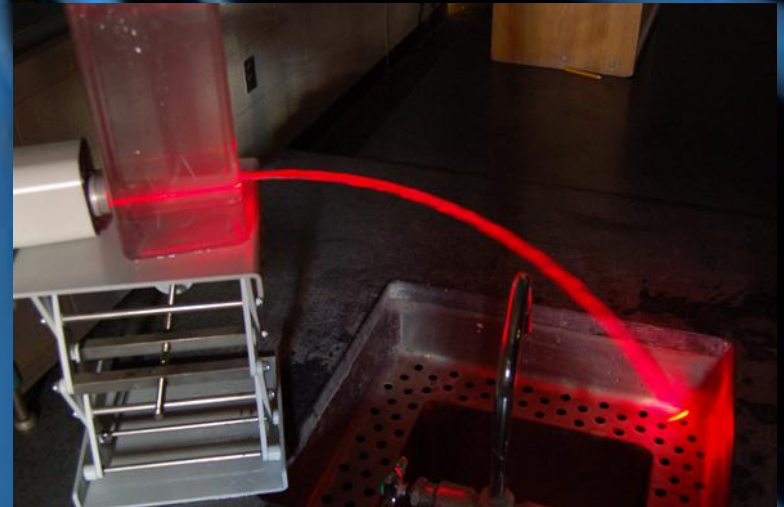
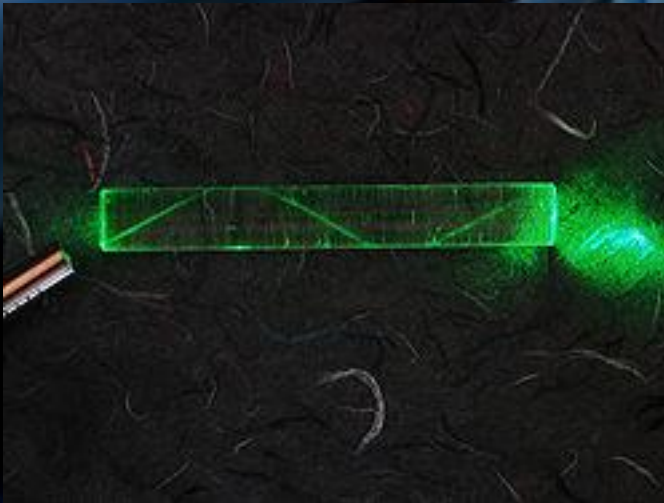
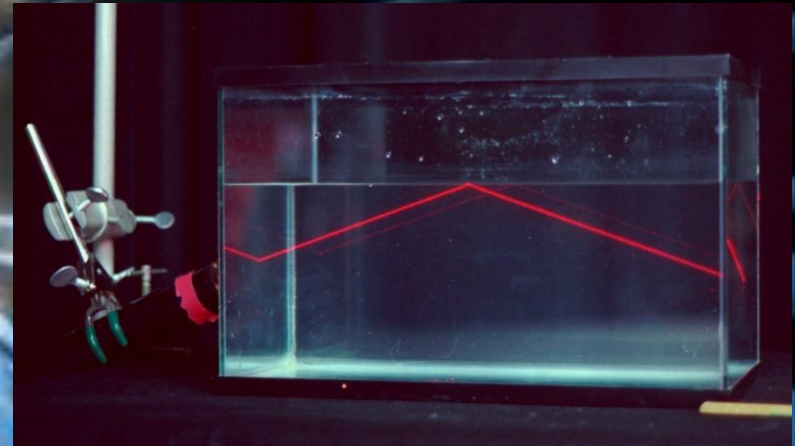




# Światłowody

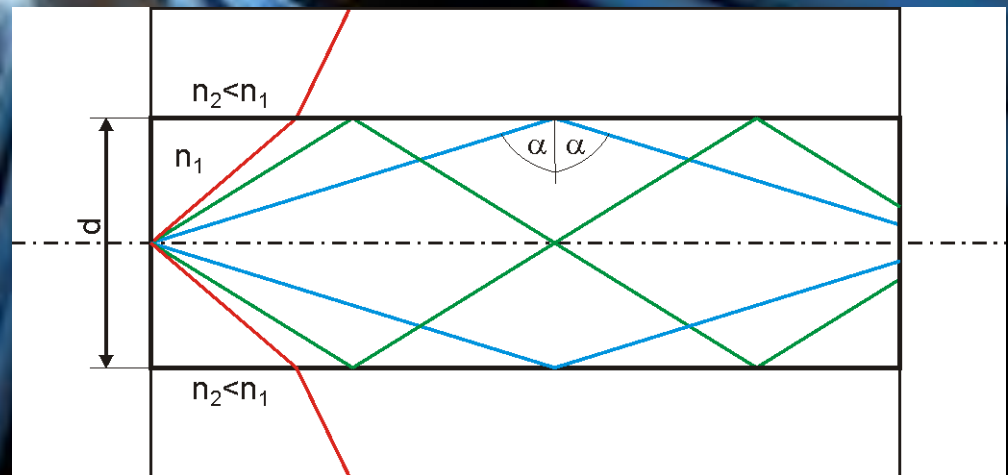
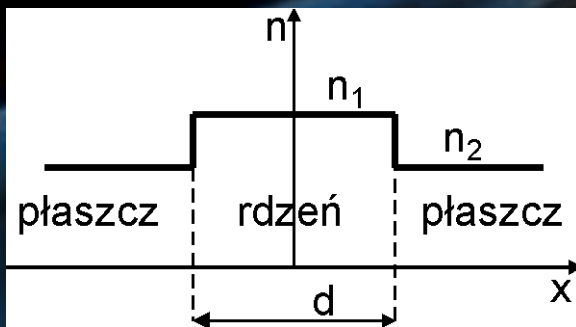
Falowody, światłowody - teoria

