

# Elementy optroniki #1

**dr inż. Dawid Kucharski**

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

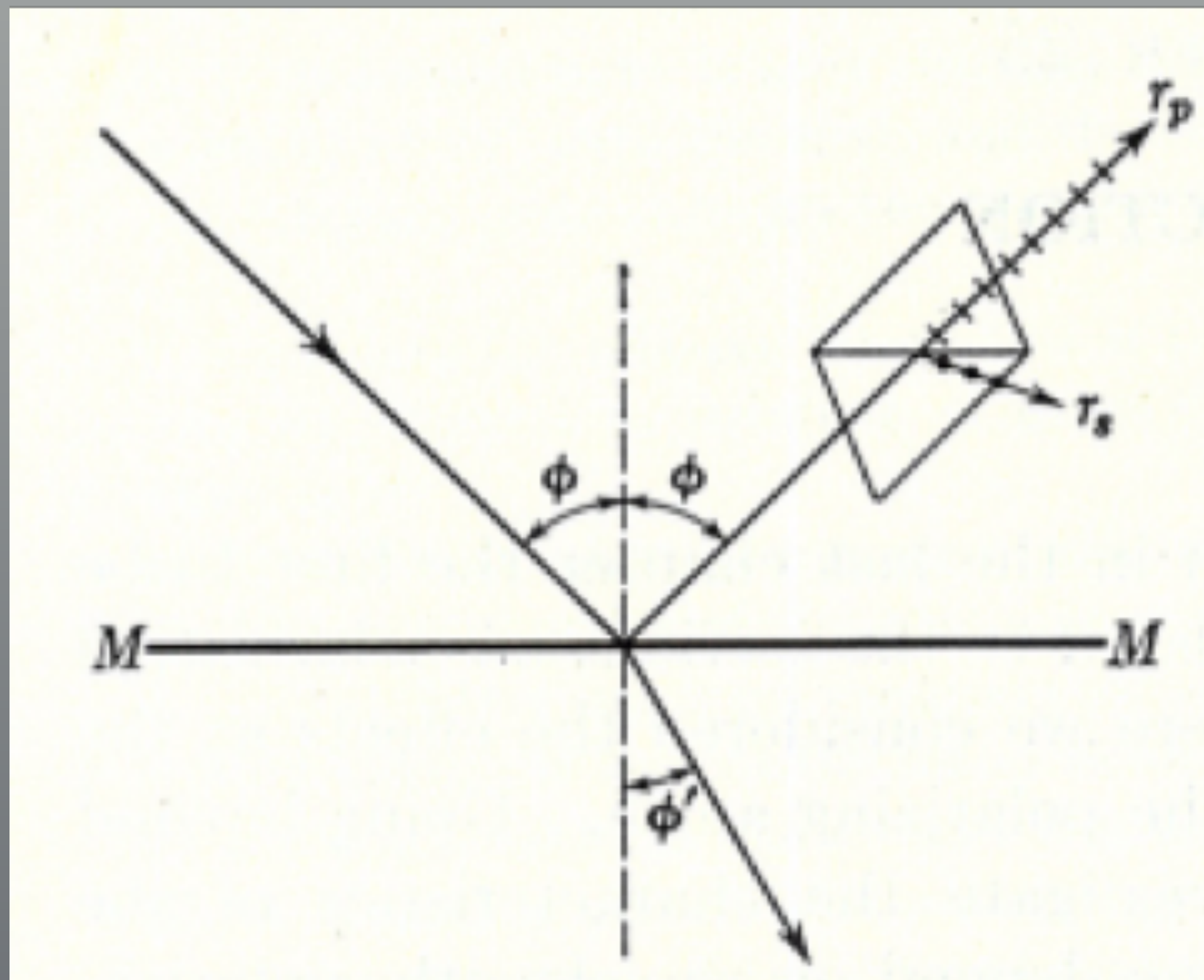
pokój 129 CM (lab. 214, 212, 135 CM)

[dawid.kucharski@put.poznan.pl](mailto:dawid.kucharski@put.poznan.pl)

[www.dawid.kucharski.pracownik.put.poznan.pl](http://www.dawid.kucharski.pracownik.put.poznan.pl)



# Optyczne zjawiska na granicy dwóch ośrodków



odbicie

załamanie

rozproszenie

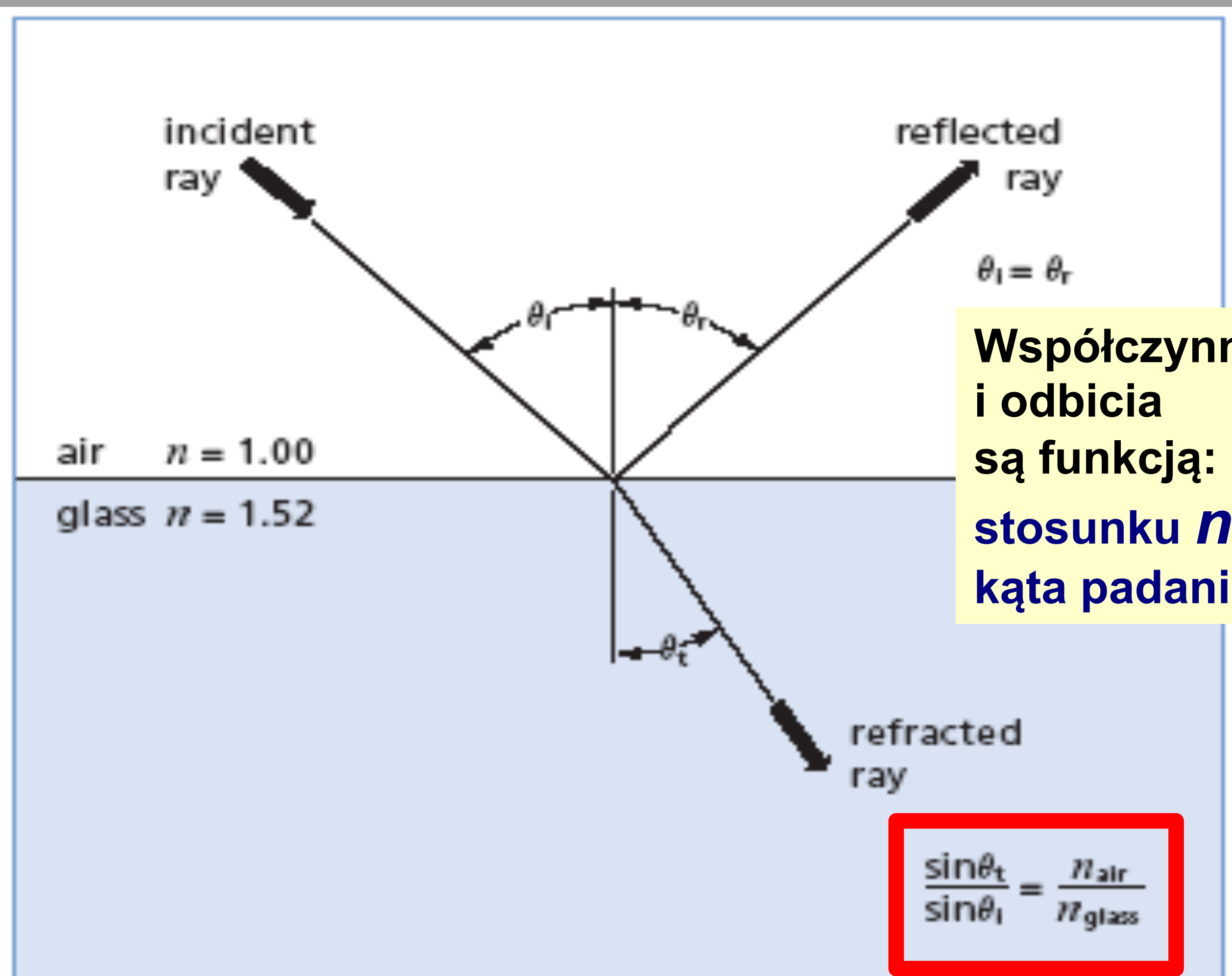
zmiana stanu polaryzacji

absorpcja

dielektryki

materiały przewodzące  
metale, stopy

# Odbicie na granicy dwóch ośrodków dielektrycznych



Współczynniki przepuszczalności i odbicia są funkcją: stosunku  $n$  dwóch ośrodków kąta padania

Figure 5.1 Reflection and refraction at a simple air/glass interface

# Kąt padania równy kątowi Brewstera

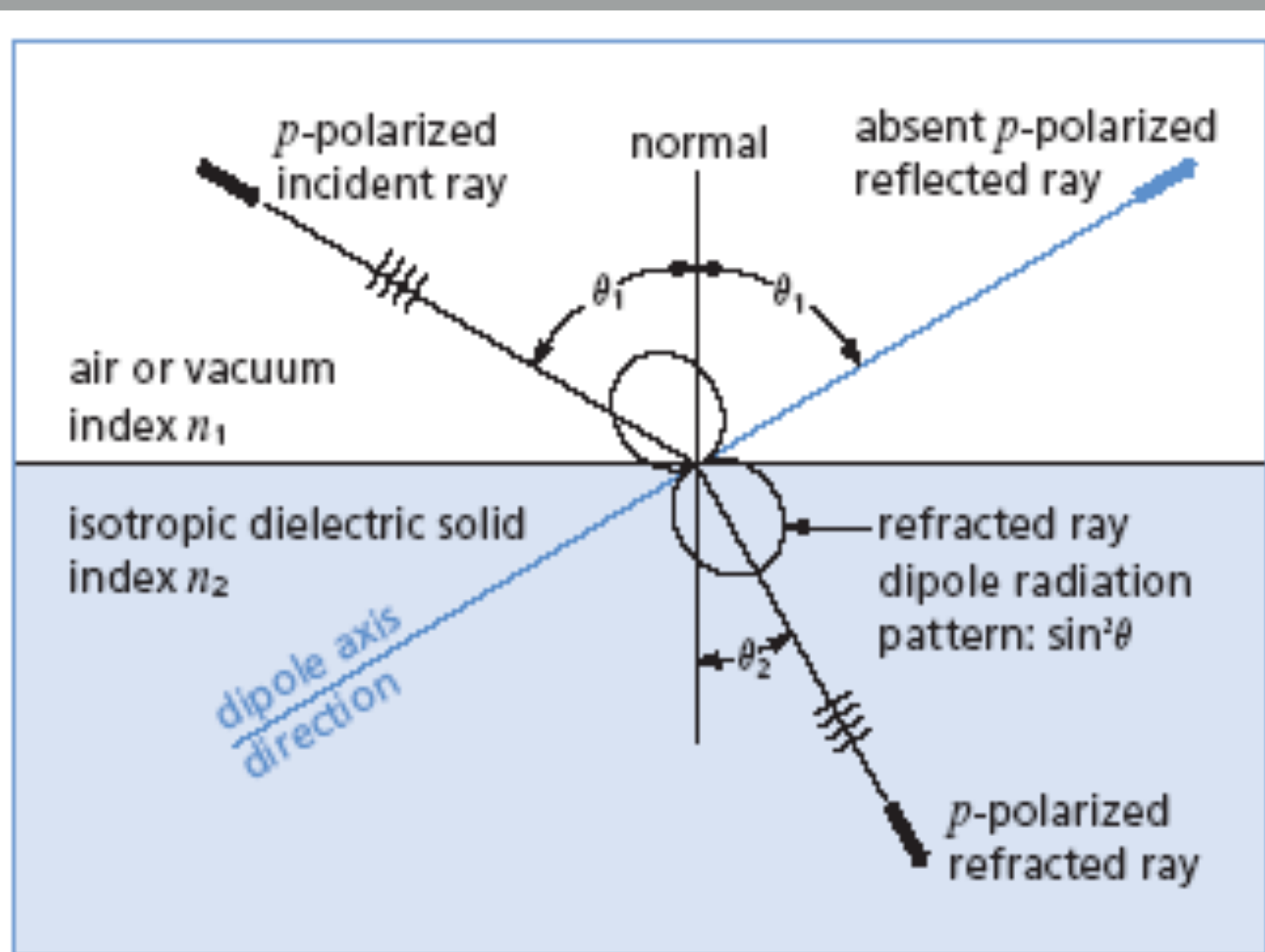


Figure 5.3 Brewster's angle: at this angle, the  $p$ -polarized component is completely absent in the reflected ray

$$r_s = \left( \frac{\sin(\theta_1 - \theta_2)}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \right)^2 \quad r_p = \left( \frac{\tan(\theta_1 - \theta_2)}{\tan(\theta_1 + \theta_2)} \right)^2$$

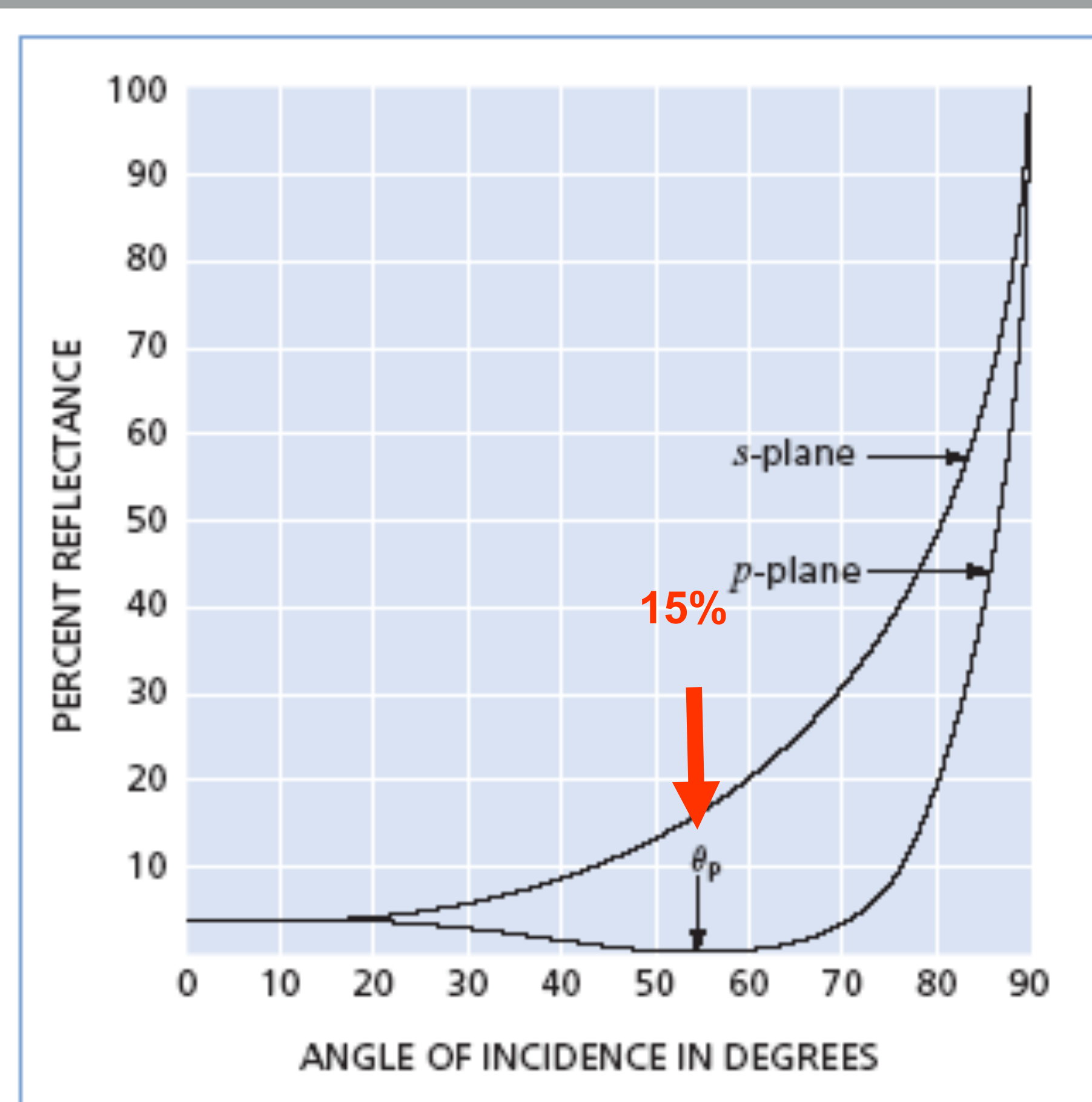


Figure 5.2 External reflection at a glass surface ( $n = 1.52$ ) showing  $s$ - and  $p$ -polarized components

