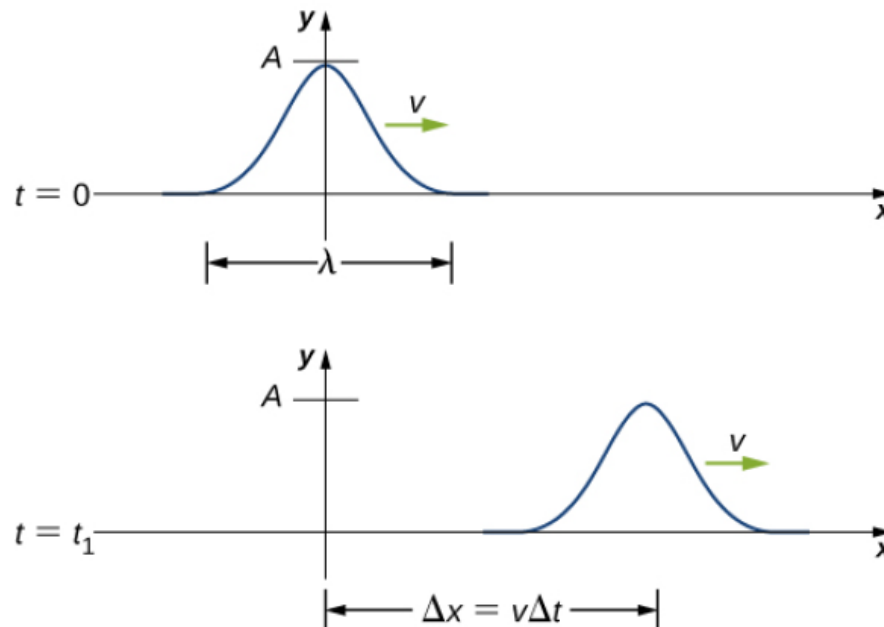
Częstość



$$y(x, t) = A \sin(kx - \omega t + \phi)$$

Impuls

Pojedyncze zaburzenie ośrodka, które porusza się ze stałą szybkością.



Pochodna cząstkowa

Pochodna cząstkowa funkcji wielu zmiennych to pochodna obliczana względem jednej wybranej zmiennej przy utrzymaniu pozostałych zmiennych stałych. Opisuje, jak szybko zmienia się wartość funkcji, gdy zmienia się tylko ta jedna zmienna.

$$f(x, y) = x^2 - 2xy^2 + 8$$

$$\frac{\partial f}{\partial x} = 2x - 2y^2$$

$$\frac{\partial f}{\partial y} = -4xy$$

Równania ruchu (równanie fali)

$$y(x, t) = A \sin(kx - \omega t + \phi)$$

$$v_y(x, t) = \frac{\partial y(x, t)}{\partial t} = -A\omega \cos(kx - \omega t + \phi)$$

$$a_y(x, t) = \frac{\partial v_y(x, t)}{\partial t} = -A\omega^2 \cos(kx - \omega t + \phi)$$

Równanie falowe

$$y(x, t) = A \sin(kx - \omega t + \phi)$$

$$\frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial t^2} = a_y(x, t) = -A\omega^2 \cos(kx - \omega t + \phi)$$

$$\frac{\partial y(x, t)}{\partial x} = Ak \cos(kx - \omega t + \phi)$$

$$\frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial x^2} = -Ak^2 \sin(kx - \omega t + \phi)$$

Równanie falowe

$$y(x, t) = A \sin(kx - \omega t + \phi)$$

$$\frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial t^2} = -A\omega^2 \cos(kx - \omega t + \phi)$$

$$\frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial x^2} = -Ak^2 \sin(kx - \omega t + \phi)$$

$$k^2 \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial t^2} = -Ak^2 \omega^2 \cos(kx - \omega t + \phi) \quad \omega^2 \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial x^2} = -A\omega^2 k^2 \sin(kx - \omega t + \phi)$$

$$k^2 \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial t^2} = \omega^2 \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial x^2}$$

$$\frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial t^2} = \frac{\omega^2}{k^2} \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial x^2}$$