# Historia

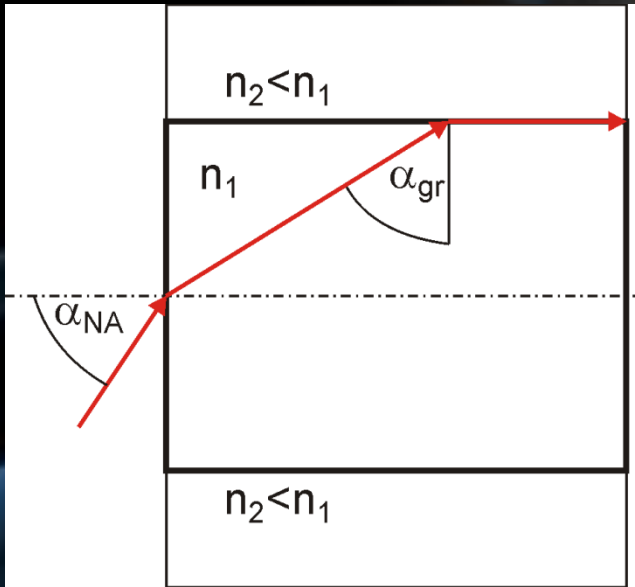


# Idealny falowód planarny - podejście geometryczne

- Zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia
- Metoda zig-zag
- Interferencyjny warunek propagacji fal w światłowodzie



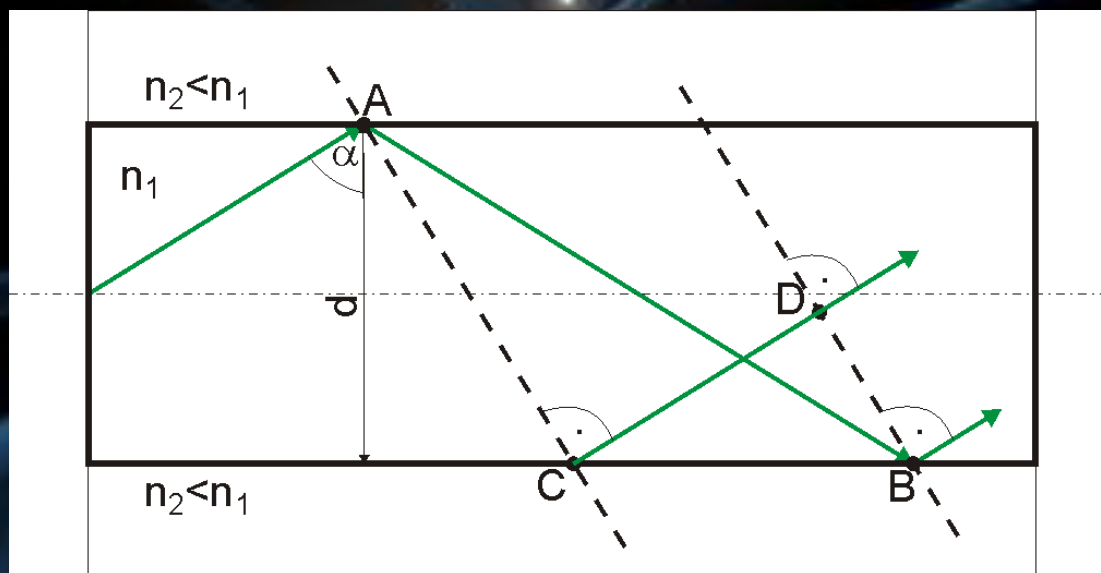
# Apertura numeryczna



$$\alpha_{NA} = \arcsin \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

$$NA = \sin \alpha_{NA} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

# Równanie charakterystyczne



Linie AC i BD - linie stałej fazy

Różnica faz fali AB i CD z uwzględnieniem skoków faz na granicach ośrodków 1-2 i 1-3 powinna wynosić krotność  $2\pi$

$$\Delta R = BA - CD = 2d \cos \alpha$$

$$\Delta \varphi = kn_1 \Delta R + 2\varphi_{12} + 2\varphi_{13} = 2m\pi$$

# Równanie charakterystyczne

## Mod TE

$$\tan \varphi_{TE} = \frac{\sqrt{n_1^2 \sin^2 \alpha - n_2^2}}{n_1 \cos \alpha}$$

$$n_1 k d \cos \alpha_m + 2 \arctan \frac{\sqrt{n_1^2 \sin^2 \alpha_m - n_2^2}}{n_1 \cos \alpha_m} = m\pi$$

$$0 \leq x = \frac{n_1^2 \sin^2 \alpha_m - n_2^2}{n_1^2 - n_2^2} \leq 1$$

$$V = k \cdot d \cdot \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = k \cdot d \cdot NA$$

$$\arcsin \frac{n_2}{n_1} \leq \alpha_m \leq 90^\circ$$

$$\alpha_m = \alpha_{gr} \rightarrow x = 0$$

$$\alpha_m = 90^\circ \rightarrow x = 1$$

$$m\pi = V \cdot \sqrt{1-x} + 2 \arctan \sqrt{\frac{x}{1-x}}$$

# Liczba modów

$$\alpha_m = \alpha_{gr} \rightarrow x = 0$$

$$\alpha_m = 90^\circ \rightarrow x = 1$$

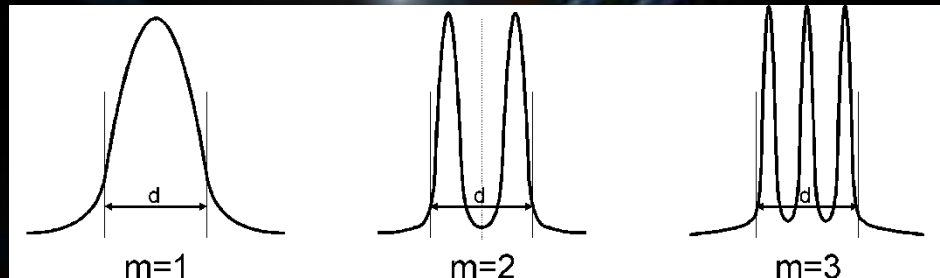
$$m\pi = V \cdot \sqrt{1-x} + 2 \arctan \sqrt{\frac{x}{1-x}}$$