$$n = 1,52 \quad \theta_p^{Brewster} = 56^\circ 39'$$



# Wewnętrzne odbicie na granicy dwóch ośrodków dielektrycznych

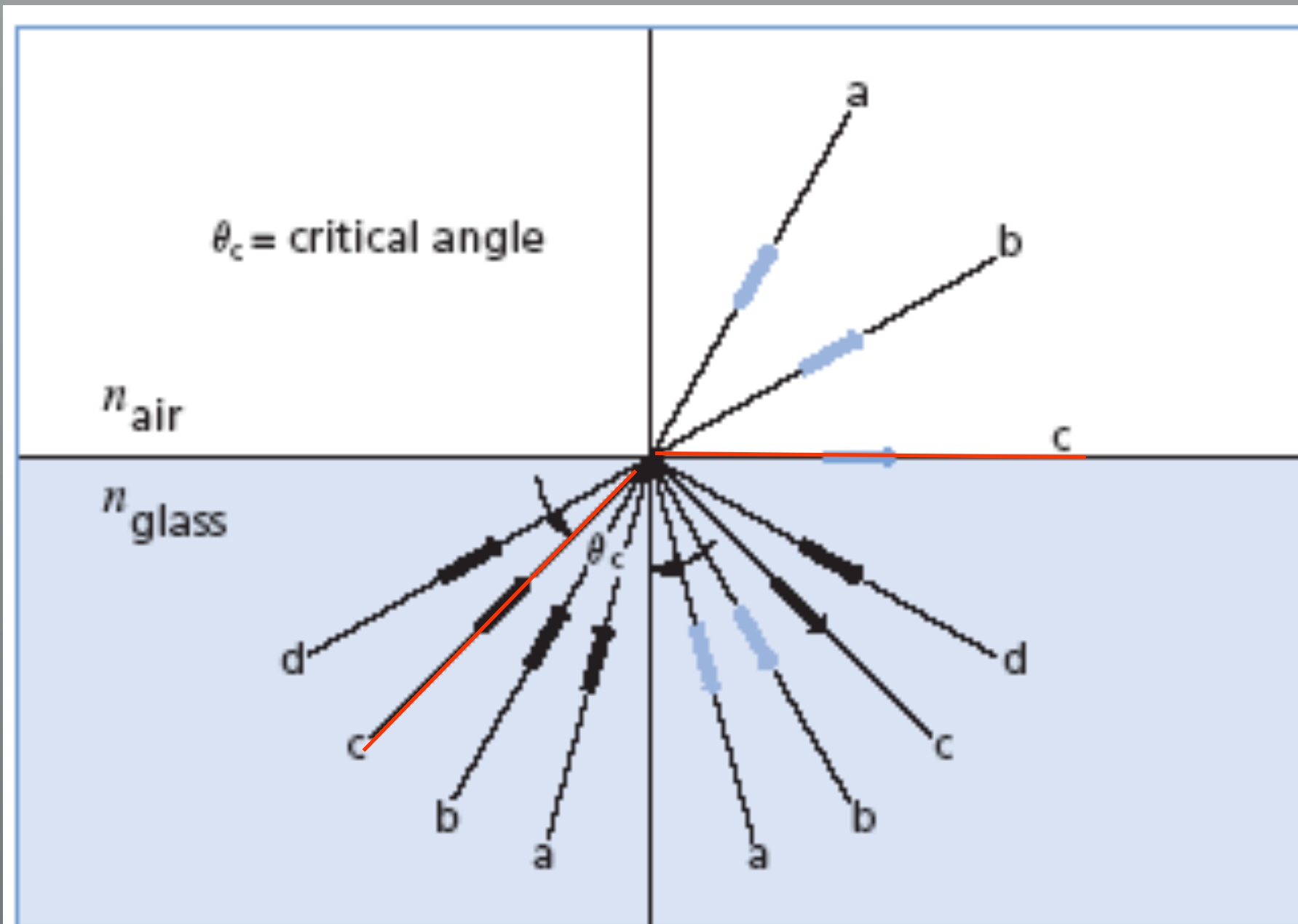


Figure 5.4 Internal reflection at a glass surface ( $n = 1.52$ ) showing  $s$ - and  $p$ -polarized components

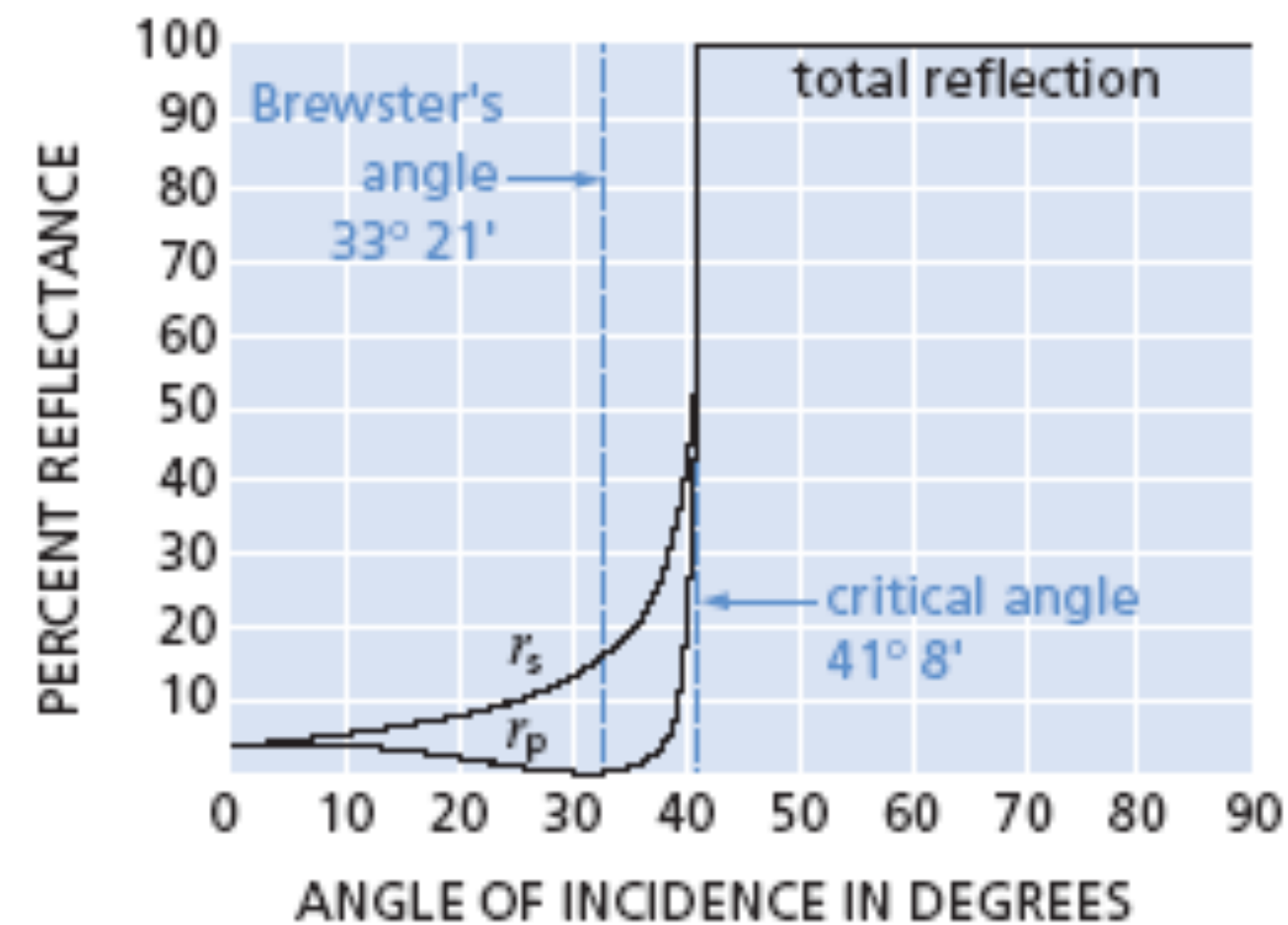


Figure 5.5 Critical angle: at this angle, the emerging ray is at grazing incidence

$$\theta_c(\lambda) = \arcsin\left(\frac{1}{n(\lambda)}\right)$$

# Wzory Fresnela

$$I_s^r = I_0 \left( \frac{\sin(\theta_1 - \theta_2)}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \right)^2 \quad I_p^r = I_0 \left( \frac{\operatorname{tg}(\theta_1 - \theta_2)}{\operatorname{tg}(\theta_1 + \theta_2)} \right)^2$$

$$I_s^t = I_0 \left( \frac{2 \sin \theta_1 \cos \theta_2}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \right)^2 \quad I_p^t = I_0 \left( \frac{2 \sin \theta_1 \cos \theta_2}{\sin(\theta_1 + \theta_2) \sin(\theta_1 - \theta_2)} \right)^2$$

***r*** – odbicie

***t*** – załamanie

***I*<sub>0</sub>** – natężenie światła padającego

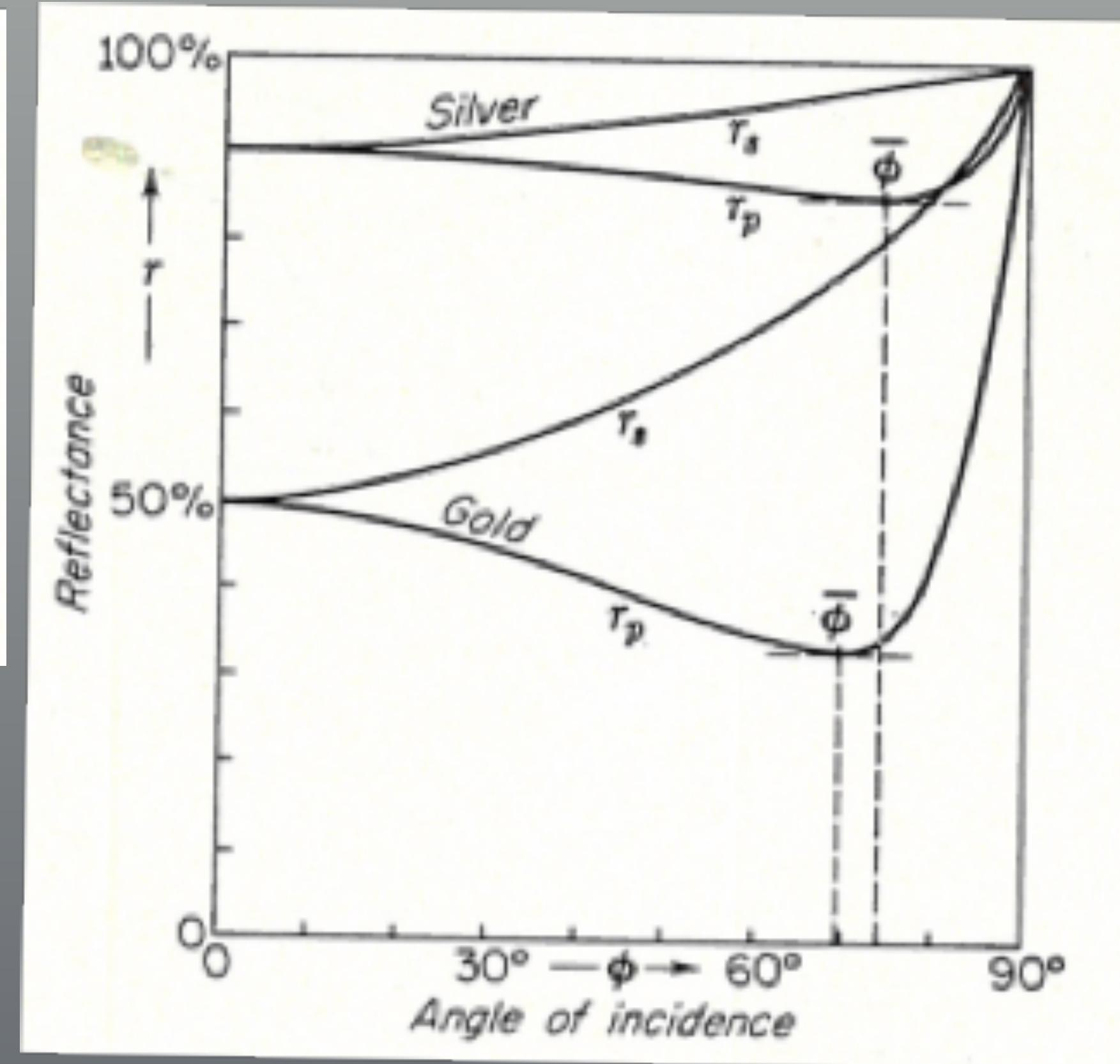
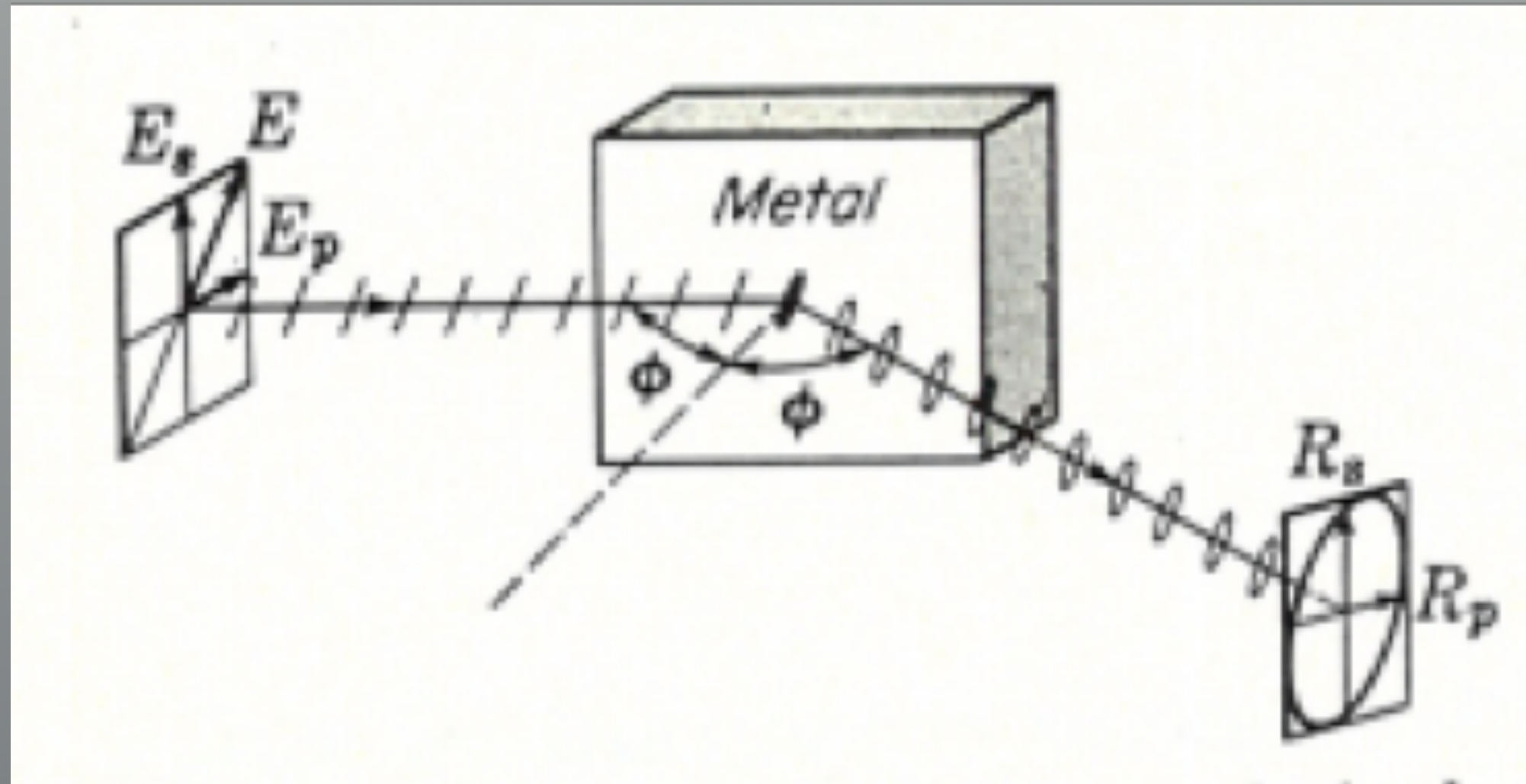
***s*** - polaryzacja wiązki prostopadła do płaszczyzny padania

