

Elementy optroniki

#4

dr inż. Dawid Kucharski

Zakład Metrologii i Systemów Pomiarowych
Instytut Technologii Mechanicznej
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Politechnika Poznańska

pokój 129 CM (lab. 214, 212, 135 CM)

dawid.kucharski@put.poznan.pl

www.dawid.kucharski.pracownik.put.poznan.pl



Efekt dyfrakcji na *otworze kołowym*

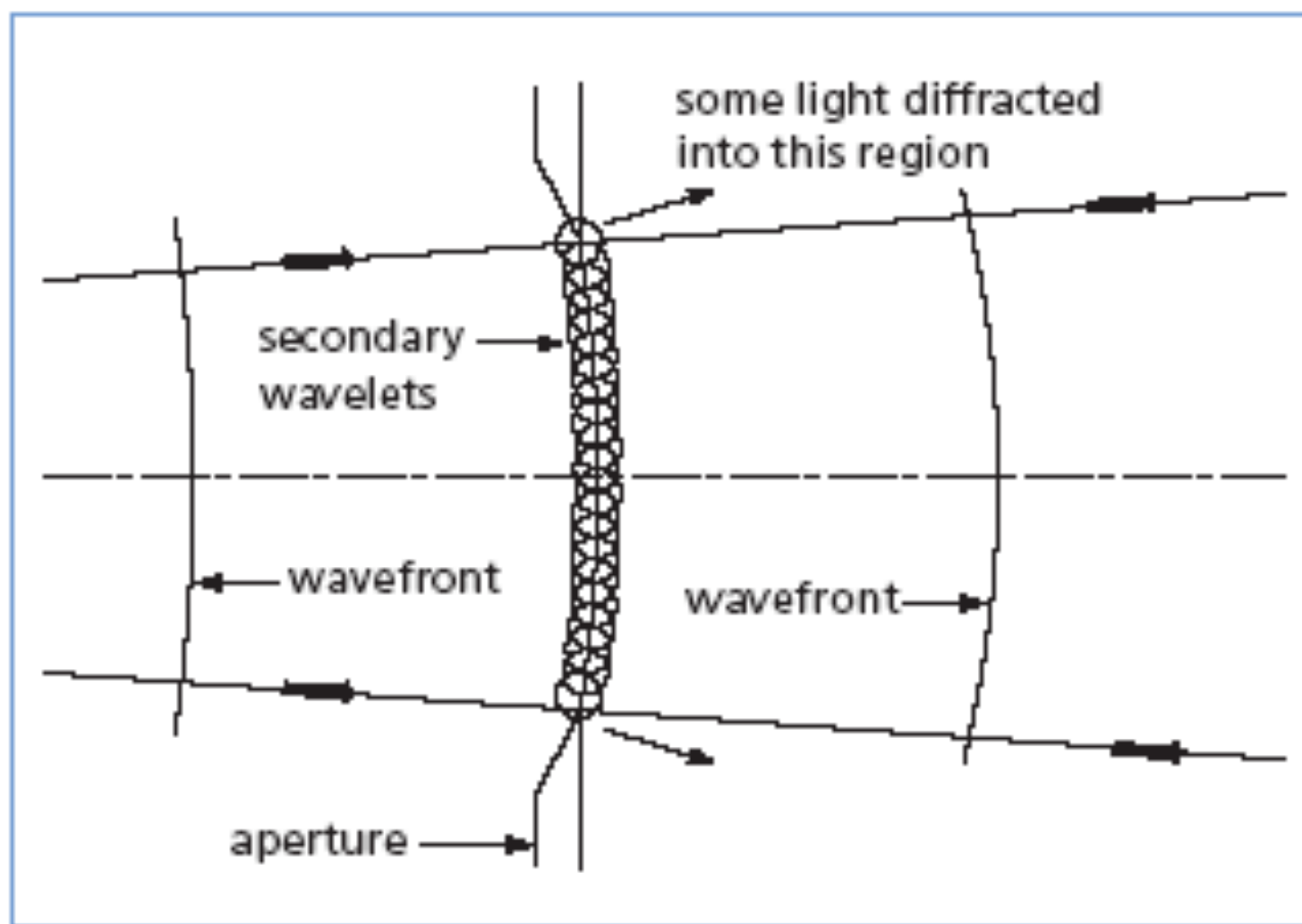


Figure 1.26 Huygens' principle

$$x = \frac{\pi \cdot D}{\lambda} \sin \theta$$

and

$$x = \frac{\pi D}{\lambda} \sin \theta$$

where

λ = wavelength

D = aperture diameter

θ = angular radius from the pattern maximum.

This useful formula shows the far-field irradiance distribution from a uniformly illuminated circular aperture of diameter D .

$$I_x = I_0 \left[\frac{2J_1(x)}{x} \right]^2$$

J - funkcja Bessela

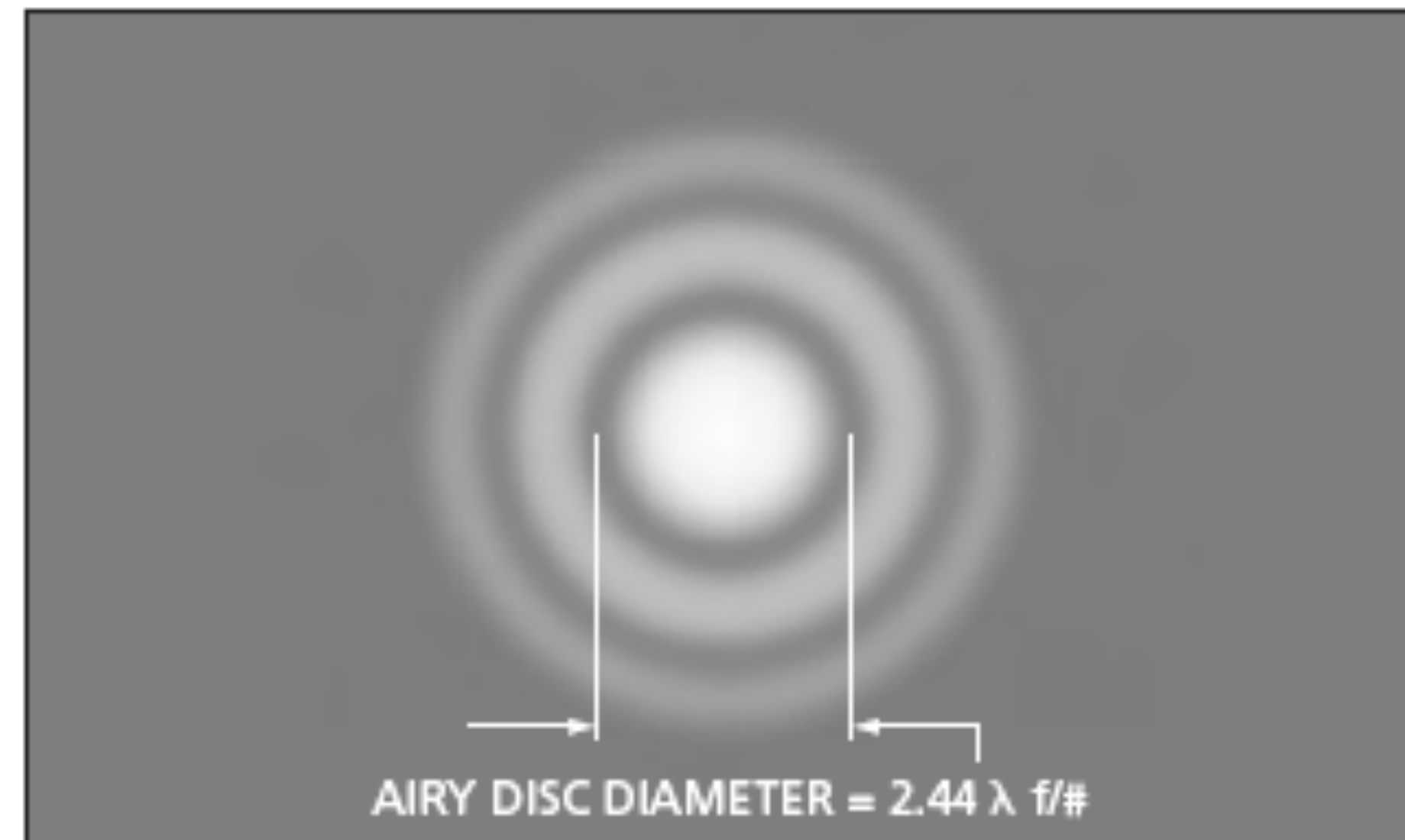


Figure 1.27 Center of a typical diffraction pattern for a circular aperture

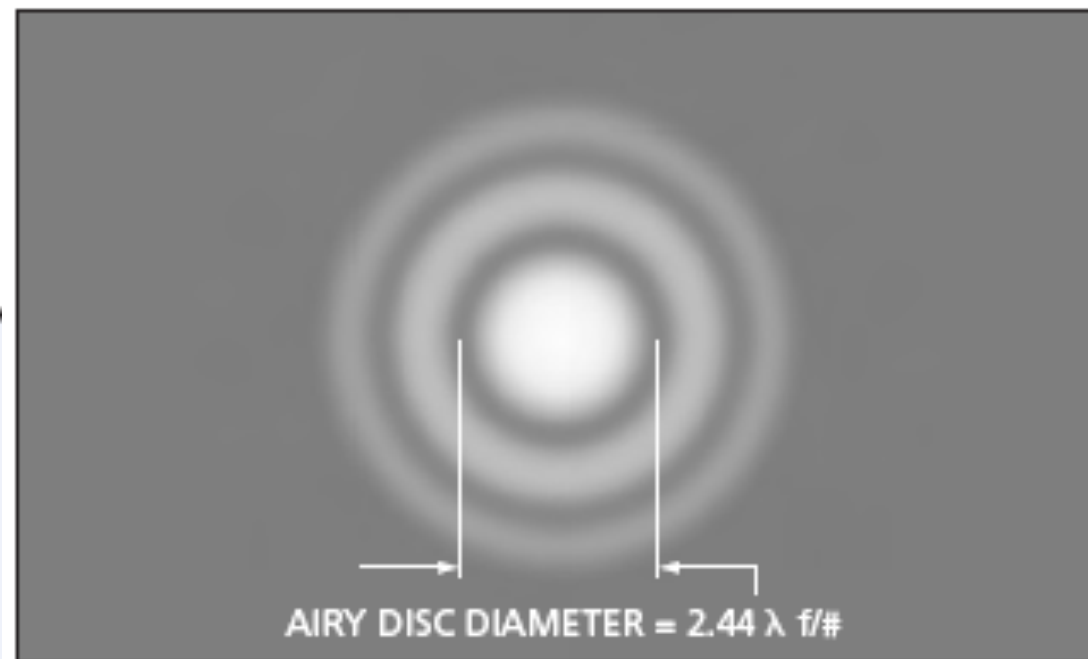


Figure 1.27 Center of a typical diffraction pattern for a circular aperture

Circular Aperture			
Ring or Band	Position (x)	Relative Intensity (I_x/I_0)	Energy in Ring (%)
Central Maximum	0.0	1.0	83.8
First Dark	1.22π	0.0	
First Bright	1.64π	0.0175	7.2
Second Dark	2.23π	0.0	
Second Bright	2.68π	0.0042	2.8
Third Dark	3.24π	0.0	
Third Bright	3.70π	0.0016	1.5
Fourth Dark	4.24π	0.0	
Fourth Bright	4.71π	0.0008	1.0
Fifth Dark	5.24π	0.0	

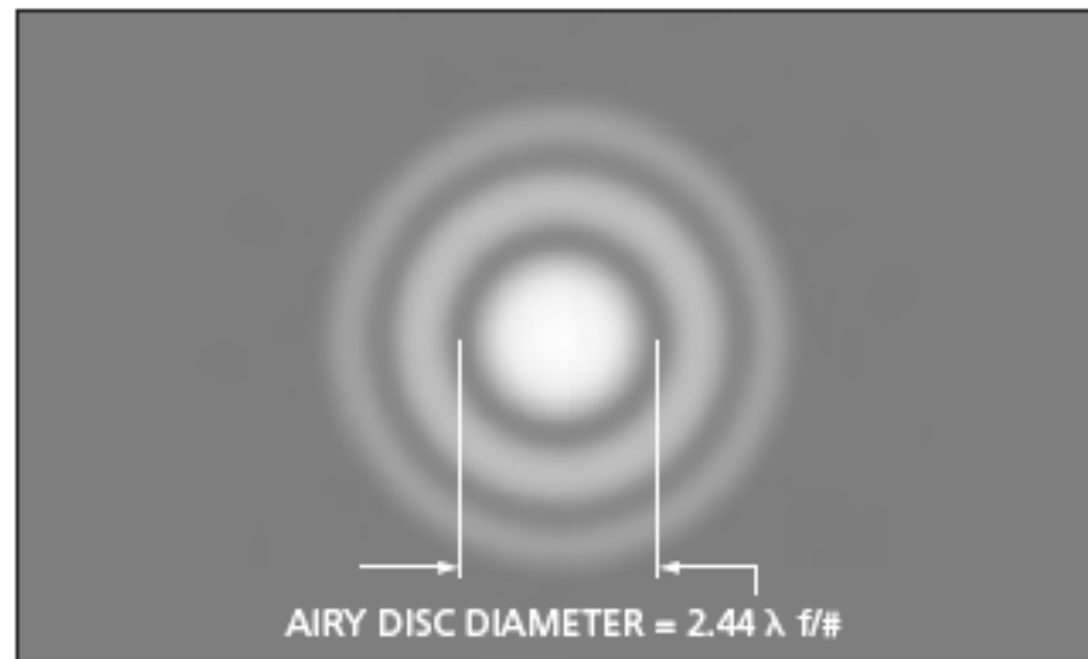


Figure 1.27 Center of a typical diffraction pattern for a circular aperture

APPLICATION NOTE

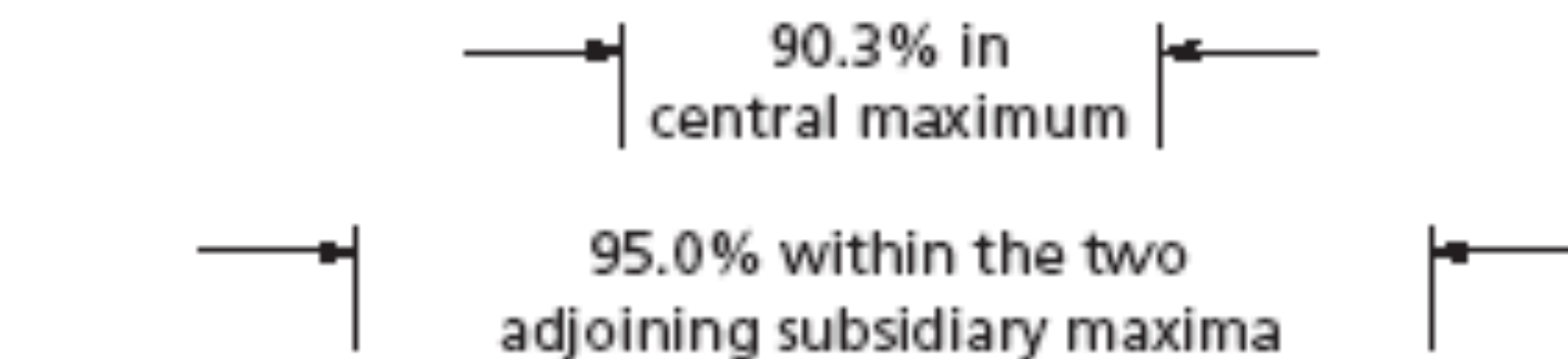
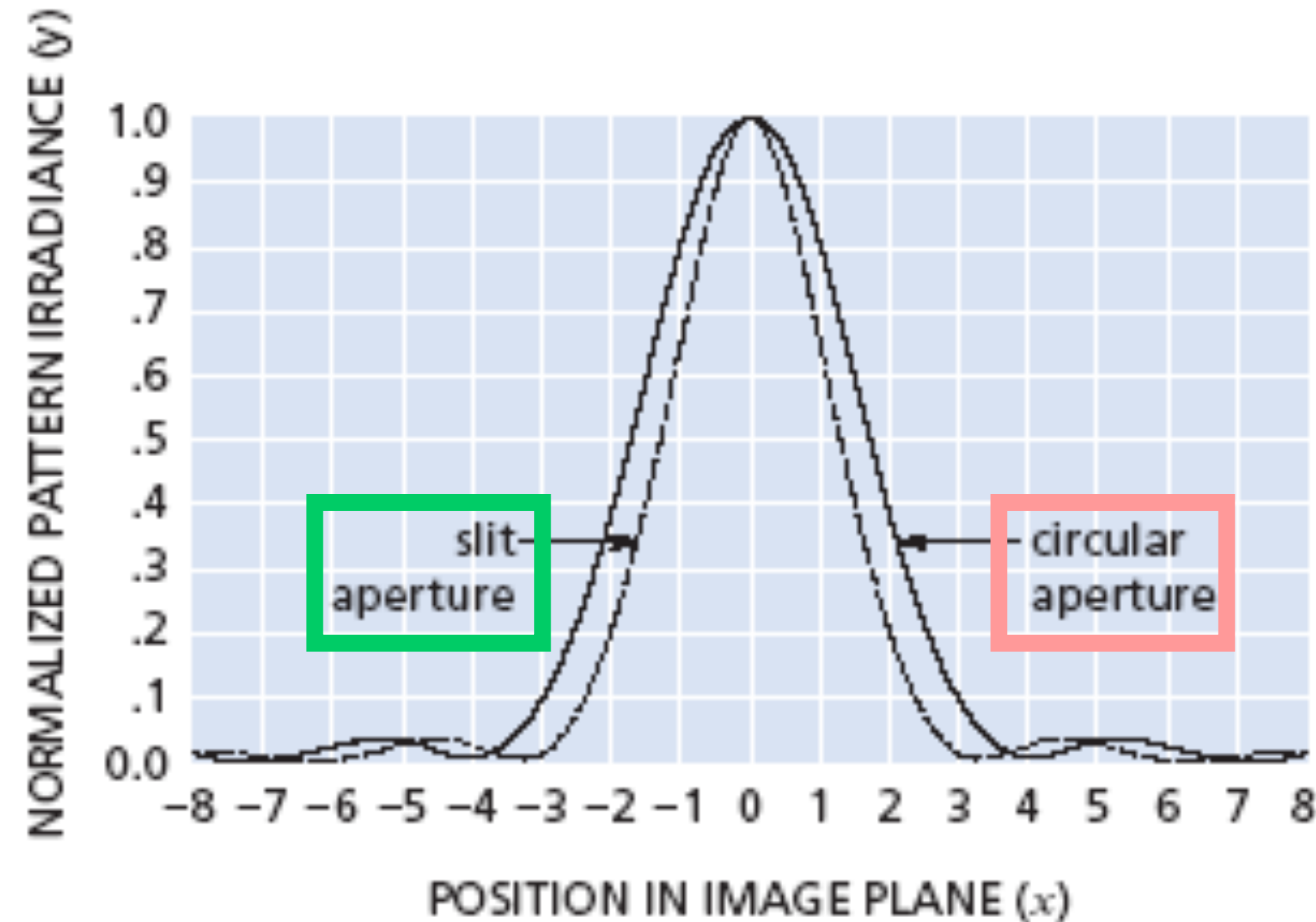
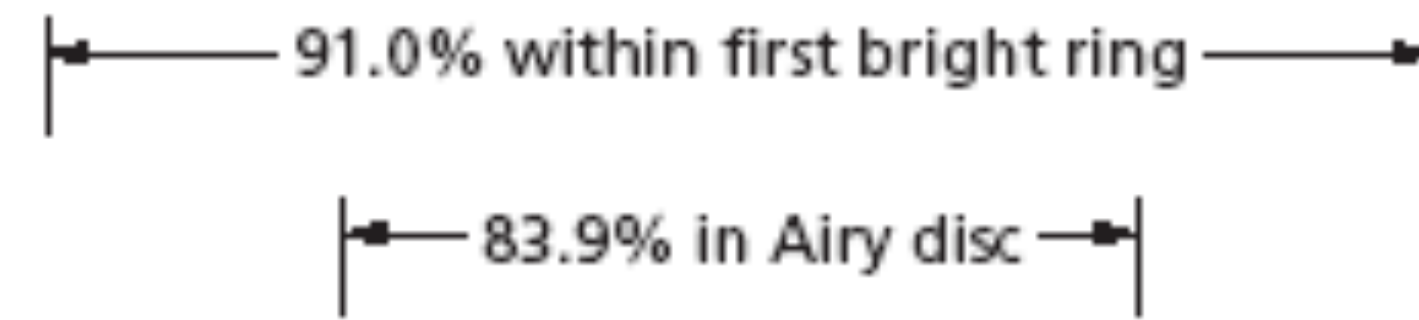
Rayleigh Criterion

In imaging applications, spatial resolution is ultimately limited by diffraction. Calculating the maximum possible spatial resolution of an optical system requires an arbitrary definition of what is meant by resolving two features. In the Rayleigh criterion, it is assumed that two separate point sources can be resolved when the center of the Airy disc from one overlaps the first dark ring in the diffraction pattern of the second. In this case, the