$$x = 1 \rightarrow m = 1$$

$$x = 0 \rightarrow m = \frac{V}{\pi}$$

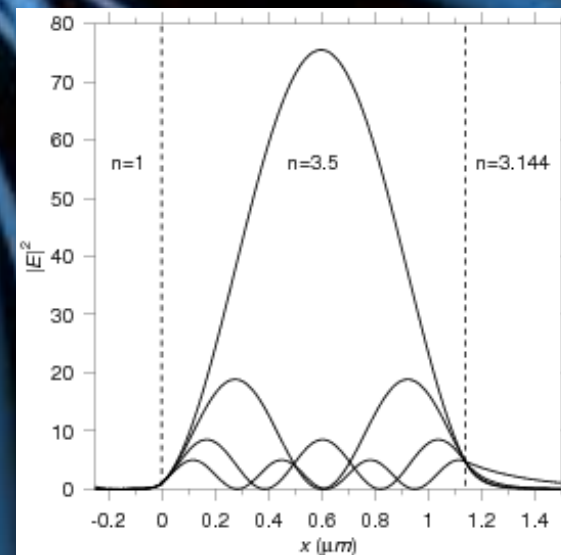
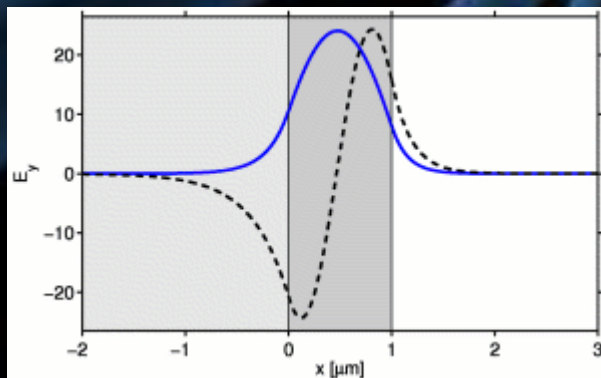
$$M = \frac{V}{\pi} = 2NA \frac{d}{\lambda}$$

# Rozkład natężenia modów falowodu



W obszarach płaszcz – zanikające funkcje typu  $\exp$

W obszarze rdzenia – kombinacje funkcji  $\sin$  i  $\cos$  z różnymi okresami (im wyższy numer modu, tym więcej oscylacji)



# Pobudzanie modów falowodu

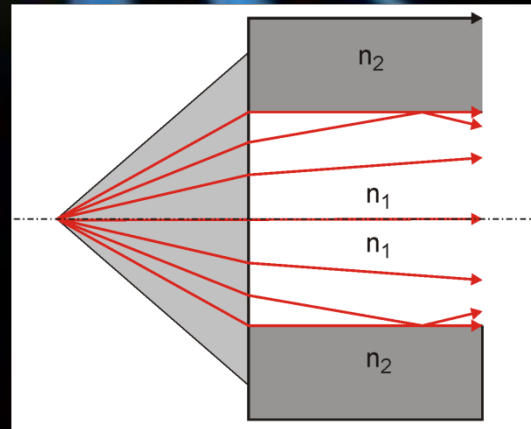
$$\vec{E}_0 = \sum_{m=1}^M A_m \vec{E}_m$$

$$A_m = \vec{E}_0 \cdot \vec{E}_m$$

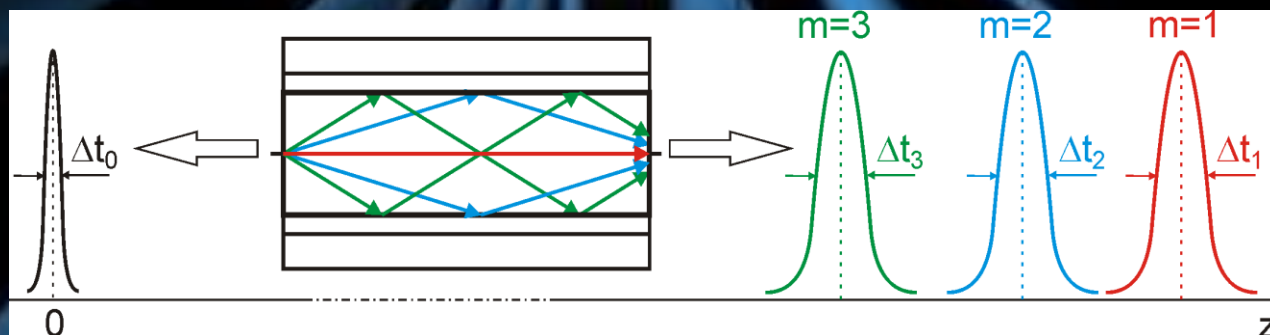
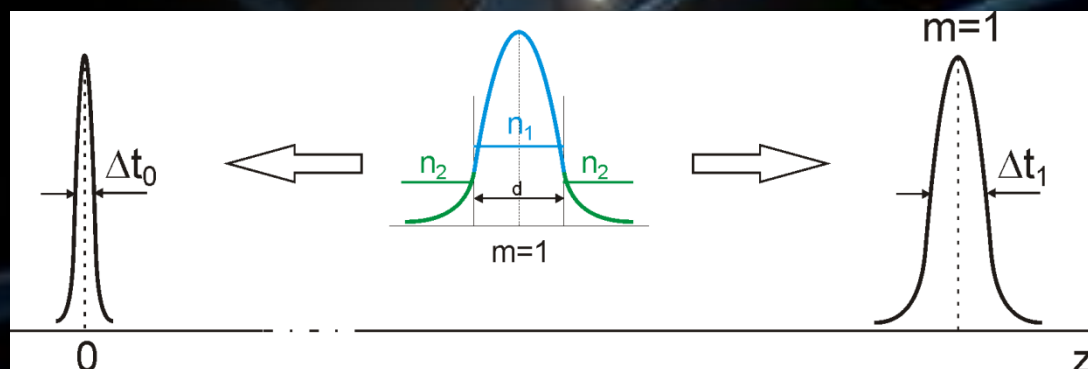
Punktowe źródło światła – suma fal płaskich propagujących pod różnymi kątami  
Przez falowód przejdą tylko fale, które na początku światłowodu biegną pod kątem