***p*** - polaryzacja wiązki równoległa do płaszczyzny padania

***θ*<sub>1</sub>** – kąt padania

***θ*<sub>2</sub>** – kąt załamania

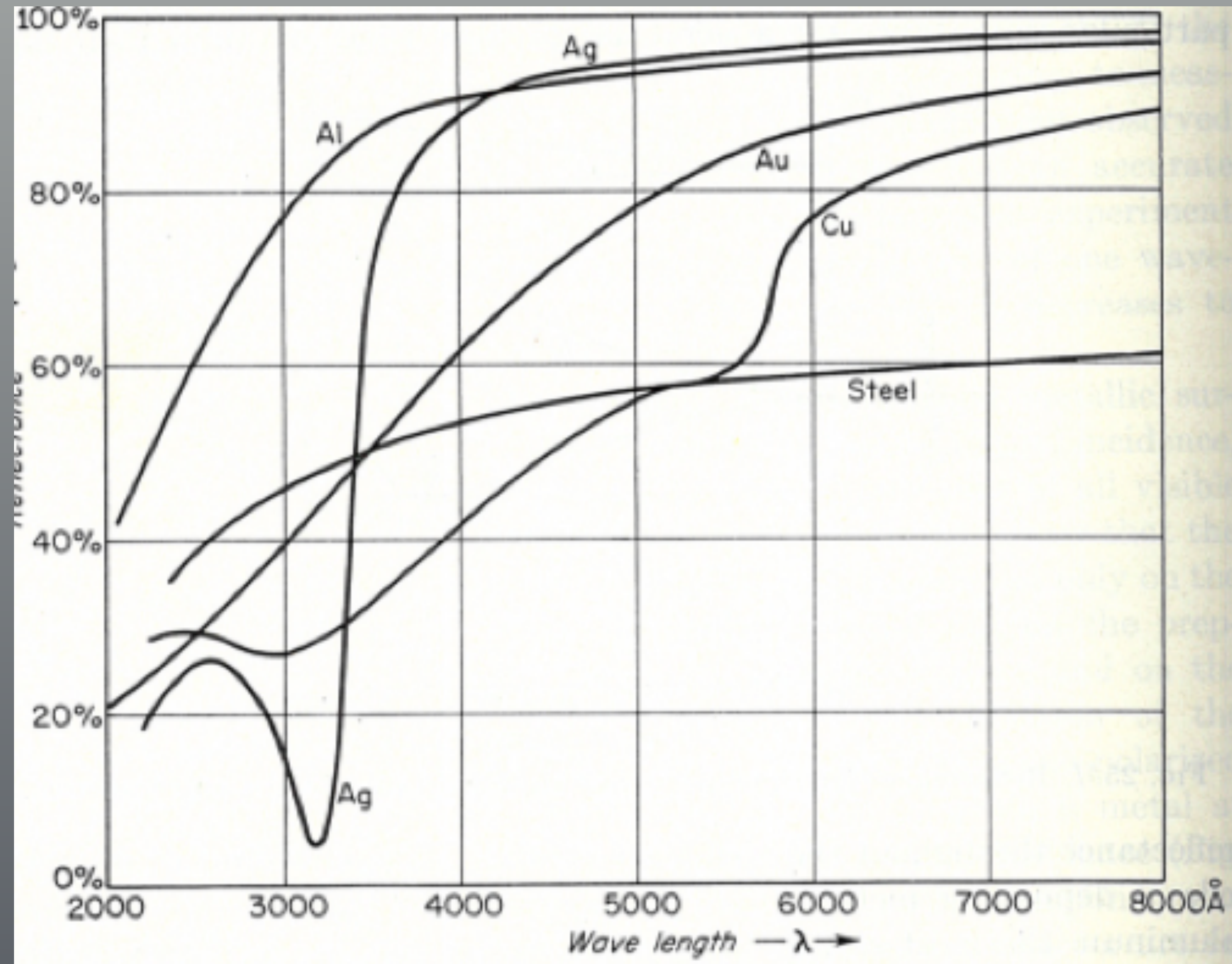
# Odbicie na granicy powietrze -metal



odbicie światła białego  
spolaryzowanego  
w płaszczyźnie padania  
od zwierciadła  
srebrnego i złotego



# Odbicie na granicy powietrze -metal



odbicie światła padającego wzdłuż normalnej od aluminium, srebra, złota miedzi i stali



Współczynnik odbicia wzdłuż normalnej  
na granicy powietrze – przewodnik (metal)

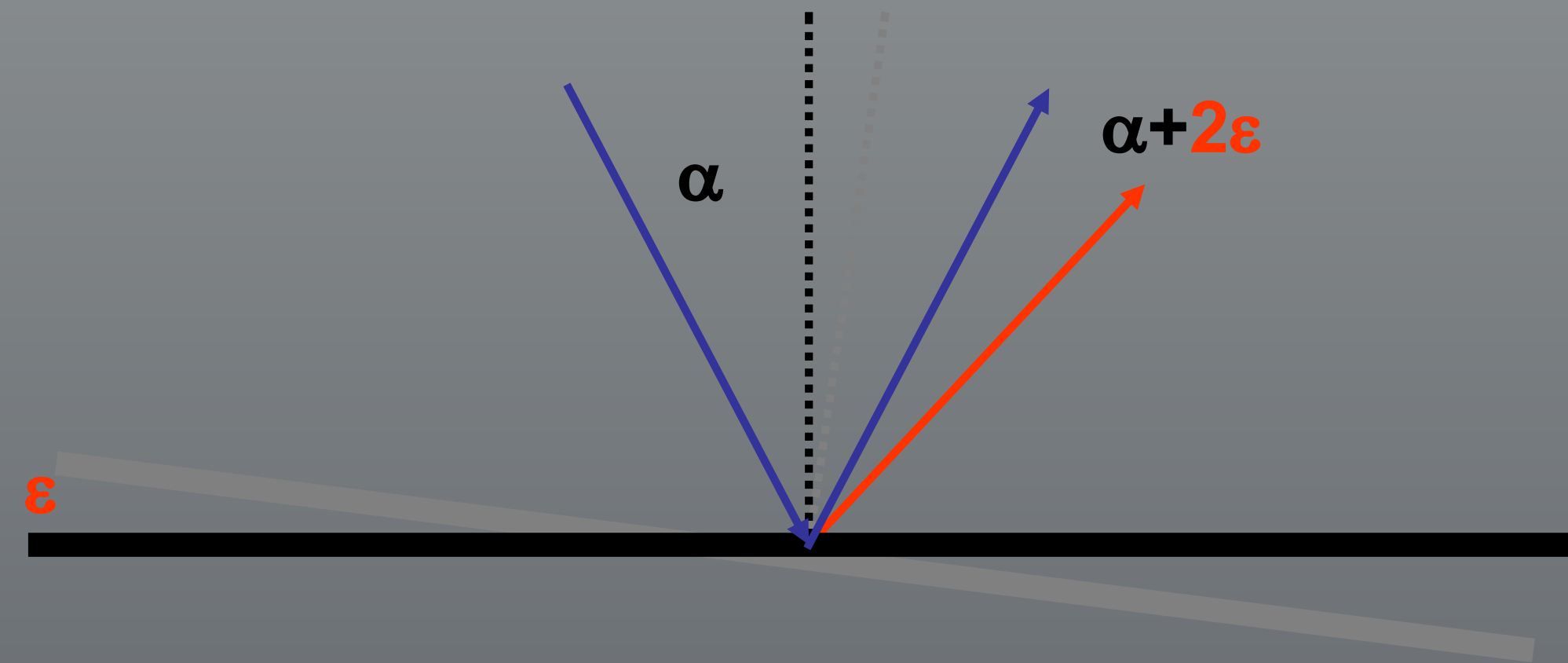
$$\frac{R^2}{E^2} = \frac{n(1 - i\kappa) - 1}{n(1 - i\kappa) + 1} \cdot \frac{n(1 + i\kappa) - 1}{n(1 + i\kappa) + 1} = \frac{(n - 1)^2 + \kappa_0^2}{(n + 1)^2 + \kappa_0^2}$$

$\kappa_0$  - współczynnik absorpcji

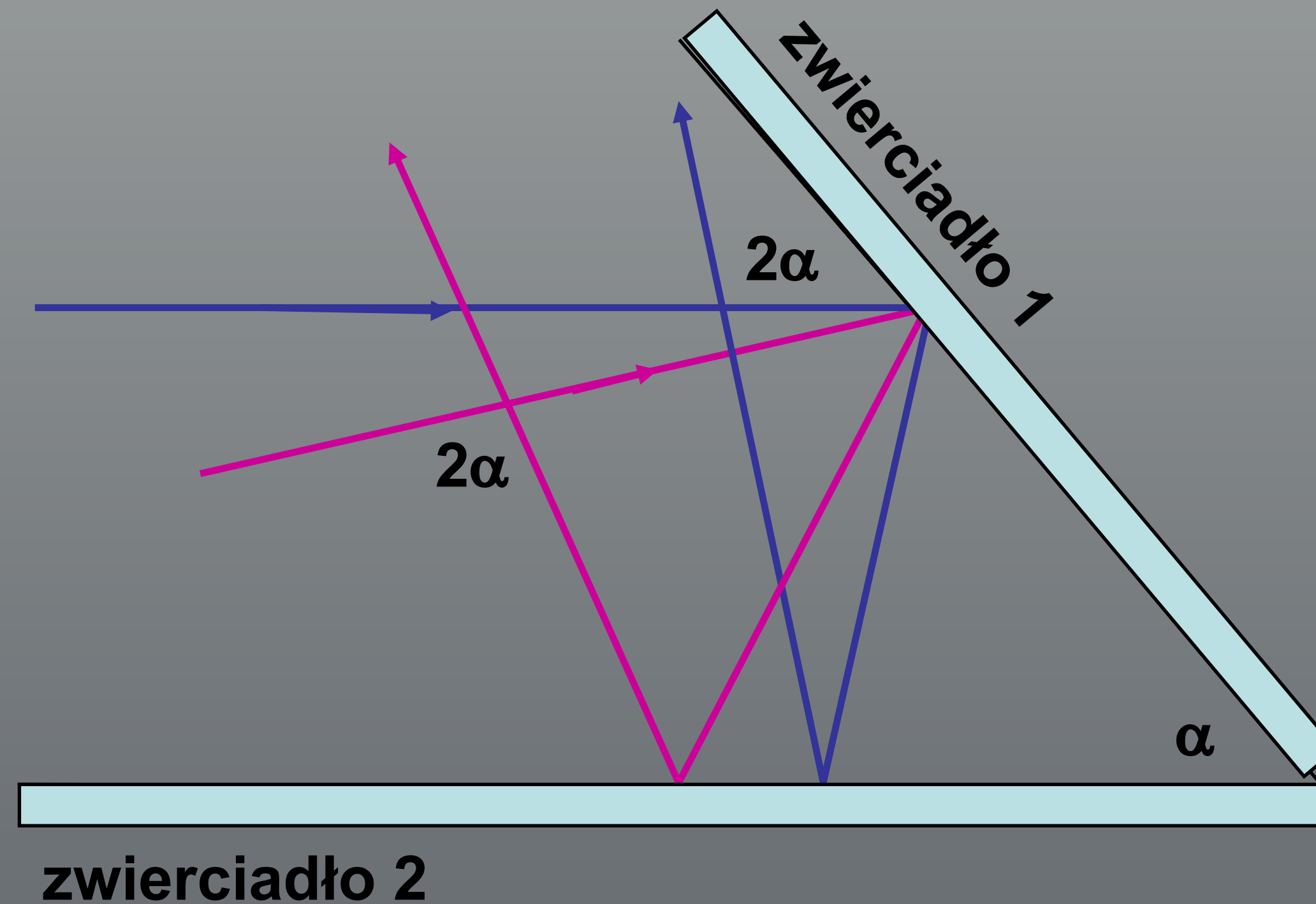
Współczynnik odbicia wzdłuż normalnej  
na granicy powietrze - dielektryk