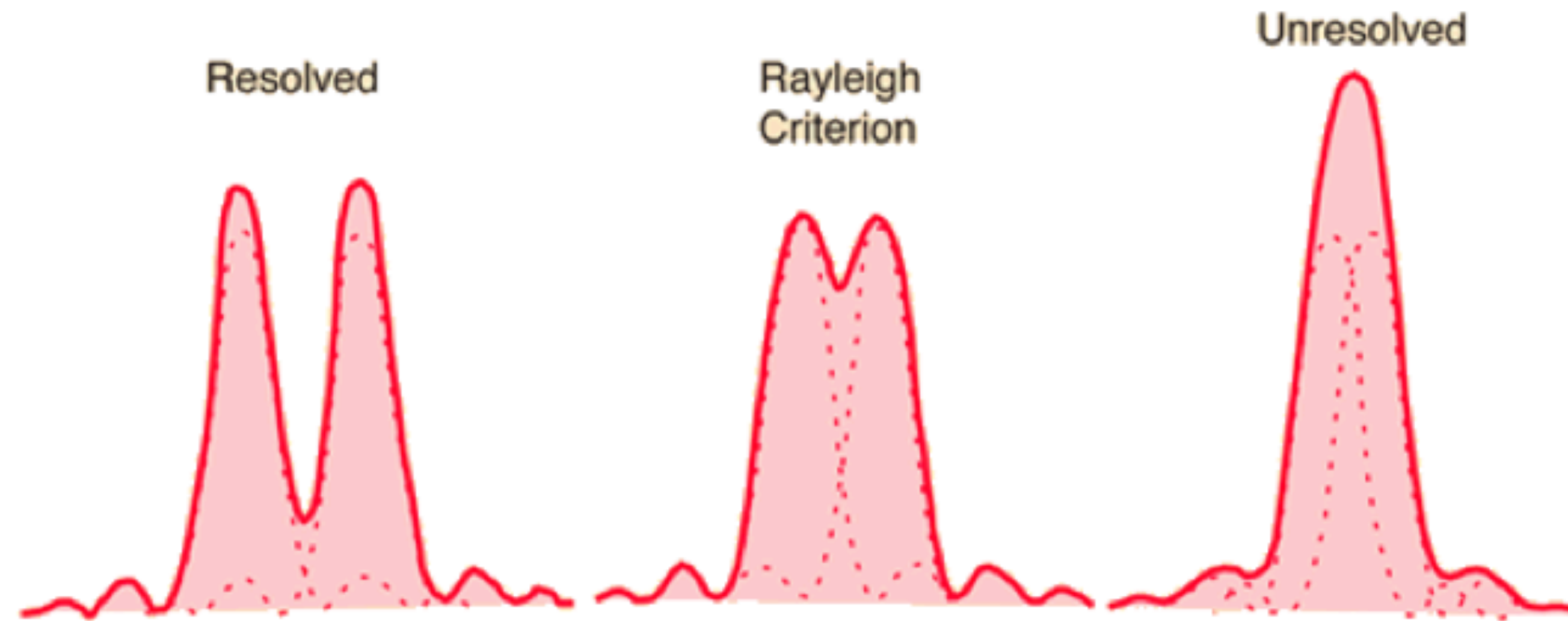
smallest resolvable distance, d , is

$$d = \frac{0.61\lambda}{NA} = 1.22\lambda(f/\#)$$

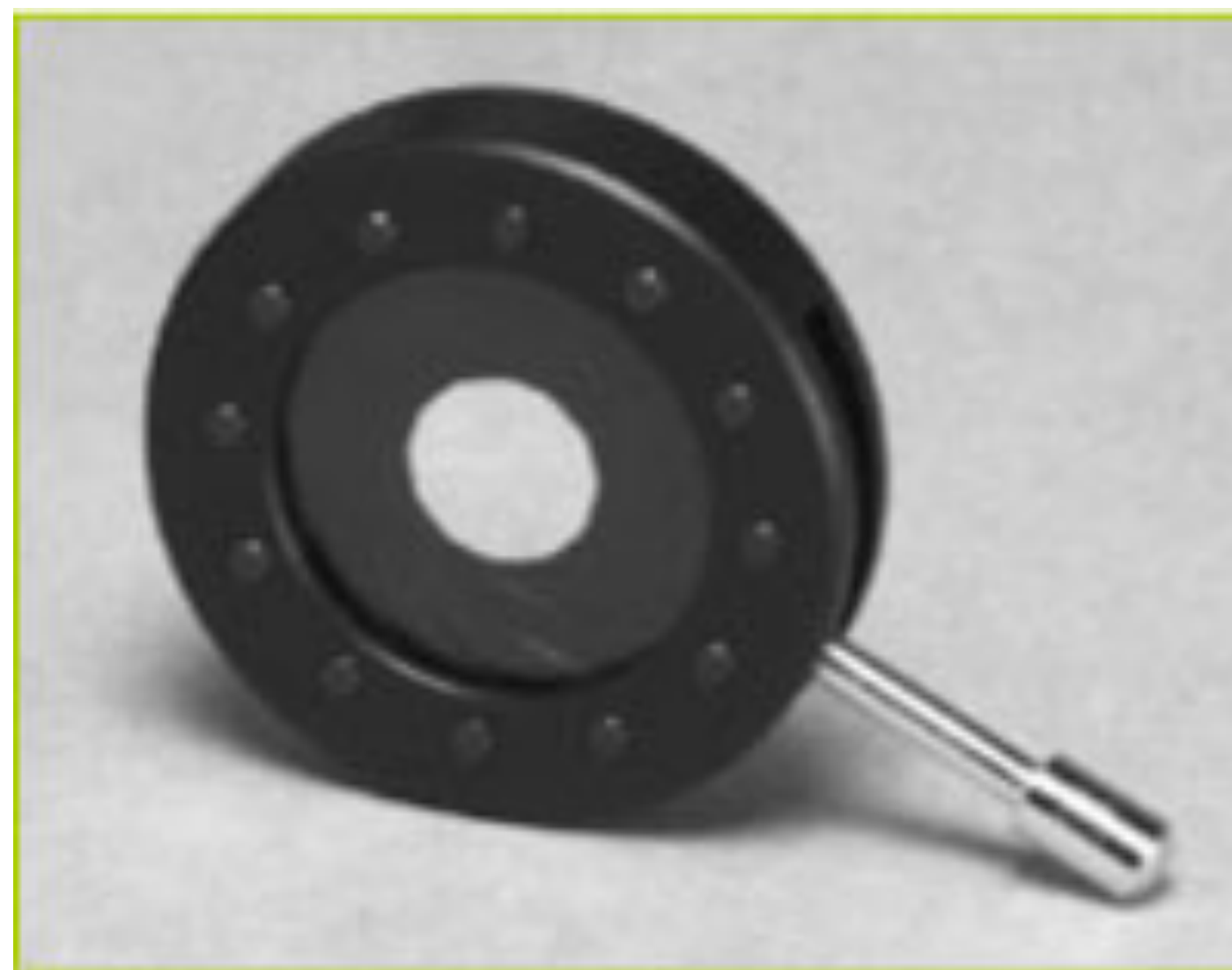
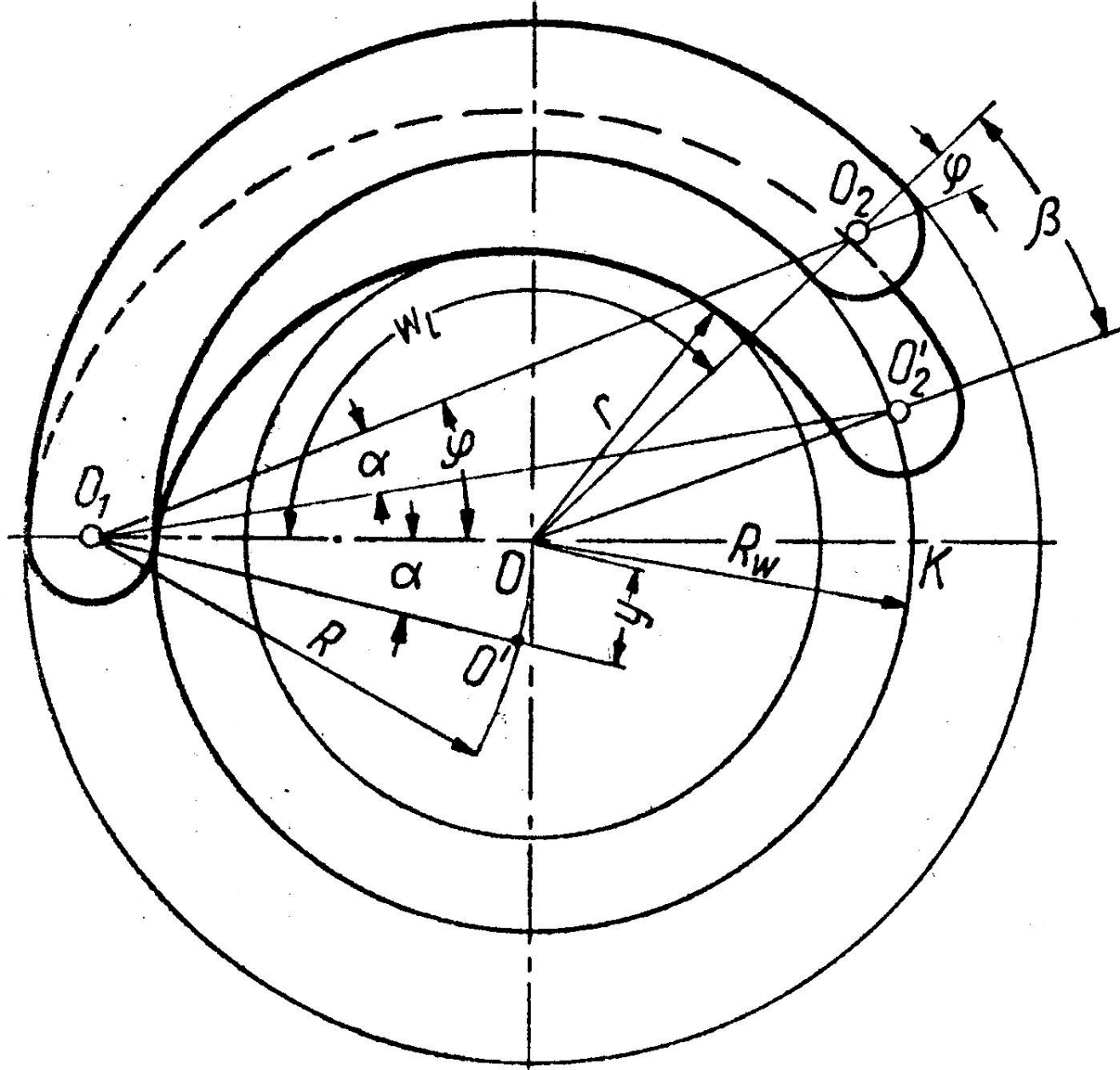
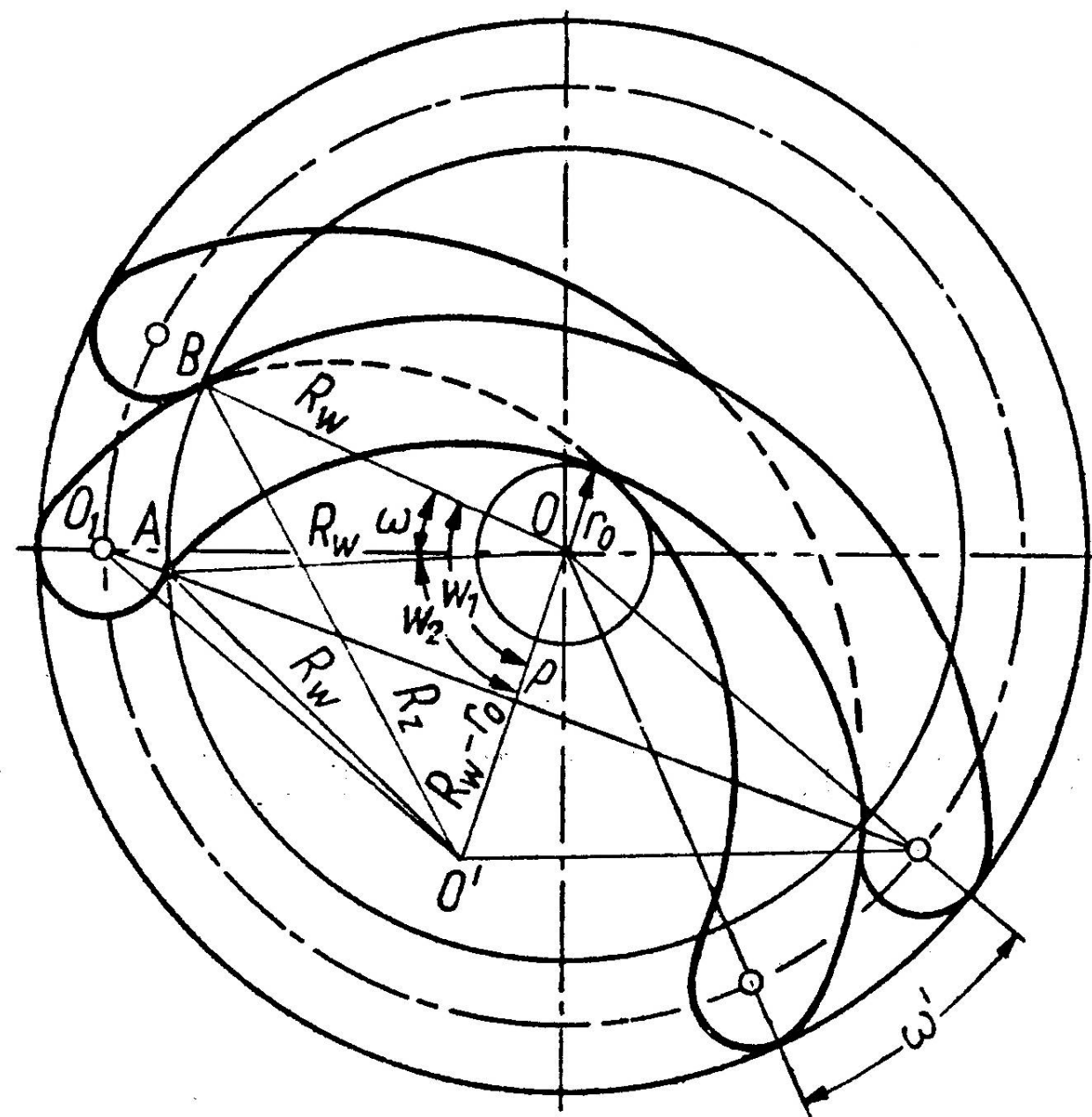
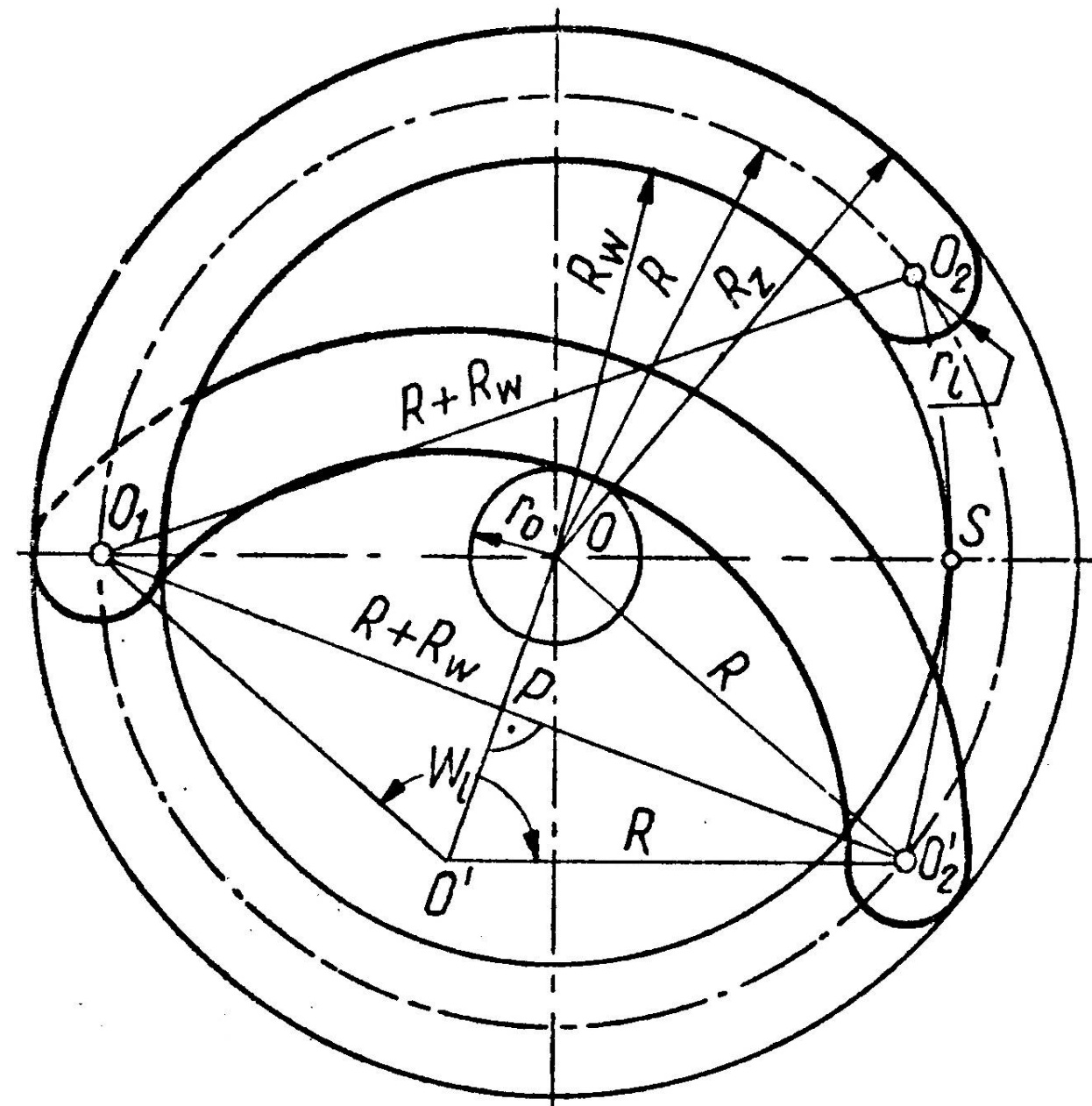
CIRCULAR APERTURE



SLIT APERTURE



$\sin \theta_R = \frac{\lambda}{d}$	$\sin \theta_R = 1.22 \frac{\lambda}{d}$
Single slit	Circular aperture



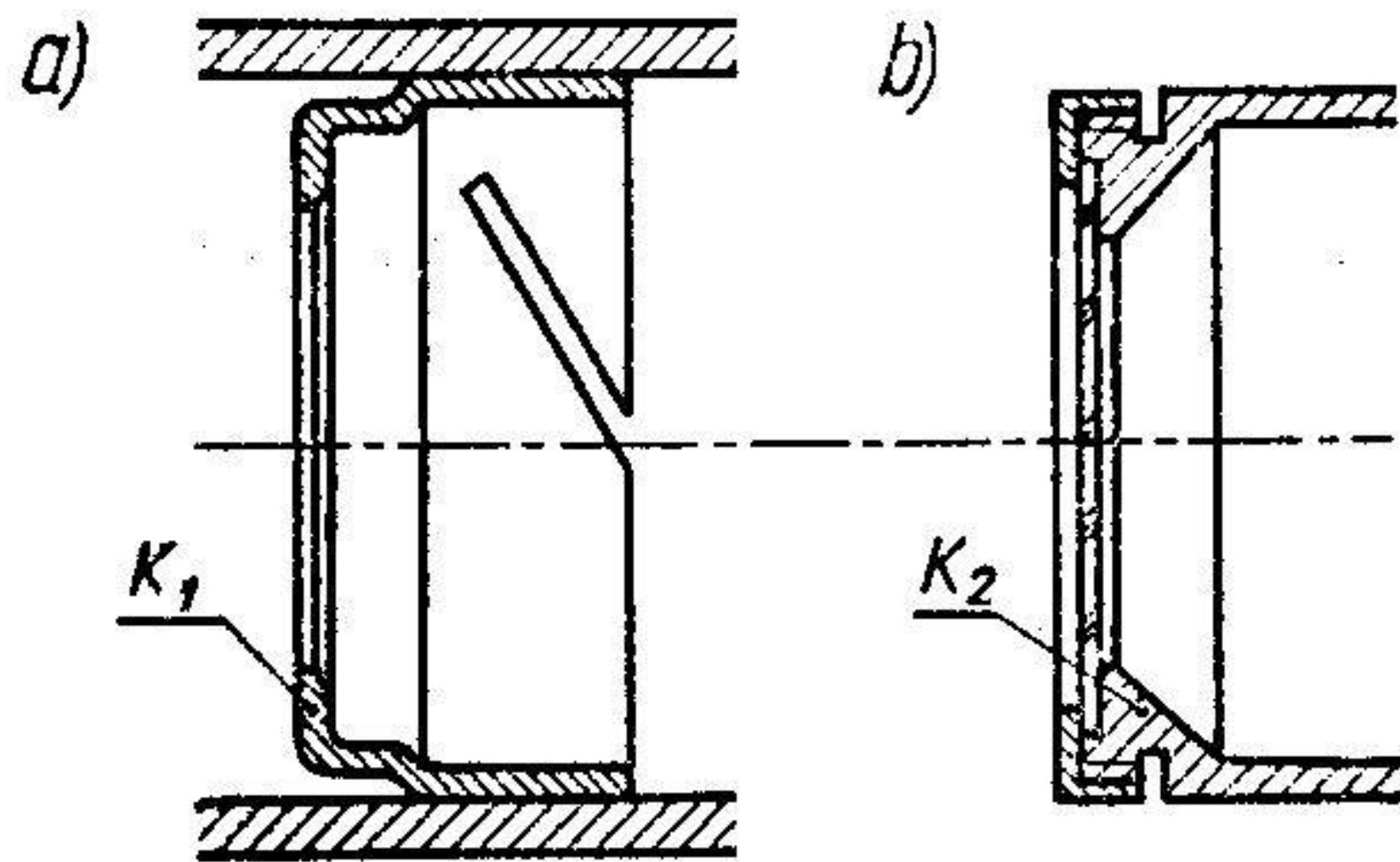
przykładowa specyfikacja:

średnica maksymalna: 5 mm

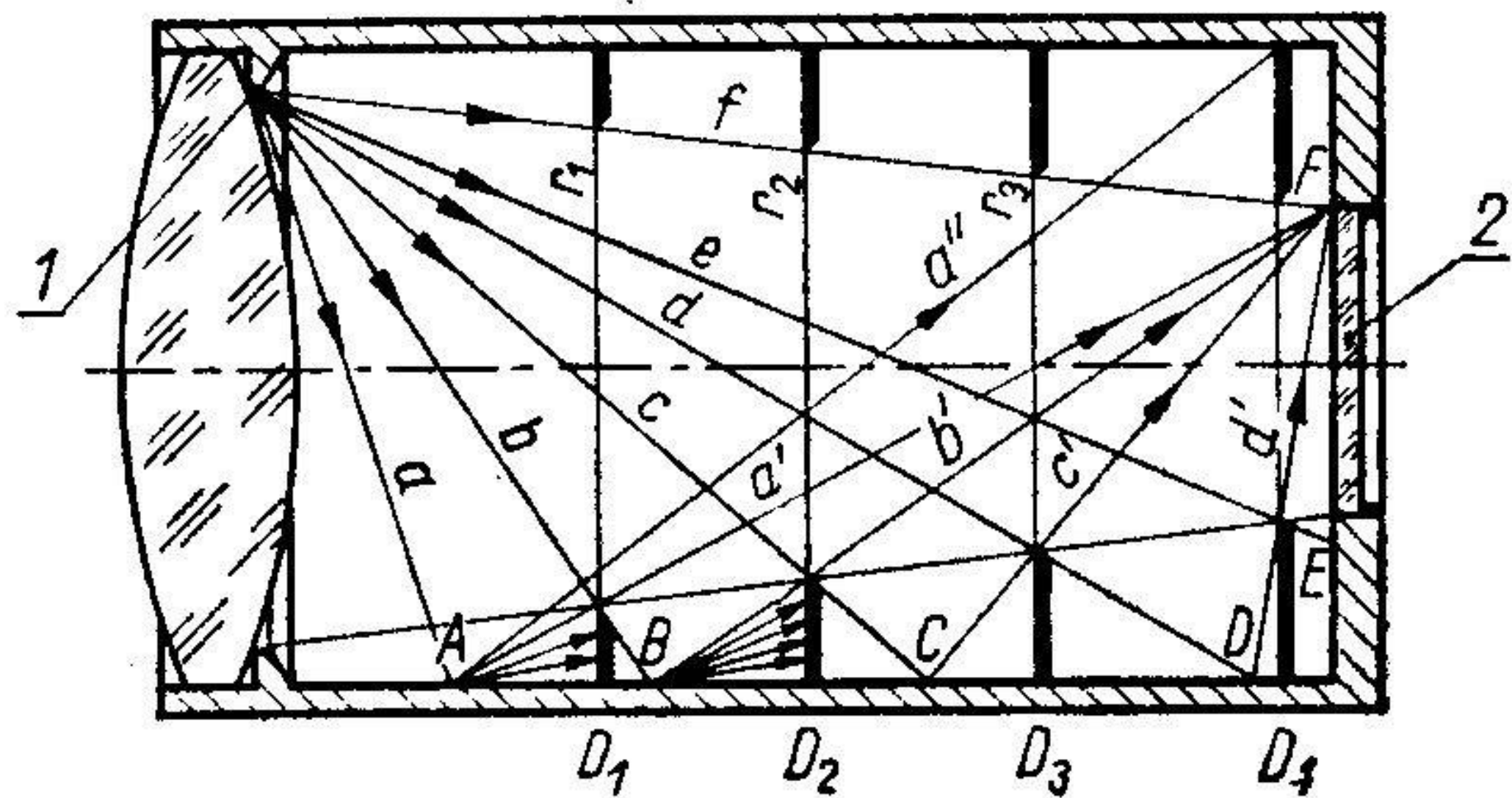
średnica minimalna: 0,5 mm

liczba łukowych listków: 8

Rys. 3.5. Schematy pomocnicze do konstrukcji przystony irysowej



Rys. 3.1. Konstrukcje przyston stałych: a) przystona wciskana w rurkę, b) przystona stała z płytką ogniskową



Rys. 3.2. Schemat konstrukcji układu przyston przeciwodblaskowych

Efekt dyfrakcji na *szczelinie*

$$I_x = I_0 \left[\frac{2J_1(x)}{x} \right]^2$$

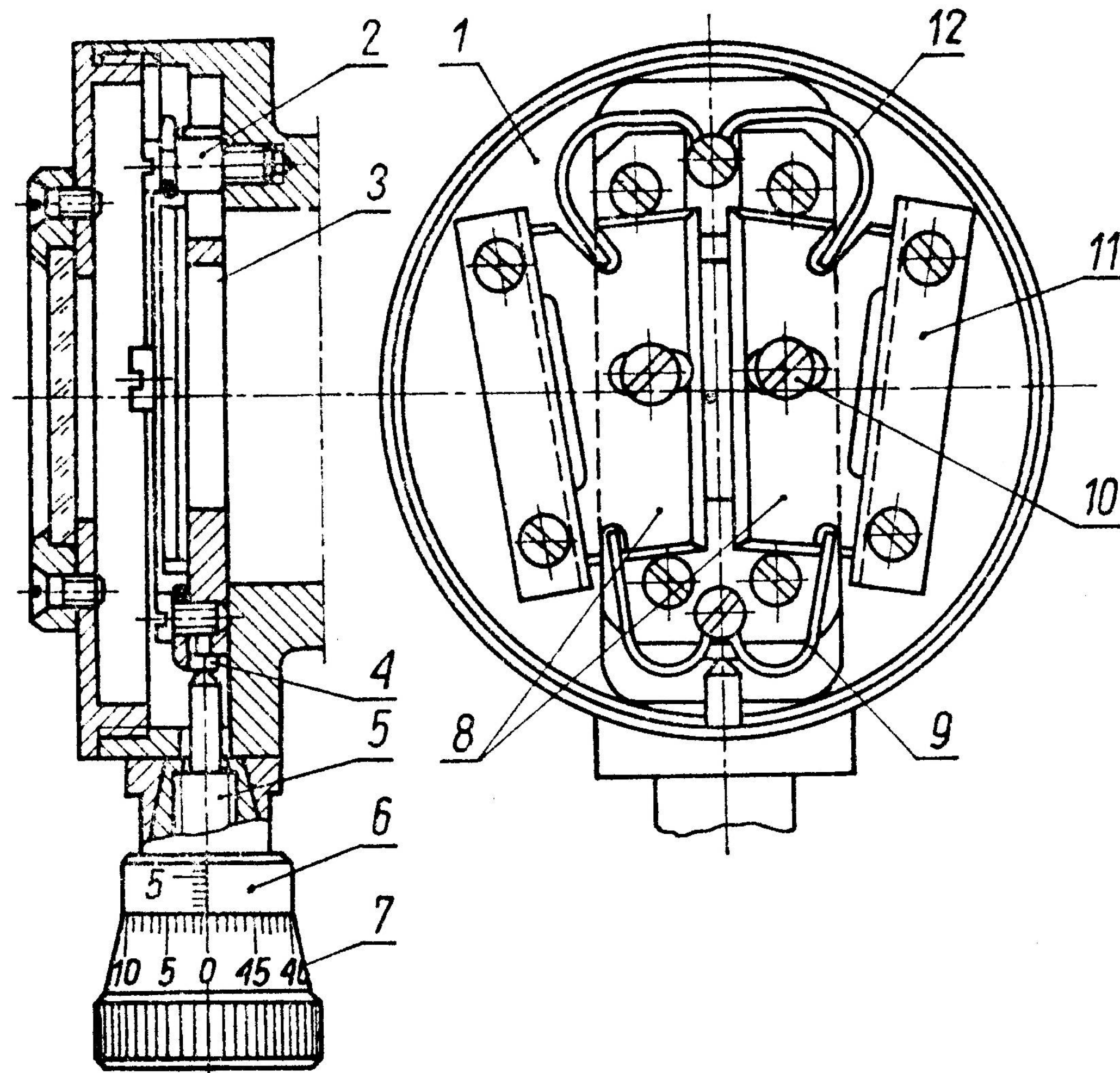
λ - długość fali

w - szerokość szczeliny

Θ - kątowe odchylenie od maksimum

$$x = \frac{\pi w \sin \Theta}{\lambda}$$

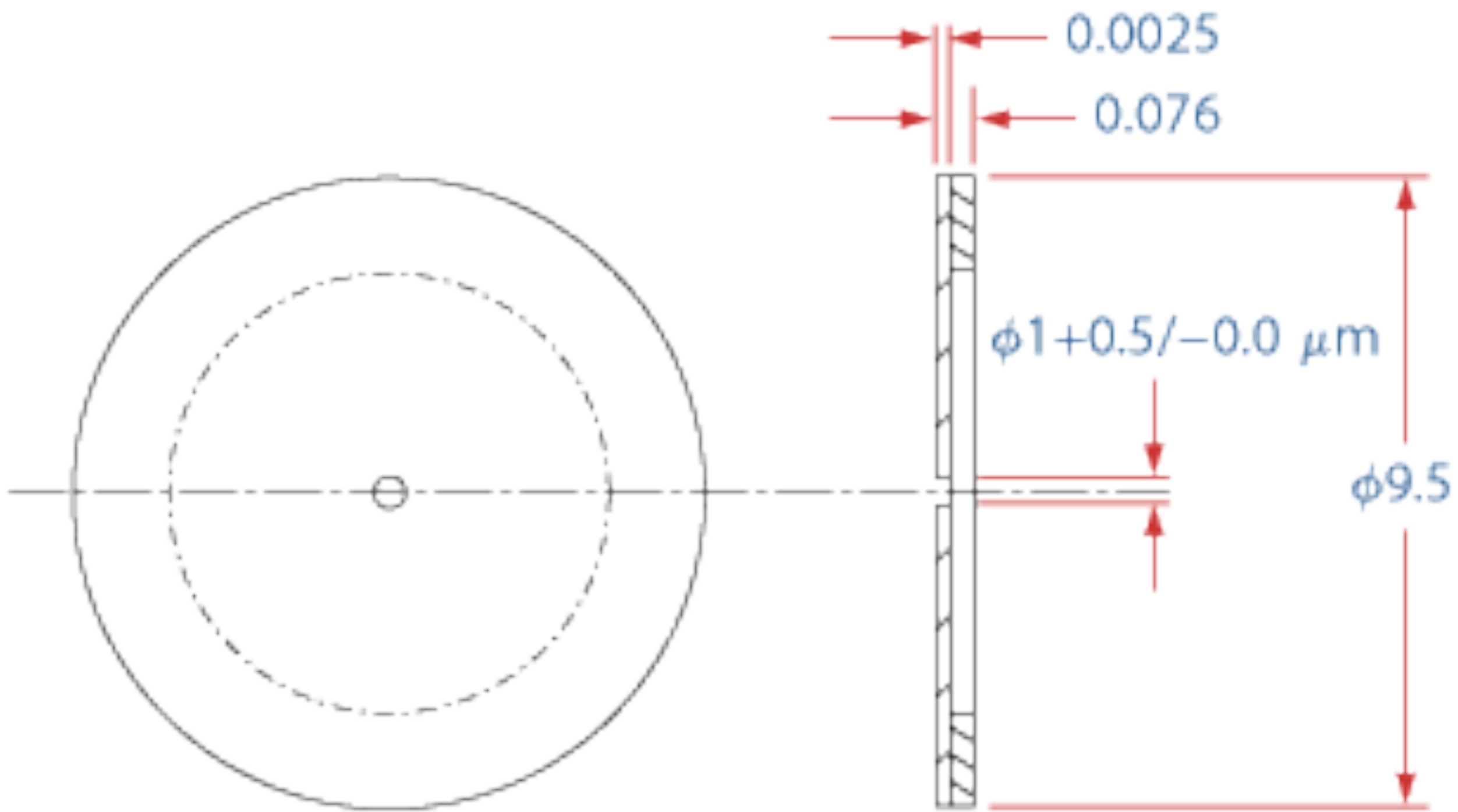
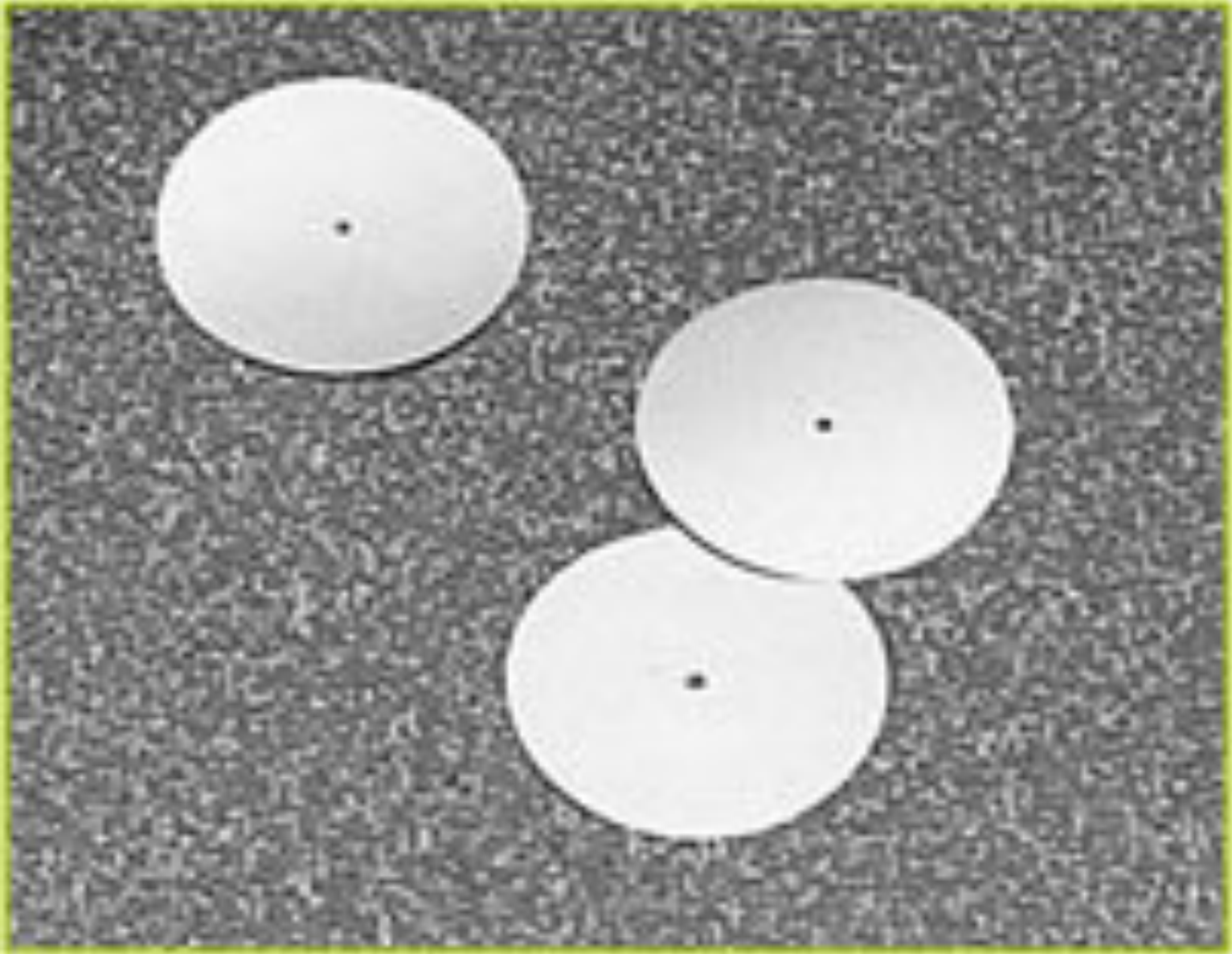
Ring or Band	Slit Aperture		
	Position (x)	Relative Intensity (I_x/I_0)	Energy in Band (%)
Central Maximum	0.0	1.0	90.3
First Dark	1.00π	0.0	
First Bright	1.43π	0.0472	4.7
Second Dark	2.00π	0.0	
Second Bright	2.46π	0.0165	1.7
Third Dark	3.00π	0.0	
Third Bright	3.47π	0.0083	0.8
Fourth Dark	4.00π	0.0	
Fourth Bright	4.48π	0.0050	0.5
Fifth Dark	5.00π	0.0	