$$v^2 = \frac{\omega^2}{k^2}$$

Równanie falowe

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

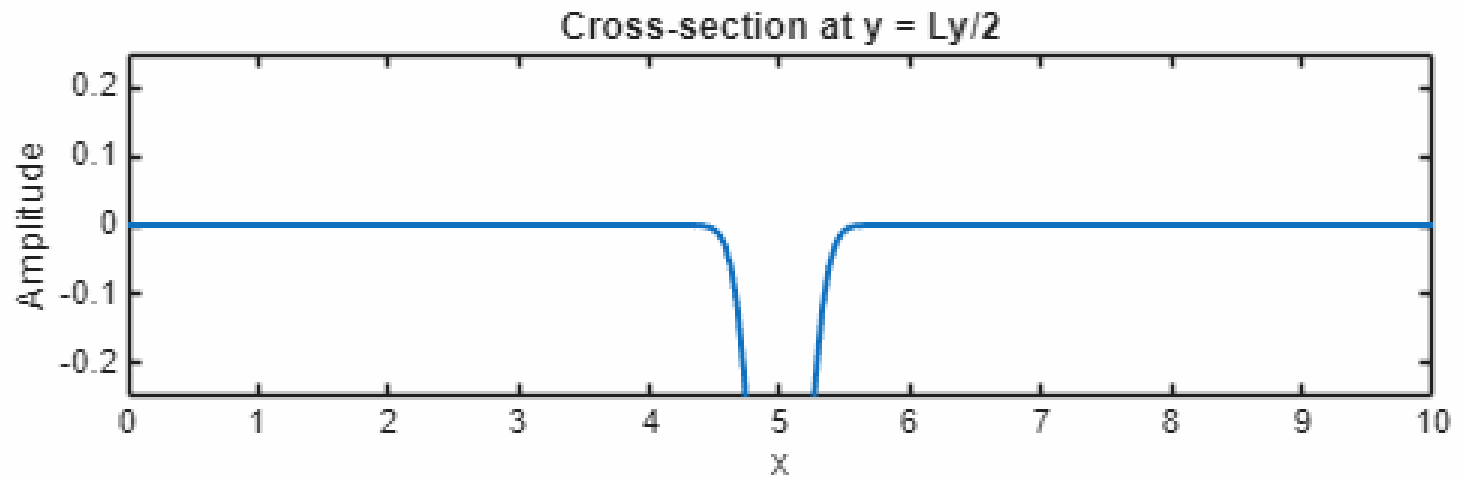
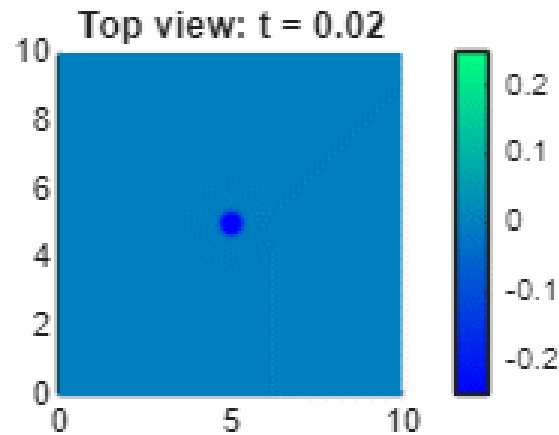
Pozwala przewidzieć
kształt zaburzenia w
czasie i przestrzeni

Pozwala przewidzieć
wiele zjawisk związanych
z falami:

- Odbicie
- Transmisja
- Superpozycja
- Interferencja

Równanie falowe

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



Energia kinetyczna fali

$$v_y(x, t) = -A\omega \cos(kx - \omega t + \phi)$$

$$dE_k = \frac{dmv^2}{2} = \frac{1}{2}\mu dx (-A\omega \cos(kx - \omega t + \phi))^2$$

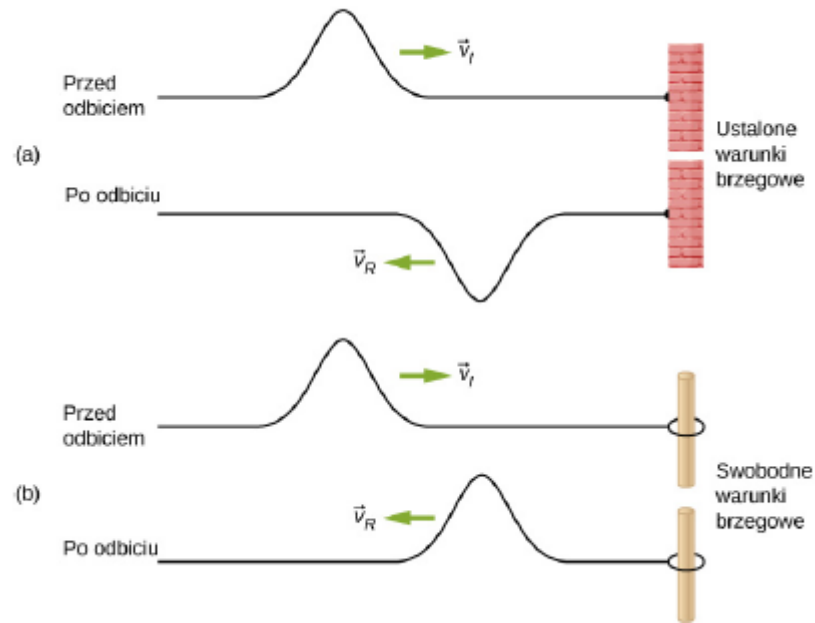
$$dm = \mu dx$$

Gęstość kinetyczna:

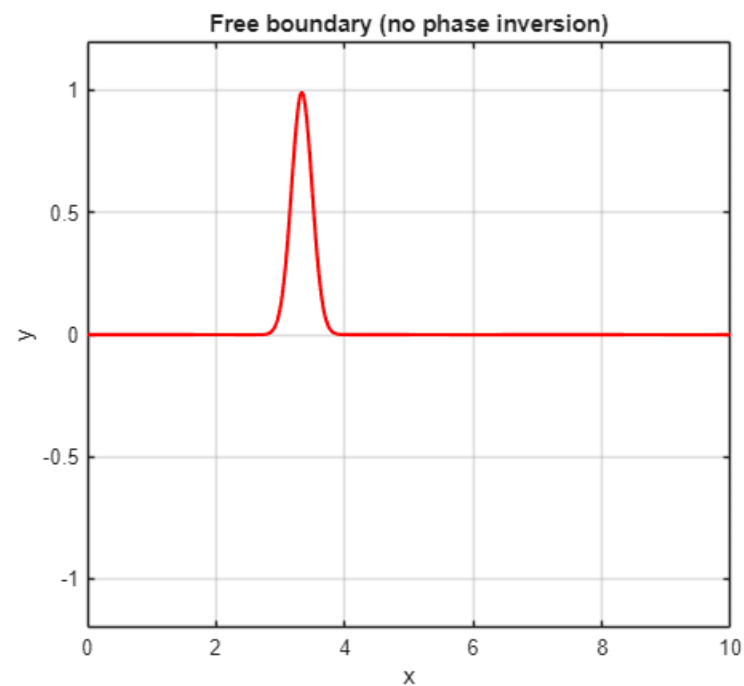
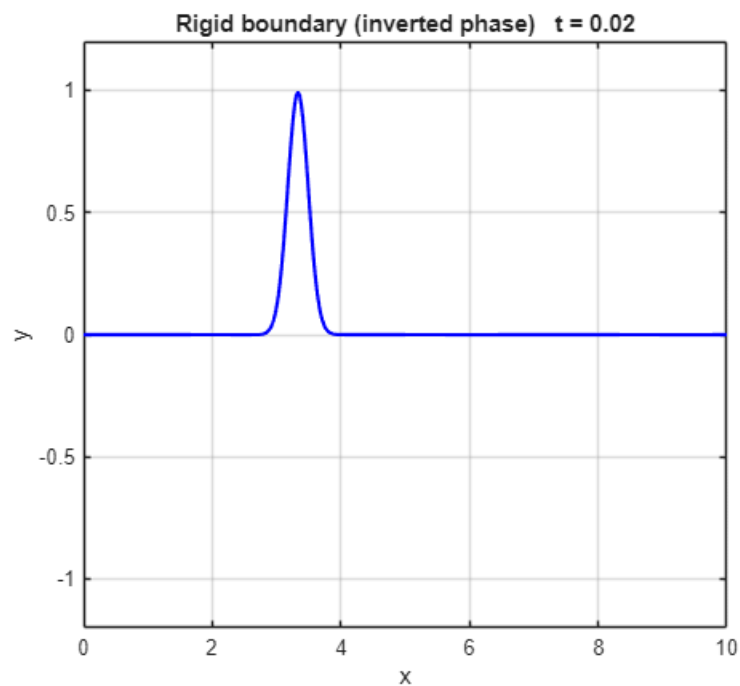
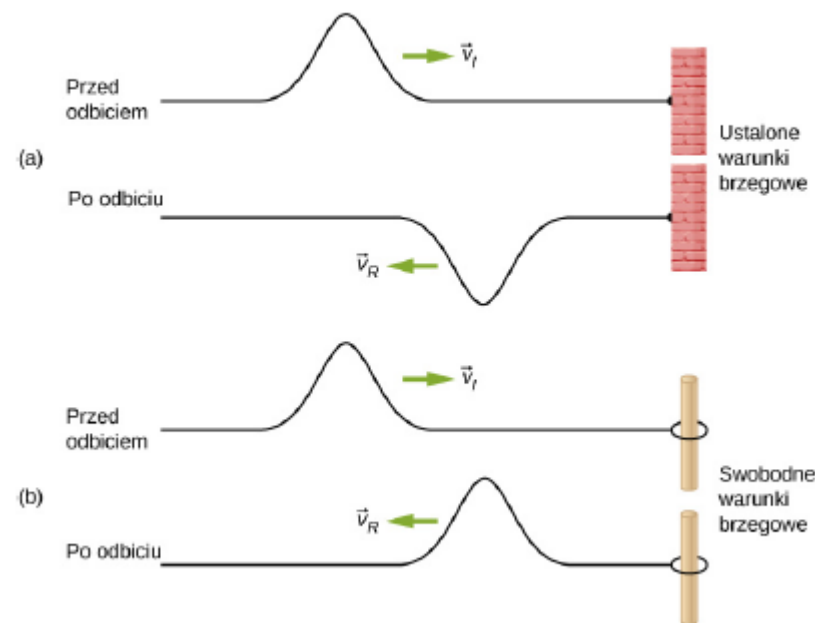
$$\varepsilon_k = \frac{dE_k}{dx} = \frac{1}{2}\mu A^2 \omega^2 \cos^2(kx - \omega t + \phi)$$

Odbicie

- a) Ustalane warunki brzegowe – zmiana fazy fali odbitej
- b) Swobodne warunki brzegowe – bez zmiany fazy fali odbitej