$$r = \frac{R^2}{E^2} = \left( \frac{n - 1}{n + 1} \right)^2$$

# Odbicie na granicy dwóch ośrodków



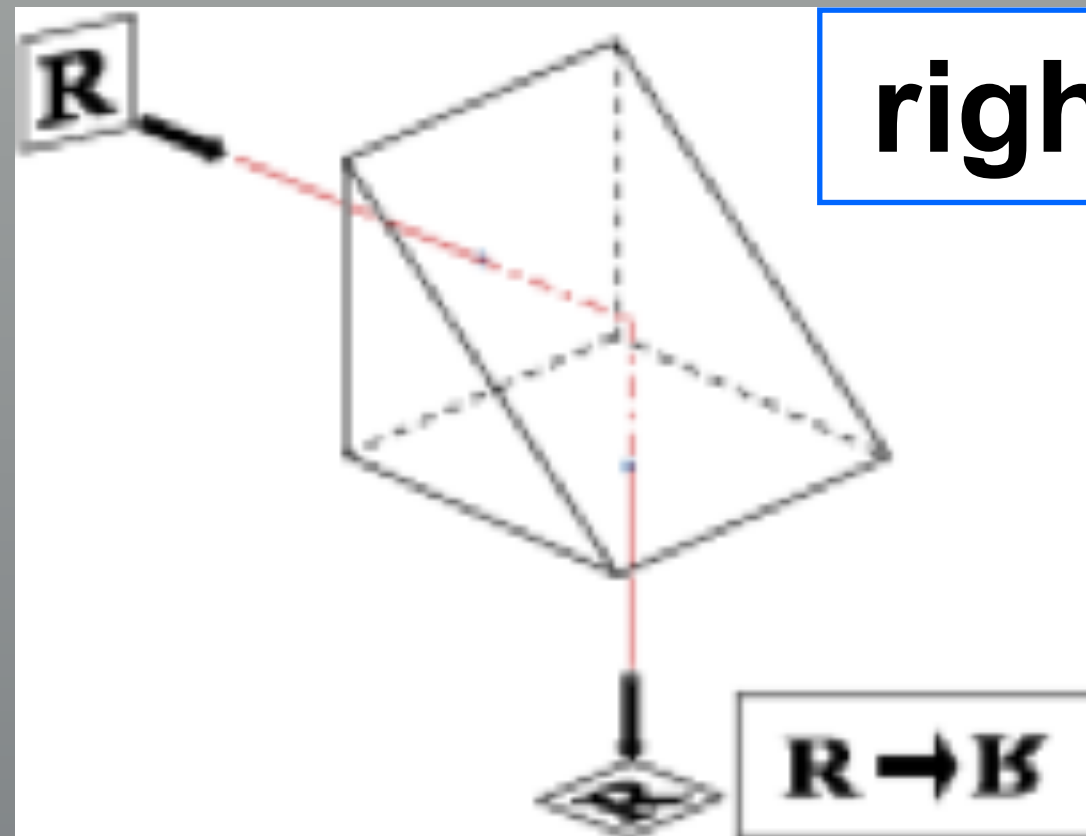
# Odbicie



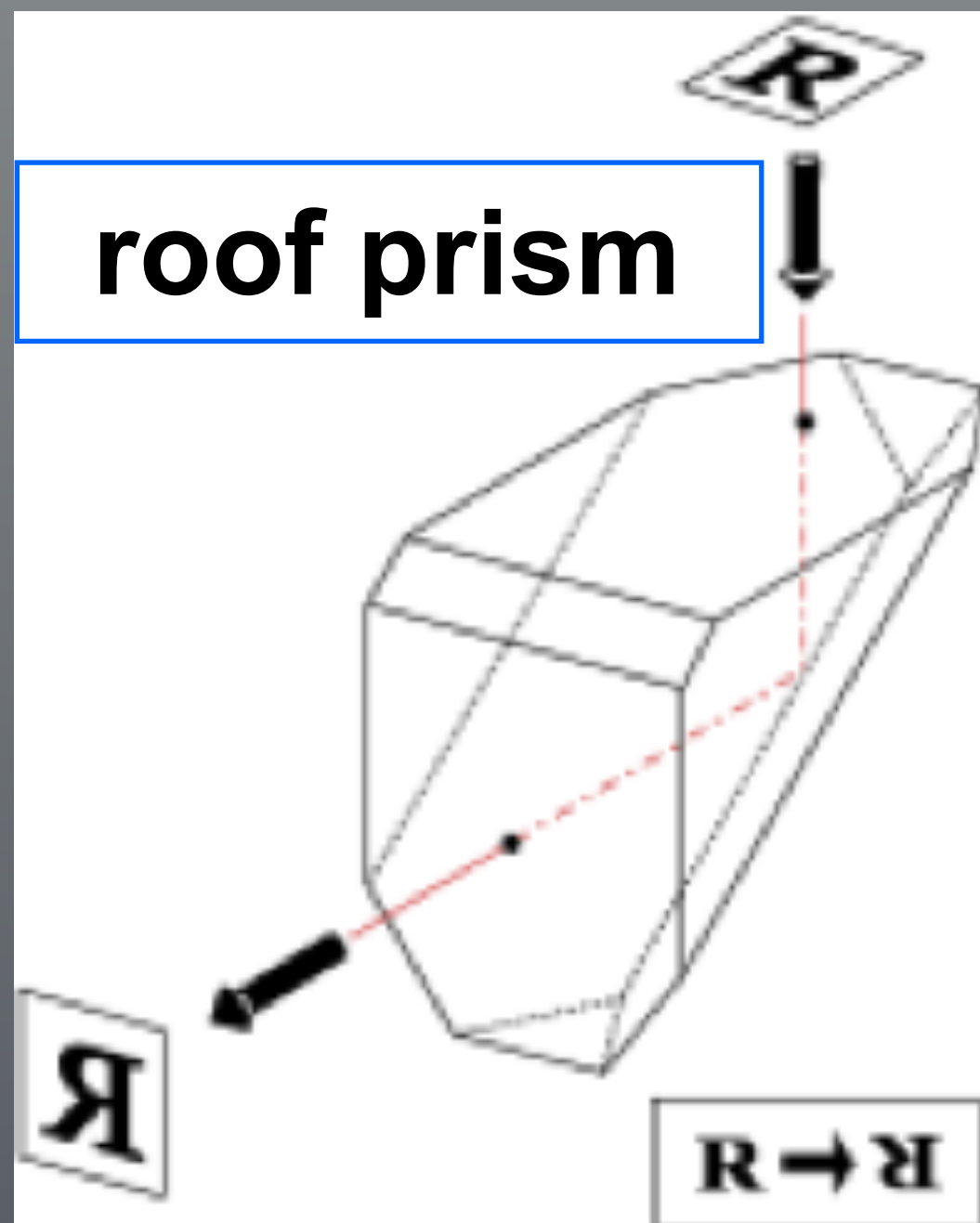
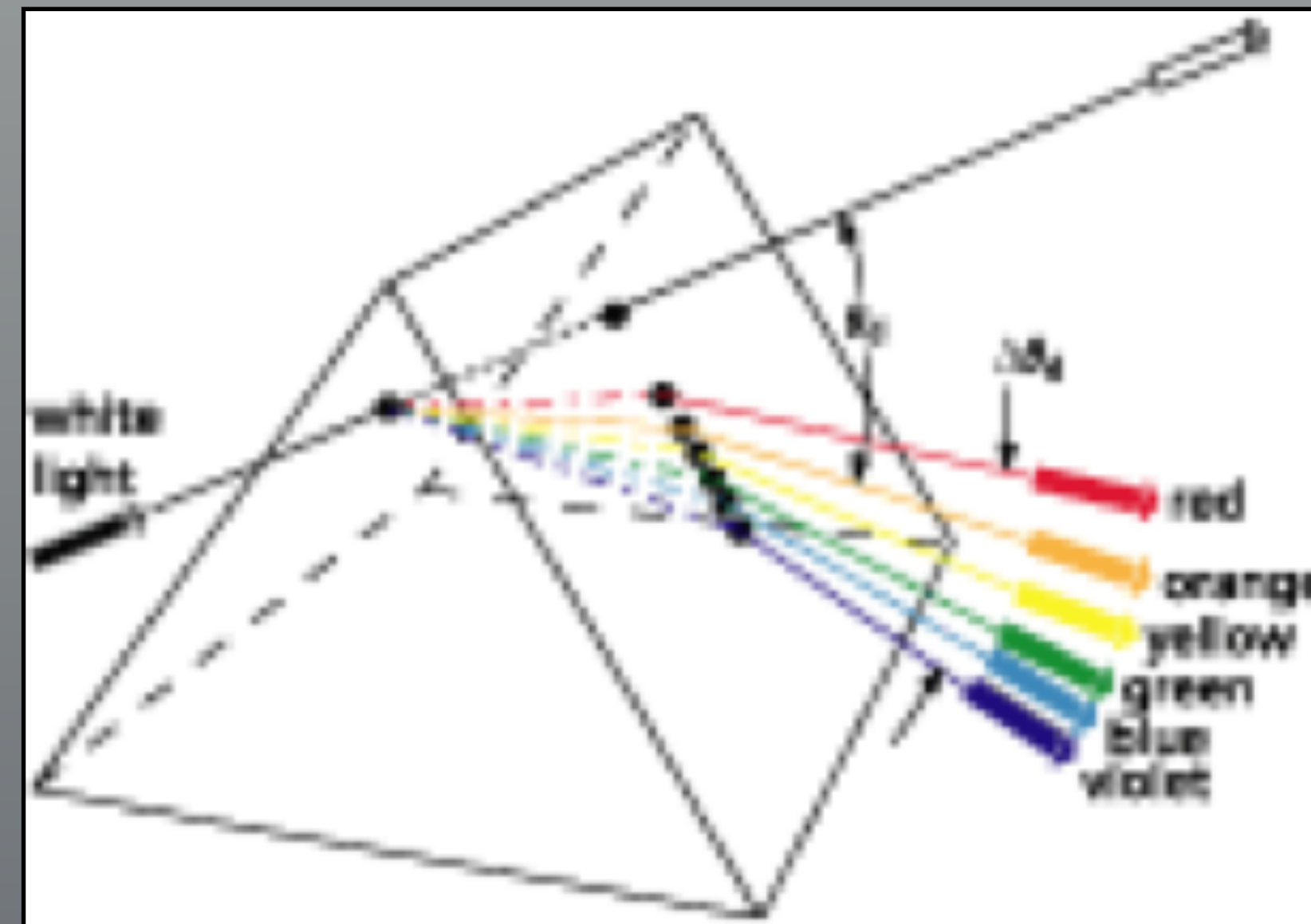
Kąt pomiędzy promieniami padającym i odbitym jest równy  $2\alpha$  i nie zależy od kąta, pod jakim promień pada na zwierciadło 1. Zastosowanie np. w przyrządach optycznych trzymanych w ręku, w sekstansach.