- 1 – kadłub,
- 2 – wkręt,
- 3 – suwak,
- 4 – kowadełko,
- 5- śruba mikrometryczna,
- 6 – tuleja z podziałką liniową,
- 7- bęben pomiarowy,
- 8 – szczeki,
- 9,12 – sprężyny,
- 10 – wkręty,
- 11 – skośne prowadnice

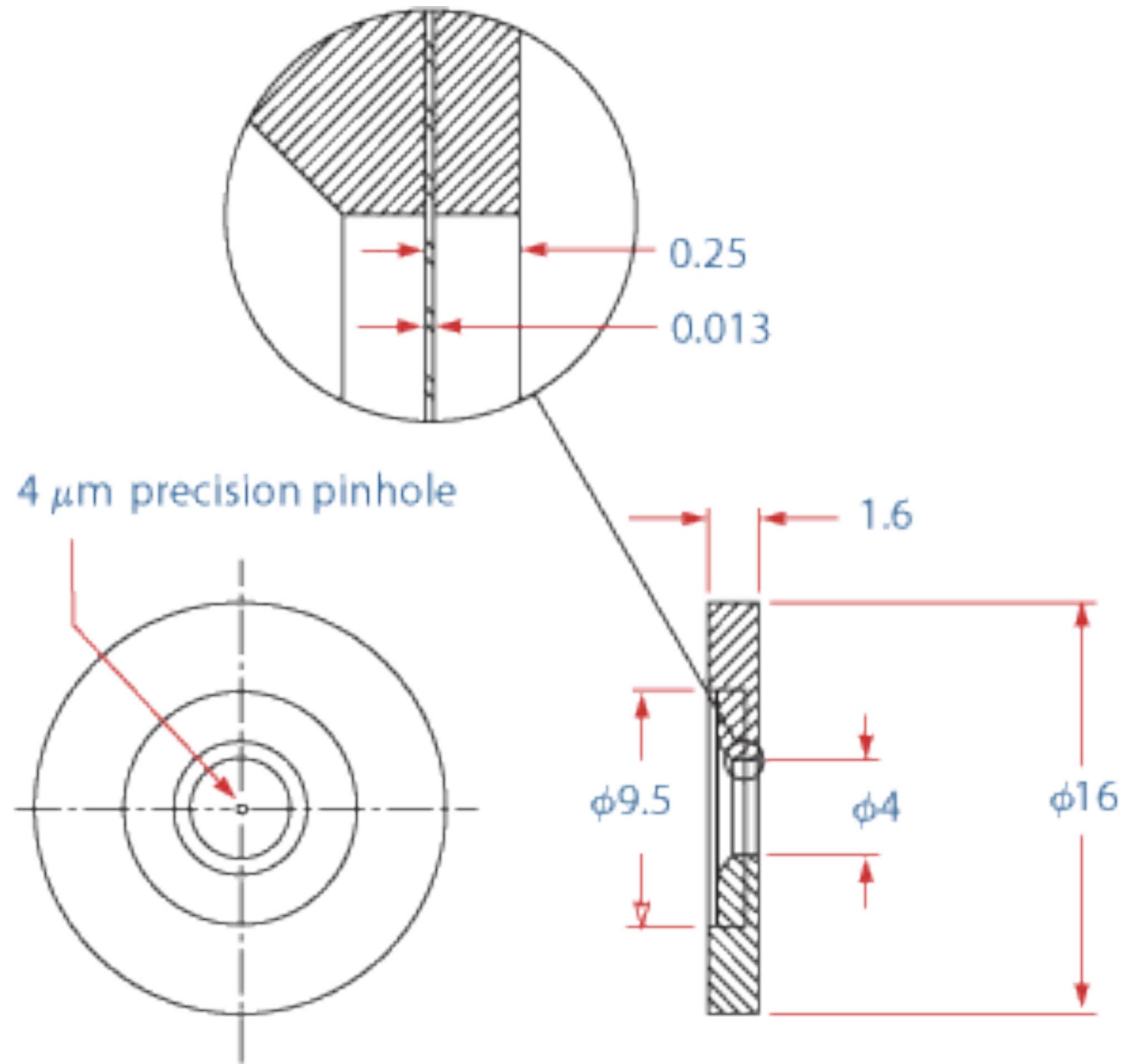
Rys. 3.8.
 Konstrukcja regulowanej przystony
 szczelinowej [20]

Filtr przestrzenny - pinhol



dimensions in mm (drawing not to scale)

Filtr przestrzenny - pinhol



dimensions in mm

Filtr przestrzenny



Uchwyt filtra przestrzennego z możliwością regulacji położenia w trzech kierunkach.

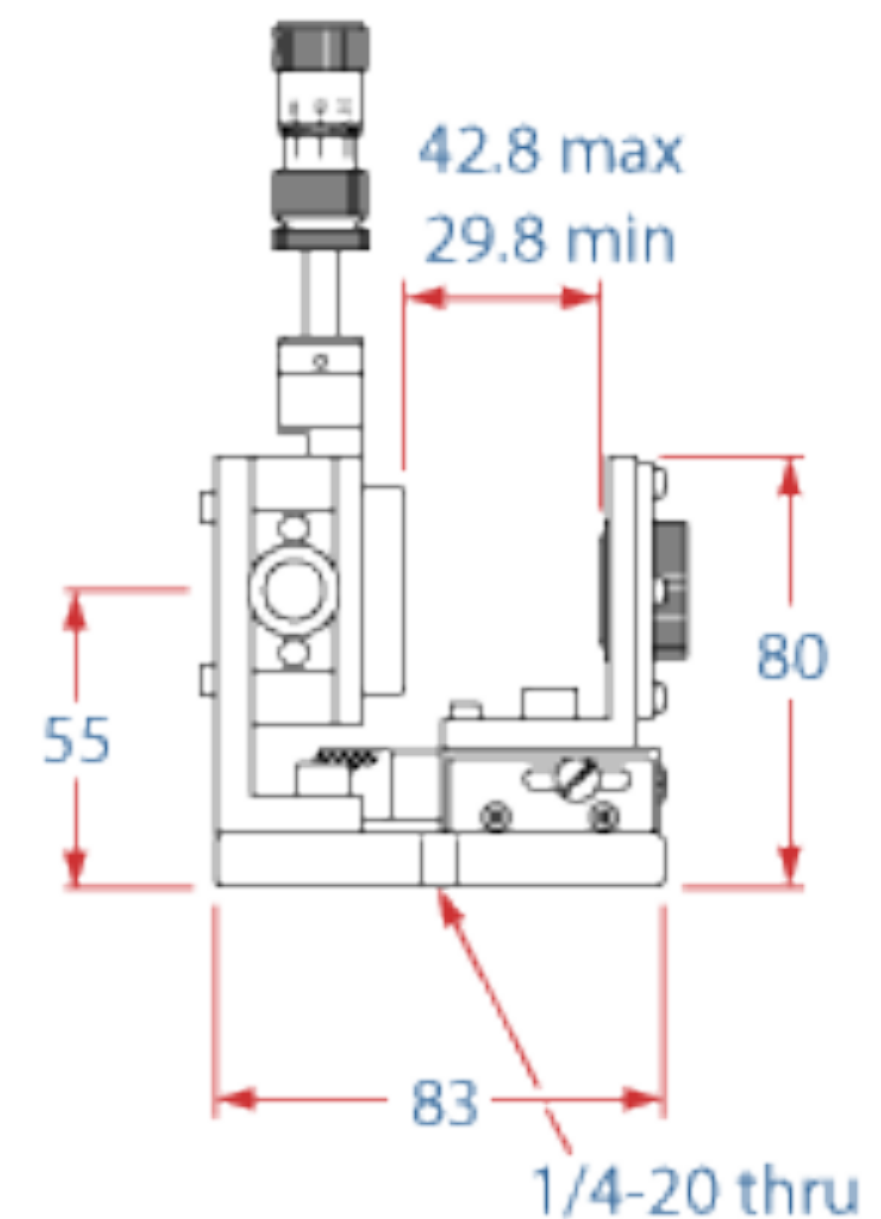
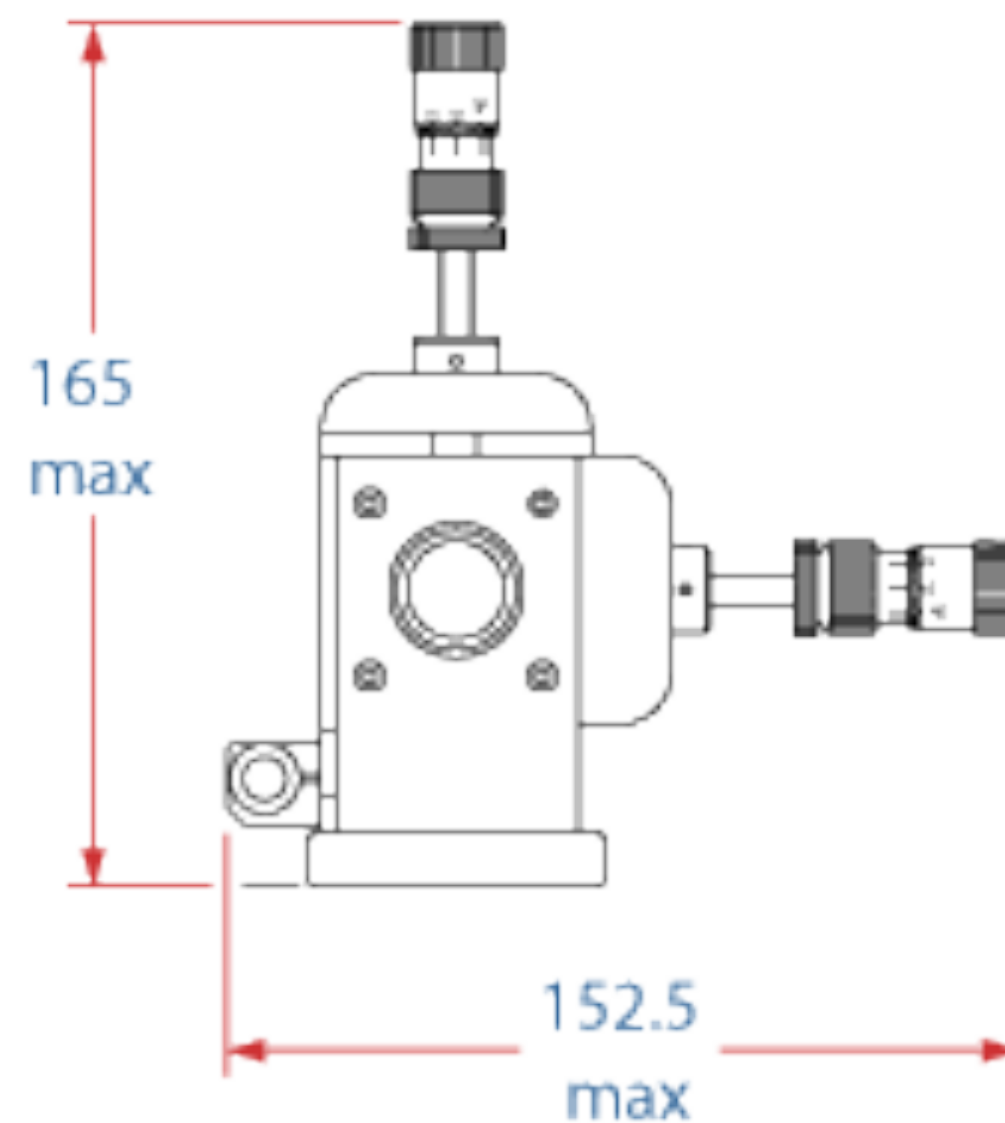
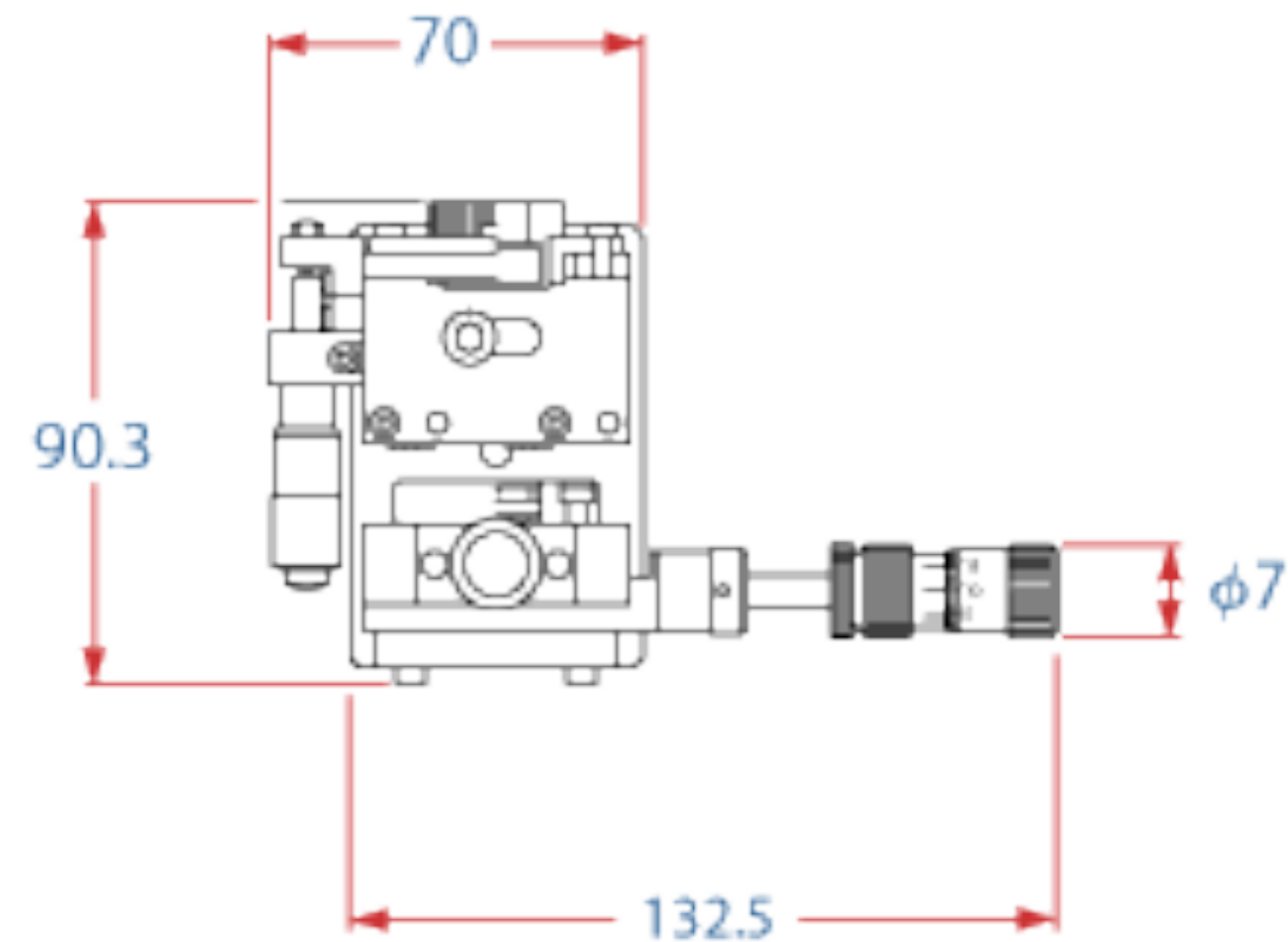
Zmiana położenia:

wzdłuż osi optycznej $\pm 6\text{mm}$,

w płaszczyźnie prostopadłej $\pm 3\text{ mm}$ (fine),

$\pm 12,5\ \mu\text{m}$ (differential).

Materiał: utlenione anodowo aluminium i stal.

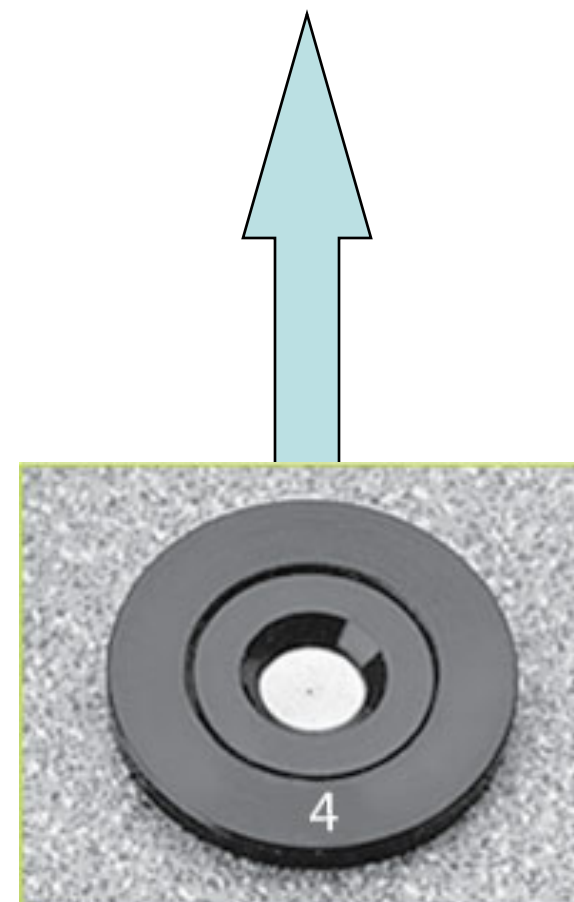
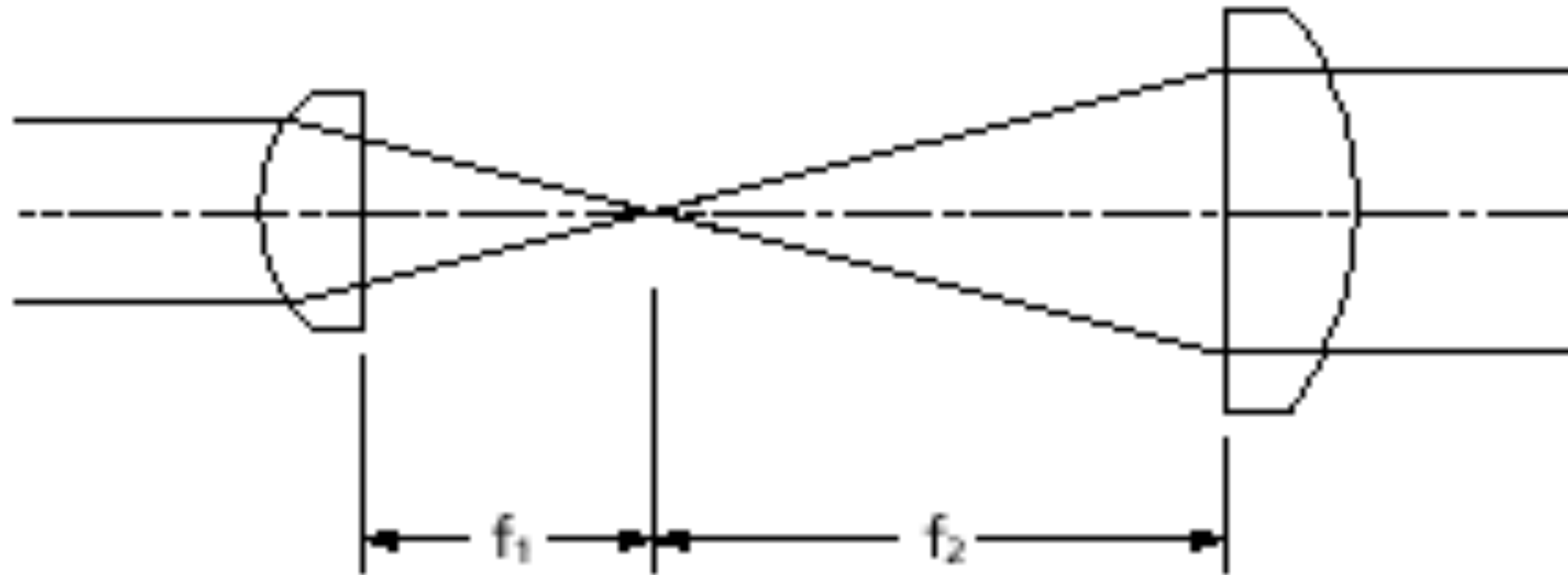