$$\beta_m = 90^\circ - \alpha_m$$

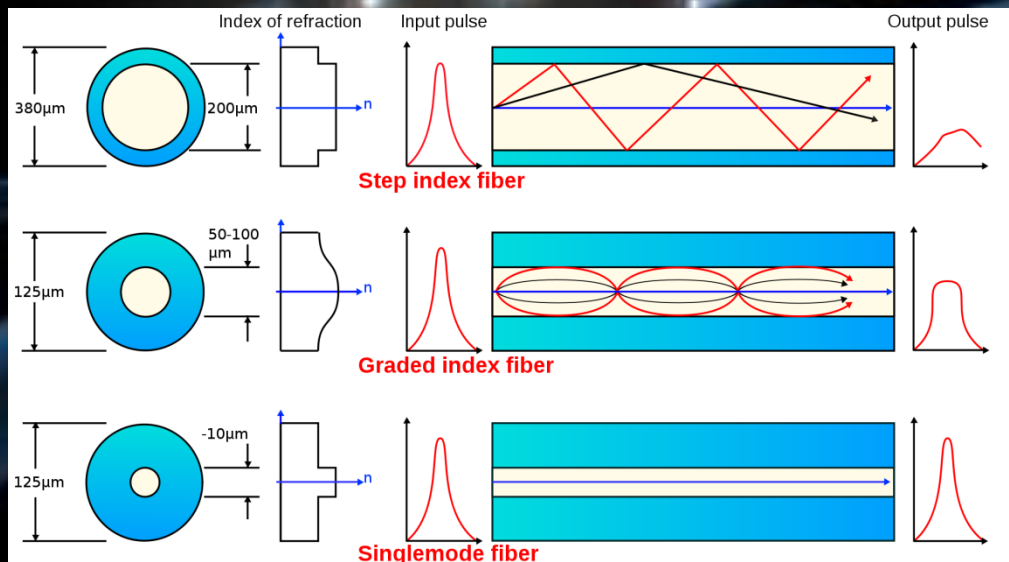
względem osi falowodu.