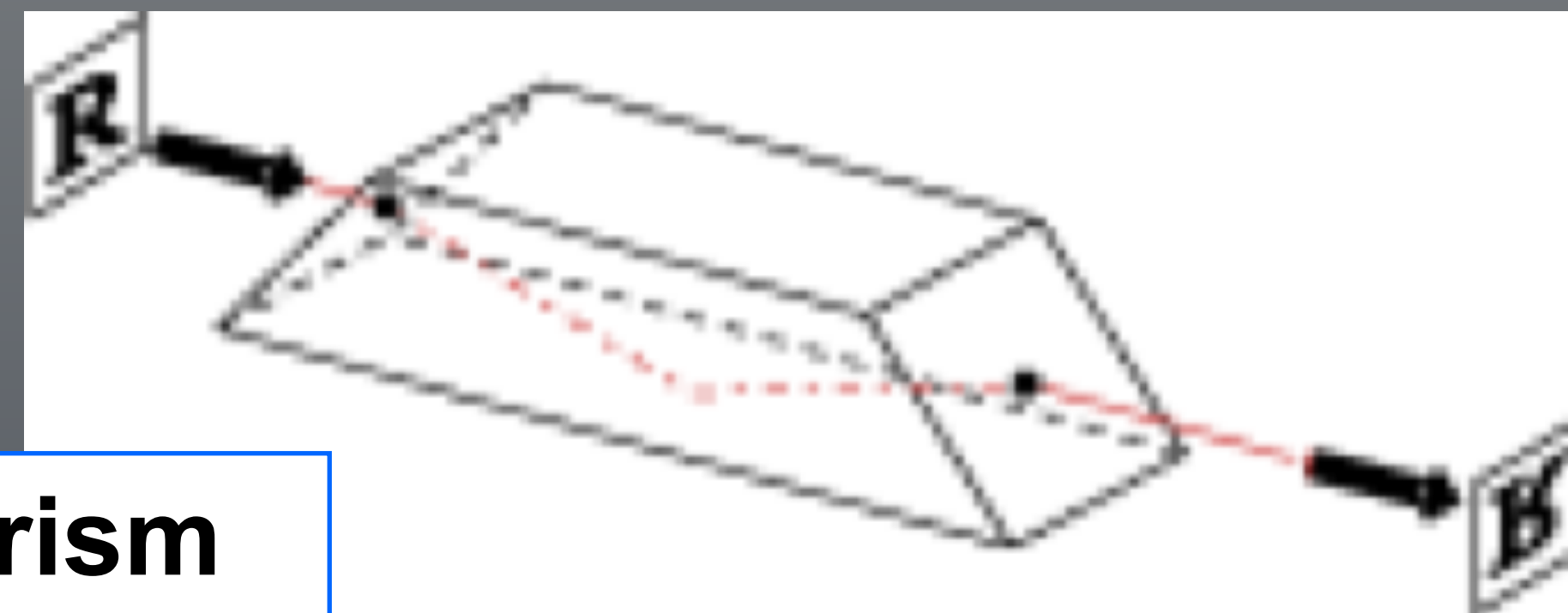
# Elementy zmieniające kierunek wiązki



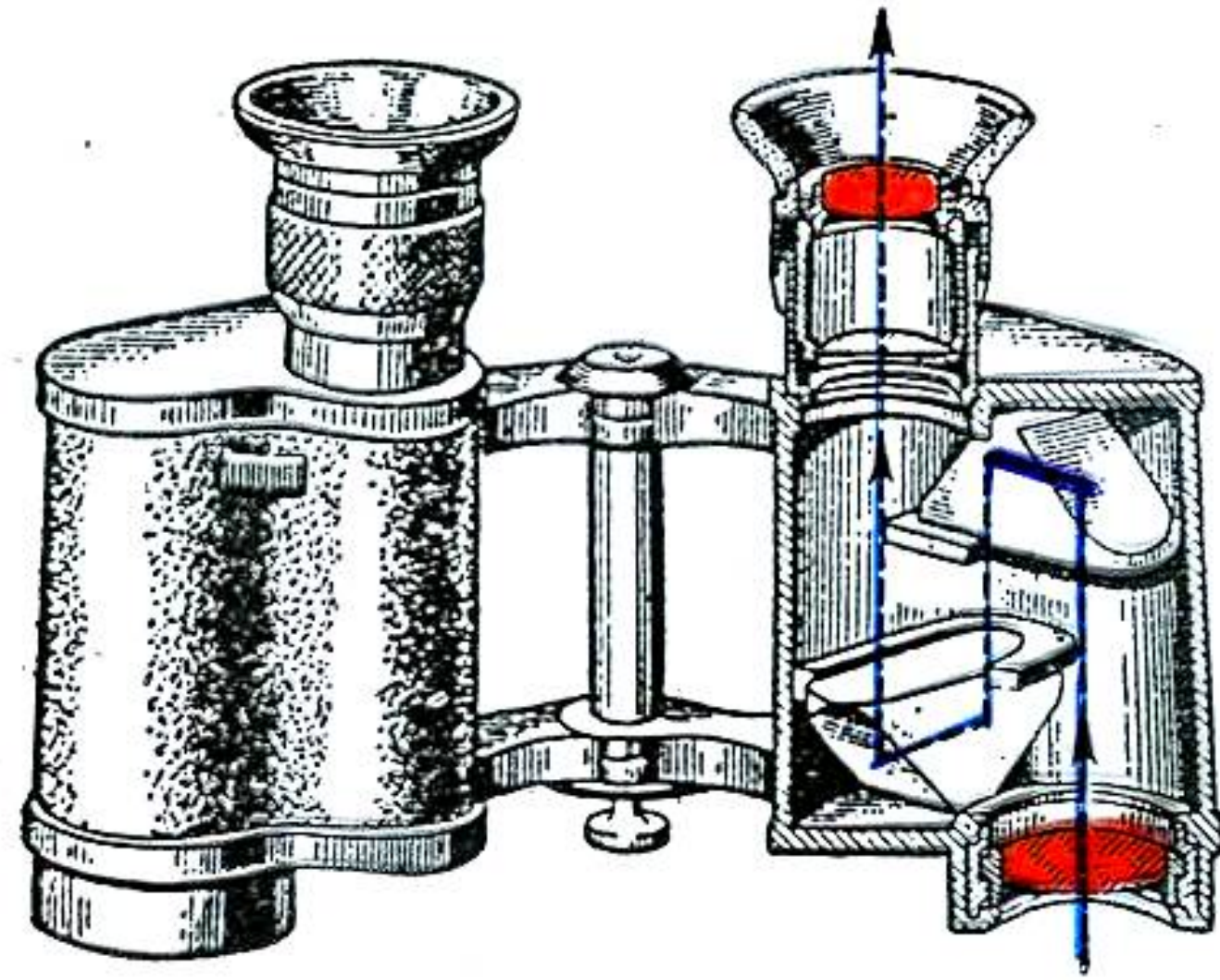
right-angle prism



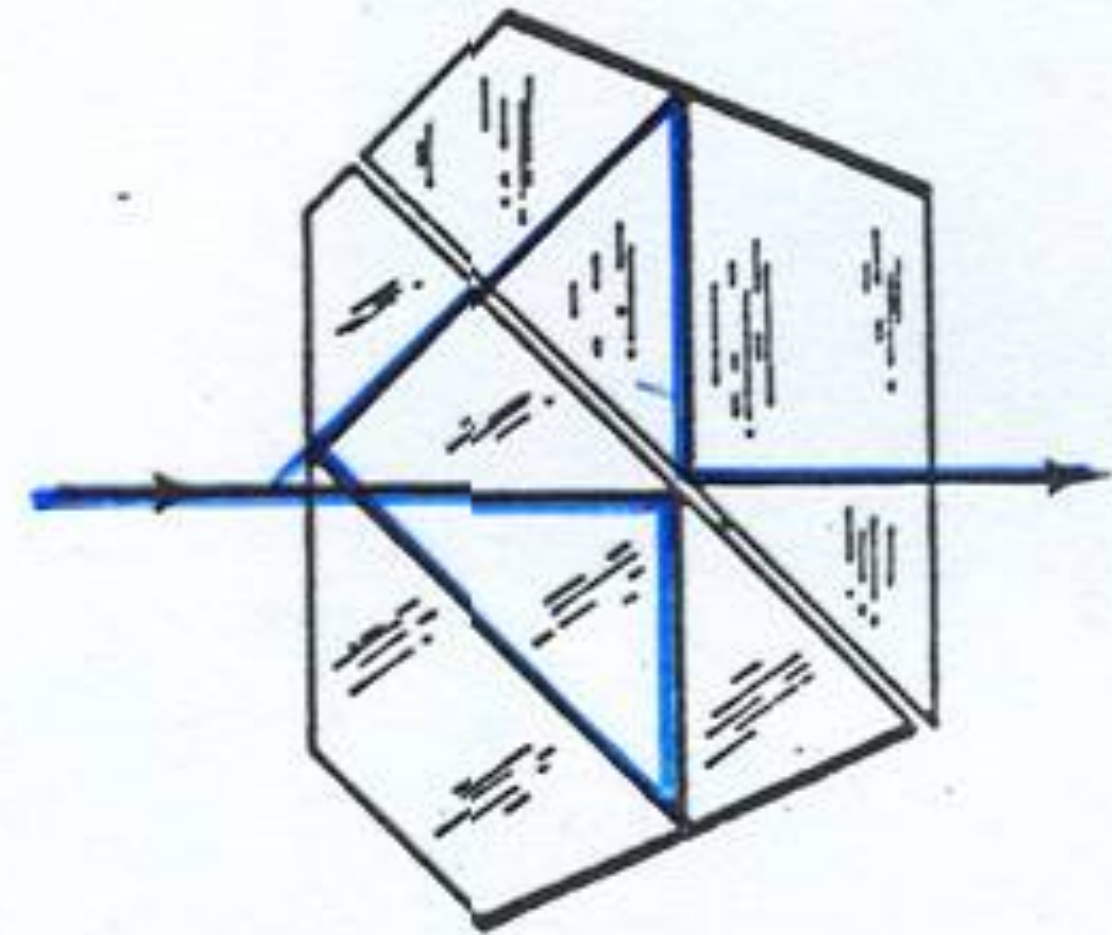
roof prism



dove prism

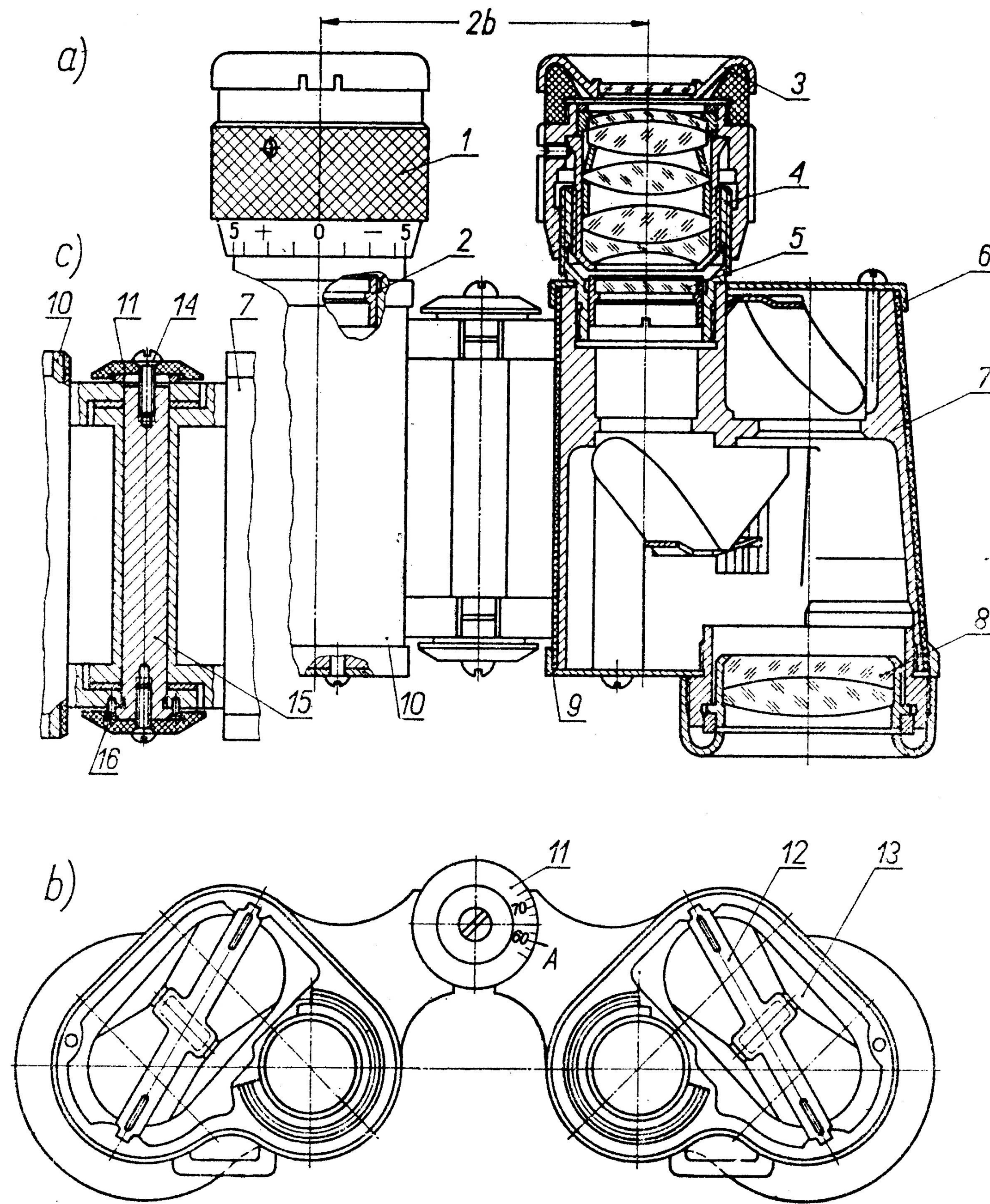


system Porro



Pryzmat Thompsona

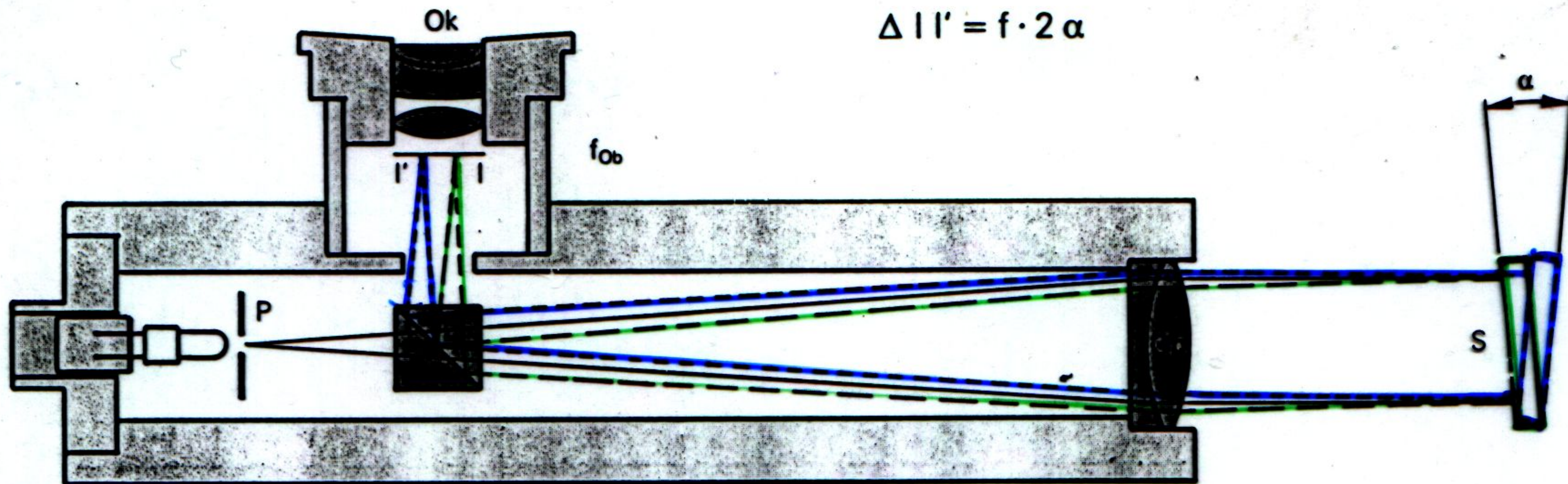




- 1 – okular,
- 2 – przysłona pola,
- 3 – osłona,
- 4 – tuleja okularu,
- 5 – płytką ogniskowa,
- 6 – blaszana osłona,
- 7 – kadłub,
- 8 - obiektyw,
- 9 – blaszana osłona,
- 10 – kadłub,
- 11 – stożkowa płytką z podziałką,
- 12 – sprężyna,
- 13 – pryzmaty układu odwracającego,
- 15 – oś przegubu,
- 16 - wkręt,
- A - przeciwwskaźnik,

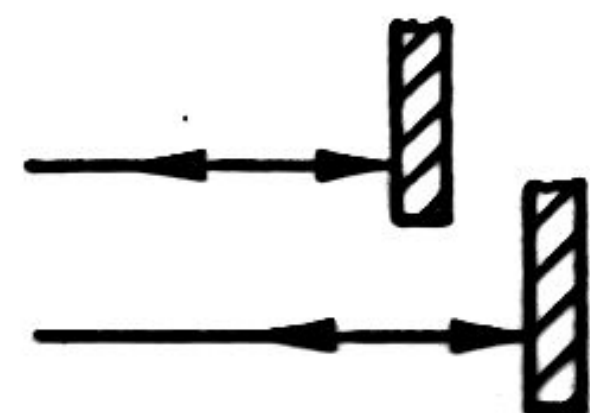
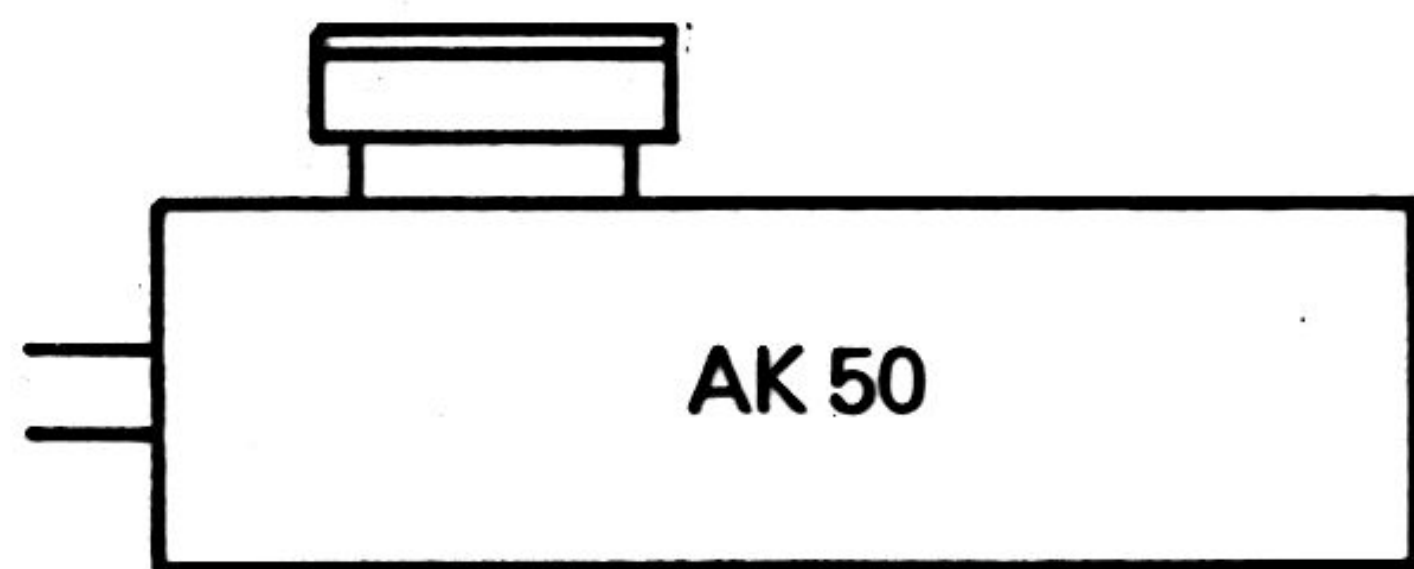
**Rys. 11.1. Lornetka pryzmatyczna [3]**