dimensions in mm

<http://www.mellesgriot.com>

Teleskop Keplera do filtra przestrzennego

Keplerian beam expander

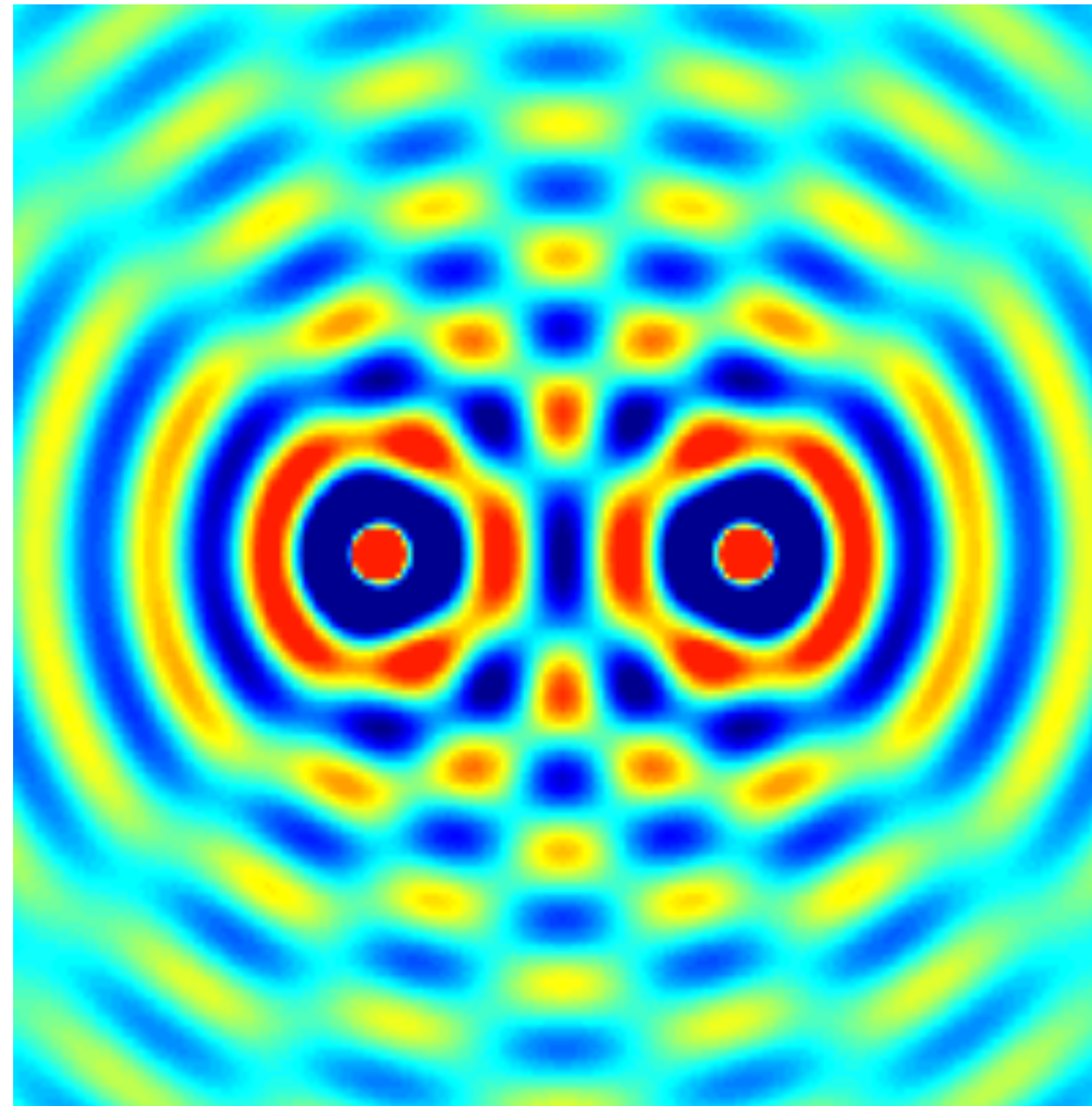


ExtremeService™



Shutters

Interferencja



Interferencja

konstruktywna

destruktywna

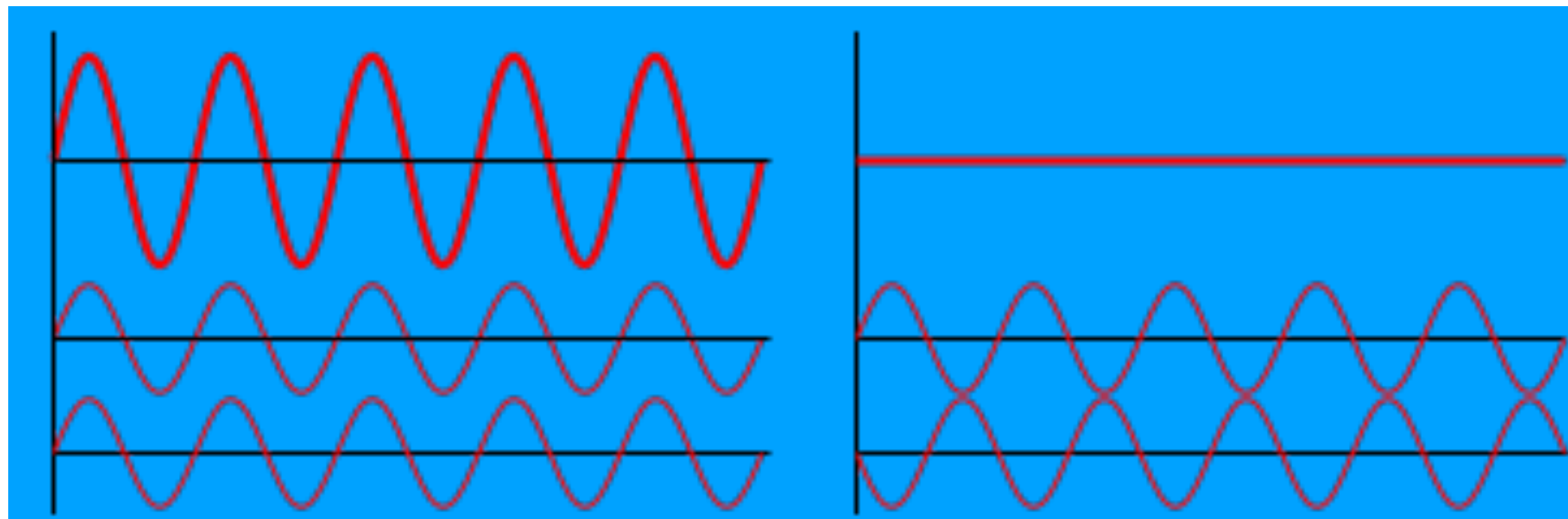
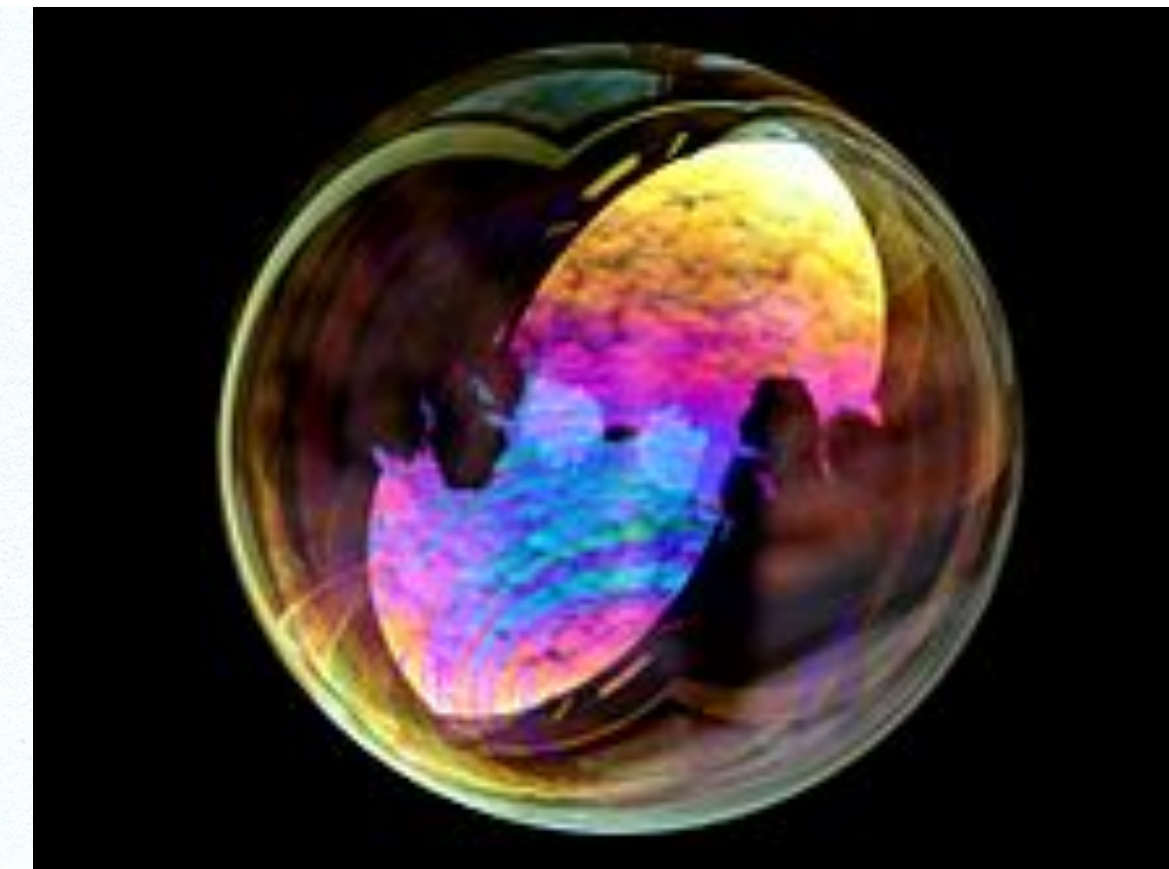
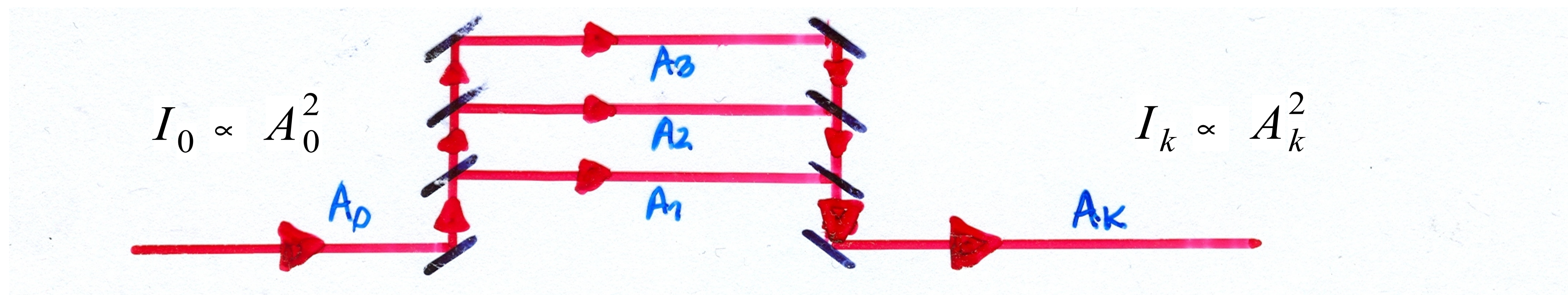


Tabela 1. Barwy interferencyjne cienkich warstw
(współczynnik załamania światła $n = 1,5$)

Grubość warstwy (nm)	Barwa
40	Czarna
55	Szara
100	Biała
130	Żółta
150	Brązowa
175	Czerwonopurpurowa
190	Fioletowa
210	Niebieska
240	Zielona
255	Biaława
260	Żółtozielona
280	Żółta
300	Pomarańczowa
330	Pomarańczowobrązowa
360	Czerwonofioletowa



bańka szklana



zgodne fazy wiązek cząstkowych

$$I_k \propto [A_1 + A_2 + A_3]^2$$

różnica fazy ϕ pomiędzy dwoma wiązkami cząstkowymi o natężeniu I_1 i I_2

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \phi = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2} + 4\sqrt{I_1 I_2} \cos^2 \frac{\phi}{2}$$

$$I_{\min} = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2} \rightarrow 0 \rightarrow \phi = \pm\pi, \pm 3\pi, \dots$$

$$I_{\max} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \xrightarrow{I_1=I_2} 4I \rightarrow \phi = 0, \pm 2\pi, \pm 4\pi$$

**Wypadkowe natężenie dla dwóch interferujących wiązek
o równych natężeniach $I_1 = I_2$**

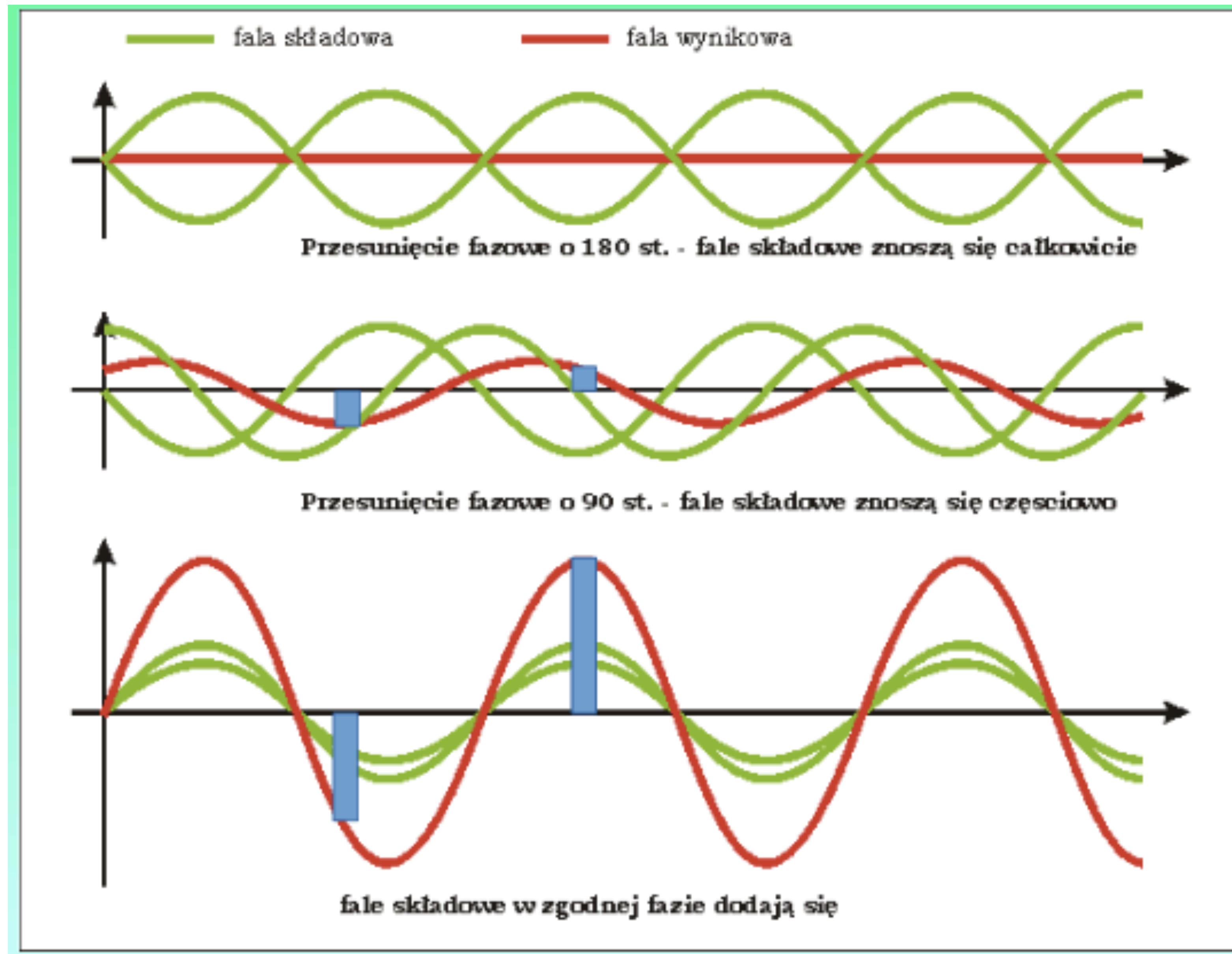
$$I = 2I_1 (1 + \cos \phi) \qquad I = 4I_1 \cos^2 \left(\frac{\phi}{2} \right)$$

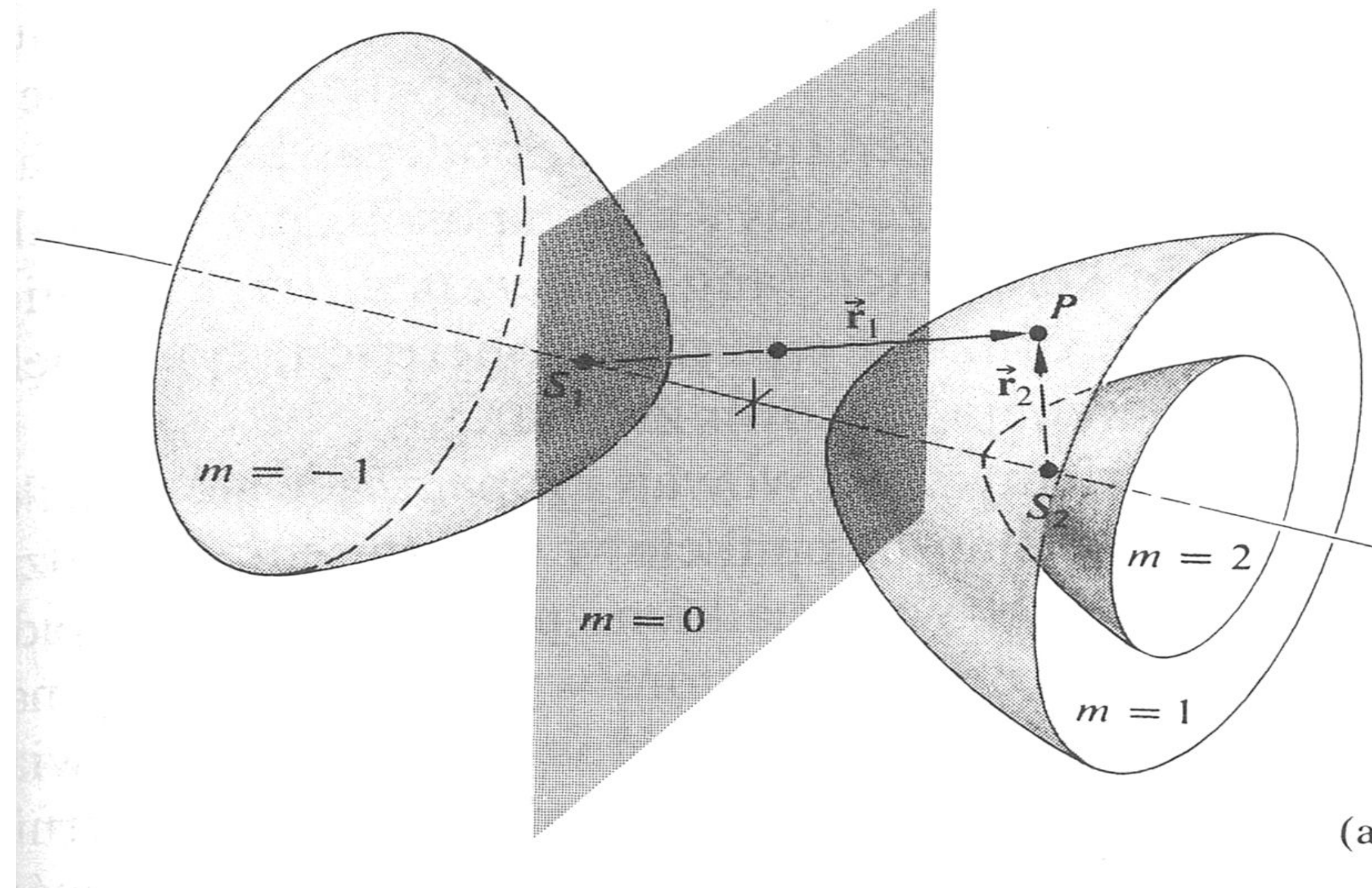
$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \phi = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2} + 4\sqrt{I_1 I_2} \cos^2 \frac{\phi}{2}$$

$$I_{\min} = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2} \rightarrow 0 \rightarrow \phi = \pm\pi, \pm 3\pi, \dots$$

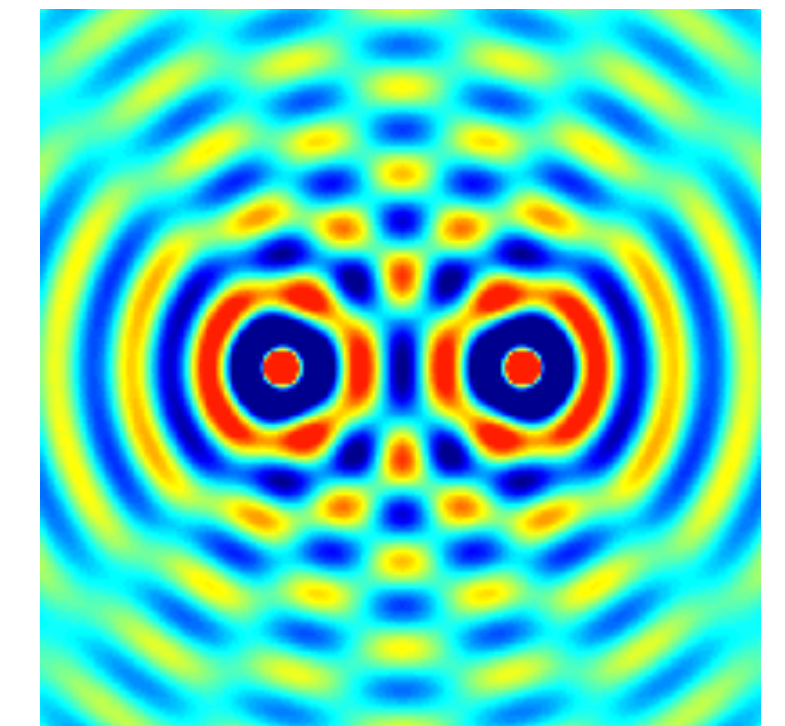
$$I_{\max} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \xrightarrow{I_1=I_2} 4I \rightarrow \phi = 0, \pm 2\pi, \pm 4\pi$$

Interferencja / Interference

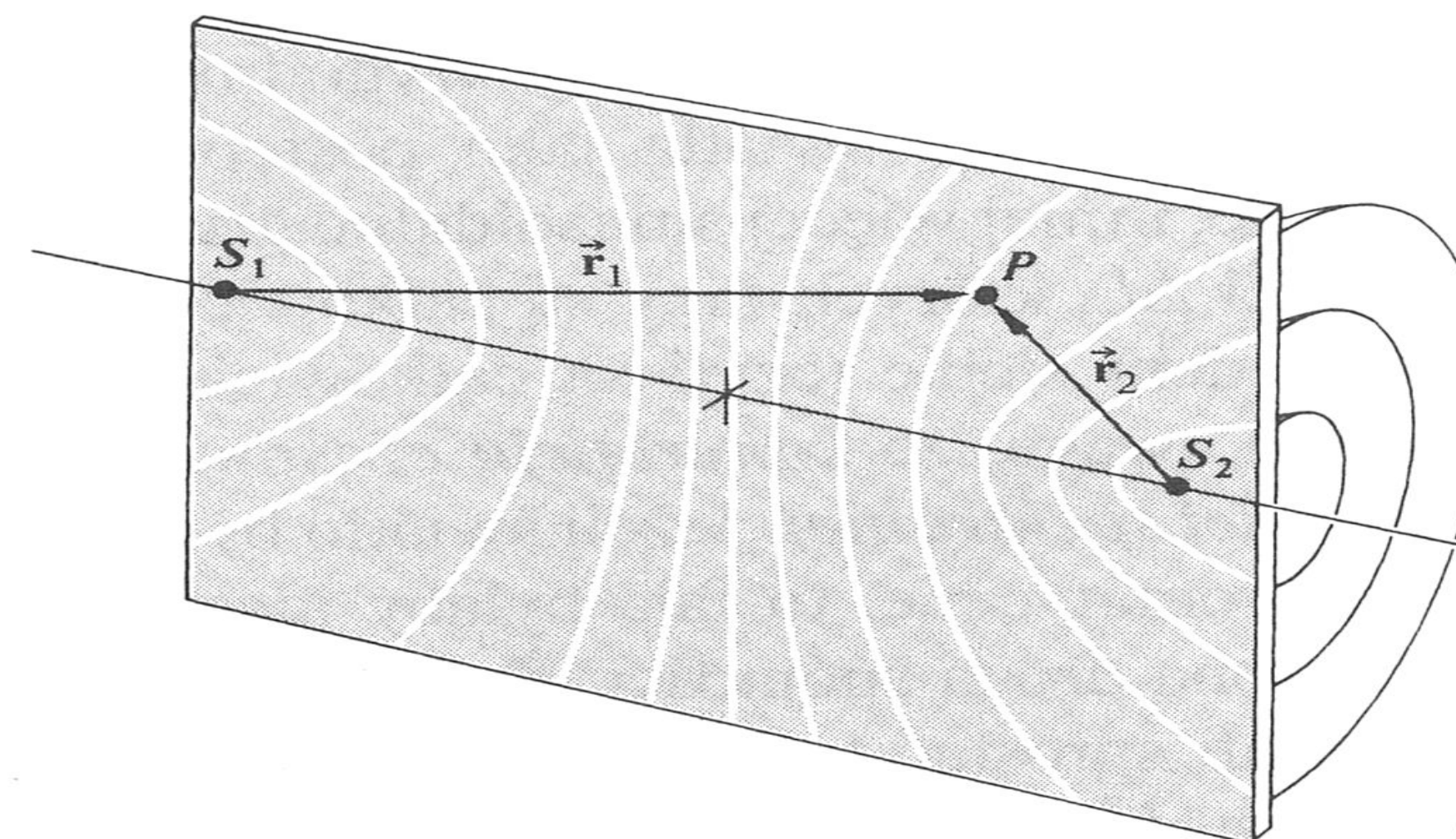




(a)



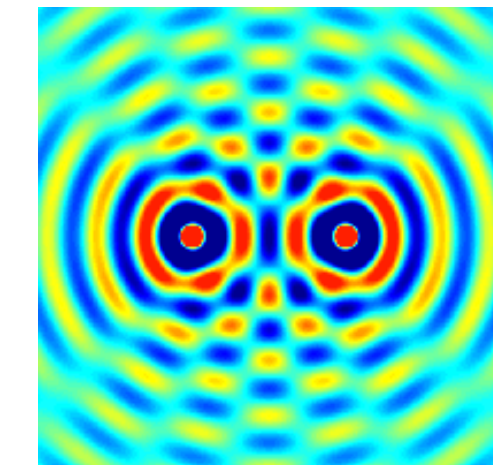
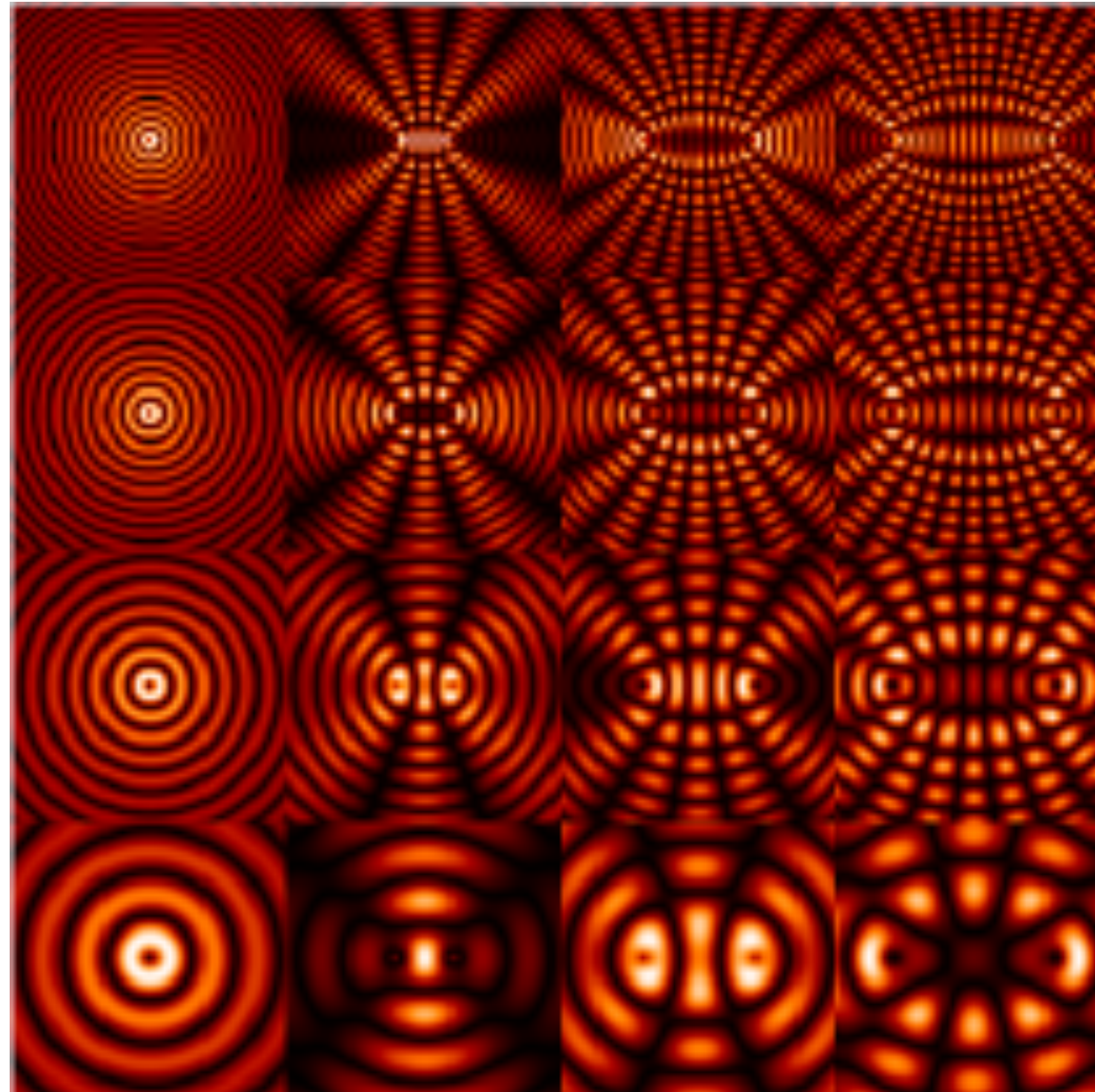
obraz interferencyjny
źródła S_1 S_2
punktowe fale kuliste



(b)