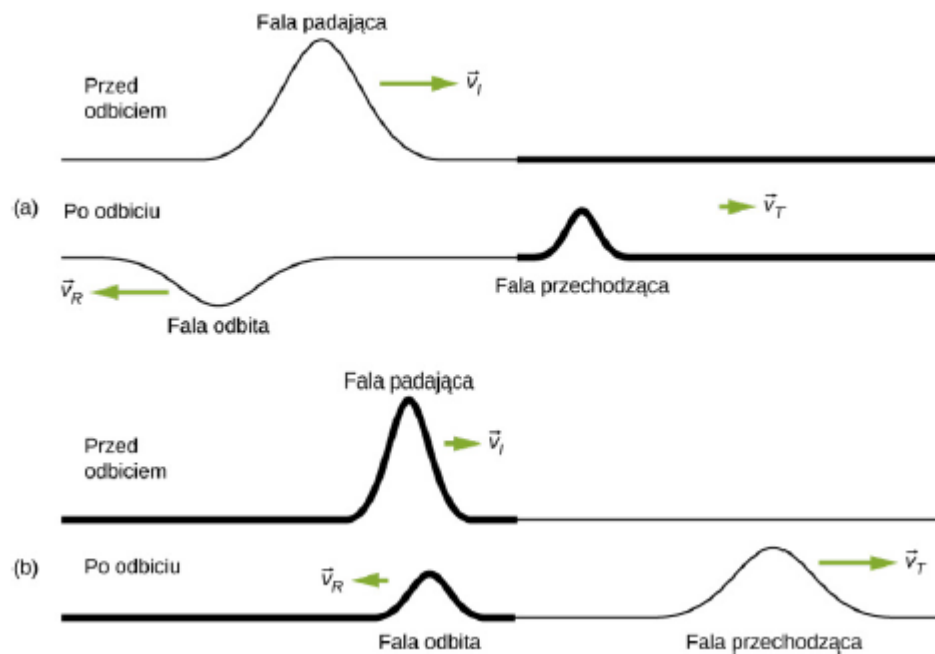


Odbicie

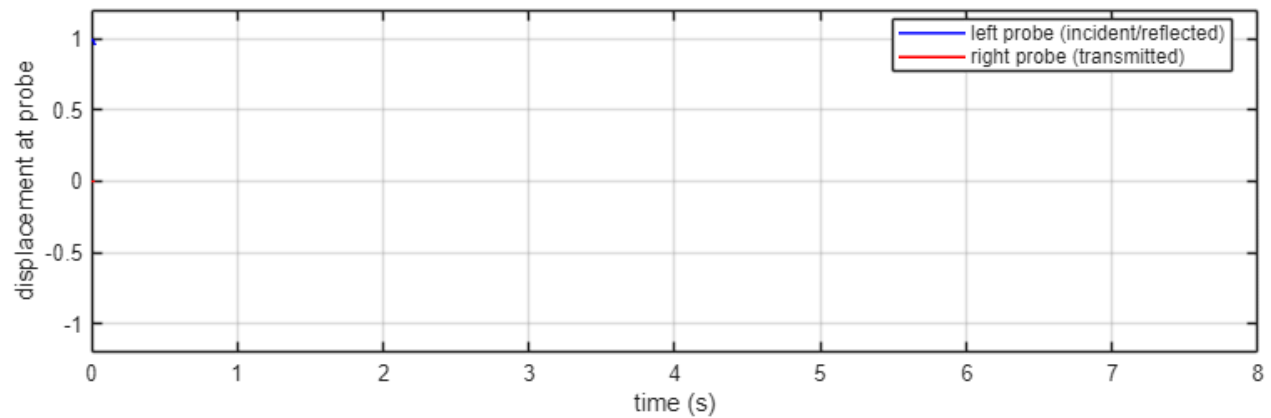
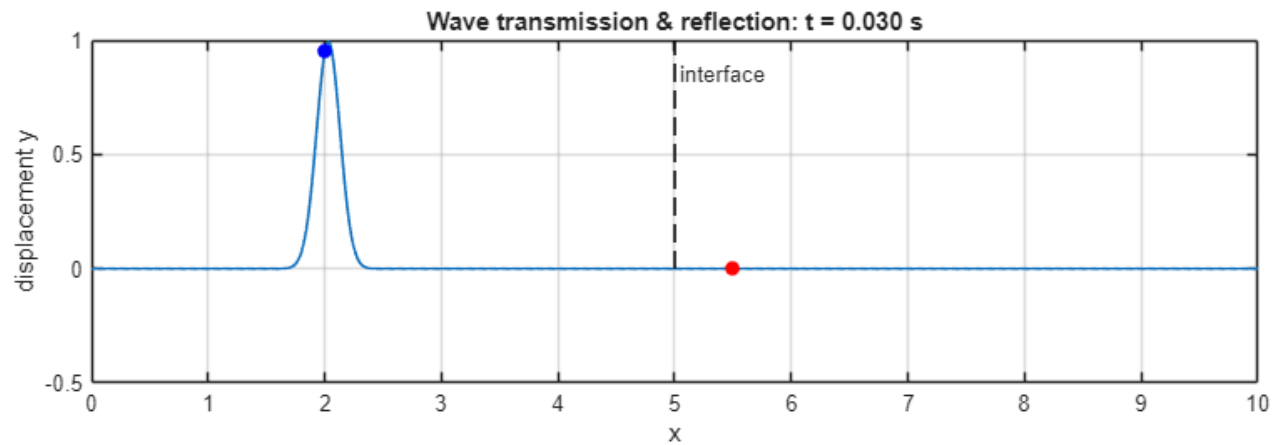
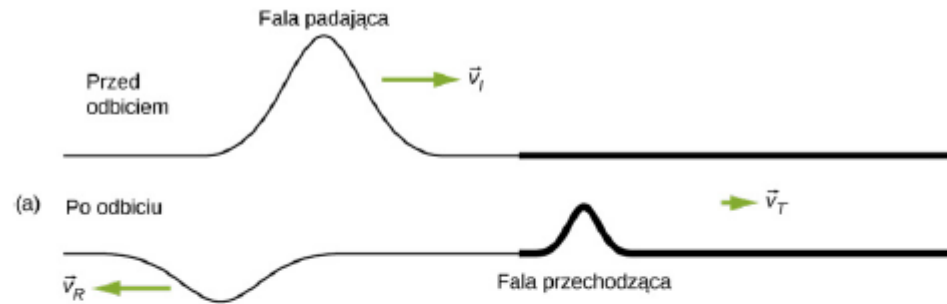


Transmisja

- a) Z ośrodka o mniejszej gęstości liniowej do ośrodka o większej gęstości – zmiana fazy fali odbitej,
- b) Z ośrodka o większej gęstości liniowej do ośrodka o mniejszej gęstości – bez zmiany fazy fali odbitej



Transmisja



Superpozycja

Rozwiązaniem równania falowego są funkcje falowe, ale również ich suma.