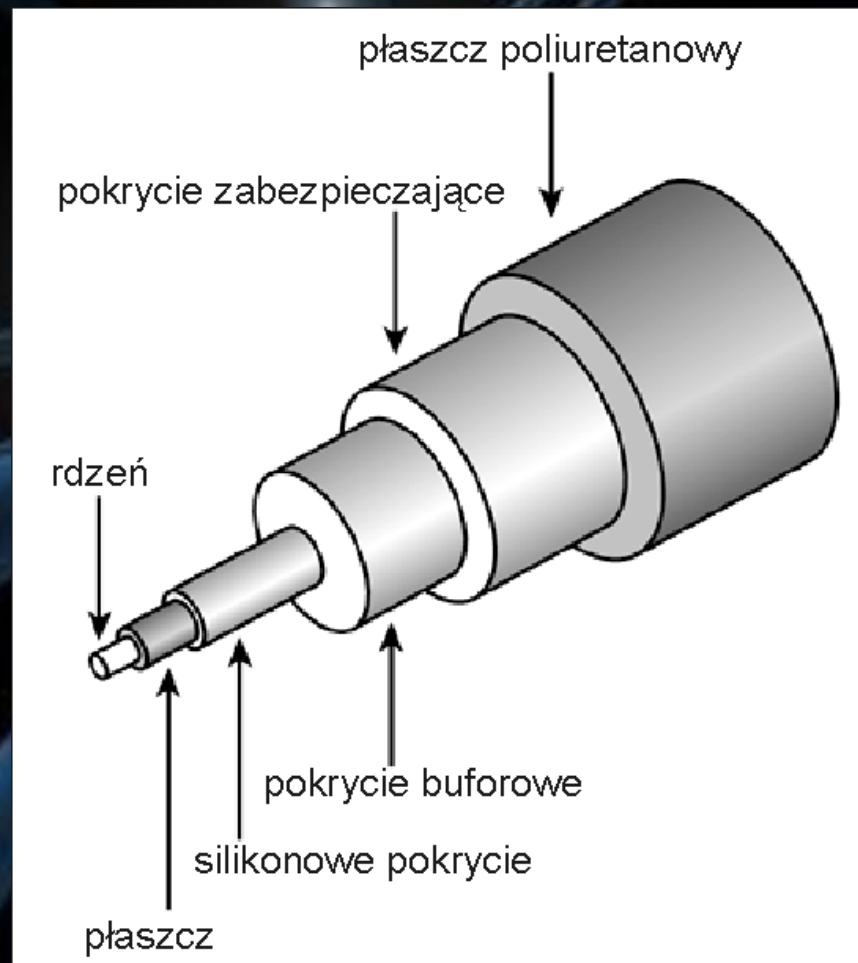
# Dyspersja modowa i międzymodowa



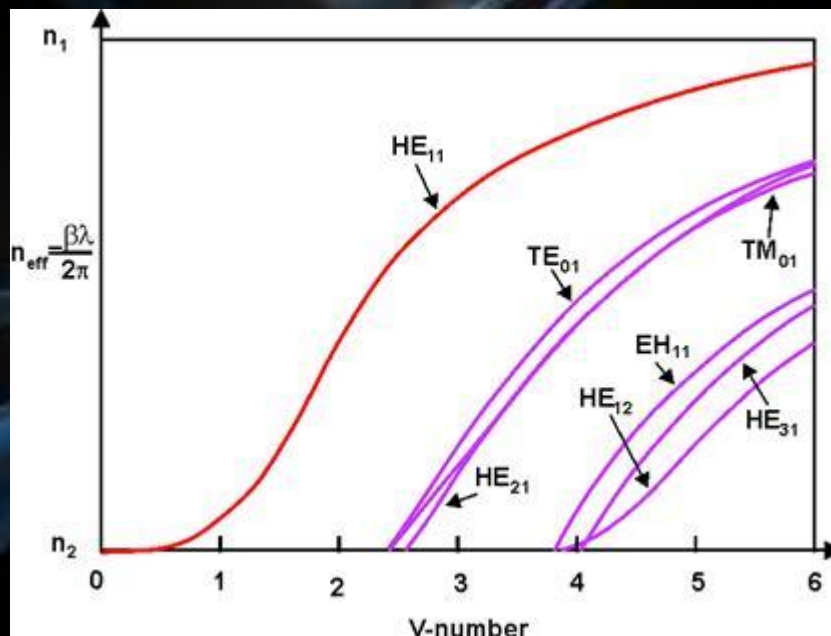
# Światłowody cylindryczne



# Struktura światłowodu



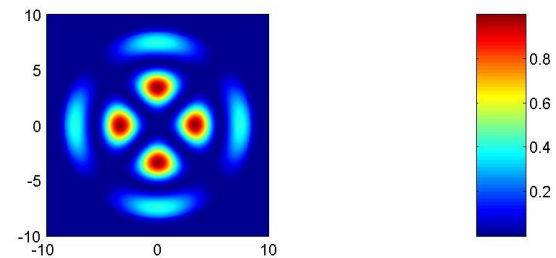
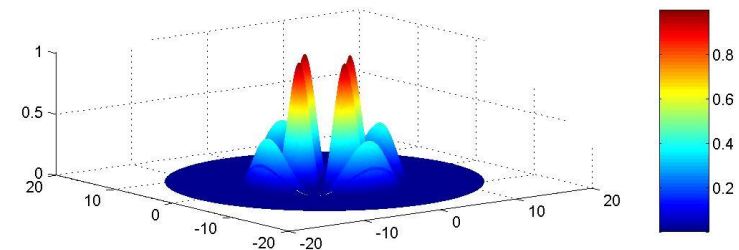
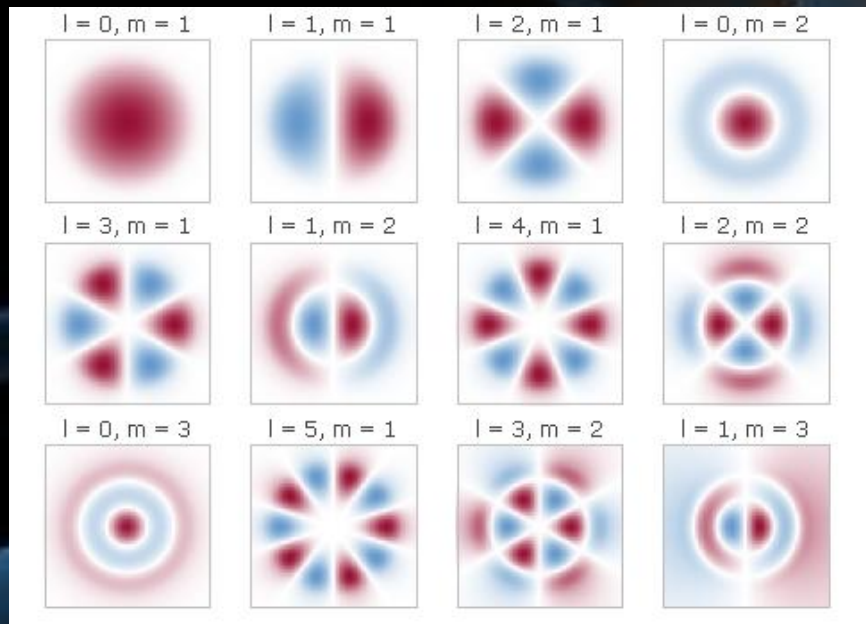
# Mody światłowodu



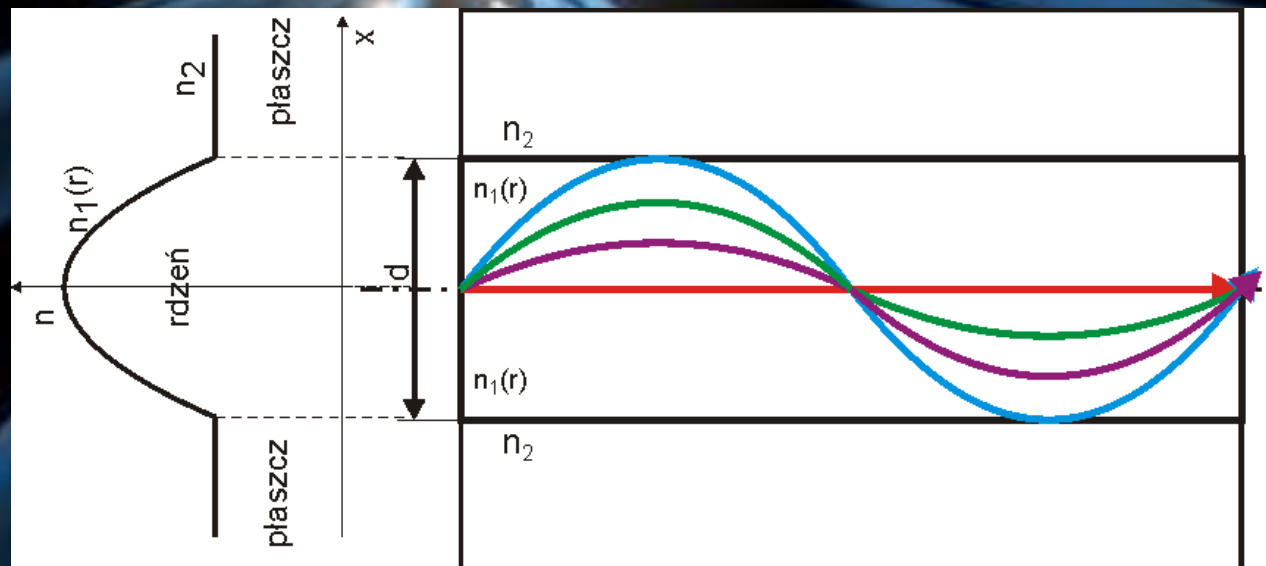
$$V = k \cdot r \cdot NA \frac{2\pi}{\lambda} \cdot r \cdot \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Reżim pracy jednomodowej:  $V < 2.405$