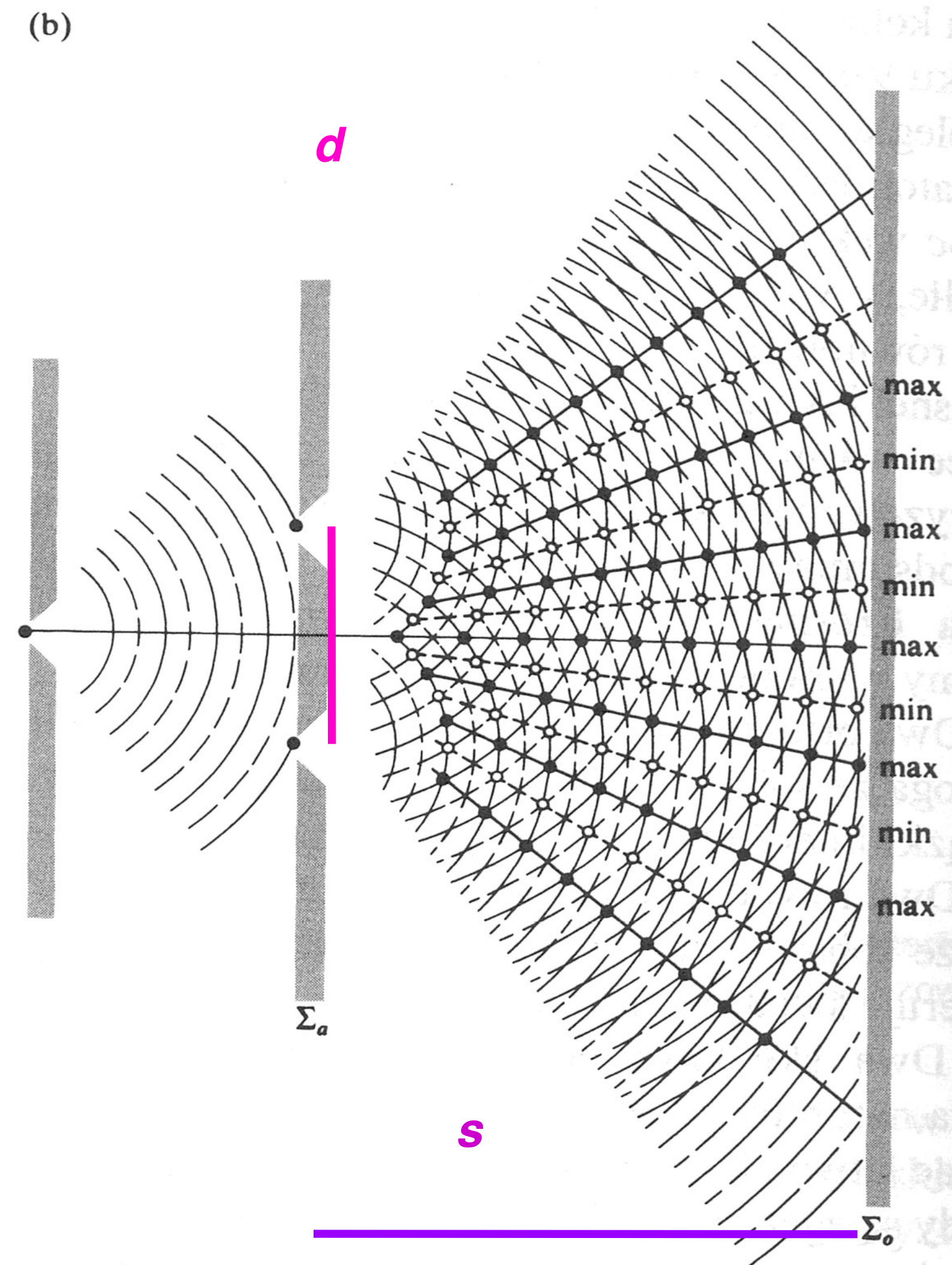
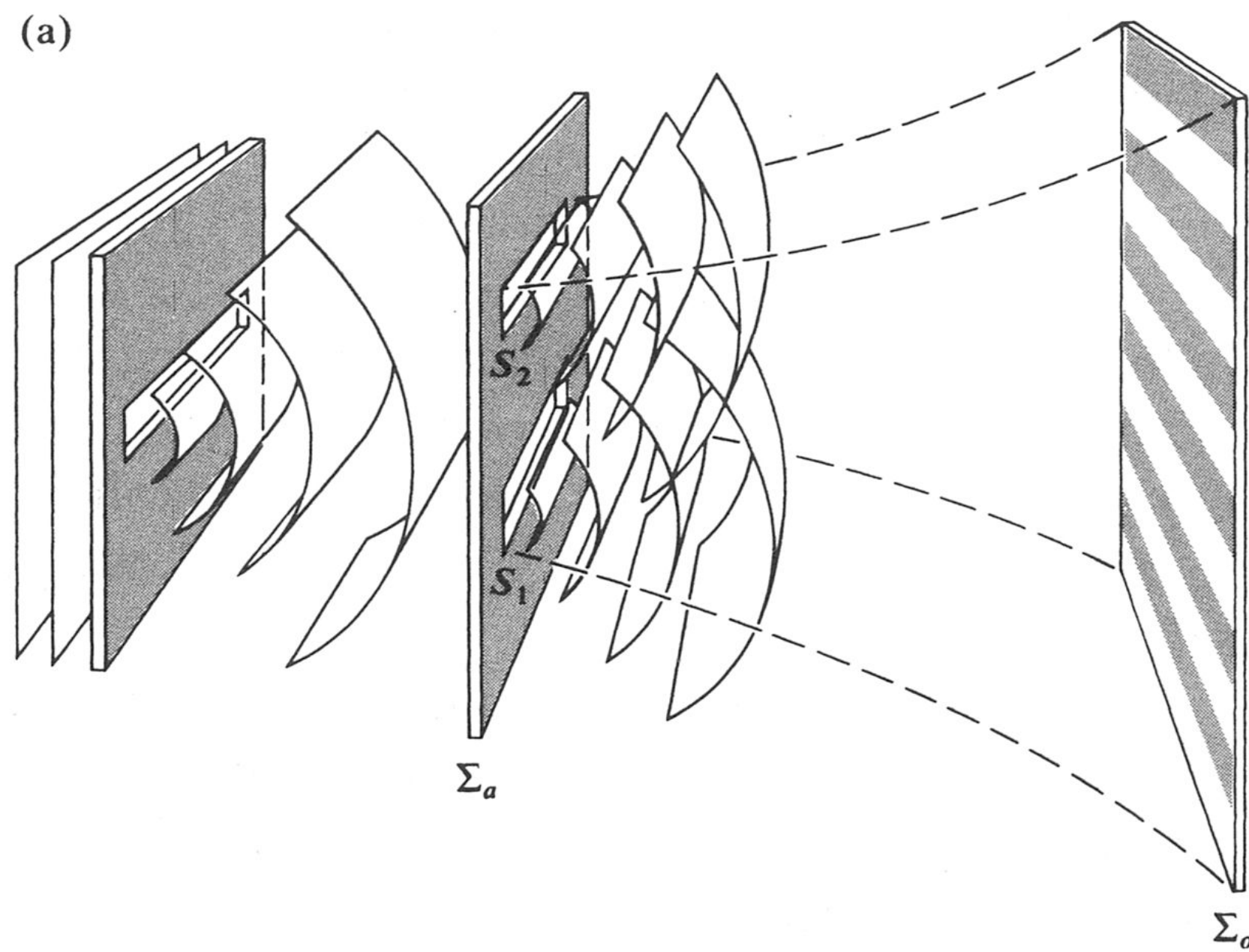
obraz interferencyjny

λ – długość fali rośnie



d – odstęp między źródłami punktowymi rośnie

eksperyment Younga



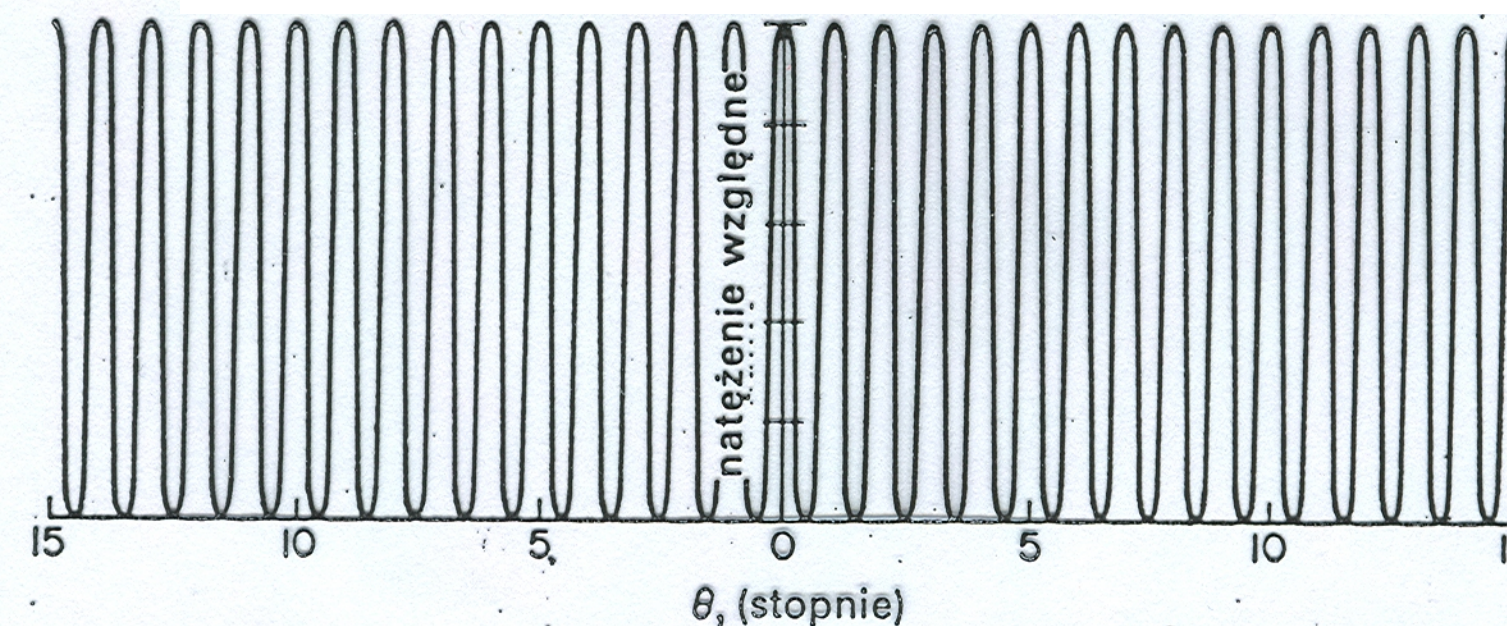
$d \ll s$

$$I = I_0 \cos^2 \beta \quad \beta = \frac{\pi d \sin \Theta}{\lambda}$$

$s \lambda / d$ – odstęp między prążkami

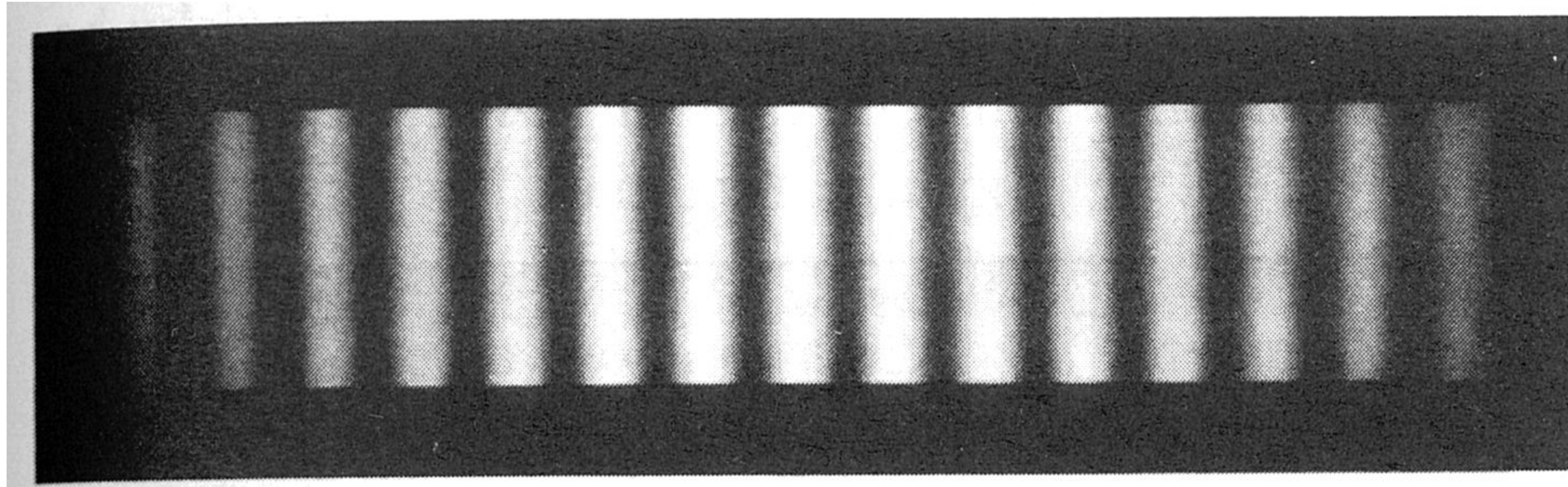
wkład interferencyjny

źródła. W elementarnym opisie doświadczenia Younga z dwiema szczelinami zakładamy, że szczeliny są nieskończenie wąskie. W takiej sytuacji natężenie prążków jest jednolite (Rys. 14).



Rys. 14. Wkład interferencyjny do natężenia, w doświadczeniu Younga. Wkład ten związany jest z obecnością dwóch szczelin; ich rzeczywista szerokość nie ma znaczenia

obraz interferencyjny – rzeczywisty eksperyment Younga

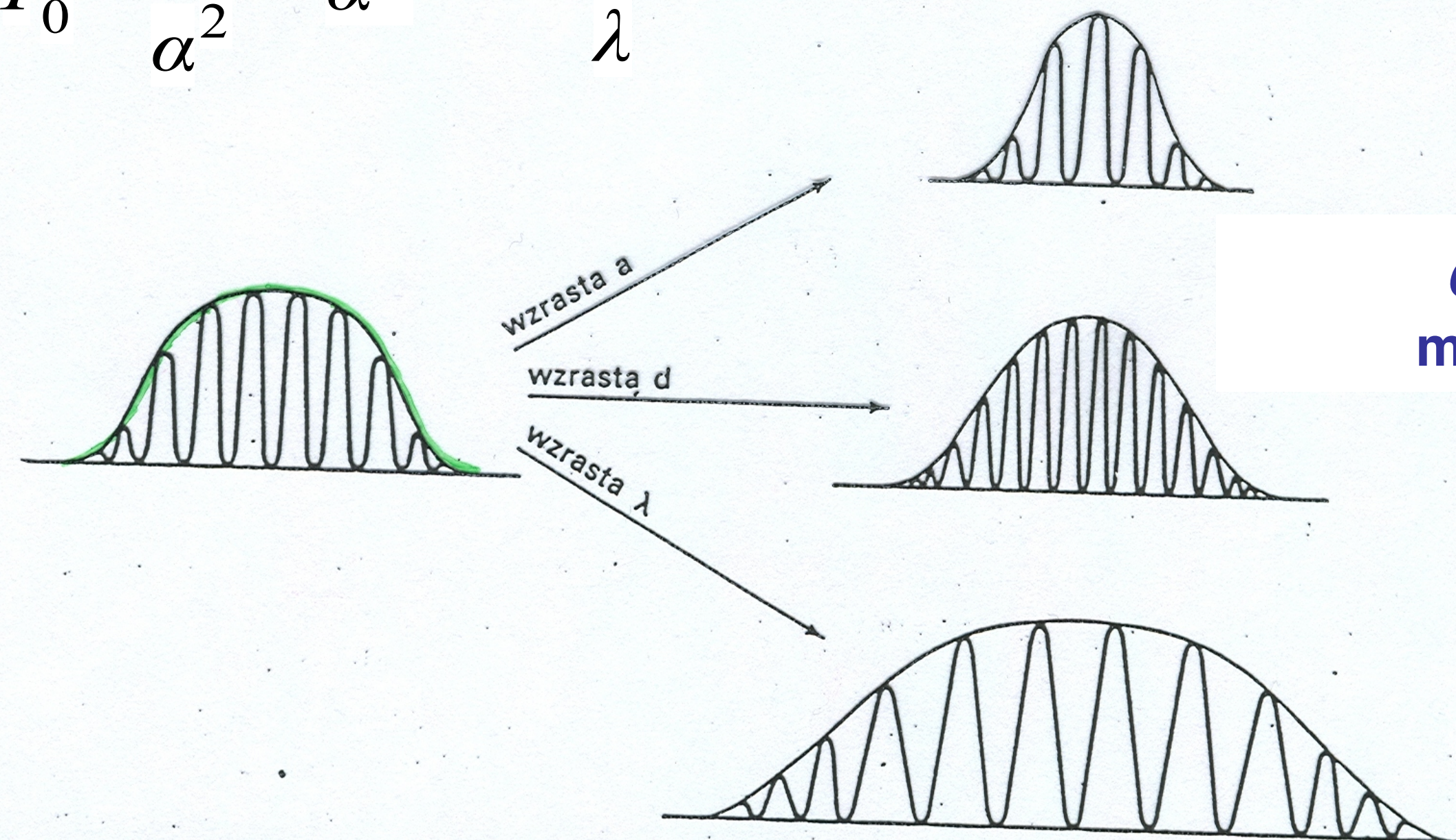


Oczywiście nie istnieją szczeliny nieskończenie wąskie i wobec tego natężenie światła na ekranie nie jest jednakowe, lecz jest uwarunkowane przez obraz dyfrakcyjny od szczelin o skończonej szerokości. Ten wkład dyfrakcyjny pokazany jest na rys. 15 i dodaje się on do wkładu interferencyjnego.

wkład dyfrakcyjny

$$I = I_0 \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha^2} \quad \alpha = \frac{\pi a \sin \Theta}{\lambda}$$

a – szerokość szczelin



d – odległość między szczelinami

Rys. 16. Obraz interferencyjny dwóch szczelin i jego zmian wwołane zmianami: szerokości szczelin, odległości między

dla bardzo wąskich szczelin

$$d \sin \theta = m\lambda$$

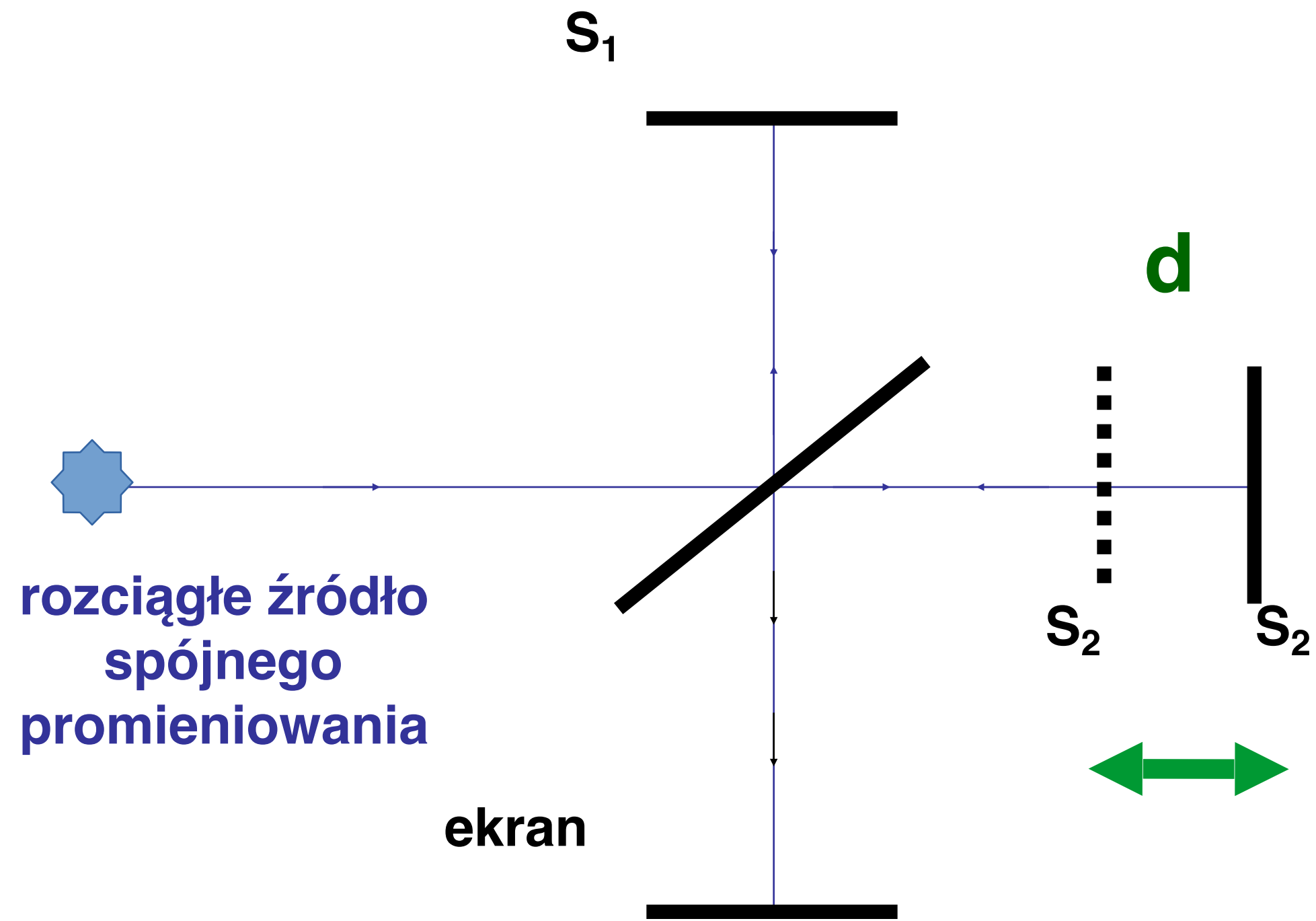
$$m = 0, 1, 2, \dots$$

max interferencyjne

$$\frac{\sin^2 \alpha}{\alpha^2} \approx \text{const}$$

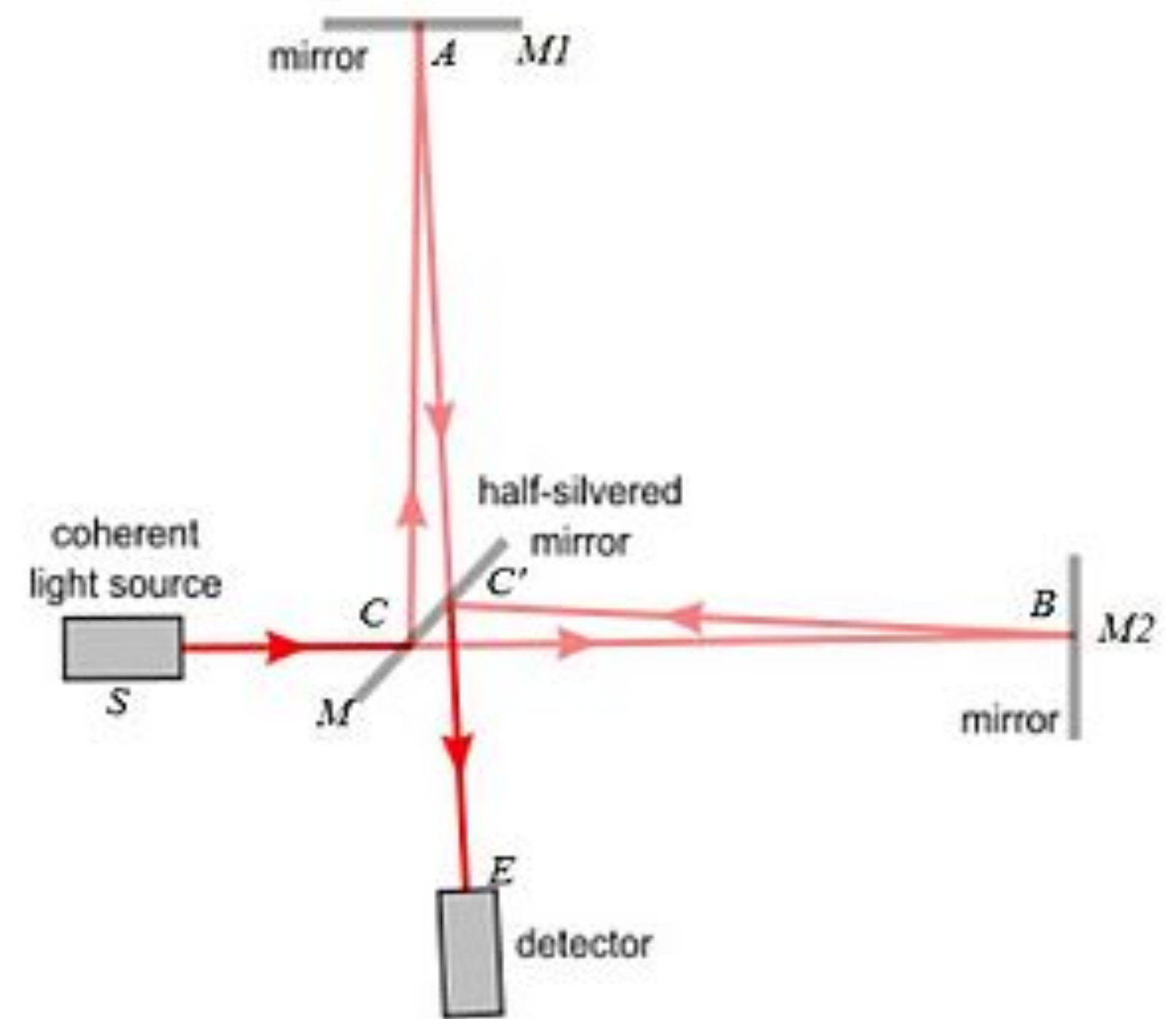
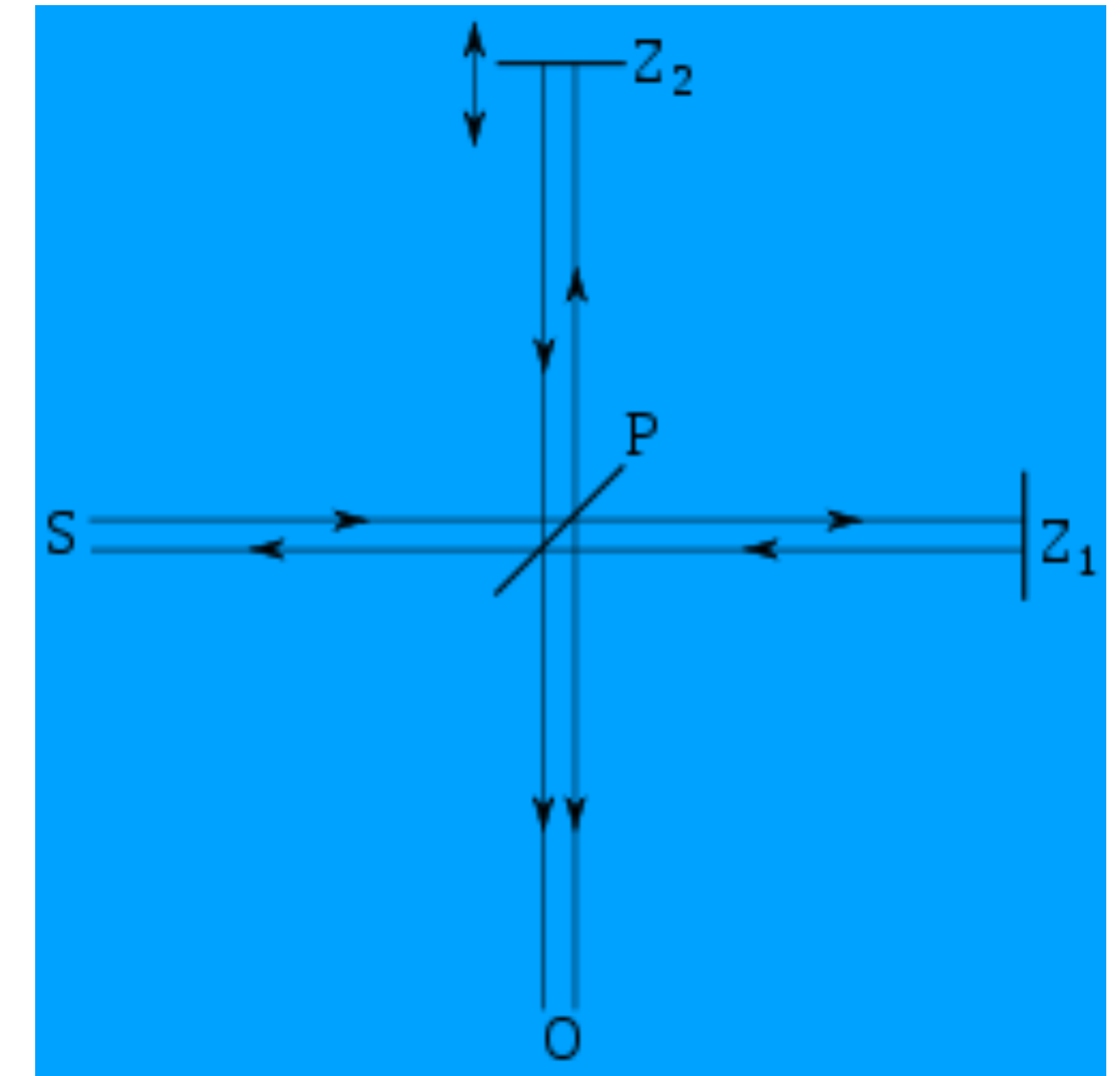
liczba prążków pod obwiednią zależy od stosunku d/a