Jeśli:

$$y_1(x, t) \quad \text{i} \quad y_2(x, t)$$

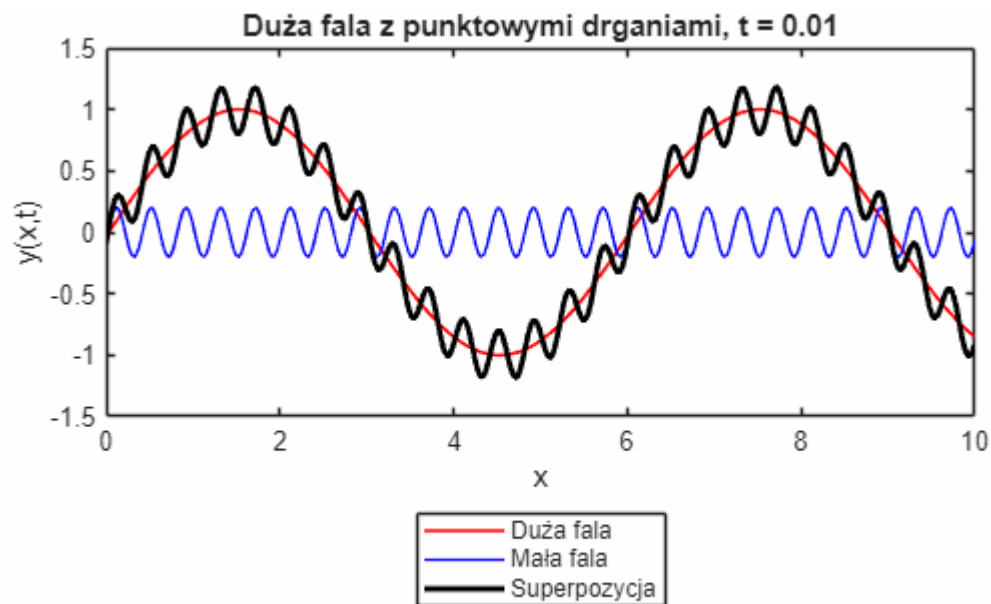
są rozwiązaniami równania falowego, to:

$$y_1(x, t) + y_2(x, t)$$

też jest rozwiązaniem.

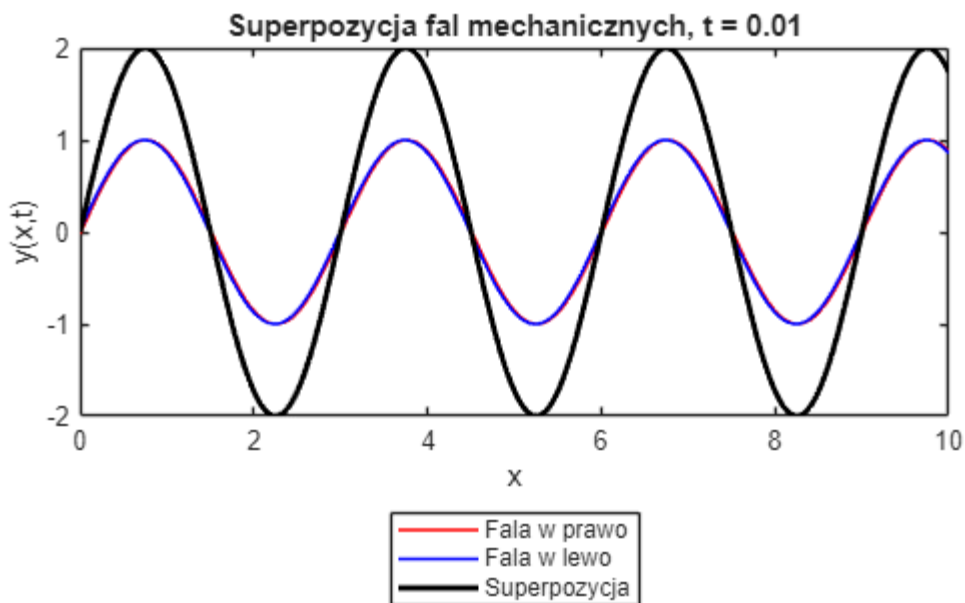
Superpozycja

Rozwiązaniem równania falowego są funkcje falowe, ale również ich suma.