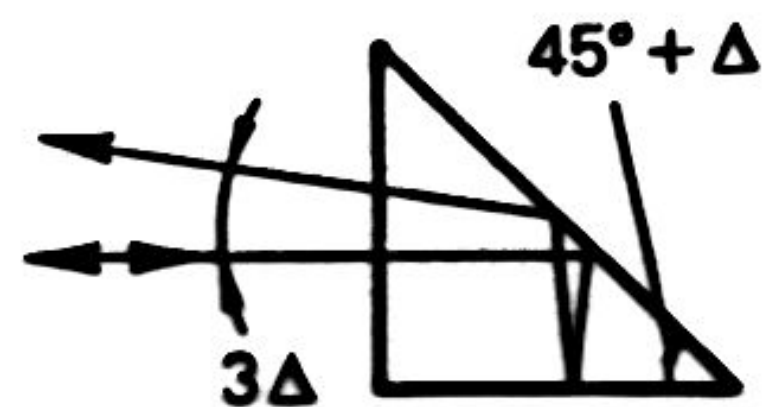


$$\Delta l l' = f \cdot 2 \alpha$$

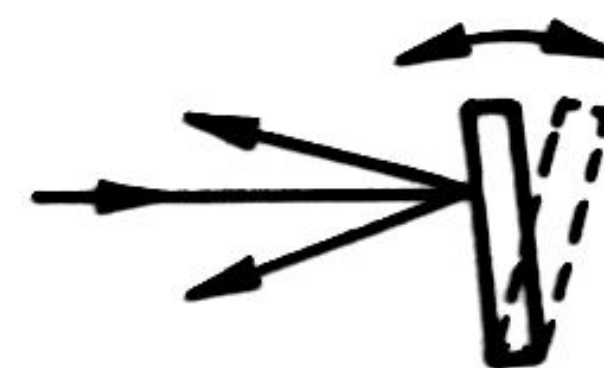




**Alignment or  
comparing angles**

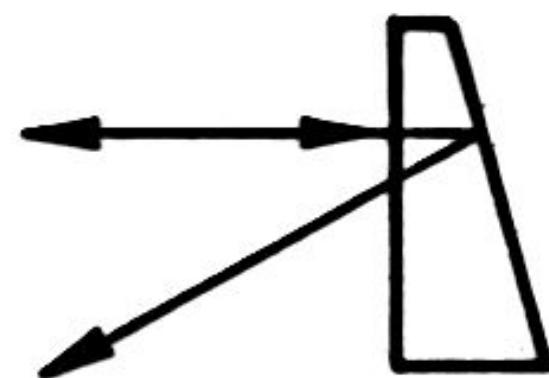


**Check prism  
angles**



**Vibration blur**

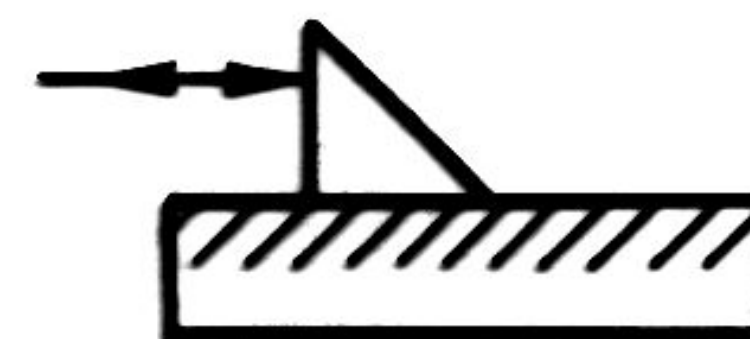
**APPLICATION EXAMPLE**



**Scanning angle**

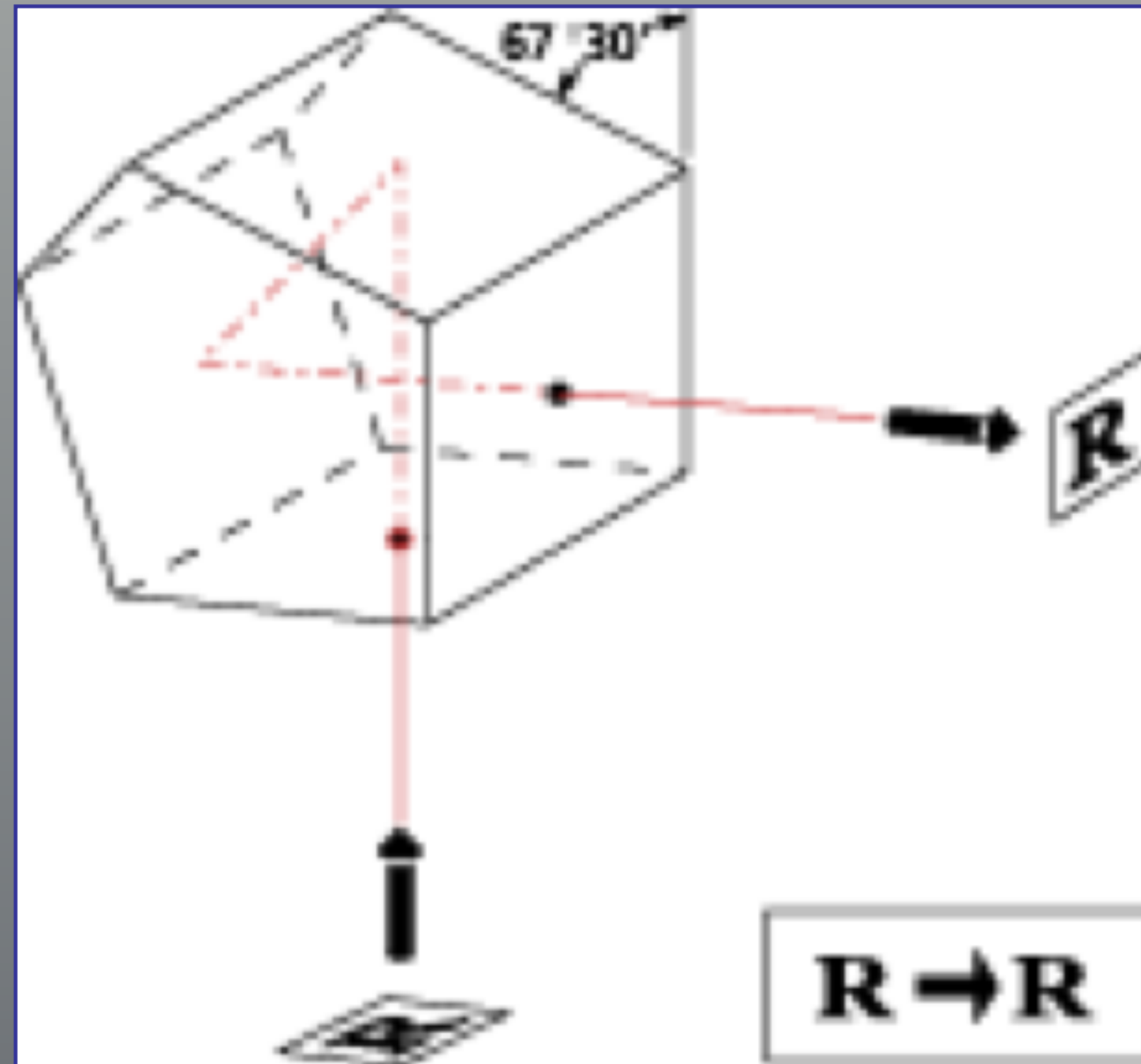


**Trueness  
of spindle**



**Surface flatness,  
straightness**

# Elementy zmieniające kierunek wiązki



**penta prism**

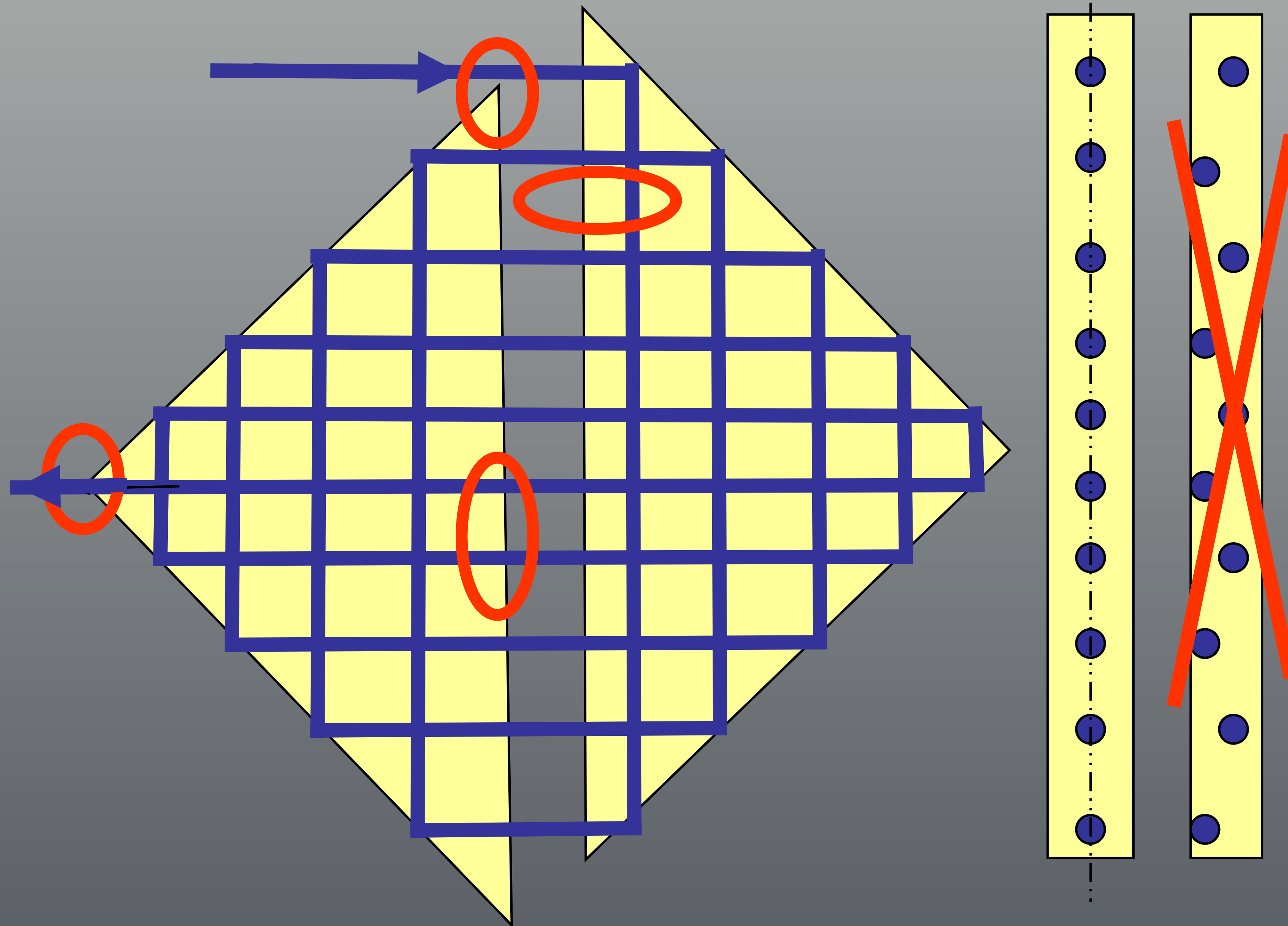
stopień tolerancji odchylenia kąta od  $90^{\circ}$

< 3' — stopień równoległości powierzchni  $\lambda/2$  (632,8 nm)

< 10'' — stopień równoległości powierzchni  $\lambda/4$  (632,8 nm)

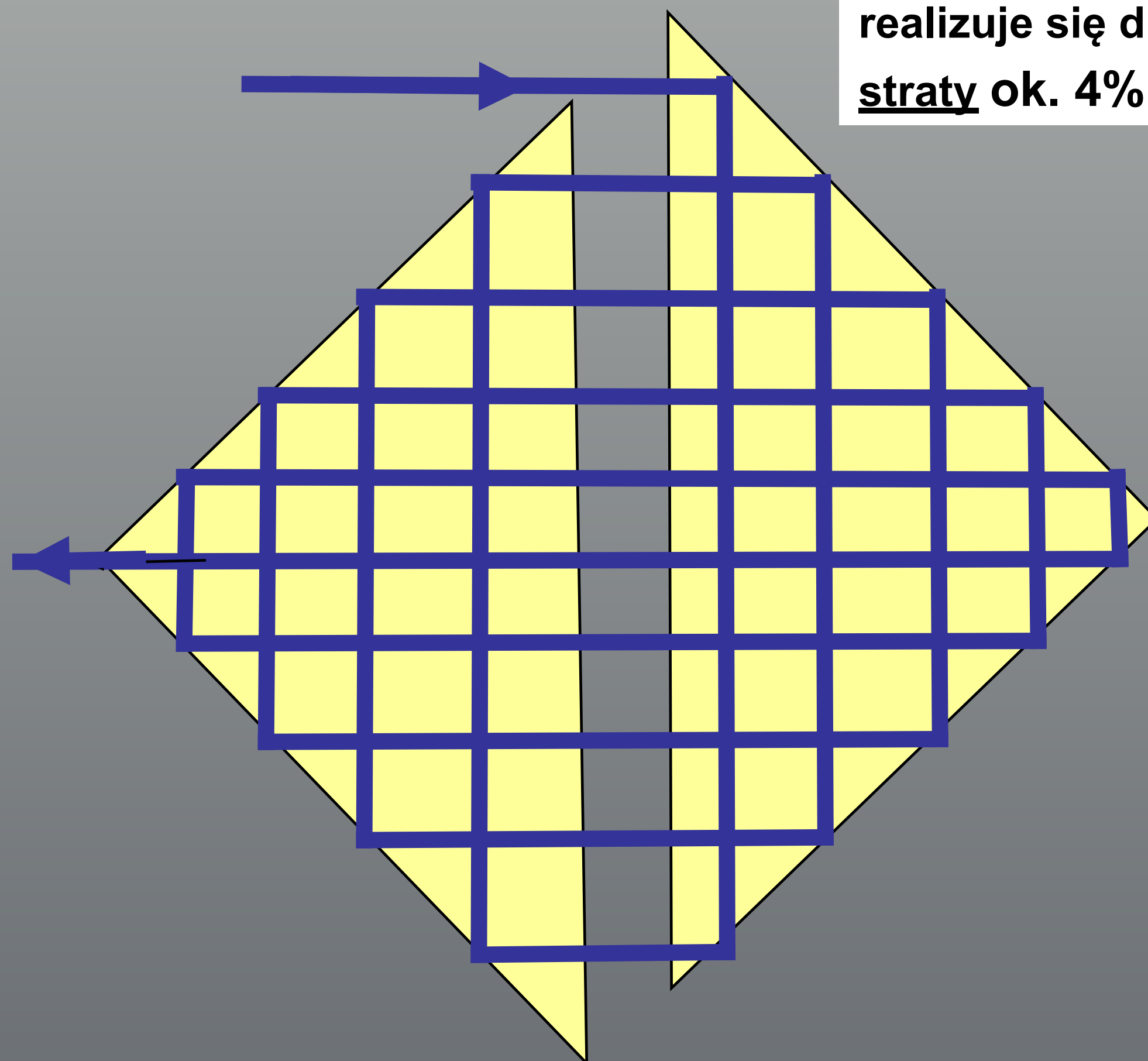
natężenie wiązki wychodzącej > 88% natężenia wiązki wchodzącej





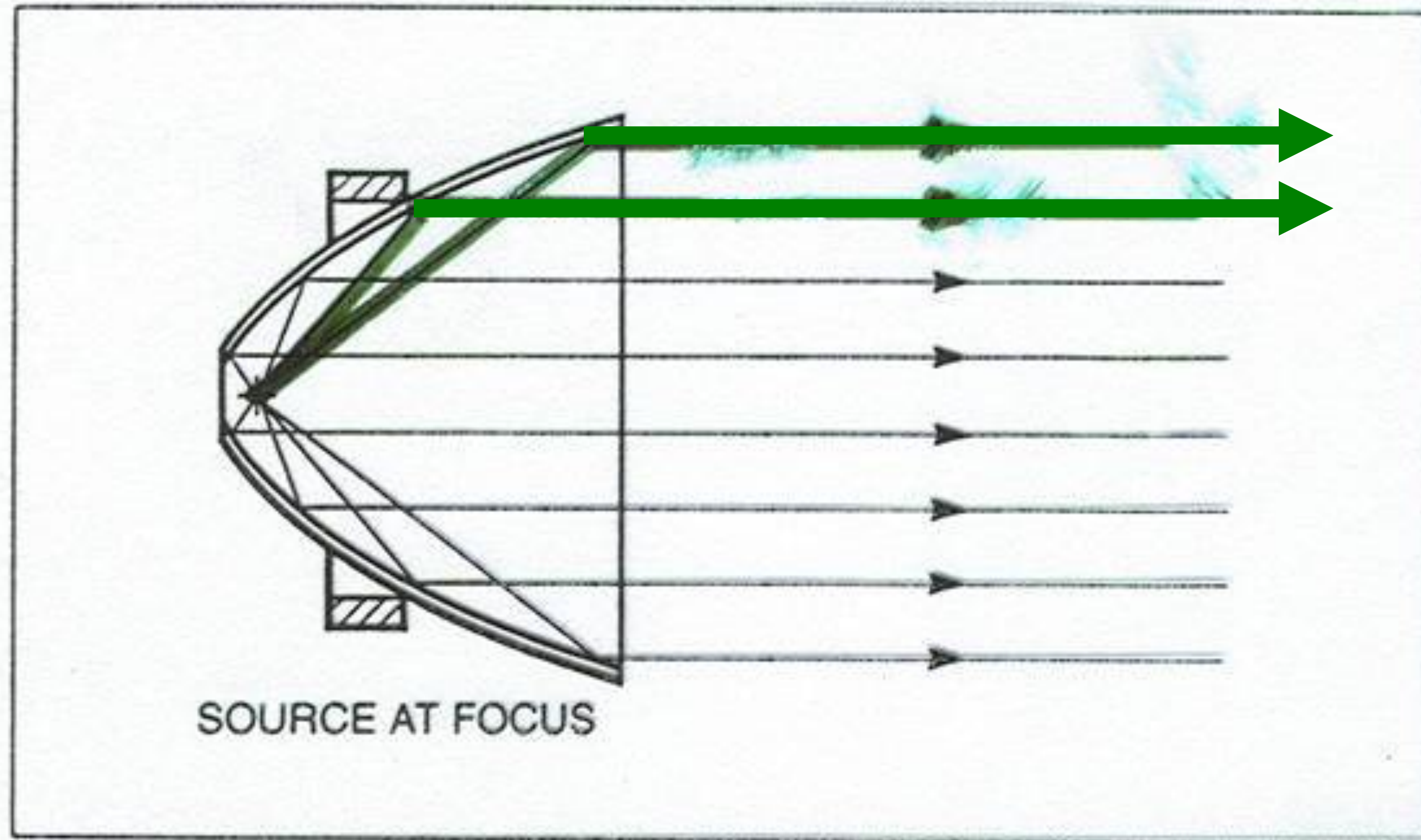
Wymagania: szkło o dużej jednorodności i małej absorpcji

**długość podstawy pryzmatu : 70 mm**  
**realizuje się dla średnio 14 przejść**  
**straty ok. 4% na odbiciu na granicy ośrodków**



**wymagania: szkło o dużej jednorodności i małej absorpcji**  
**dokładność kąta odbicia 10''**  
**dokładność wykonania podstawy pryzmatów 20''**

j	$I_j / \%$
1	96,00
2	92,16
3	88,47
4	84,93
5	78,27
6	71,88
7	66,25
8	61,05
9	56,27
10	51,85
11	47,79
12	44,04
13	40,59
14	37,41
(72,5% bezstratnego procesu)	1017,96



**Fig. 7** A paraboloidal reflector reflects light from the focus into a collimated beam, or refocuses a collimated beam at the focus.



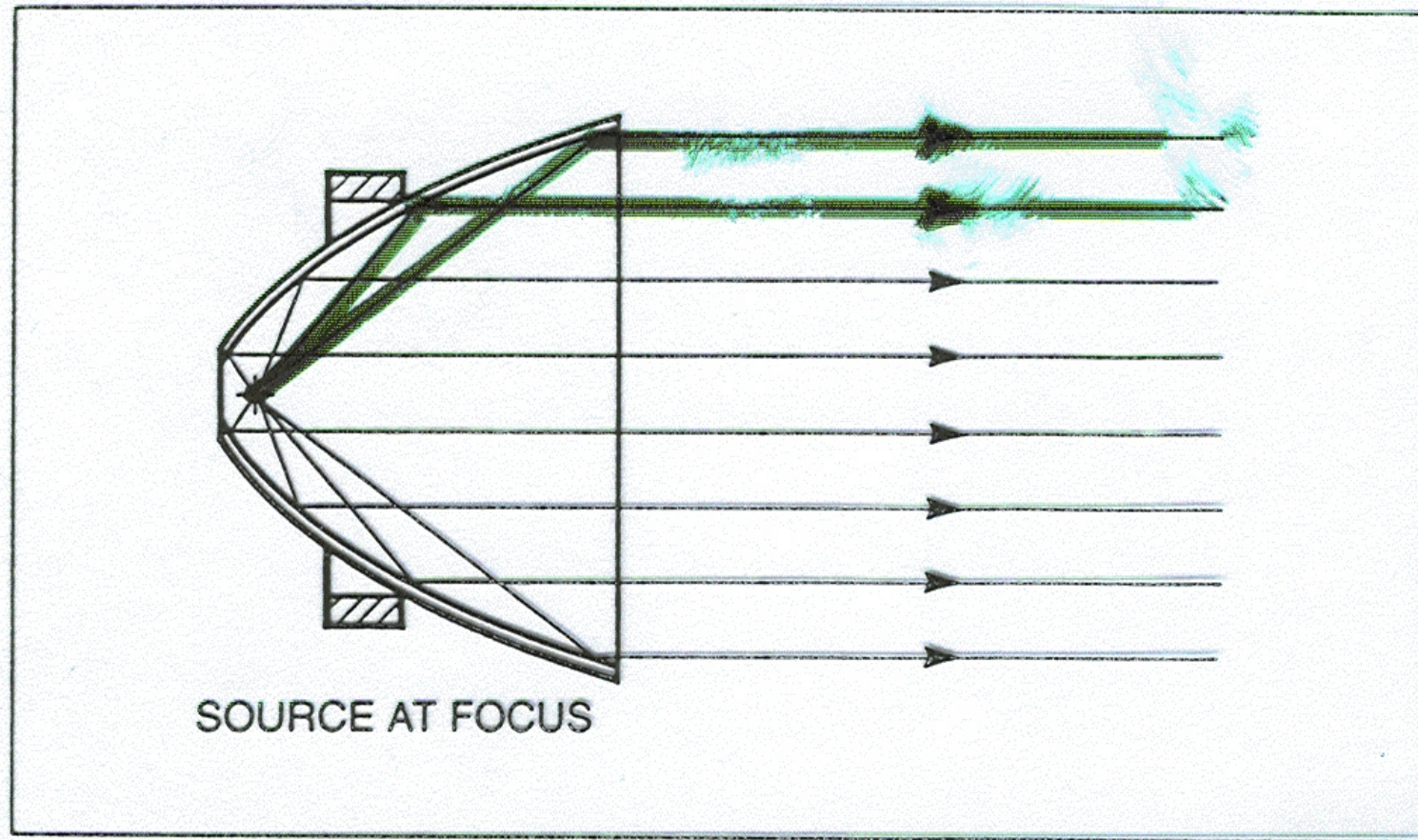


Fig. 7 A paraboloidal reflector reflects light from the focus into a collimated beam, or refocuses a collimated beam at the focus.