Interferometr Michelsona

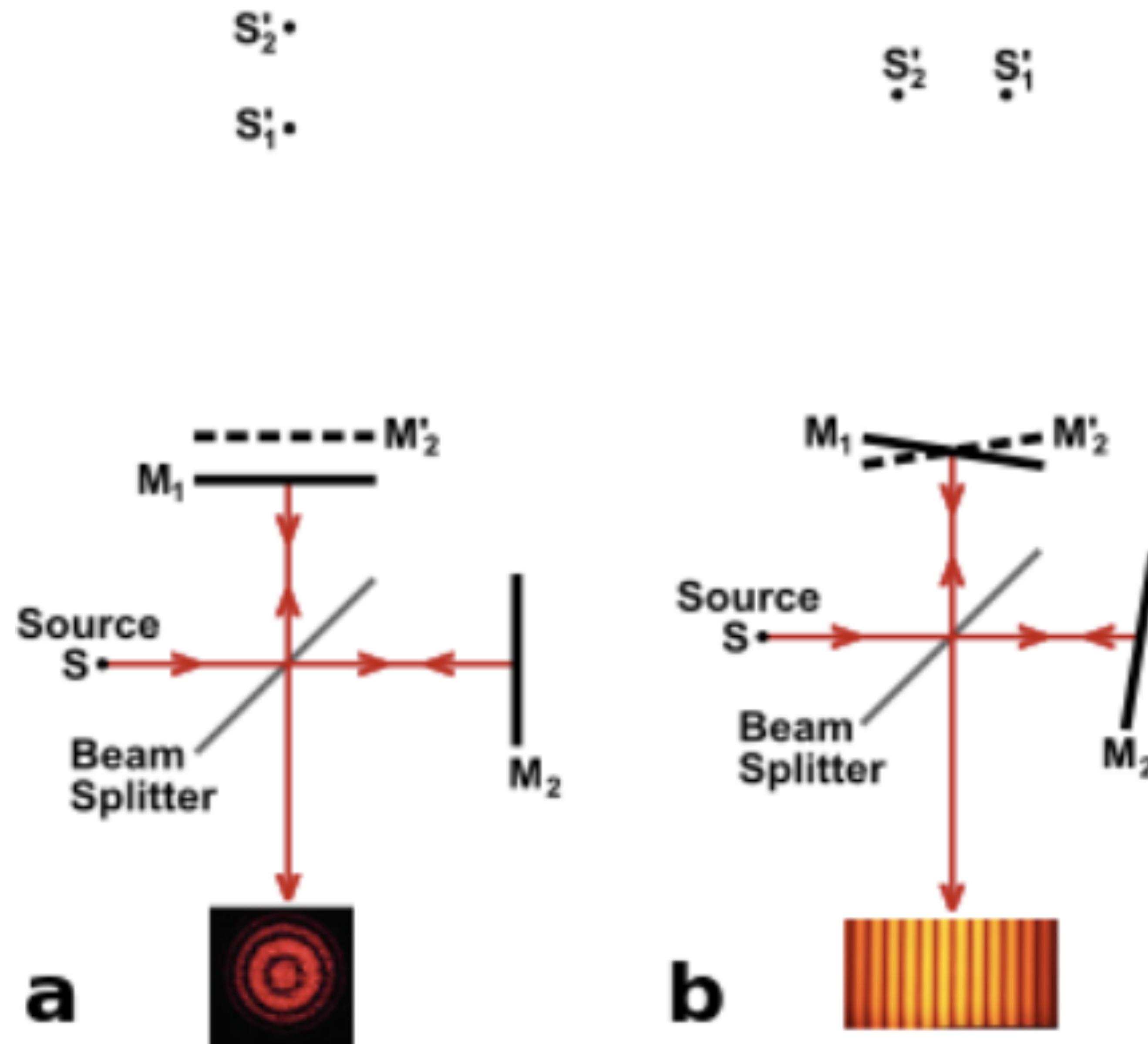


$$2d \cdot \cos \alpha = m \cdot \lambda$$

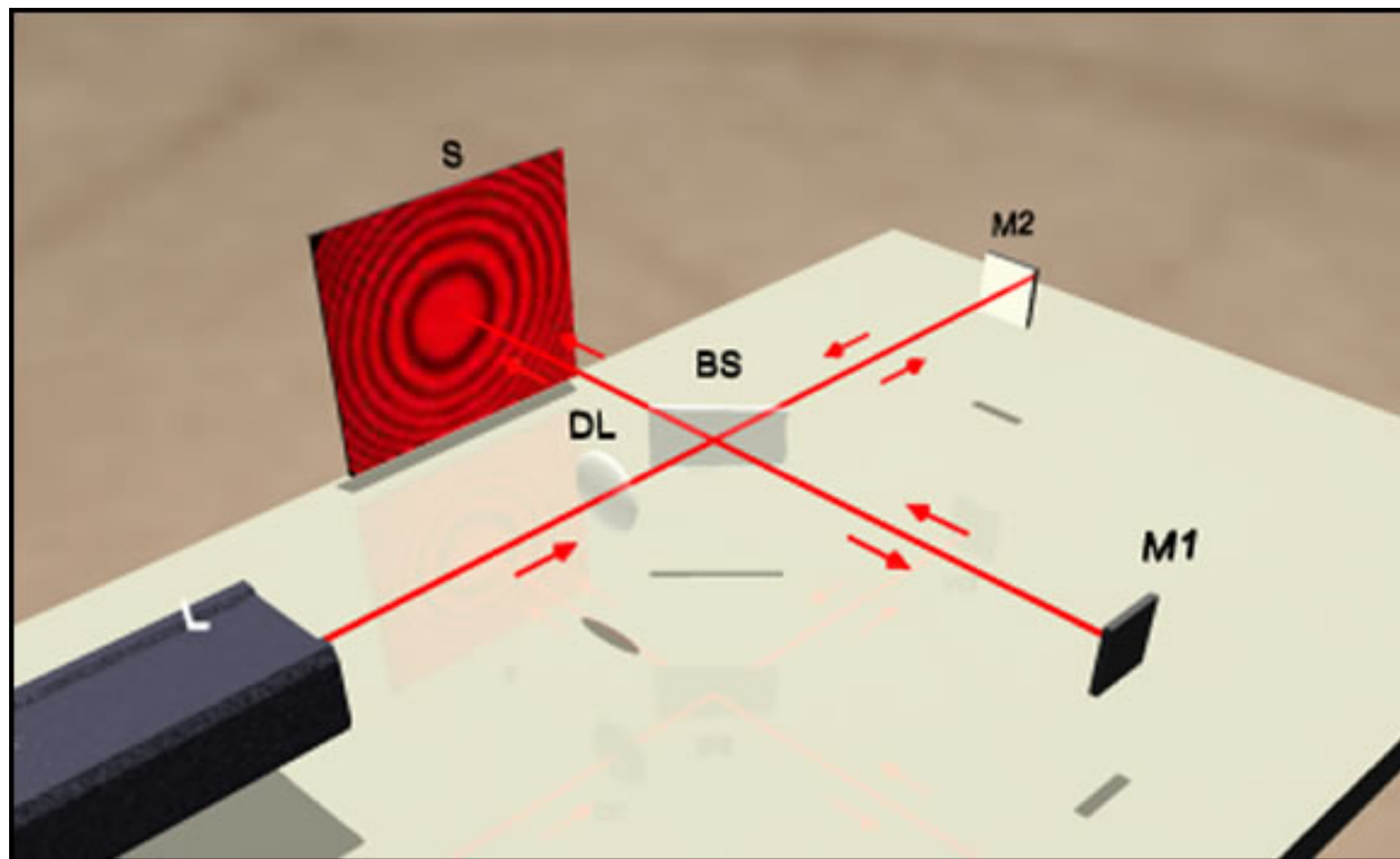
m – liczba całkowita



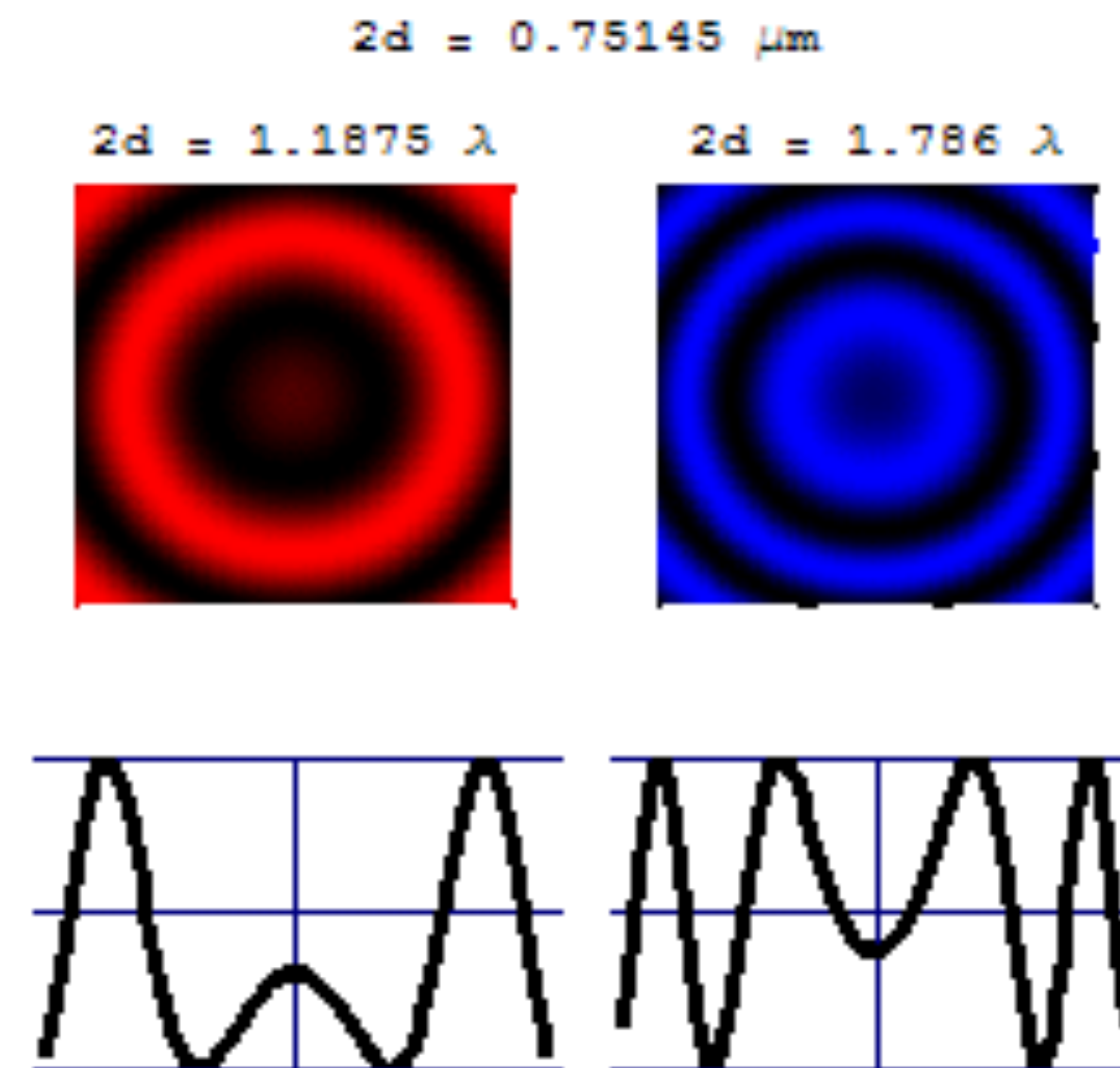
Interferometr Michelsona



Zależność od długości fali

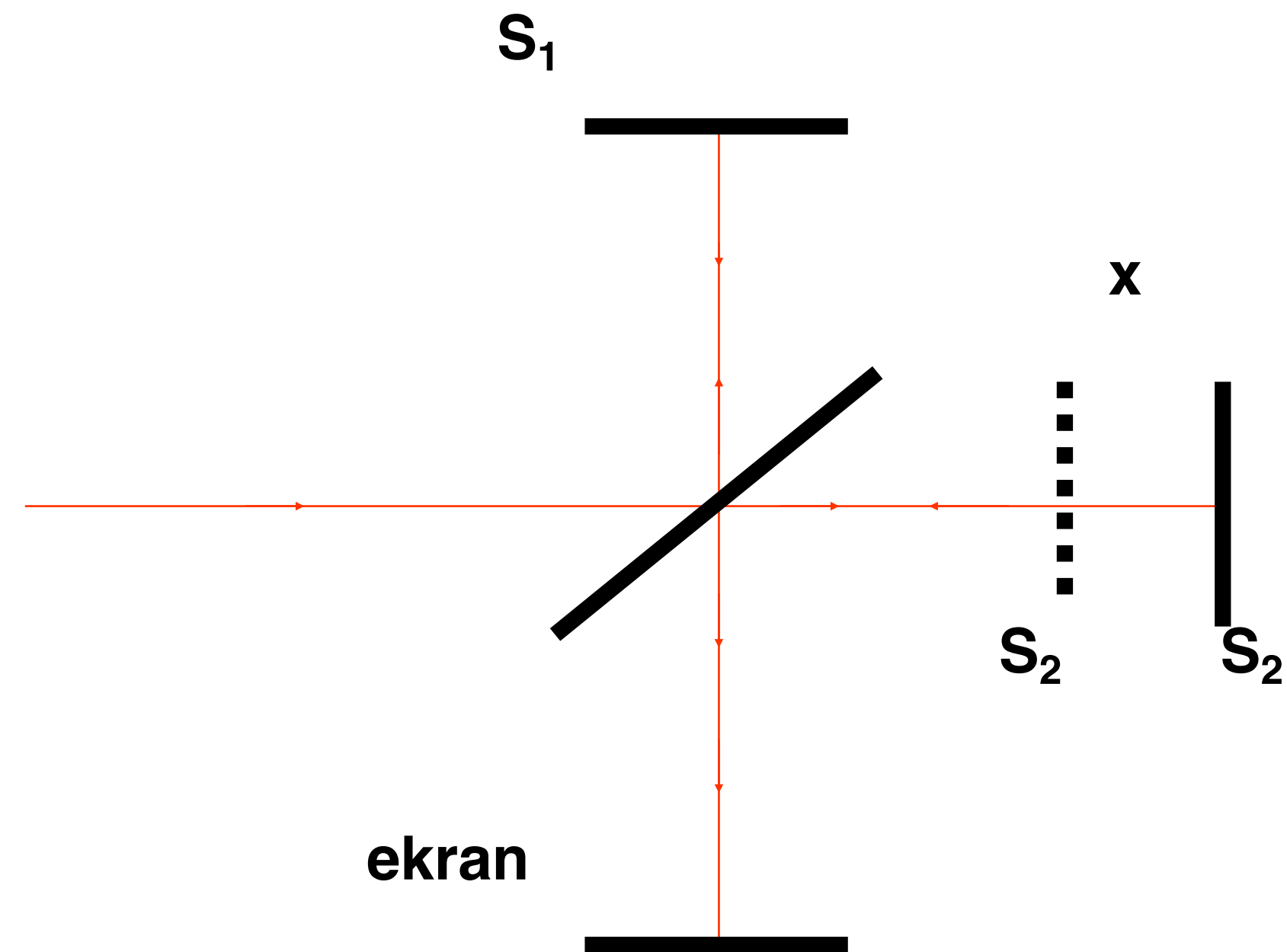


brtiri.blogspot.com



wp.optics.arizona.edu

Pomiar odległości w skali nanometrycznej



Ilość rozjaśnień podczas przesuwania zwierciadła S_2 :

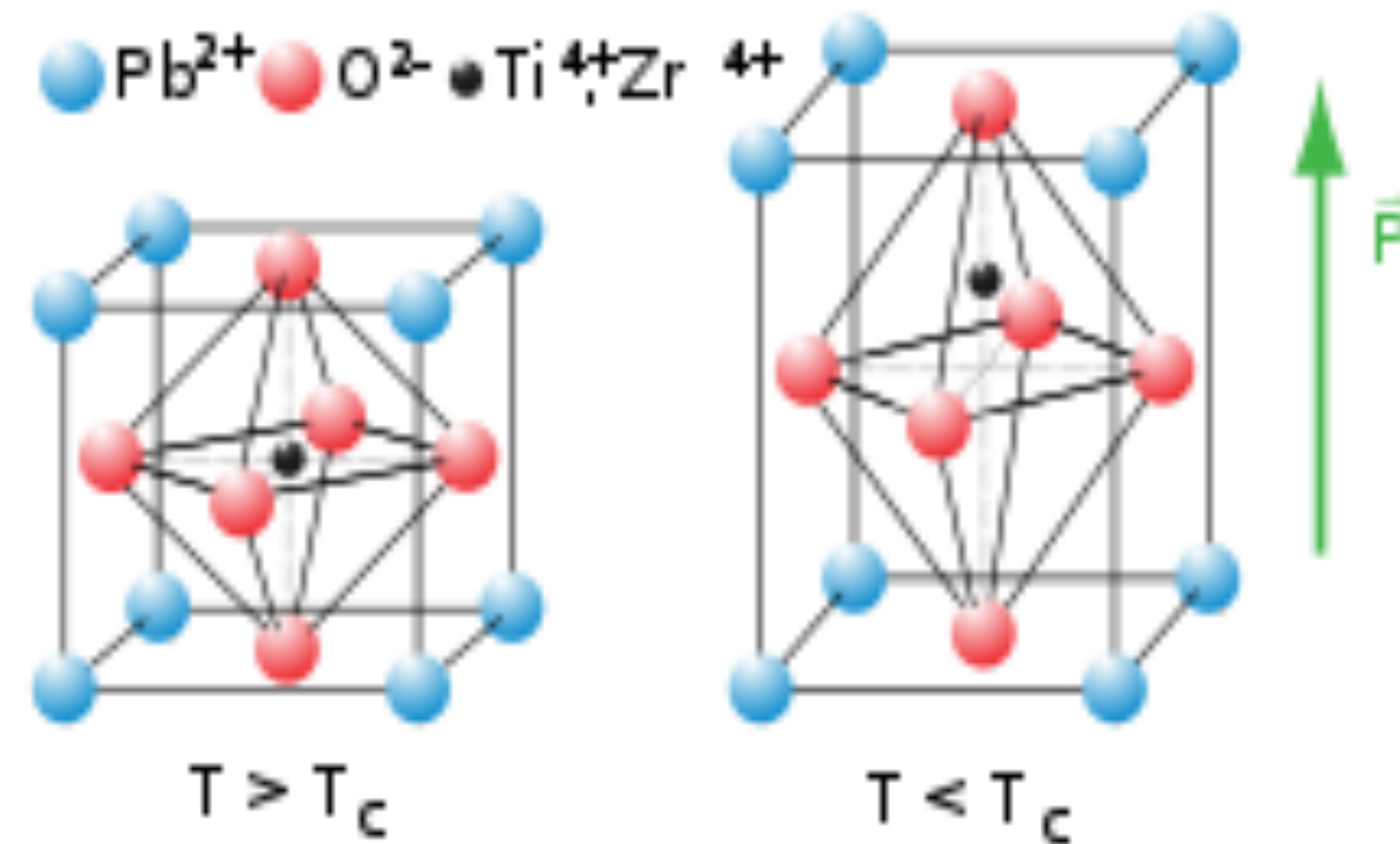
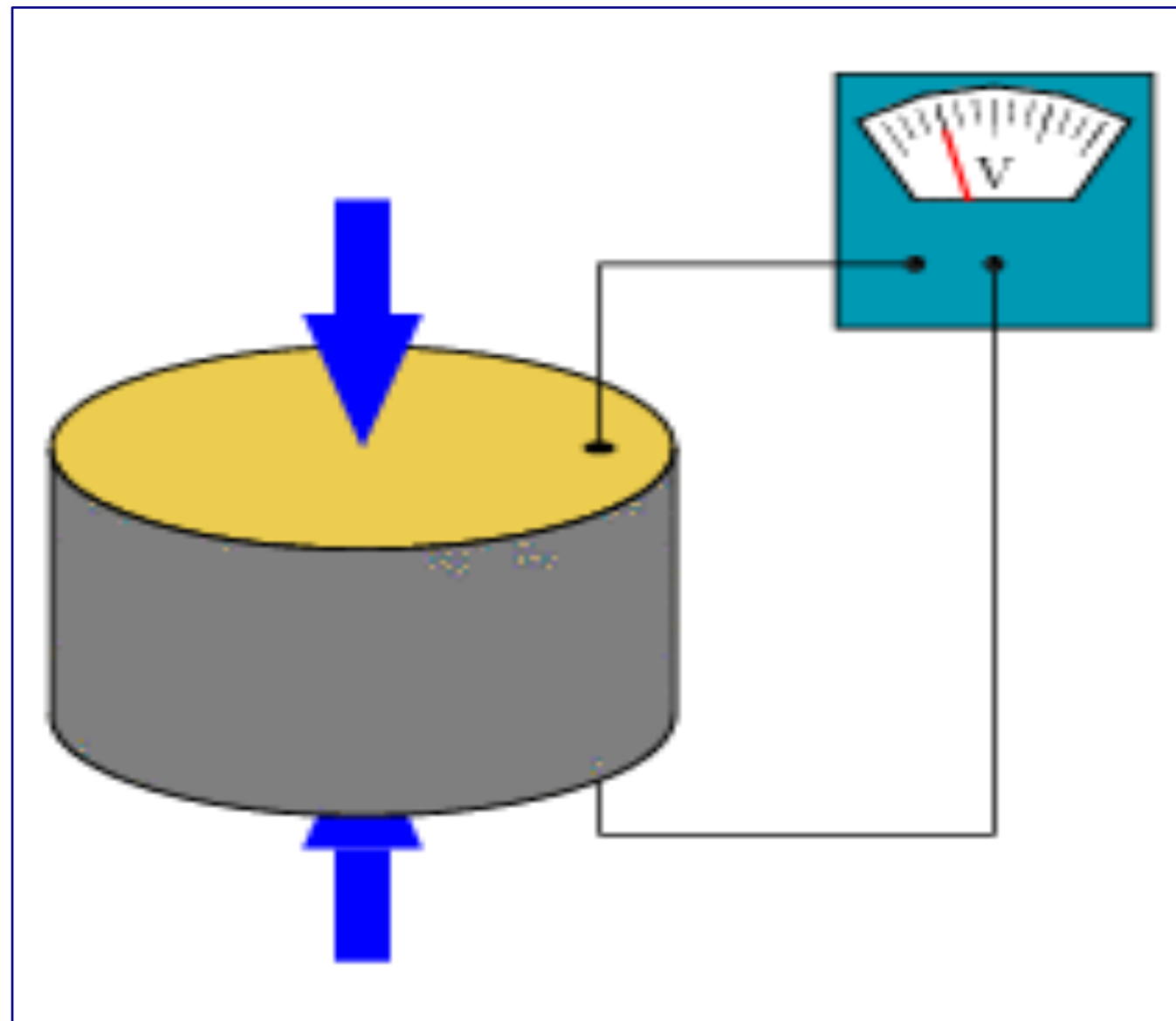
$$\Delta x = \frac{N \cdot \lambda}{2}$$

$$x = d$$

$$I(x) = I_0 \left(1 + \cos 2\pi \frac{2x}{\lambda} \right)$$

$$N = \frac{2 \cdot \Delta x}{\lambda}$$

Zjawisko piezoelektryczne

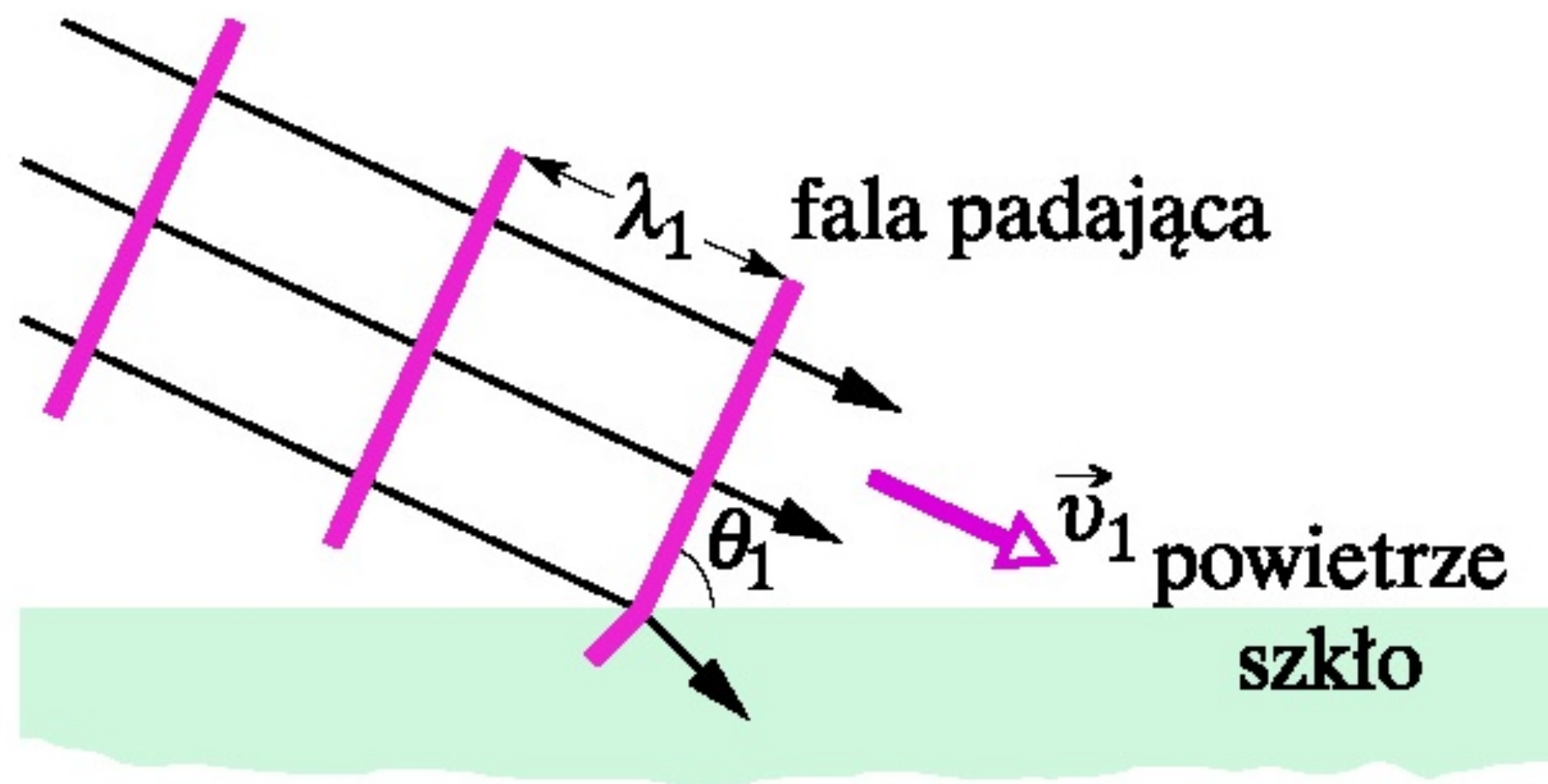


Przykład:

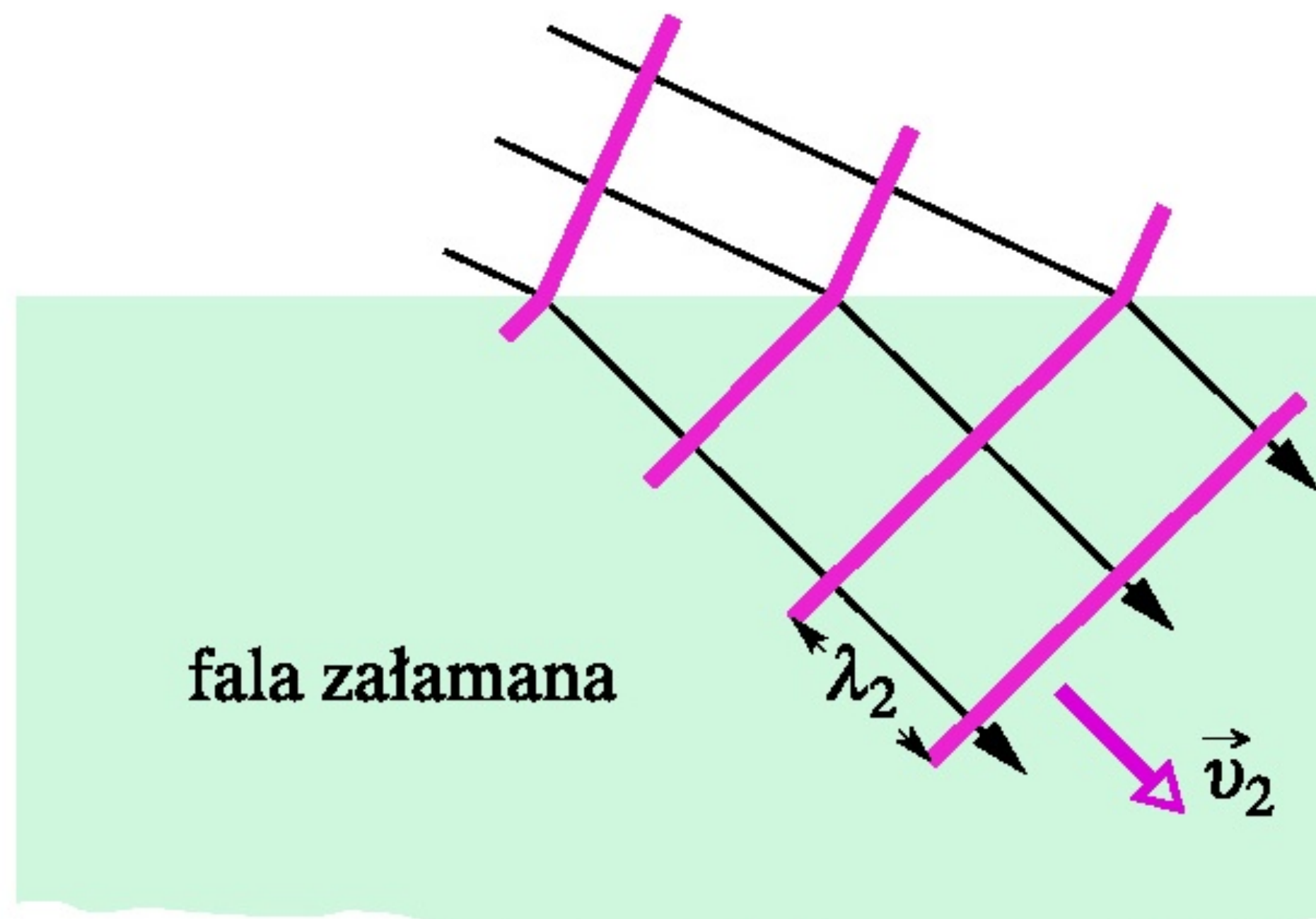
Kryształ piezoelektryczny w kształcie walca o grubości $d = 0,48 \text{ mm}$, stanowi rezonator półfalowy, w którym wystąpi drganie rezonansowe o długości fali $\lambda = 2d$, $\lambda = 0,96 \text{ mm}$.