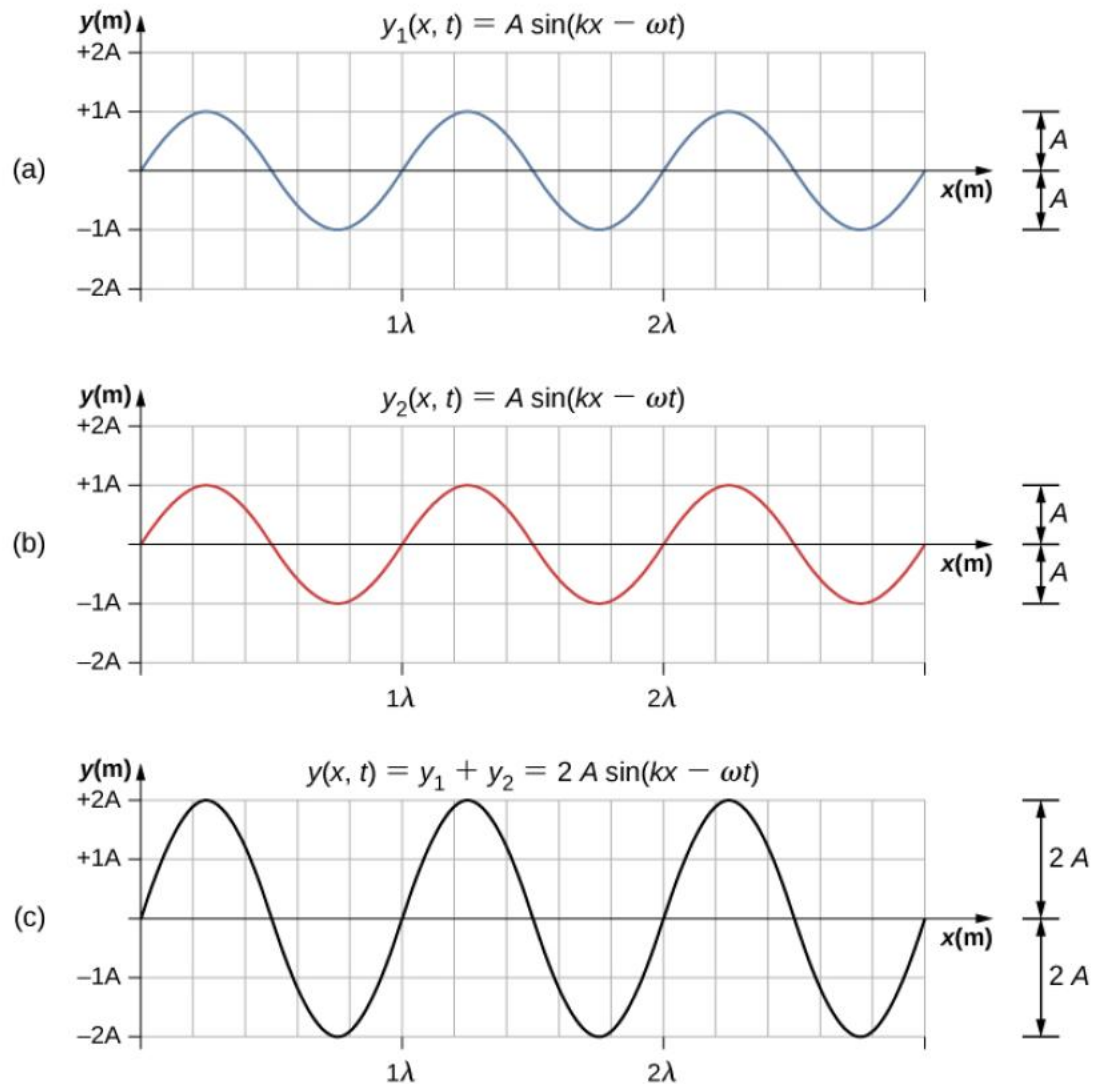


Interferencja

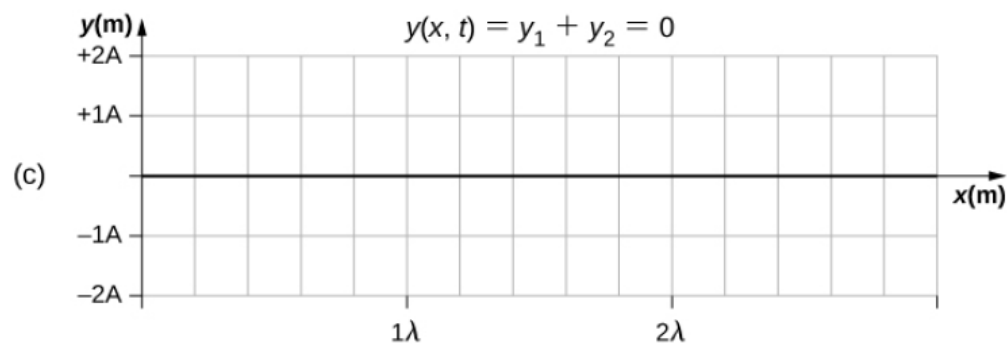
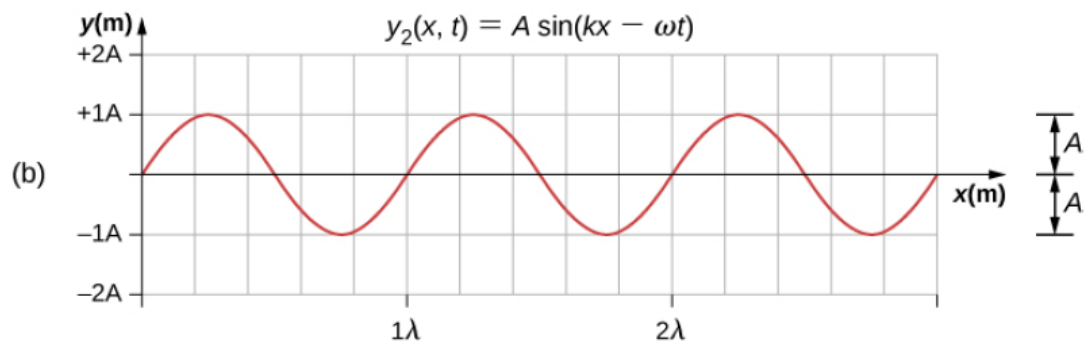
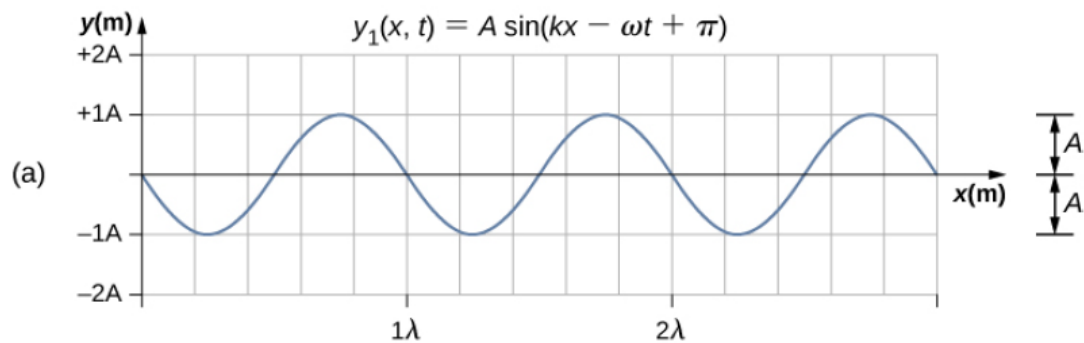
Szczególny przypadek superpozycji, gdy nakładające się fale mają podobną częstotliwość i spójną fazę, co prowadzi do wzmocnień i osłabień w przestrzeni lub czasie.