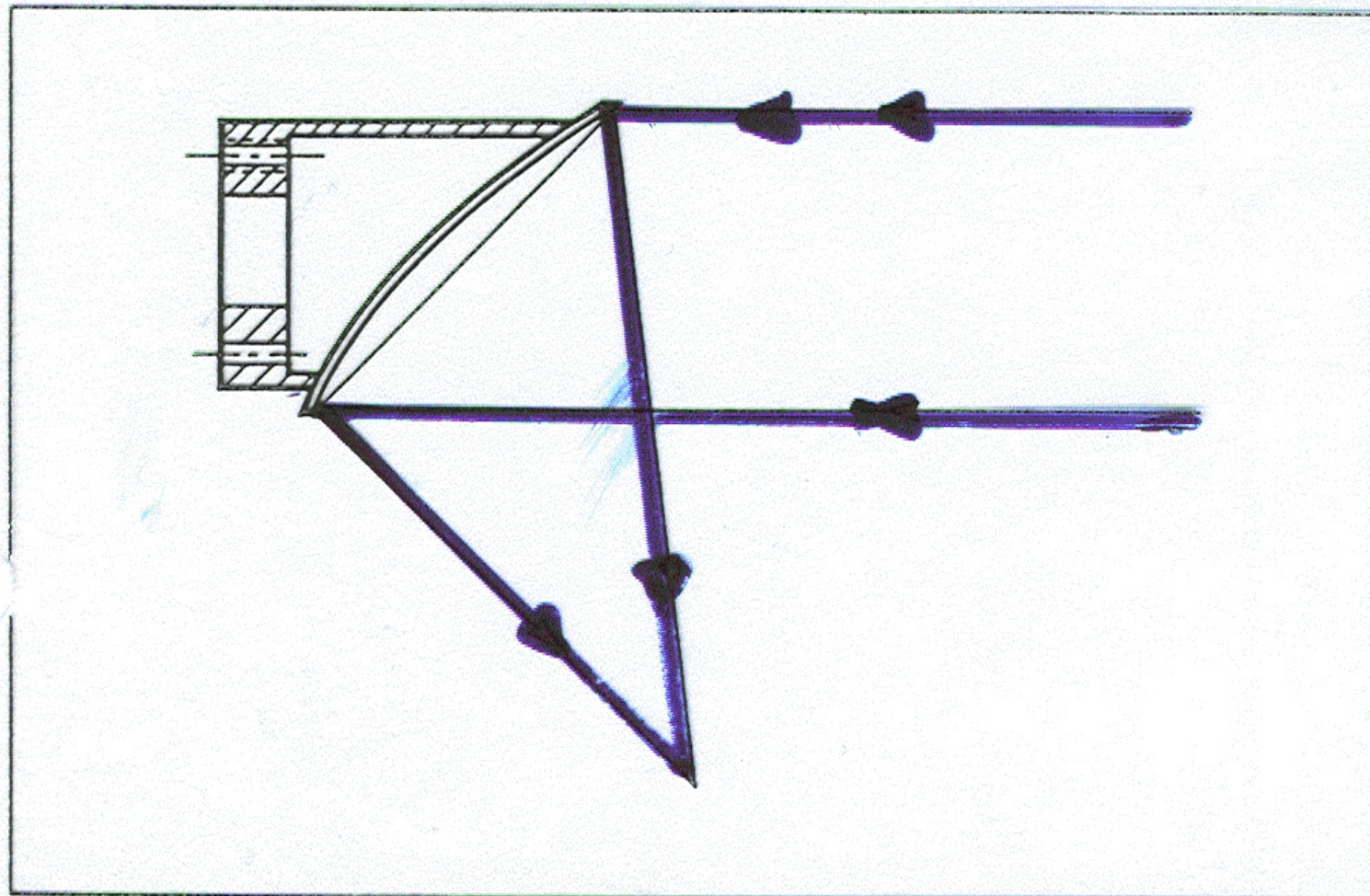


Fig. 8 The focus of an off-axis paraboloidal reflector is off the mechanical axis.

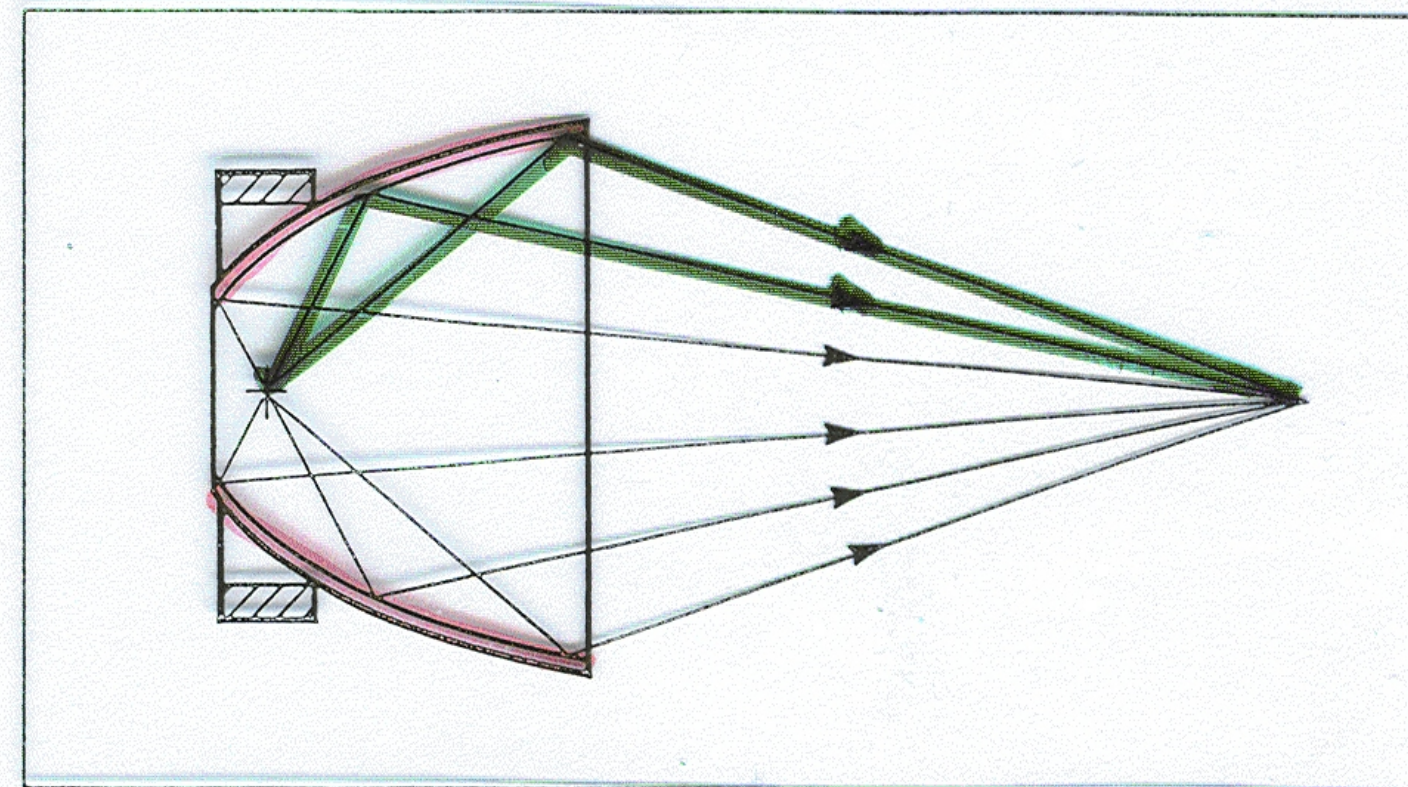


Fig. 9 Ellipsoidal reflectors reflect light from one focus to a second focus, usually external.

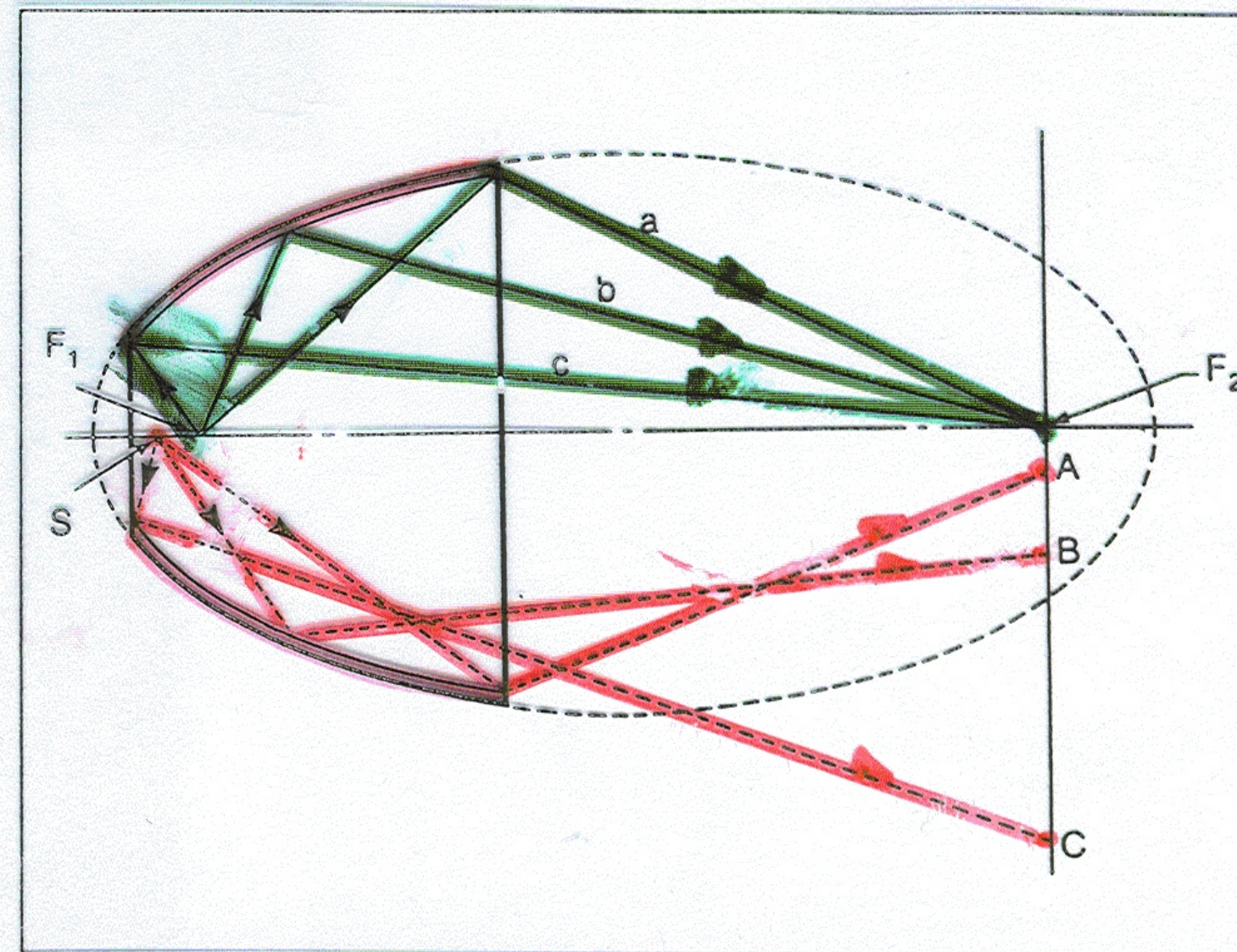
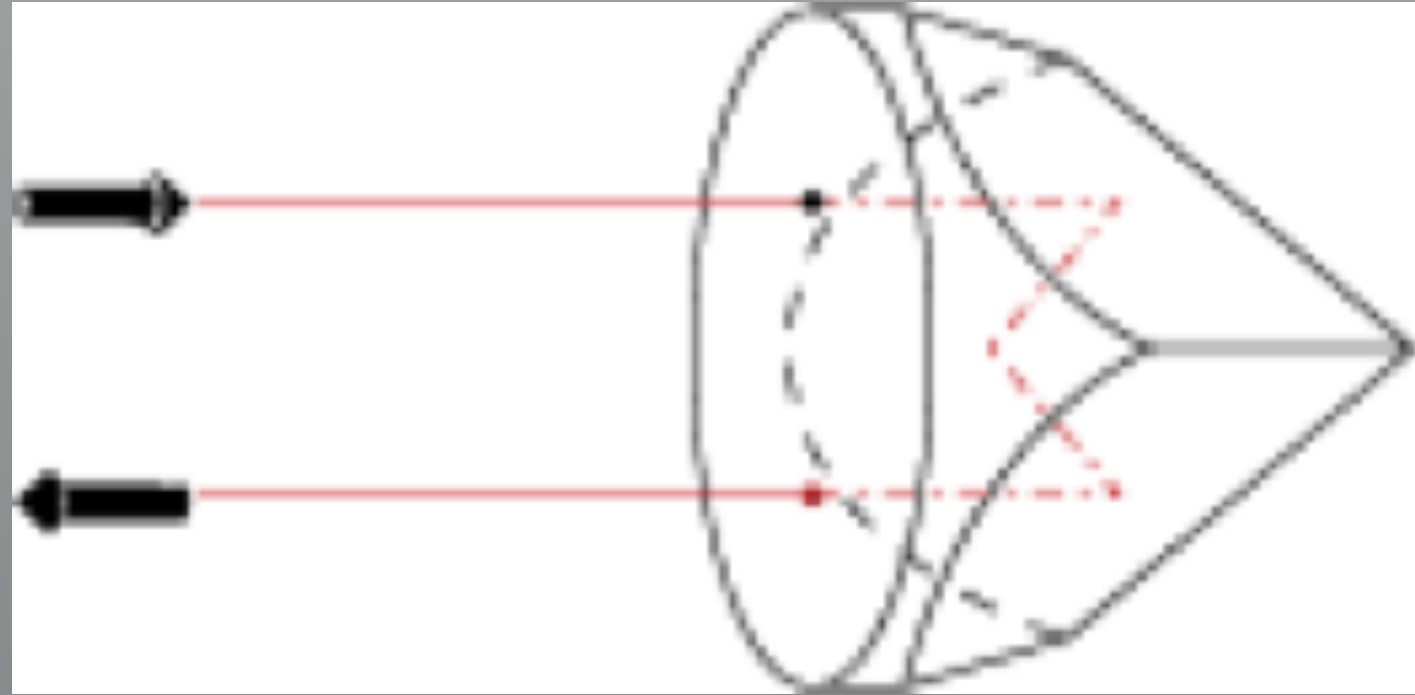


Fig. 10 A section of an ellipsoidal reflector. Rays  $a$ ,  $b$  and  $c$ , shown in the top half of the ellipse, are all from  $F_1$  and pass through  $F_2$ , the second focus of the ellipse. Rays  $A$ ,  $B$  and  $C$ , in the bottom half of the ellipse are exact ray traces for rays from a point close to  $F_1$ . They strike the ellipse at equivalent points to  $a$ ,  $b$  and  $c$ , but do not pass through  $F_2$ . For a small spot (image) at  $F_2$  you need a very small source.

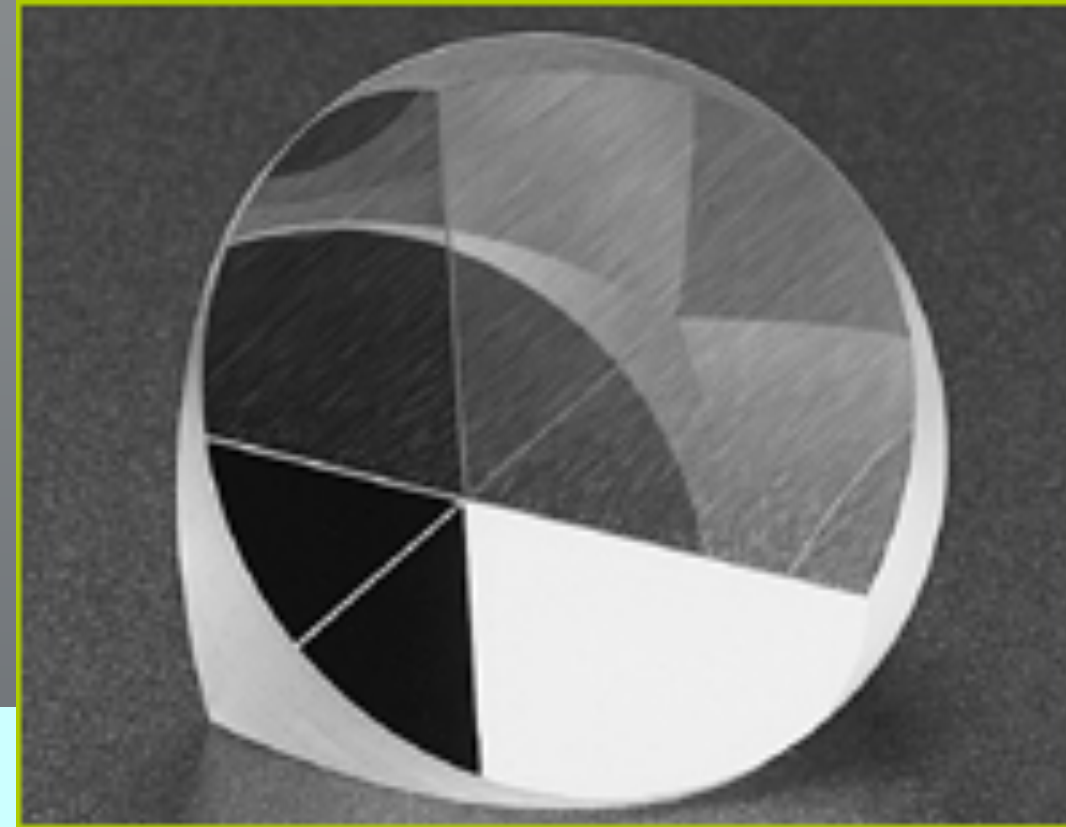


# Elementy zmieniające kierunek wiązki



- stopień tolerancji odchylenia kąta od  $180^\circ$  -  $\mp 2''$
- stopień równoległości powierzchni  $\lambda/4$  (632,8 nm)
- materiał BK7, stopień jednorodności A
- pokrycia MgF2, HEBBARTM, V-coatings, srebro lub aluminium z zewn. warstwą ochronną