# Mody światłowodu

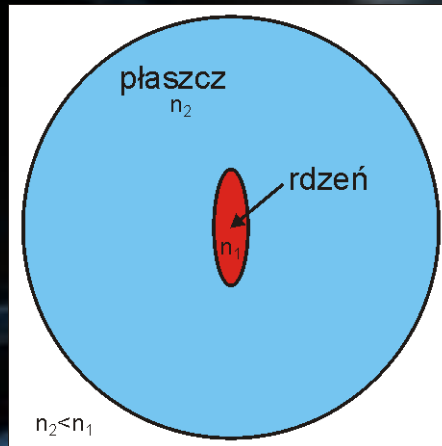


# Światłowody gradientowe

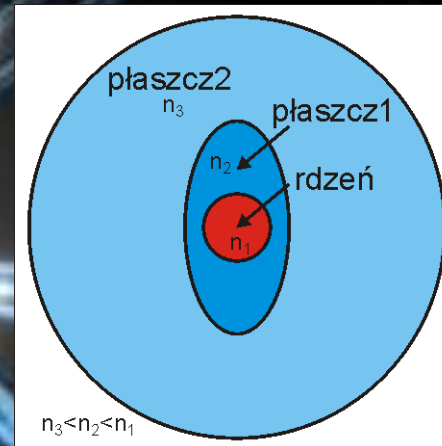


# Światłowody dwójłomne

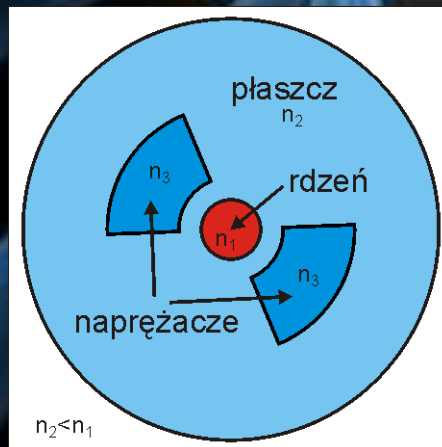
Eliptyczny rdzeń



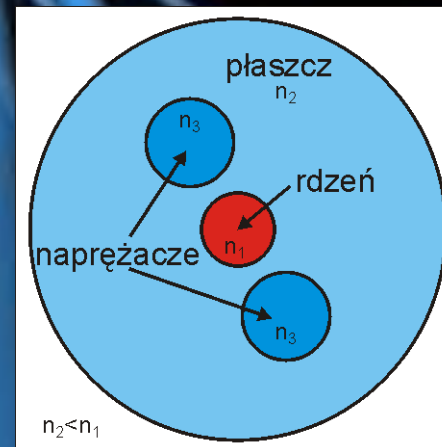
Eliptyczny płaszcz



Bow-Tie

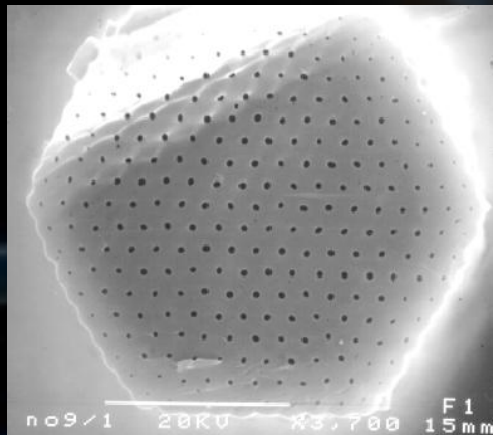


PANDA

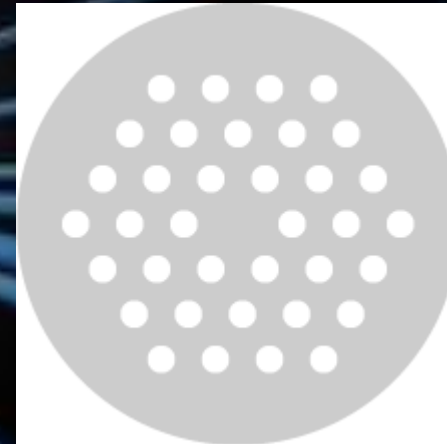


# Światłowody fotoniczne

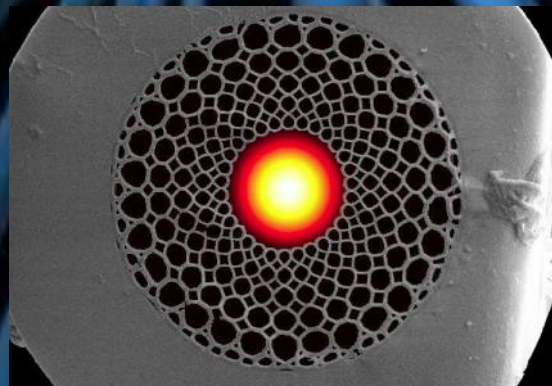
Pierwszy kryształ fotoniczny- listopad 1995