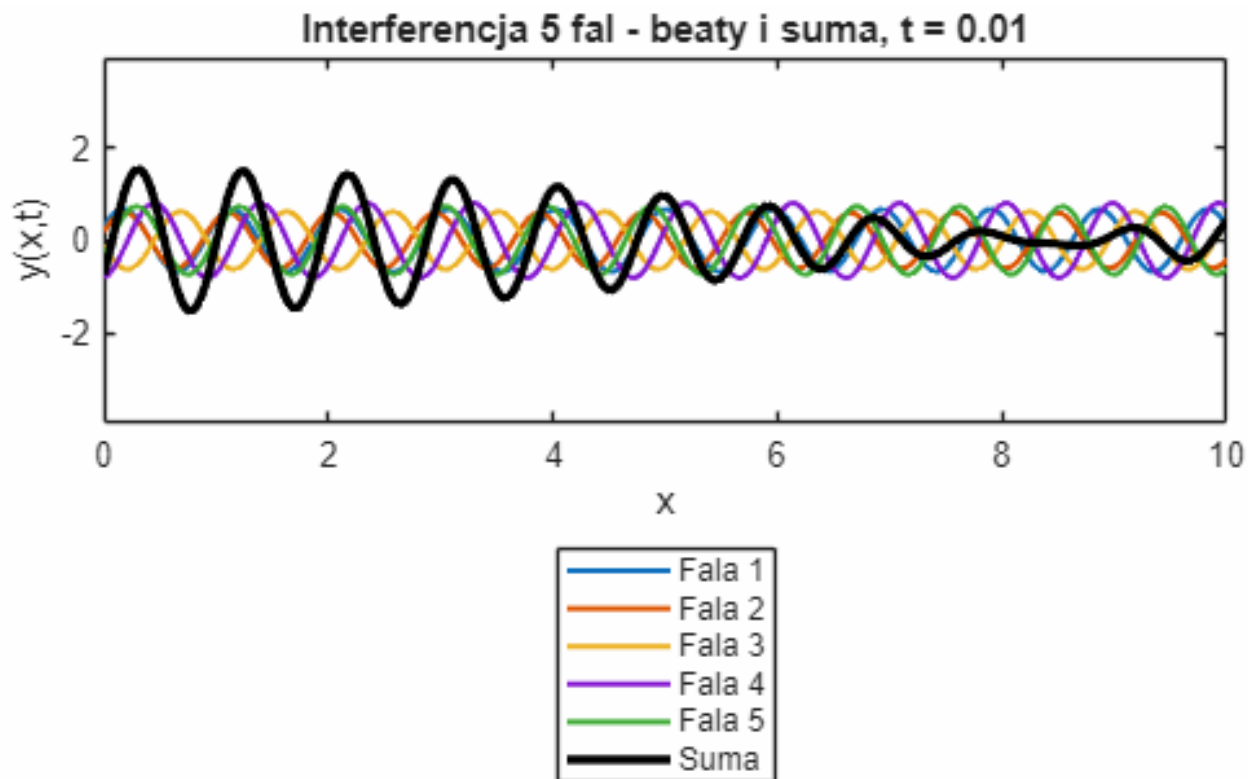
Interferencja konstruktywna



Interferencja destruktywna



Interferencja wielu fal



Fala stojąca

Interferencja dwóch fal o tej samej amplitudzie i liczbie falowej k , ale poruszających się w przeciwnych kierunkach.