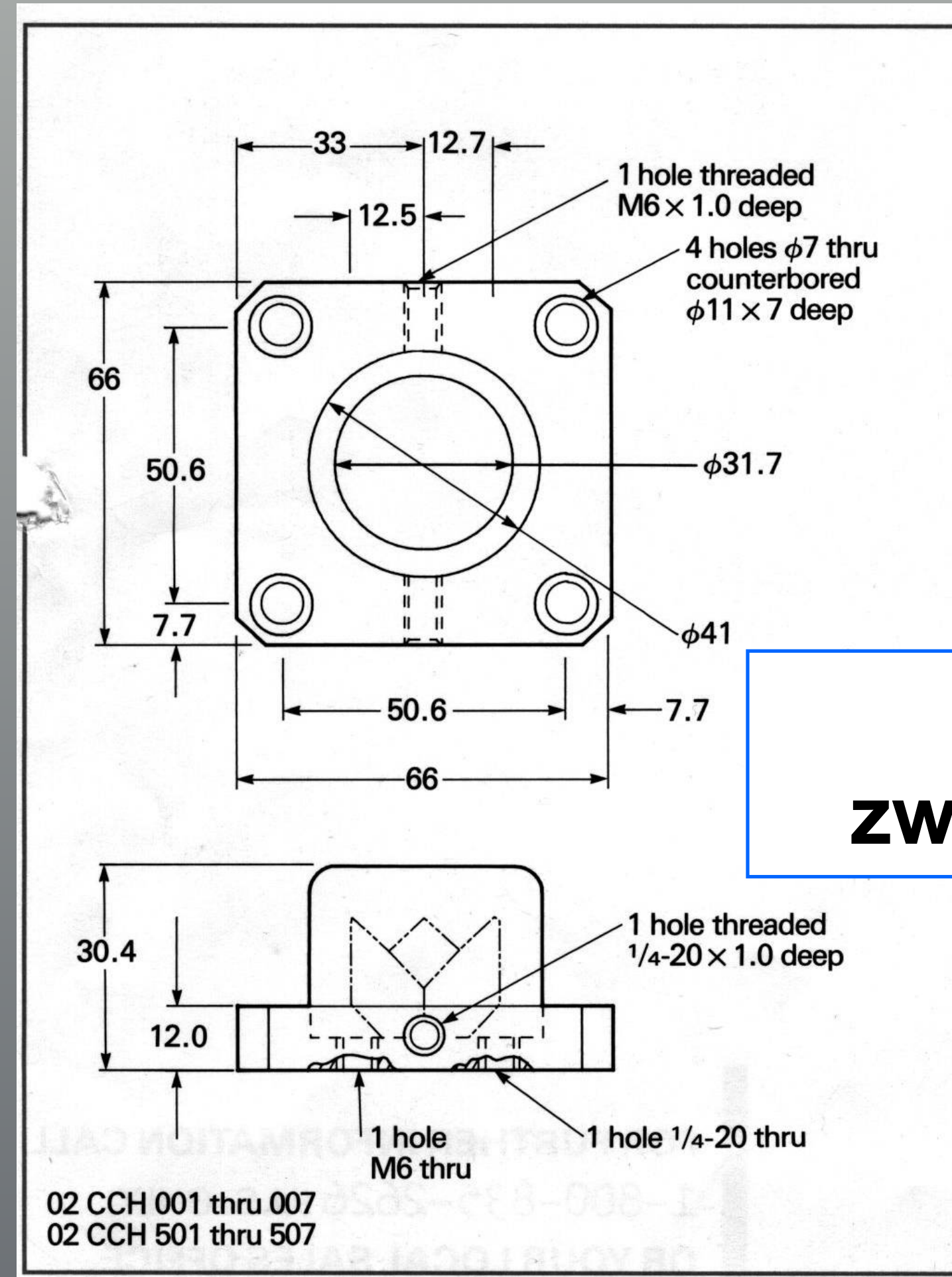
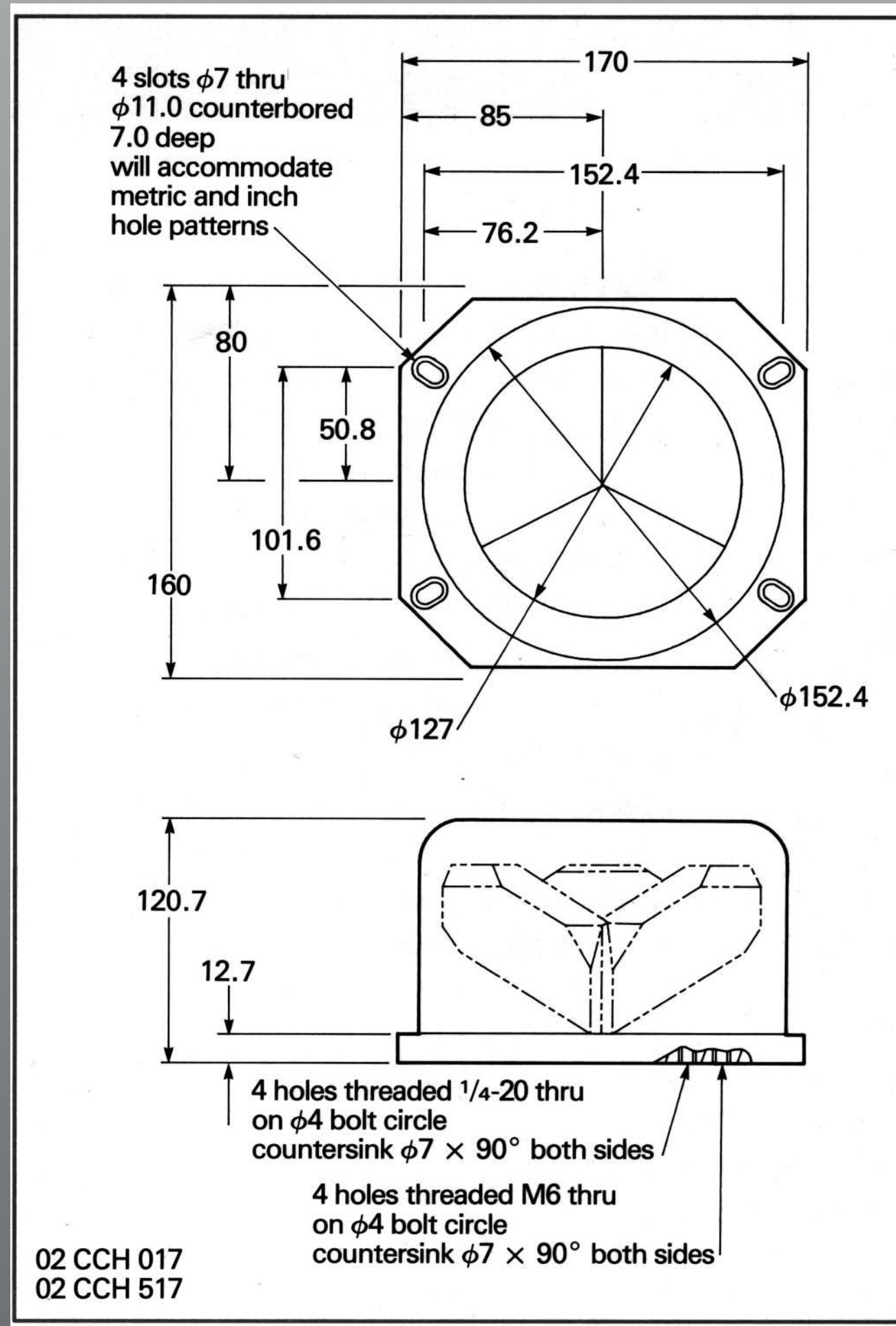
**retroreflector**



## Właściwość:

Kąt odbicia (zawrócenia) wiązki nie zależy od położenia reflektora.

Uwaga: Powierzchnię, przez którą wiązka wchodzi i wychodzi z retroreflektora, należy utrzymywać w czystości, szczególnie w przypadku kierowania wiązek laserowych o dużej mocy.



## reflektor zwierciadlany

stopień tolerancji odchylenia kąta od  $180^\circ$  nawet do  $\mp 0,5''$

wtedy stopień równoległości powierzchni  $\lambda/8$

podkład ze szkła o małym współczynniku rozszerzalności termicznej

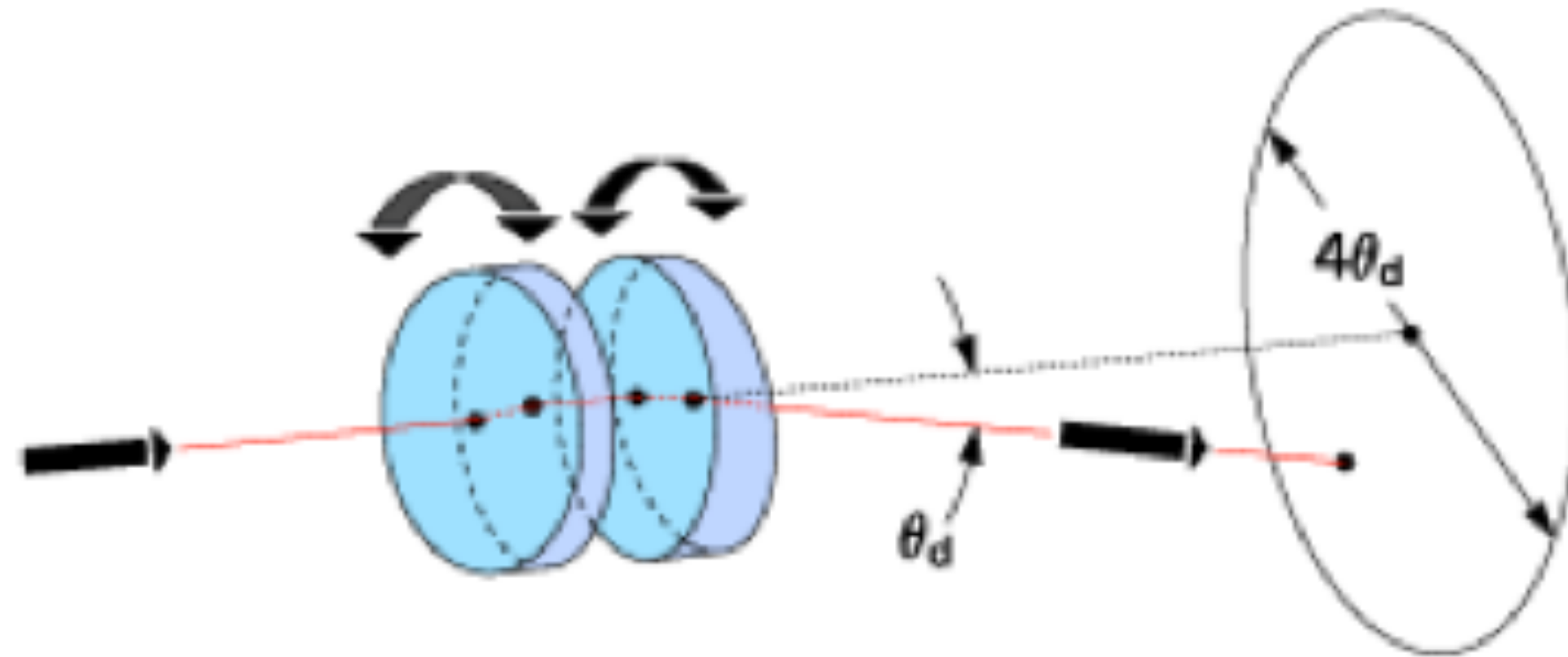
mniejsza depolaryzacja, mniejsza deformacja czoła falowego

Zastosowanie: interferometria, holografia, metody z laserami femtosekundowymi,

FTIR spektroskopia, pomiary odległości itd.



# Pryzmaty klinowe



wedge prism

$$\Theta_w = \text{arc tg} \left[ \frac{\sin \Theta_d}{n - \cos \Theta_d} \right]$$

$$\Delta = 100 \text{tg}(\Theta_d)$$

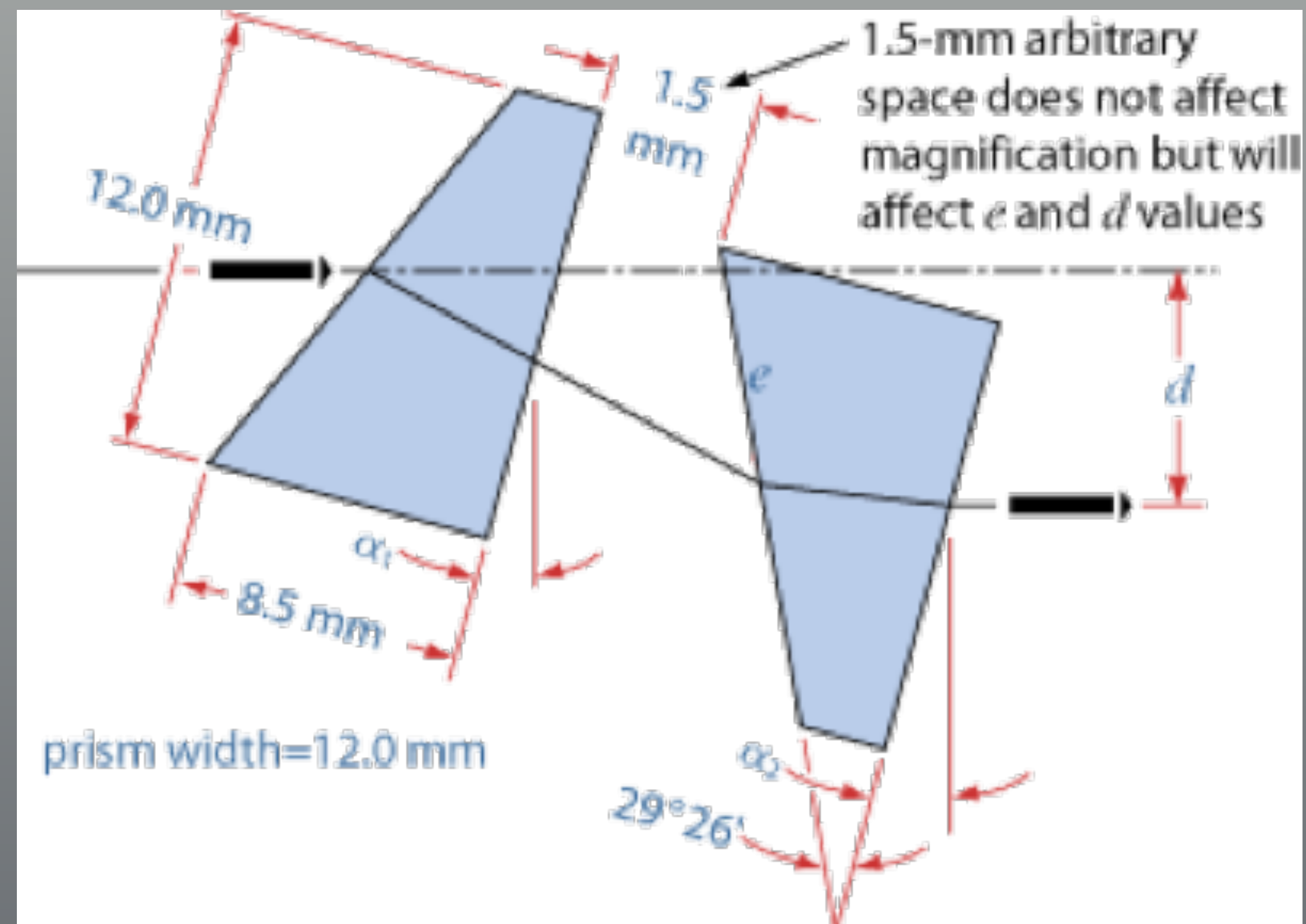
$$\Theta_d = \arcsin(n \sin \Theta_w) - \Theta_w$$

kąt klina niezbędny do osiągnięcia określonego odchylenia wiązki

moc pryzmatu mierzona w dioptriach jako odchylenie o 1 cm na drodze 1 m, po przejściu przez pryzmat

zależność od  $n$  (zarazem od długości fali)

# Pryzmaty anamorficzne



Głównie używane do zmiany przekroju wiązki lasera półprzewodnikowego z eliptycznej na kołową.

Kąt padania powinien być bliski kątowi Brewstera, wówczas odchylenie wiązki od pierwotnego kierunku jest mniejsze niż 1 stopień kątowy.

# Dziękuję za uwagę!

W wykładzie wykorzystano materiały ze stron internetowych:

<http://www.linos.com>