Jeśli jest to tytanian baru, w którym prędkość propagacji drgań wynosi $c = 4460 \text{ m/s}$, to częstotliwość drgań własnych tego elementu piezoelektrycznego jest równa:

$$f = c/\lambda = 4460 \text{ m/s} : 0,00096 \text{ m} \cong 4,65 \text{ MHz}$$



a)



$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Światłowod

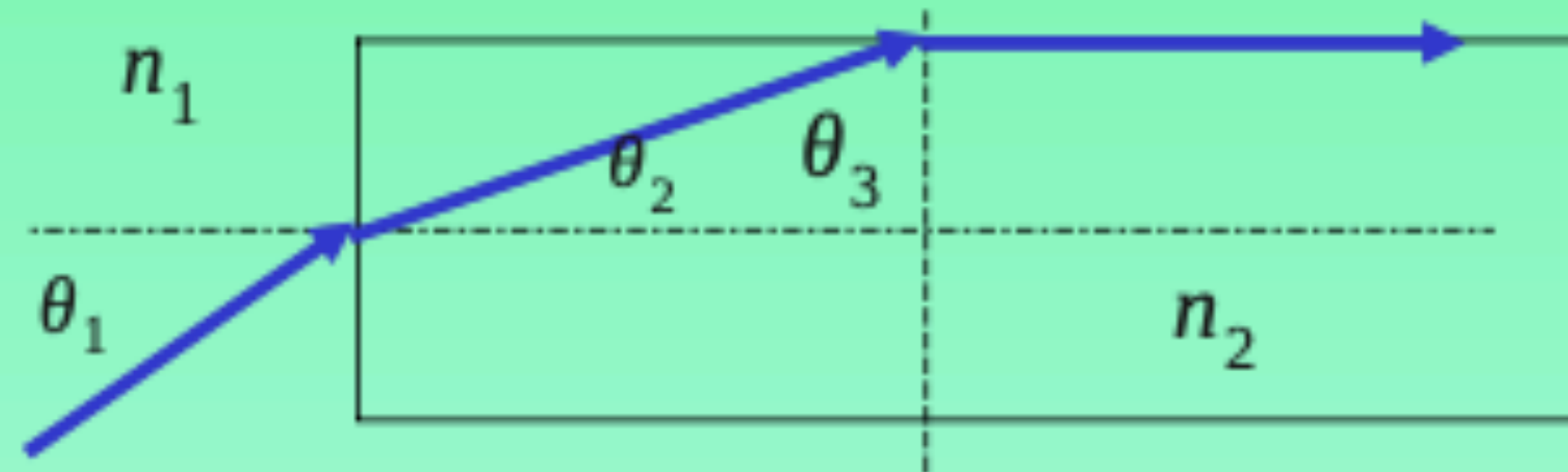
Ile musi wynosić wartość n materiału, z jakiego wykonany jest światłowod, aby propagowało się w nim promieniowanie?

Zał. Maksymalny kąt padania $\theta_1 = 90^\circ$

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$$1 = n_2 \sin \theta_2 \quad n_1 = 1$$

$$\frac{1}{\sin \theta_2} = n_2 \quad \frac{1}{n_2^2} = \sin^2 \theta_2$$



Z zależności geometrycznej wynika:

$$\theta_2 + \theta_3 = 90^\circ \quad \theta_2 = 90^\circ - \theta_3$$

$$\sin \theta_2 = \sin(90^\circ - \theta_3) = \cos \theta_3$$

$$\sin \theta_2 = \sqrt{1 - \sin^2 \theta_3}$$

θ_3 jest kątem granicznym całkowitego wewnętrznego odbicia.

$$1 = n_2 \sin \theta_3 \quad \sin \theta_3 = \frac{1}{n_2}$$

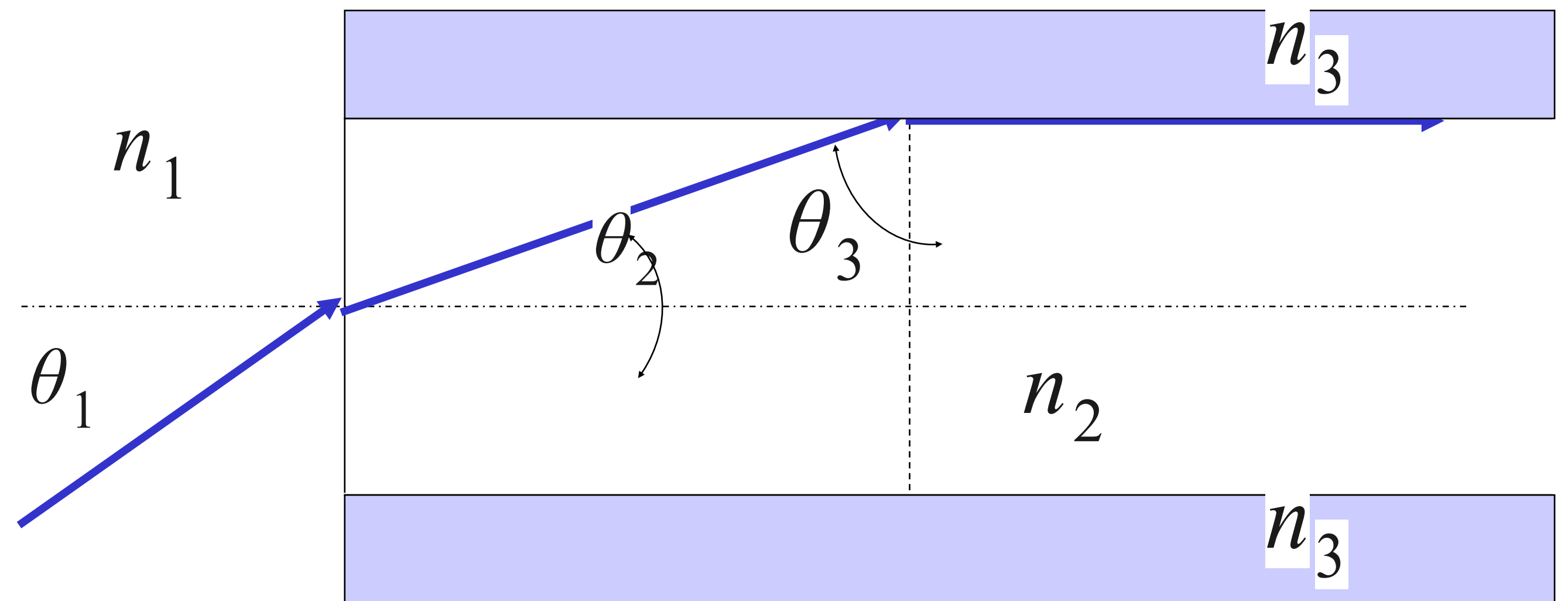
$$\frac{1}{n_2^2} = \sin^2 \theta_2 = 1 - \sin^2 \theta_3 = 1 - \frac{1}{n_2^2}$$