$$y_1(x, t) = A \sin(kx - \omega t)$$

$$y_2(x, t) = A \sin(kx + \omega t)$$

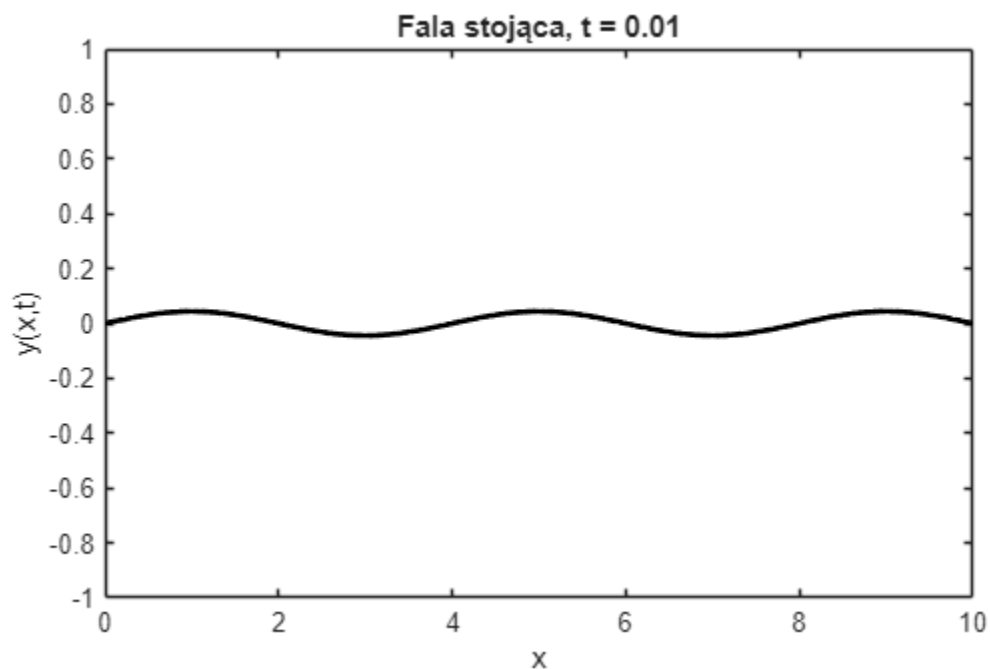
$$y(x, t) = y_1(x, t) + y_2(x, t) = A \sin(kx - \omega t) + A \sin(kx + \omega t) = 2A \sin(kx) \sin(\omega t)$$

$$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \left(\frac{\alpha + \beta}{2} \right) \cos \left(\frac{\alpha - \beta}{2} \right)$$

Fala stojąca

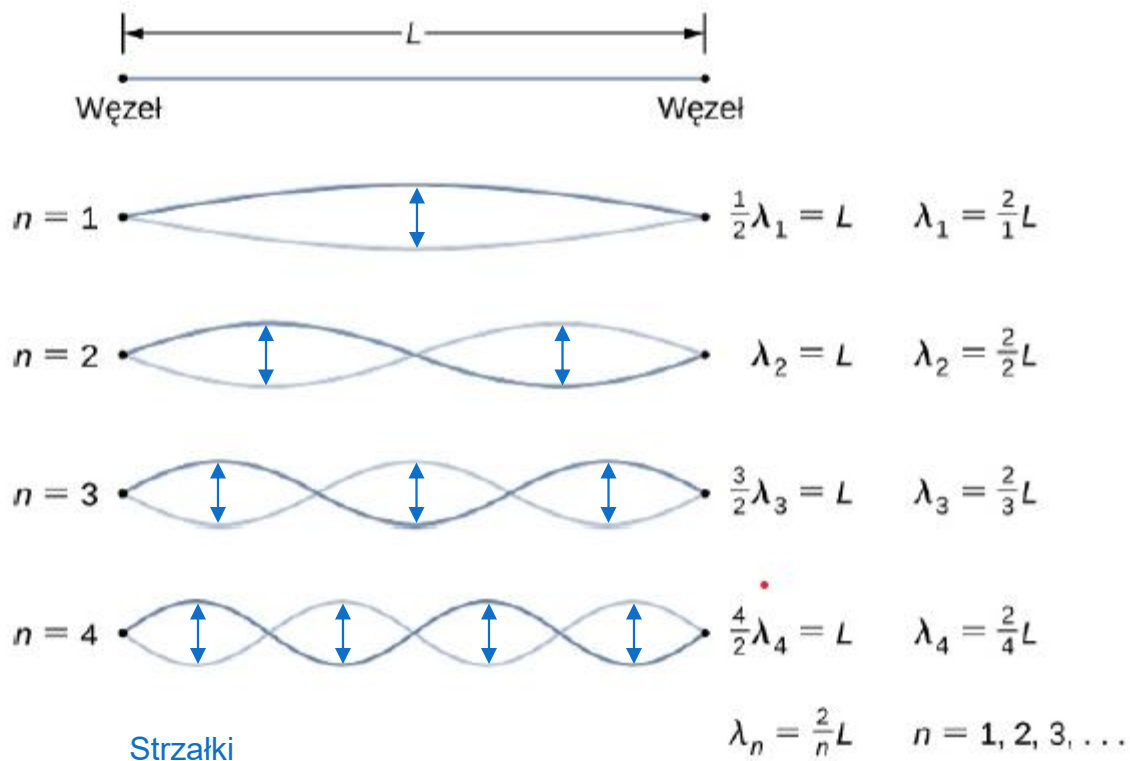
Doświadczenie 8.4

$$y(x, t) = 2A \sin(kx) \sin(\omega t)$$



Fala stojąca

$$y(x, t) = 2A \sin(kx) \sin(\omega t)$$





FIZYKA Z ELEMENTAMI FIZYKI RADIACYJNEJ I | WYKŁAD 8

Dziękuję za uwagę

dr inż. Katarzyna Gwóźdź