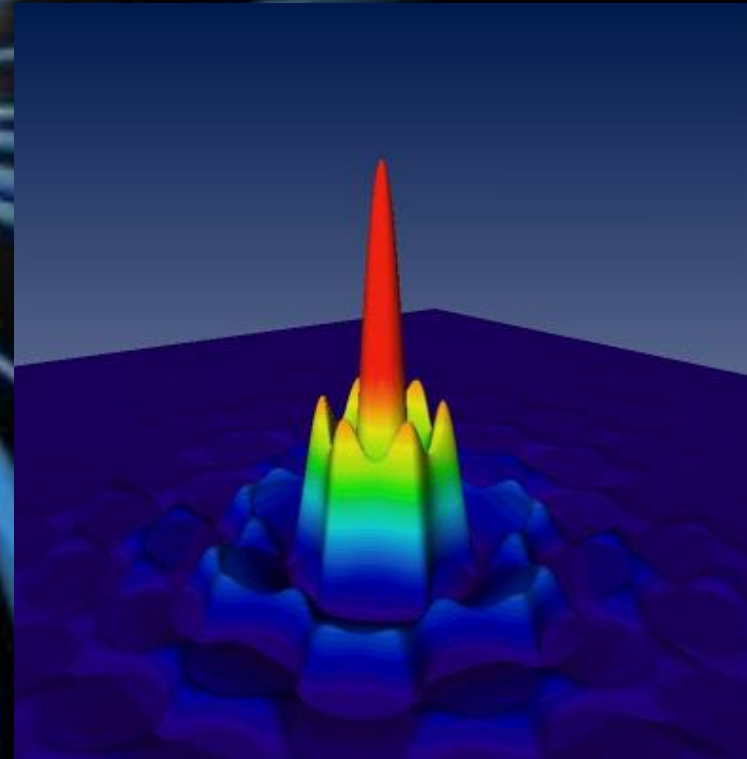
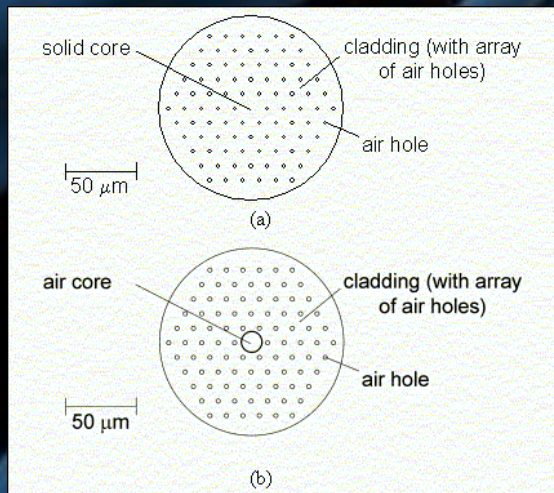
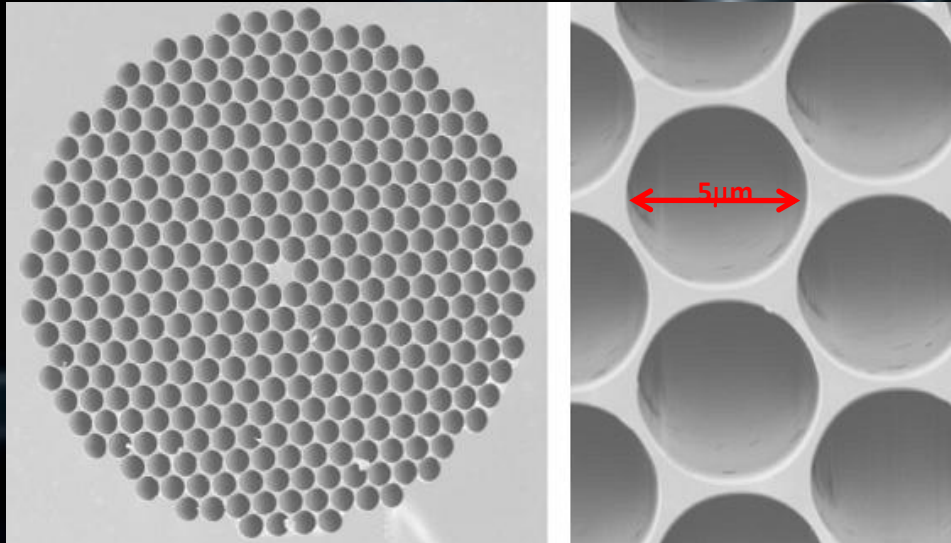
2  $\mu\text{m}$  pitch



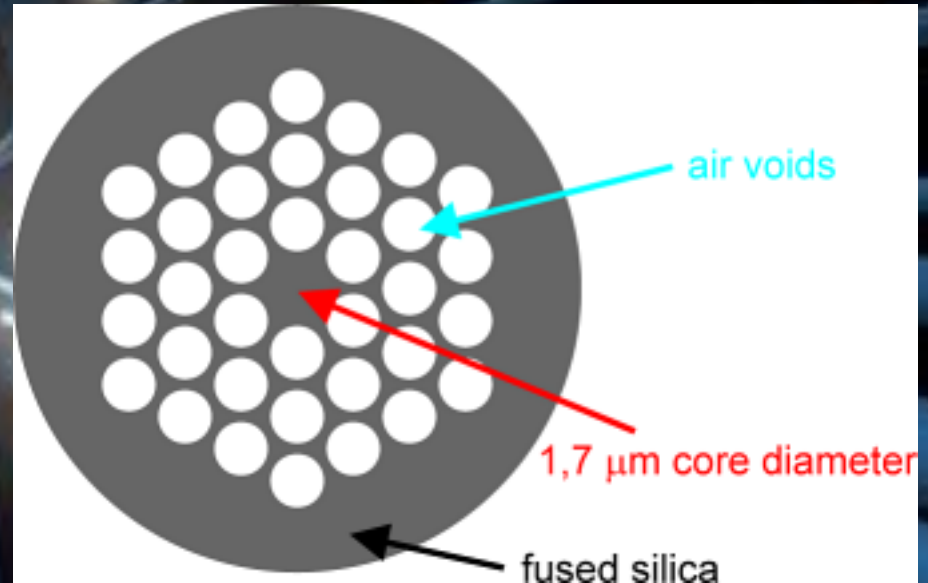
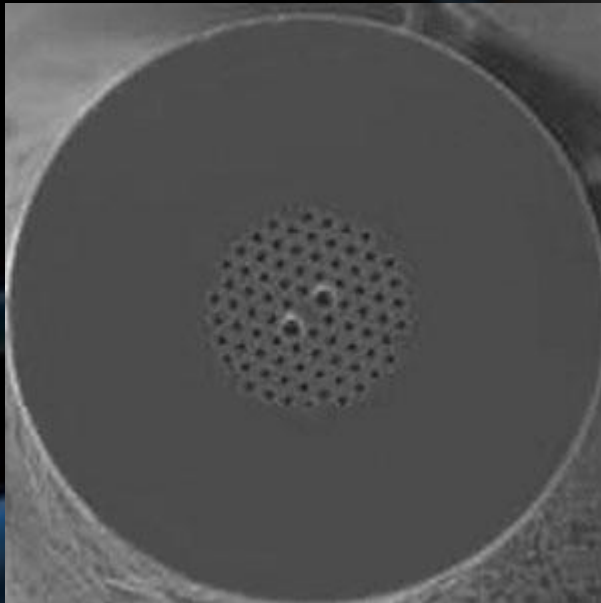
Bath University – P. St. Russell