$$\frac{1}{n_2^2} = 1 - \frac{1}{n_2^2} \quad \frac{2}{n_2^2} = 1$$

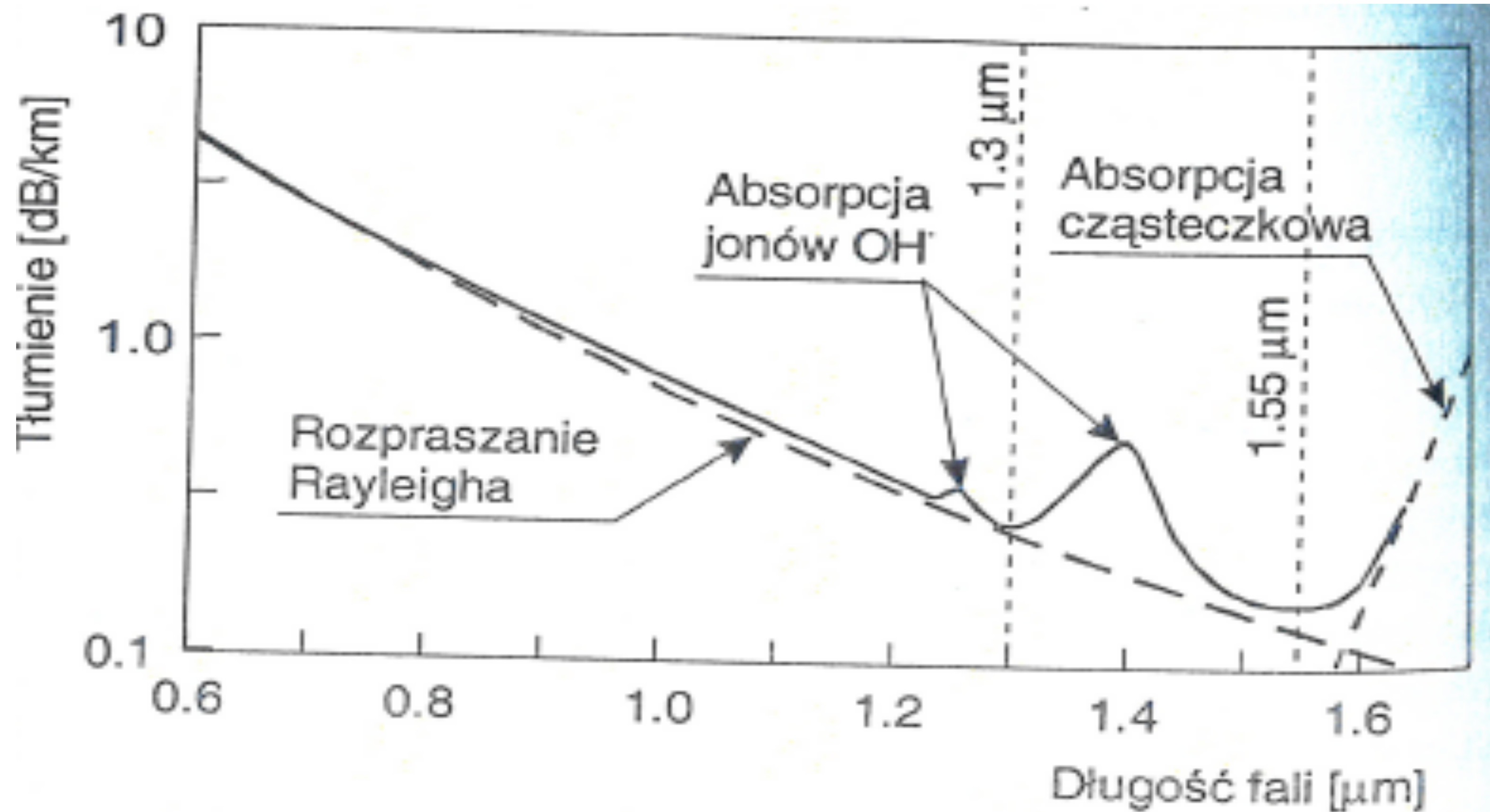
$$n_2 = \sqrt{2} \approx 1,41$$

Światłowod

$$n_1 \sin \theta_1 = \sqrt{n_2^2 - n_3^2}$$

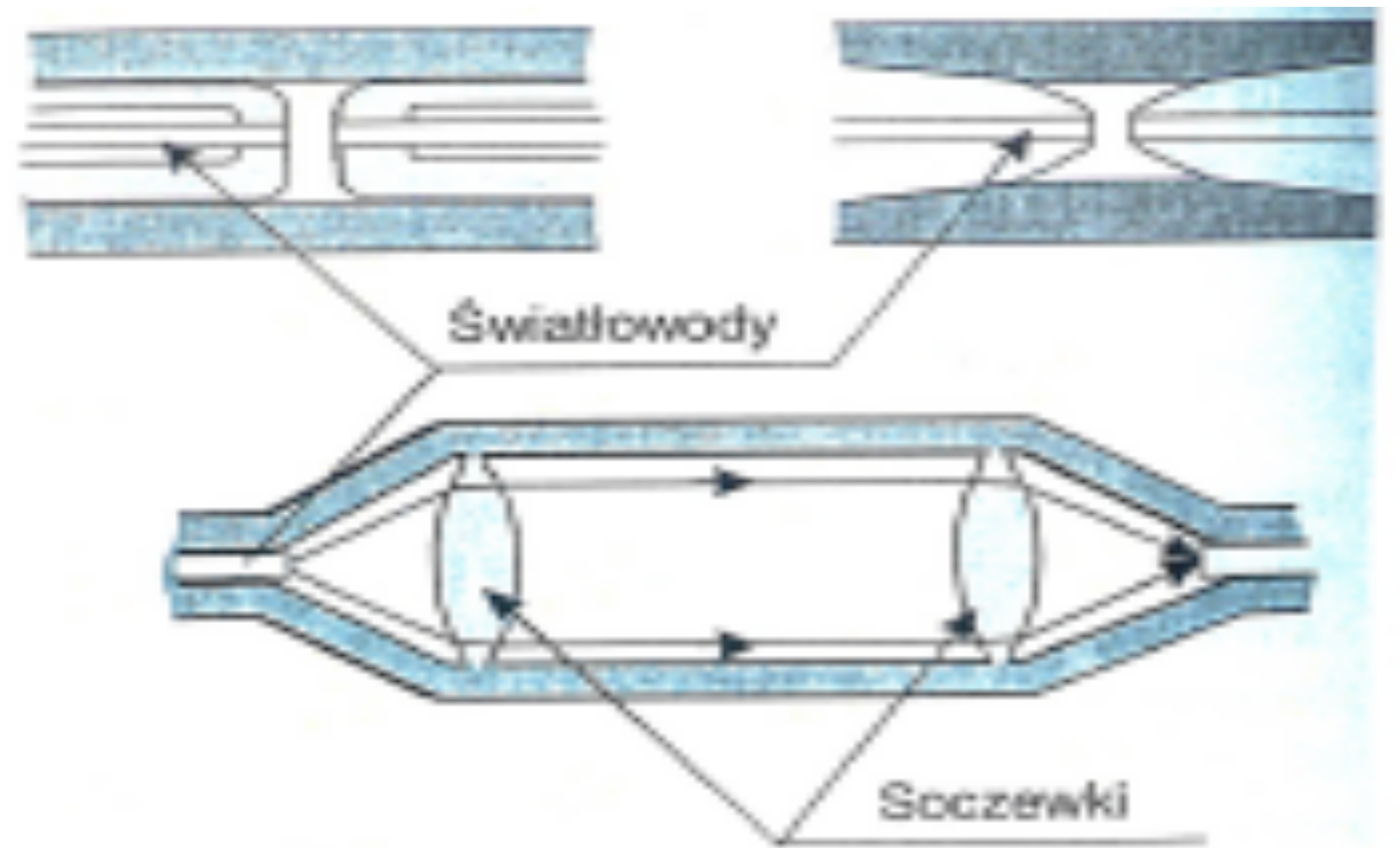


Światłowód - właściwości transmisyjne

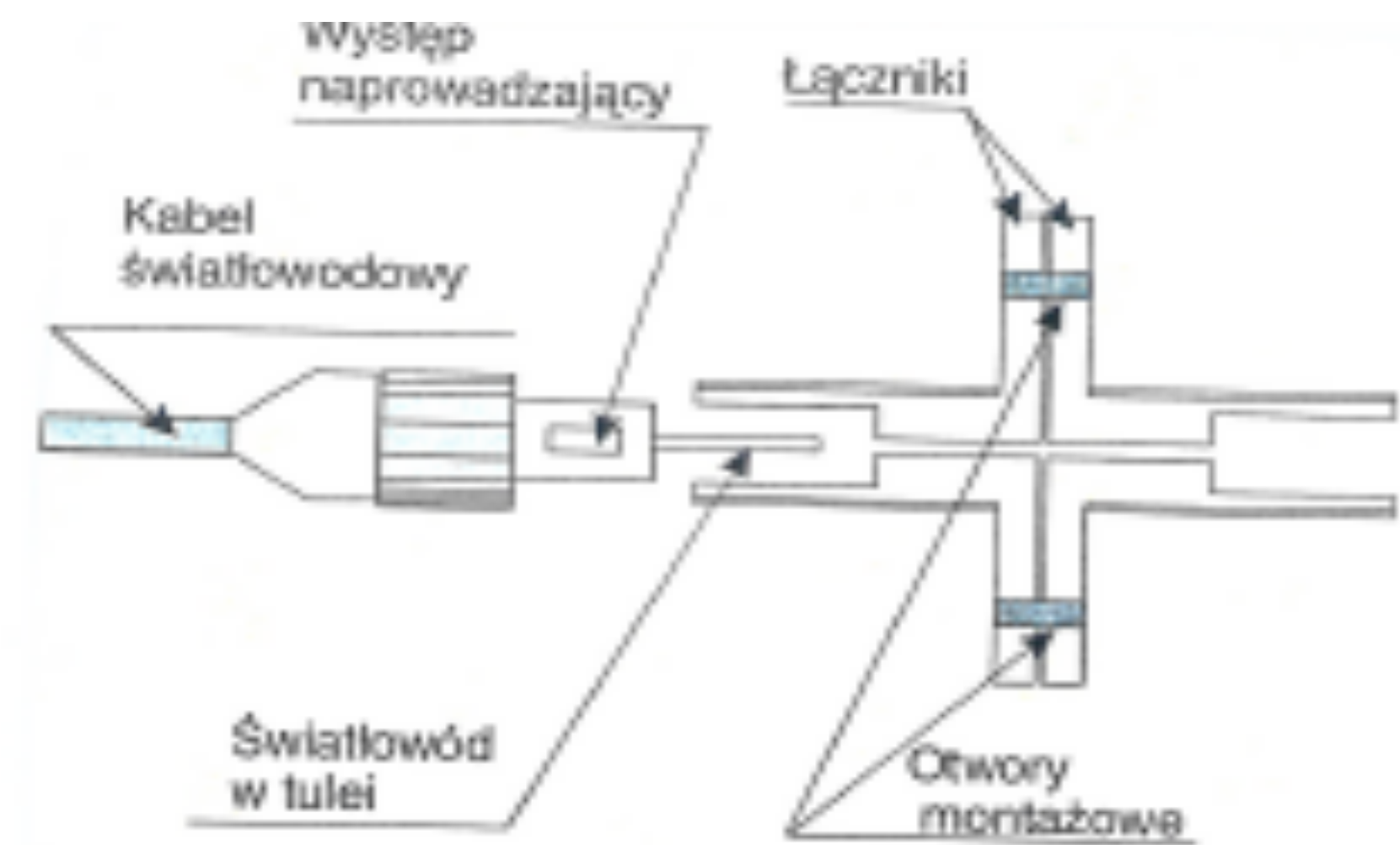


Rys. IV.14. Widmo tłumienności falowodu kwarcowego

Światłowód - sprzęgacze

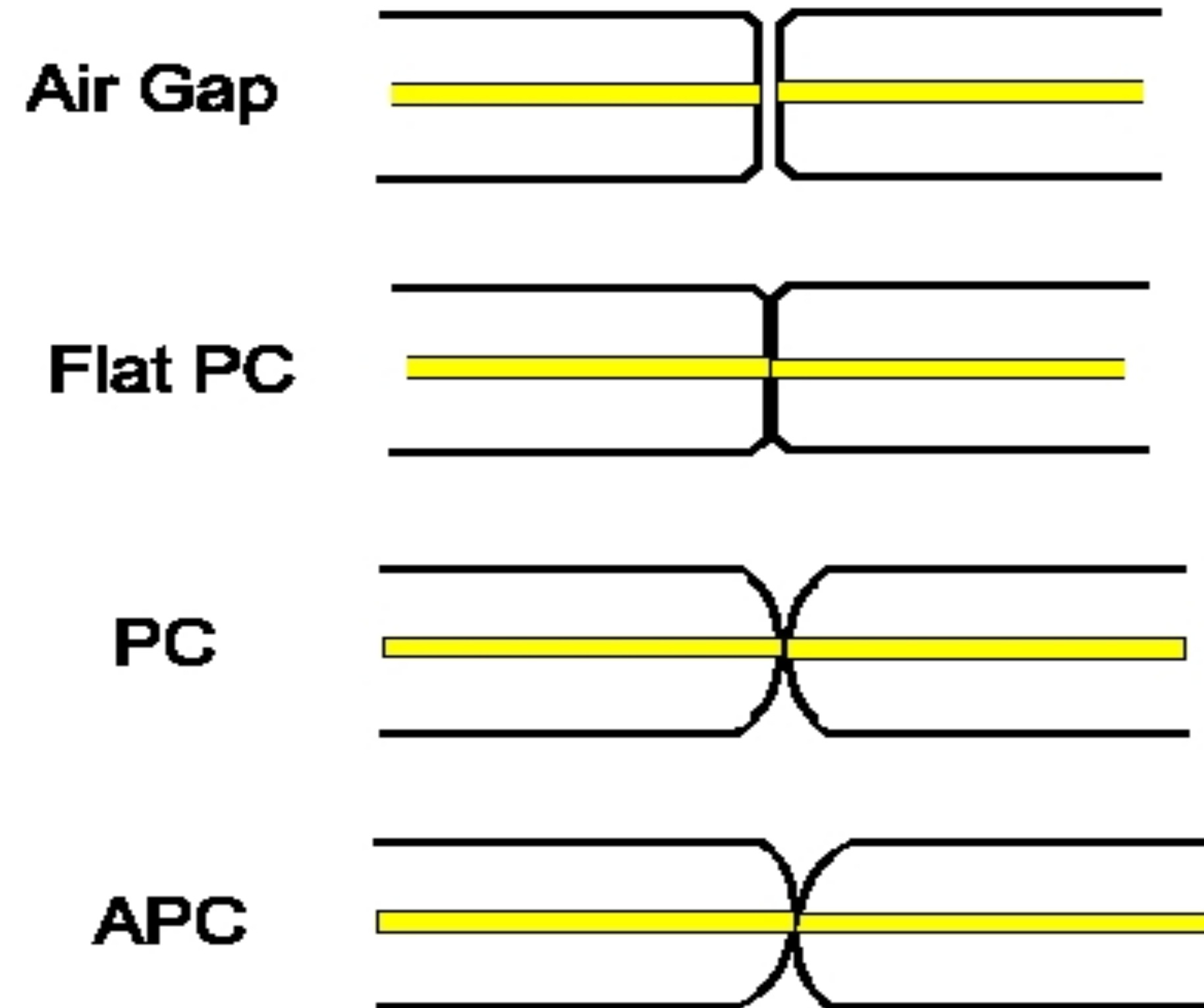


Rys. IV.35. Przykłady złącz rozłączalnych



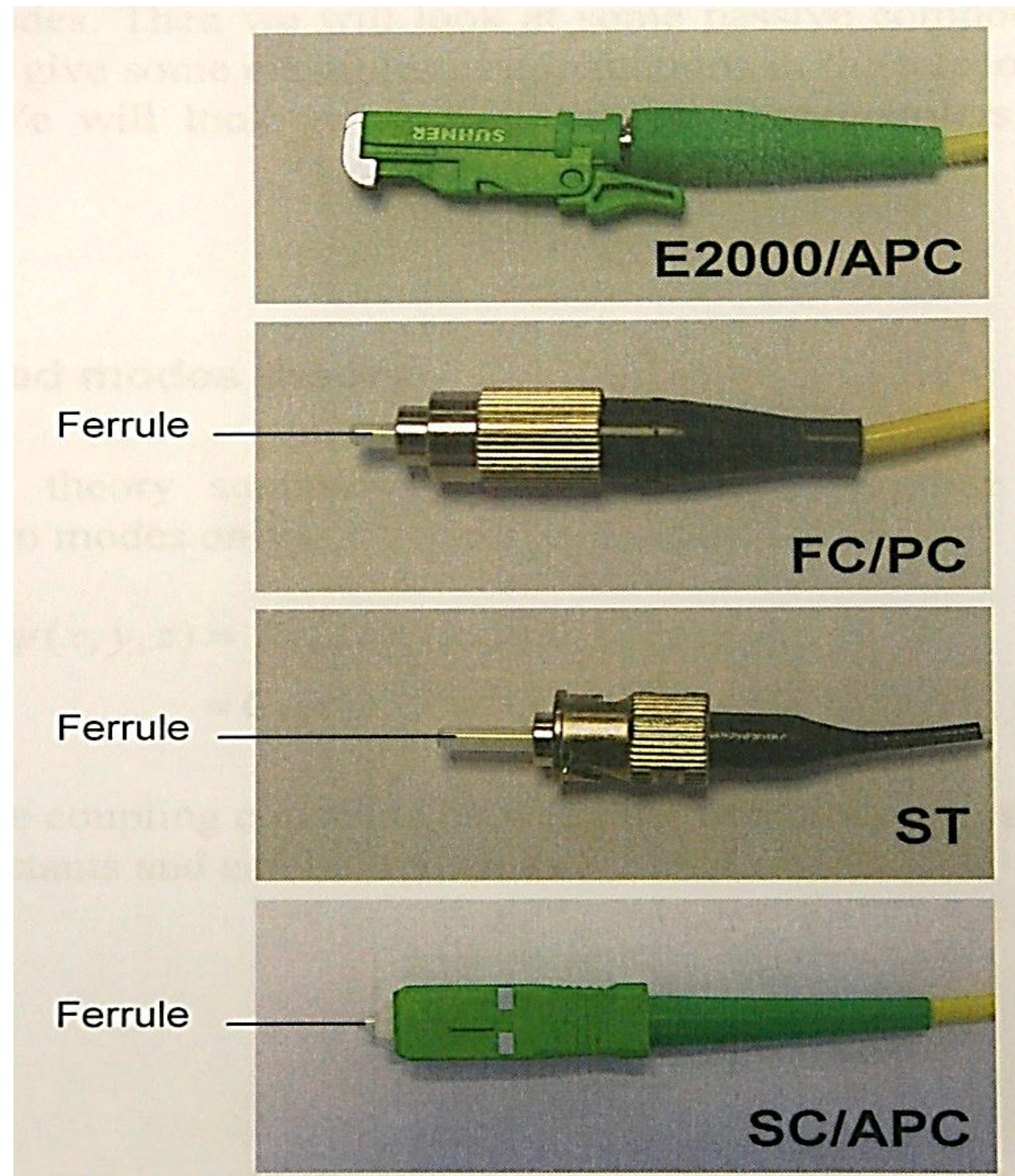
Rys. IV.37. Konstrukcja złącza FC/PC

Światłowód - sprzęgacze



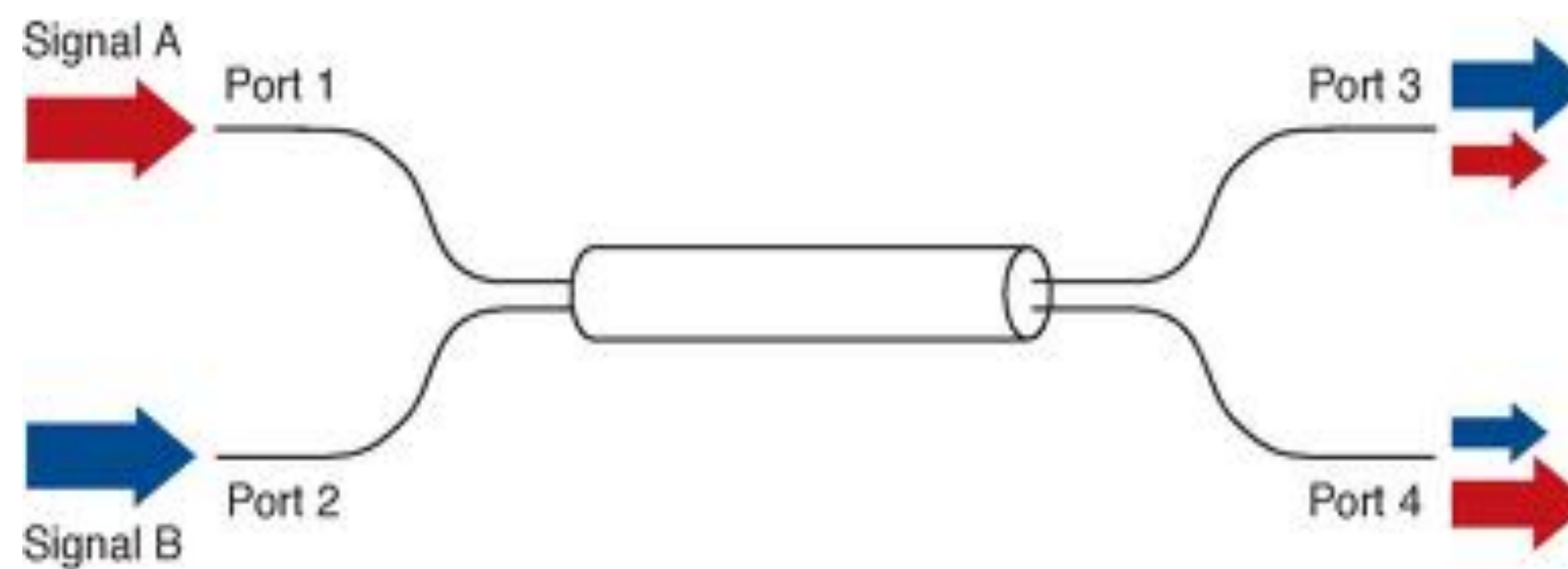
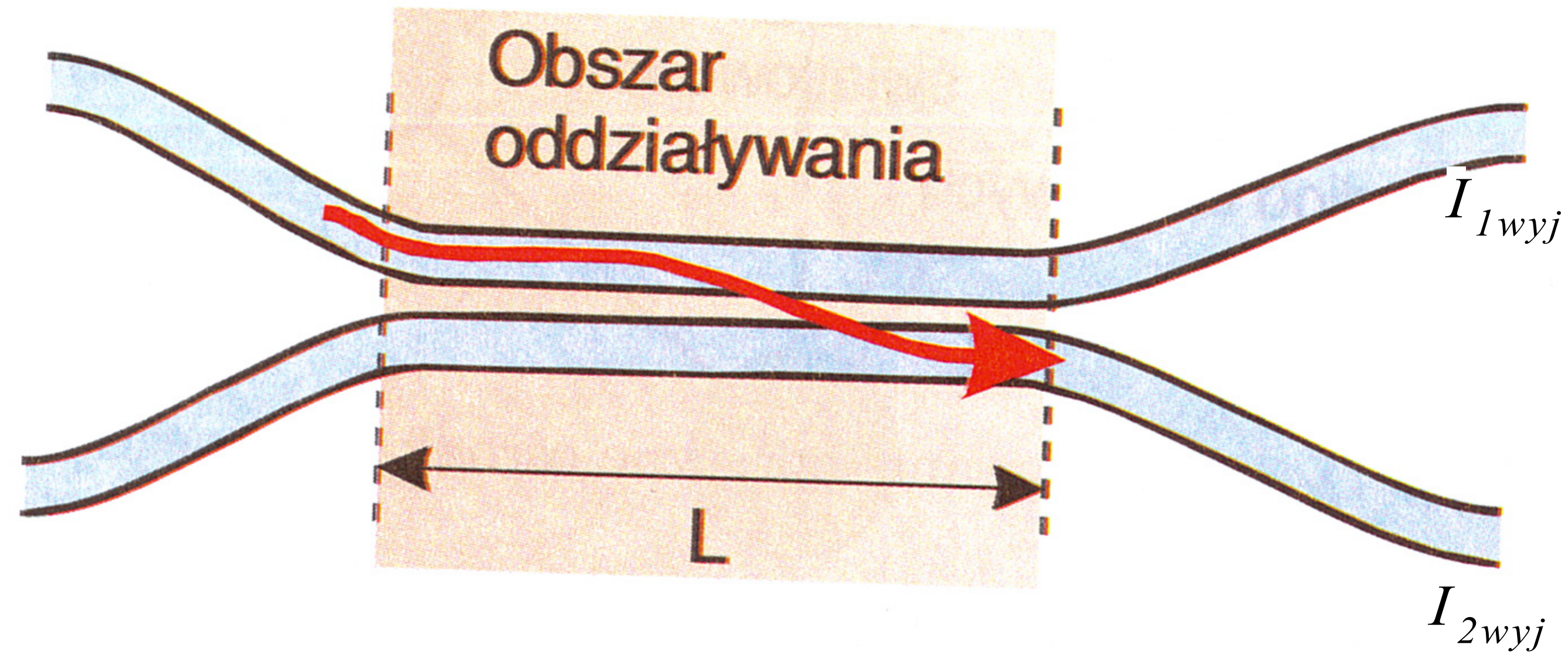
Litera A w symbolu oznacza, że czoło światłowodu jest oszlifowane pod kątem, aby światło odbite od powierzchni styku rdzeni było usuwane poza włókno.

Światłowód -sprzęgacze

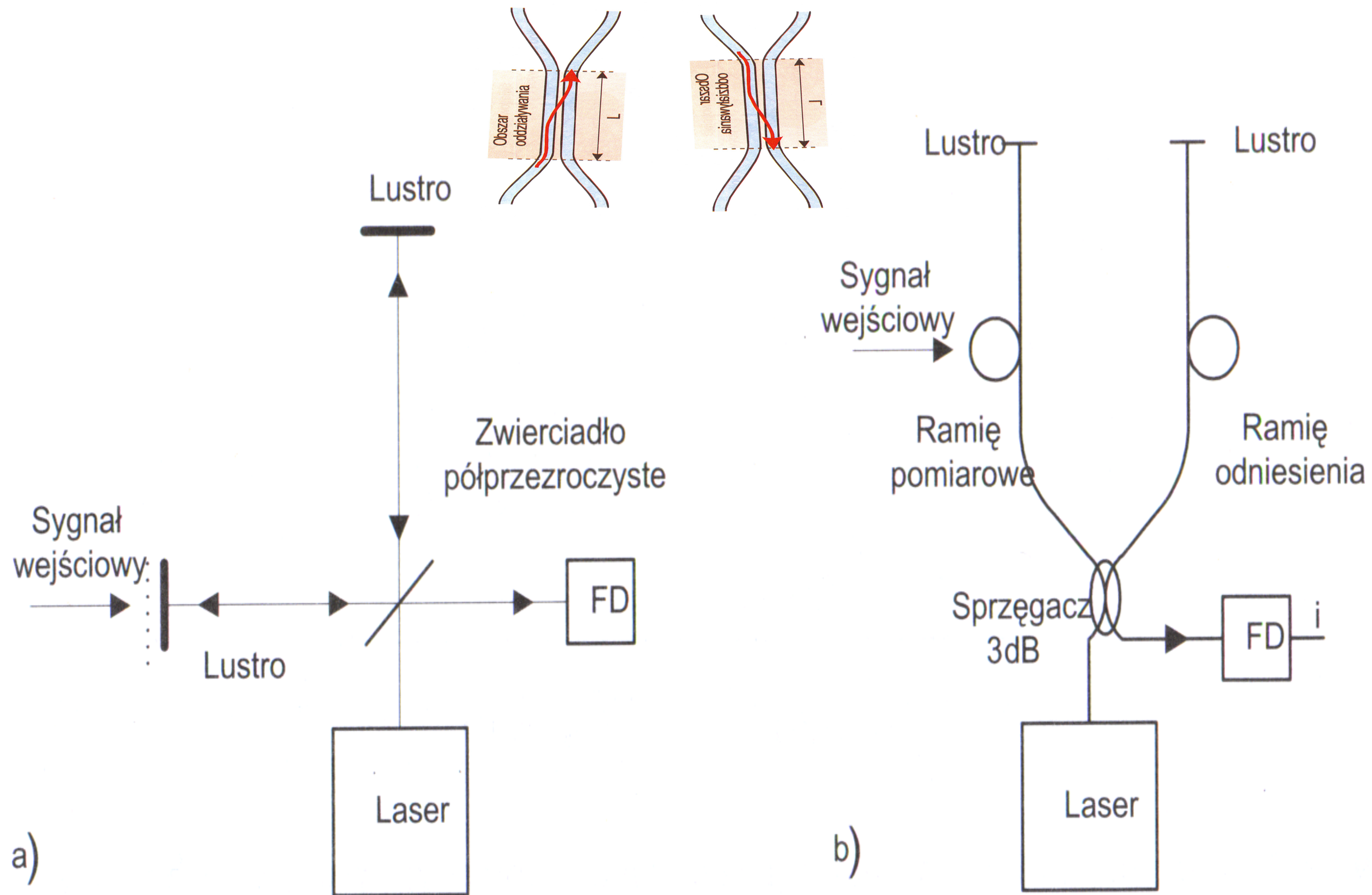


Złącze E2000/APC- wariant rozwiązania SC, o najlepszych parametrach ze złącz dostępnych na rynku. Złącze wtykane, zatrzaskowe, wyposażone w mechanizm zabezpieczający przed obrotem. Wsuwa się je w tuleję wykonaną z dwutlenku cyrkonu, a jego czoło jest zabezpieczone przed uszkodzeniami i zanieczyszczeniami metalową klapką. Litera A w symbolu oznacza, że czoło światłowodu jest oszlifowane pod kątem, aby światło odbite od powierzchni styku rdzeni było usuwane poza włókno.

Światłowód – optyczny sprzęgacz kierunkowy

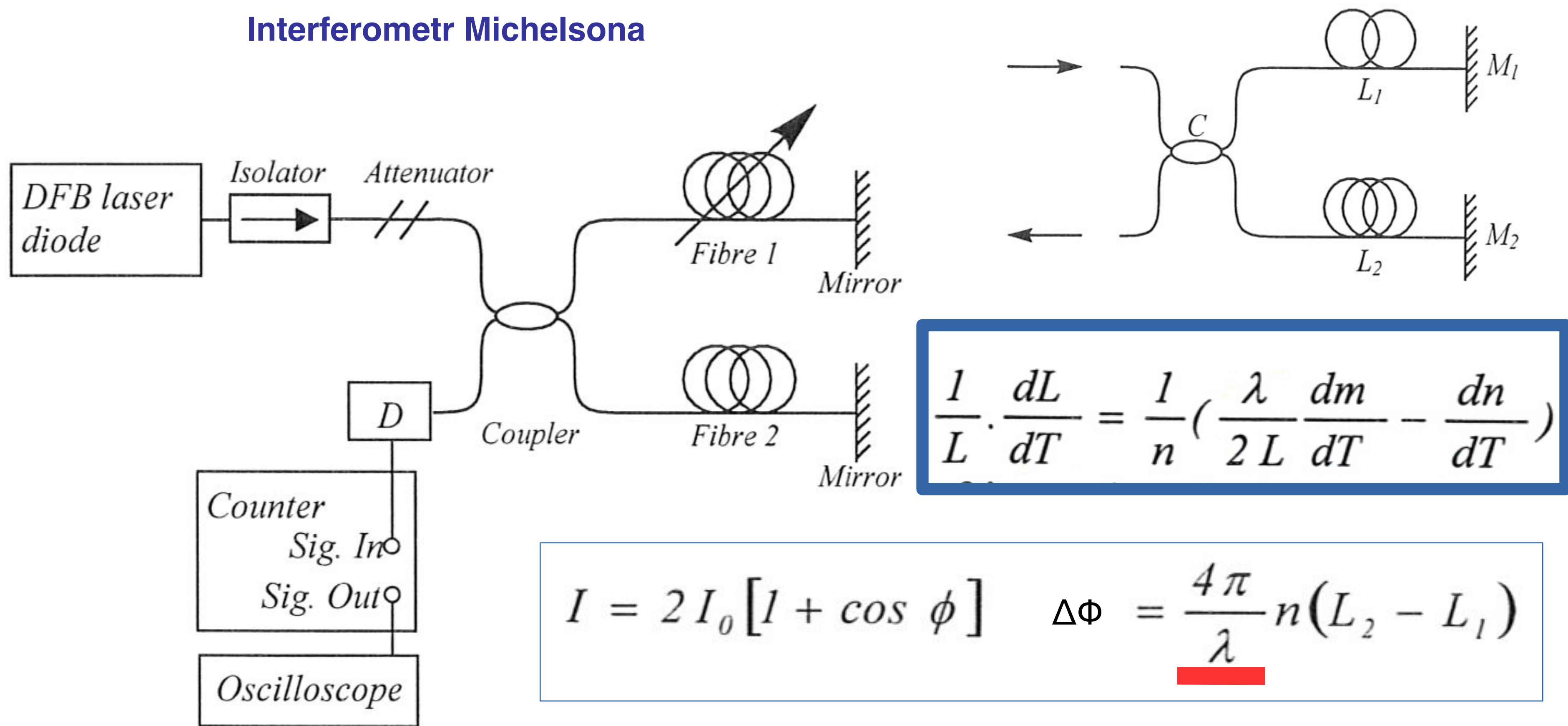


$$I_{2wyj} \propto L$$



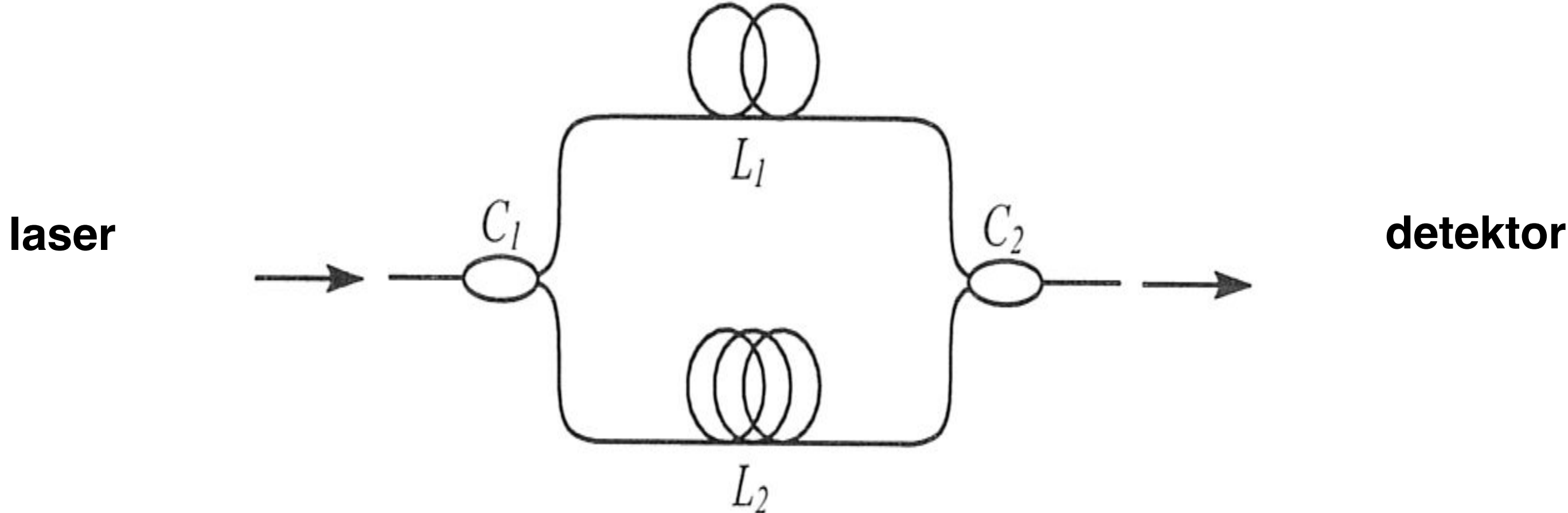
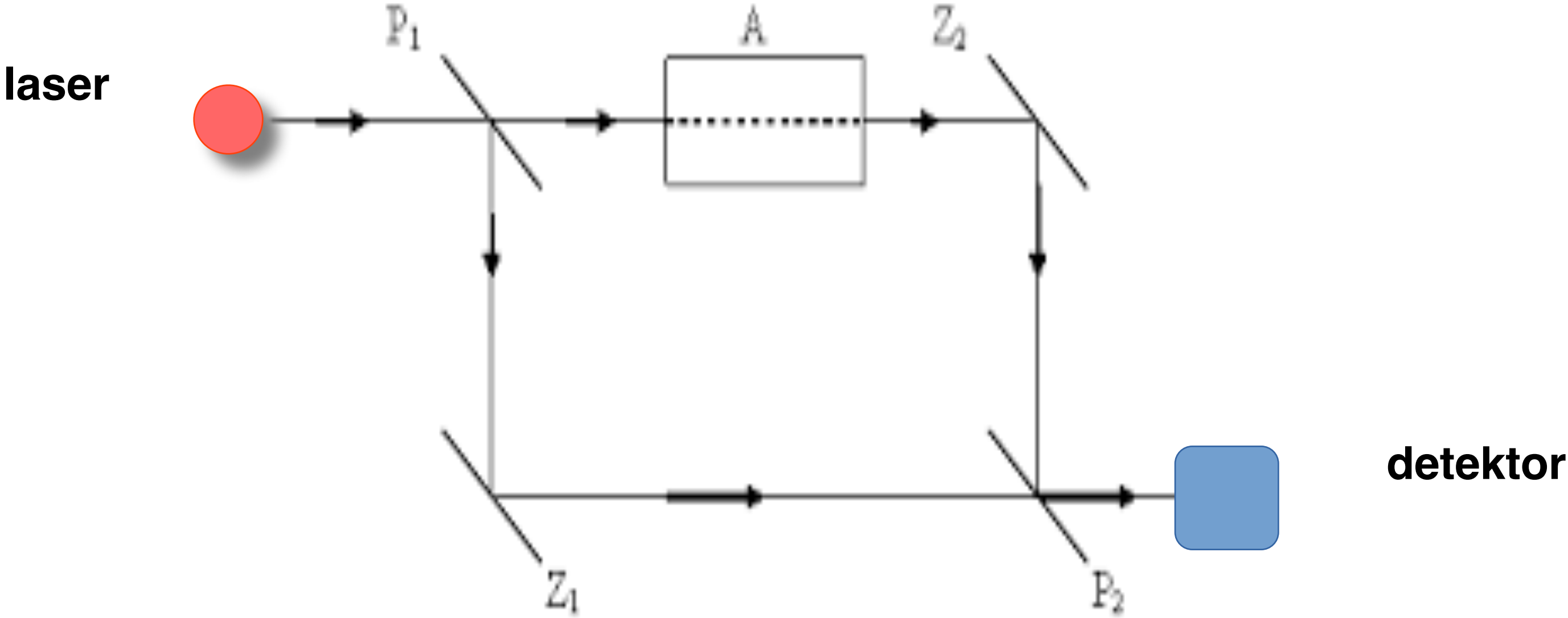
Rys. 6.4 Schematy układu interferometru Michelsona: a) klasycznego, b) światłowodowego.

Interferometr Michelsona

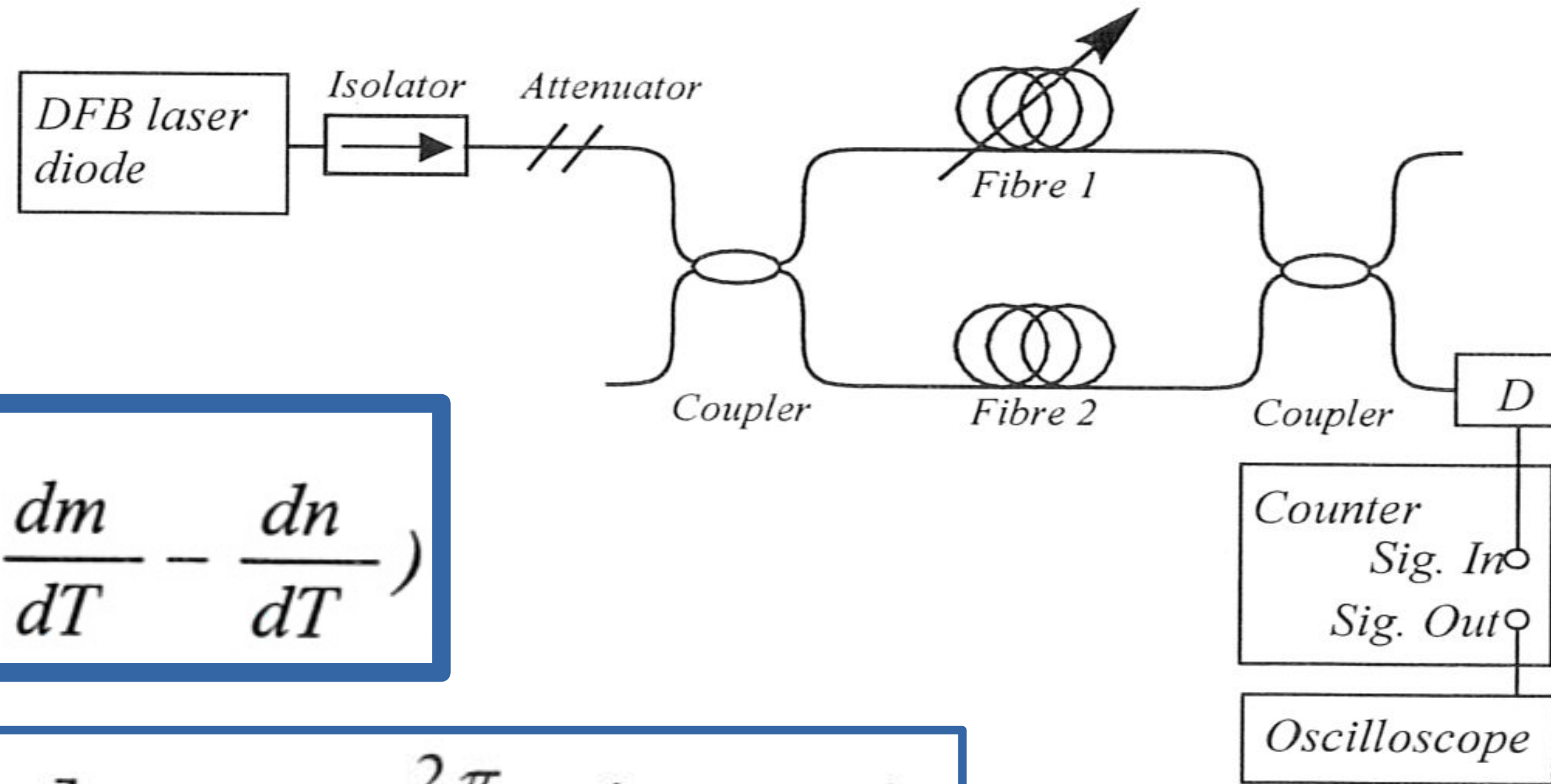


N° of measurements	Number of fringes		$\frac{1}{L} \cdot \frac{dL}{dT}$ (°C)	
	dm (20-40 °C)	dm (40-20 °C)	20-40 °C (*10E-7)	40-20 °C (*10E-7)
1	1480	1430	3.0	5.2
2	1436	1452	4.9	4.2
3	1485	1441	2.7	4.7

Interferometr Macha - Zehndera



Interferometr Macha - Zehndera



$$\frac{1}{L} \cdot \frac{dL}{dT} = \frac{1}{n} \left(\frac{\lambda}{2L} \frac{dm}{dT} - \frac{dn}{dT} \right)$$

$$I = 2 I_0 [1 + \cos \phi] \quad \Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} n (L_2 - L_1)$$

N° of measurements	Number of fringes		$\frac{1}{L} \cdot \frac{dL}{dT}$ (°C)	
	dm (20-40 °C)	dm (40-20 °C)	20-40 °C (*10E-7)	40-20 °C (*10E-7)
1	741	707	2.9	5.9
2	718	726	4.9	4.2
3	741	721	2.9	4.7

Dziękuję za uwagę!

W wykładzie wykorzystano materiały ze stron internetowych:

<http://www.linos.com>, <http://www.mellesgriot.com>

oraz książki: J.-R. Meyer-Arendt „Wstęp do optyki” PWN Warszawa 1977

W wykładzie wykorzystano materiały ze stron internetowych:

<http://www.mellesgriot.com>, <http://www.linos.com> ,

oraz podręcznika: J.Chalecki „Przyrządy optyczne” WNT Warszawa 1979