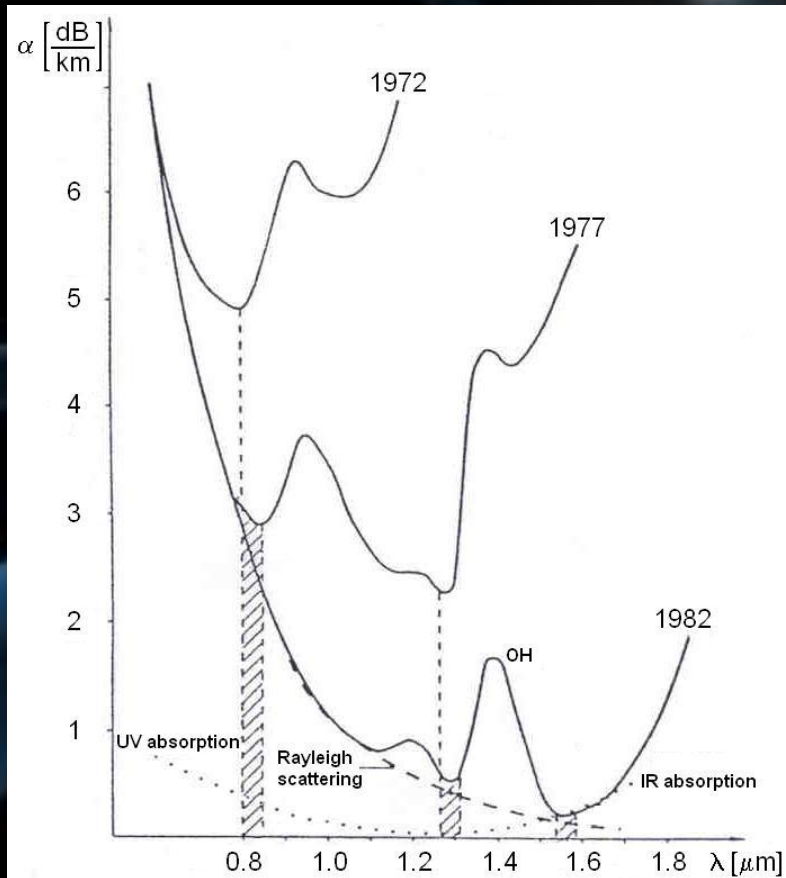
# Światłowody fotoniczne



# Światłowody fotoniczne



# Tłumienność światłowodu



$$\alpha = 10 \log_{10} \left( \frac{P_{out}}{P_{in}} \right) [dB]$$

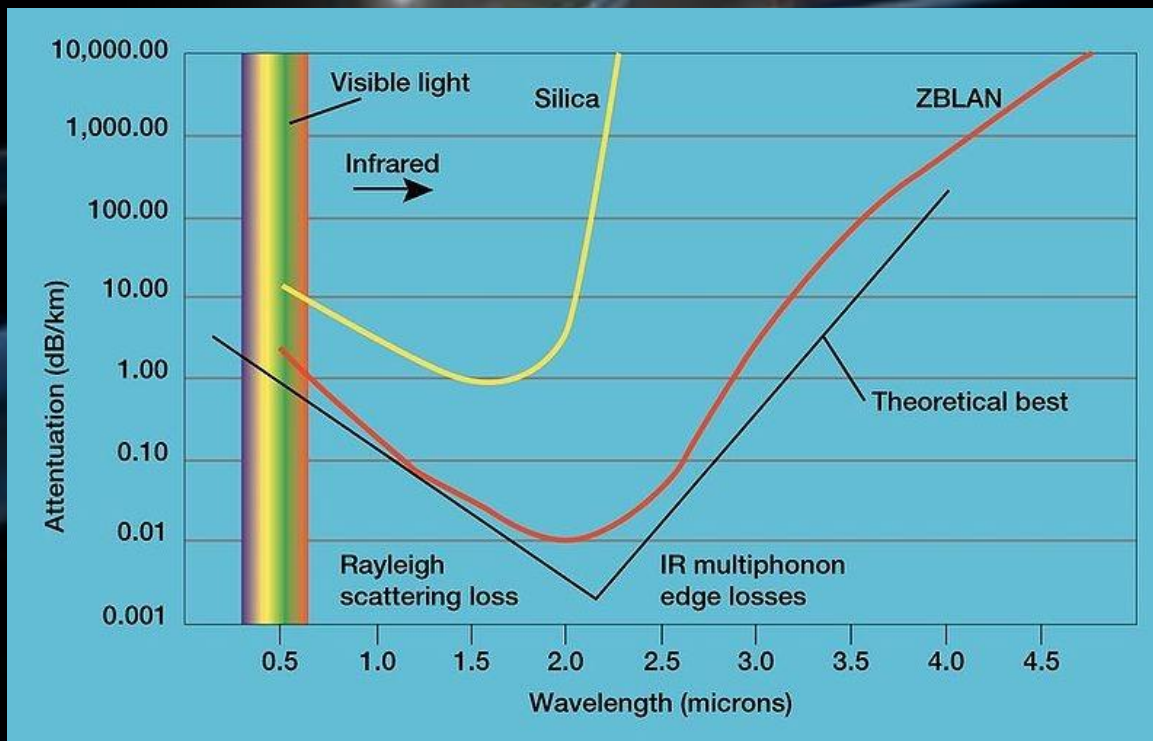
Telecommunication windows:

**1st – 0.8  $\mu\text{m}$ , 3.0 dB/km**

**2nd – 1.3  $\mu\text{m}$ , 0.33 dB/km**

**3rd – 1.55  $\mu\text{m}$ , 0.17 dB/km**

# Tłumienność światłowodu



# Zalety światłowodu

- Cena
- Kształtowanie dowolnych linii transmisyjnych
- Przepustowość
- Tłumienność
- Czynniki zewnętrzne (pole elektryczne)