

ОPTYKA

Światło to fala elektromagnetyczna:

$$E_y = E_{0y} \cdot \sin(kx - \omega t)$$

$$B_z = B_{0z} \cdot \sin(kx - \omega t)$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Światło to także - strumień cząstek zwanych *fotonami*

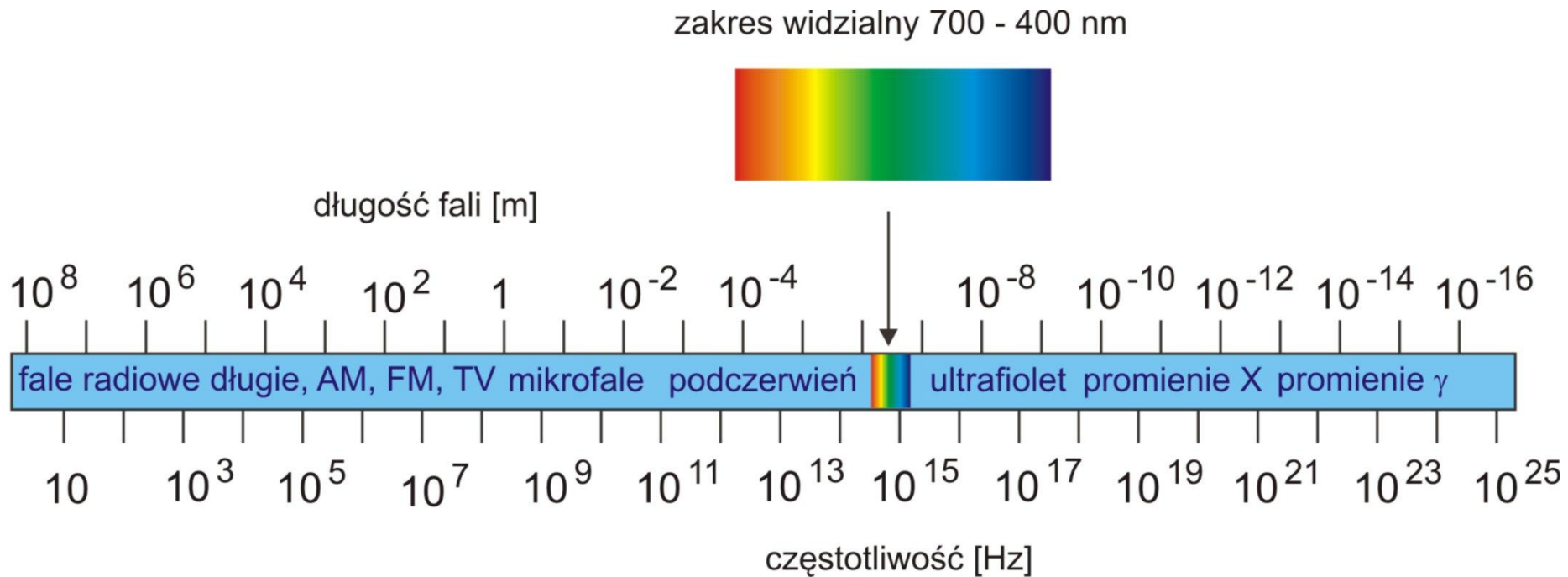
Każdy z nich posiada:

energię: **$E = h\nu$**

oraz pęd:

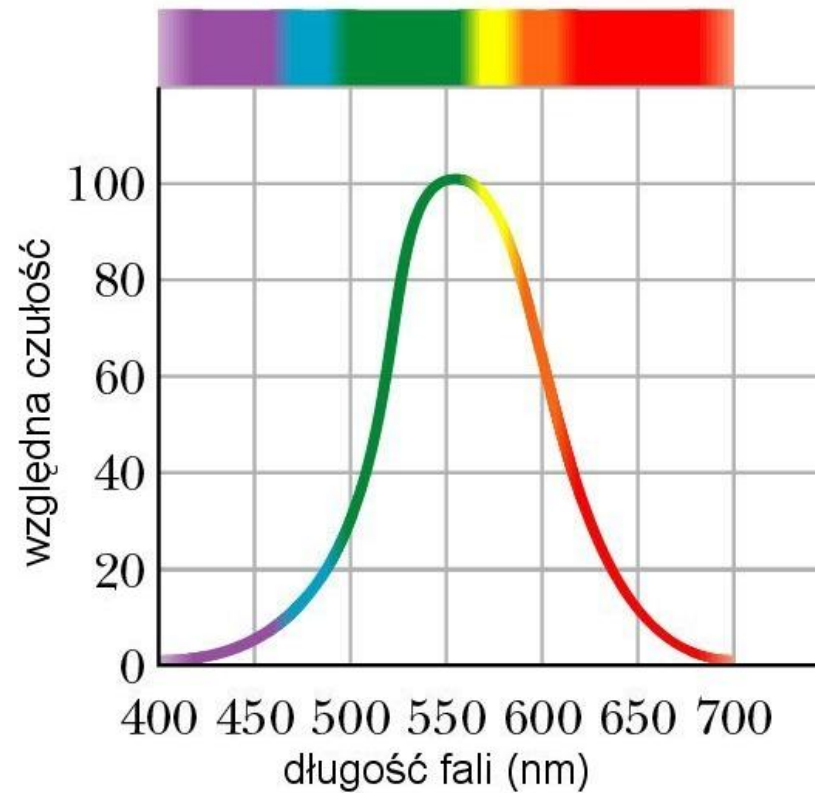
$$p = \frac{h\nu}{c}$$

Widmo fal elektromagnetycznych



Widzenie barwne

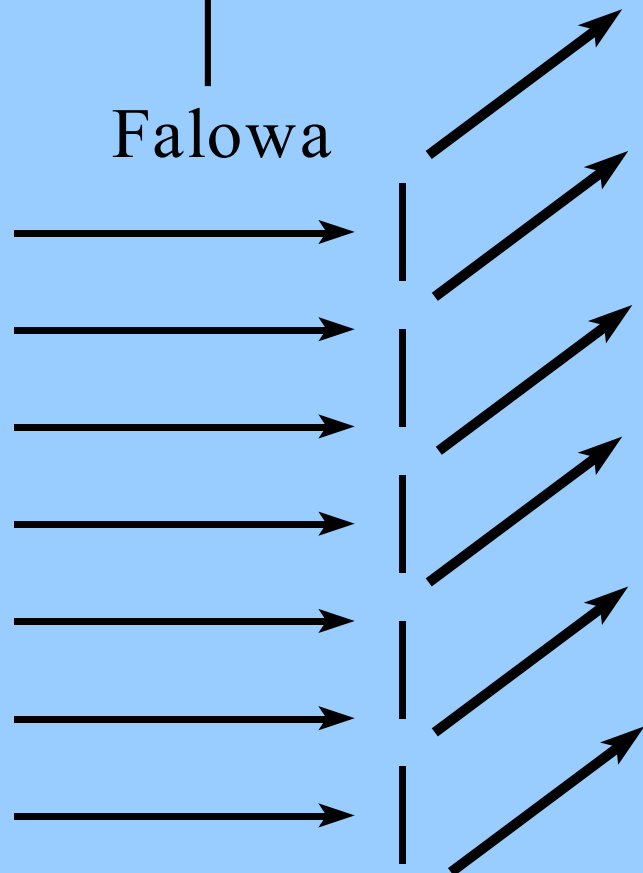
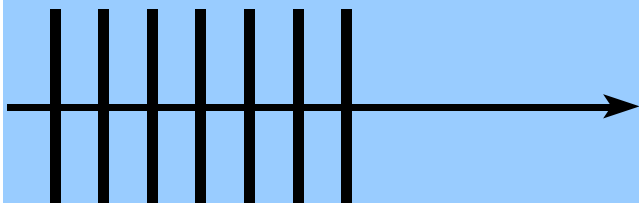
Względna czułość oka ludzkiego

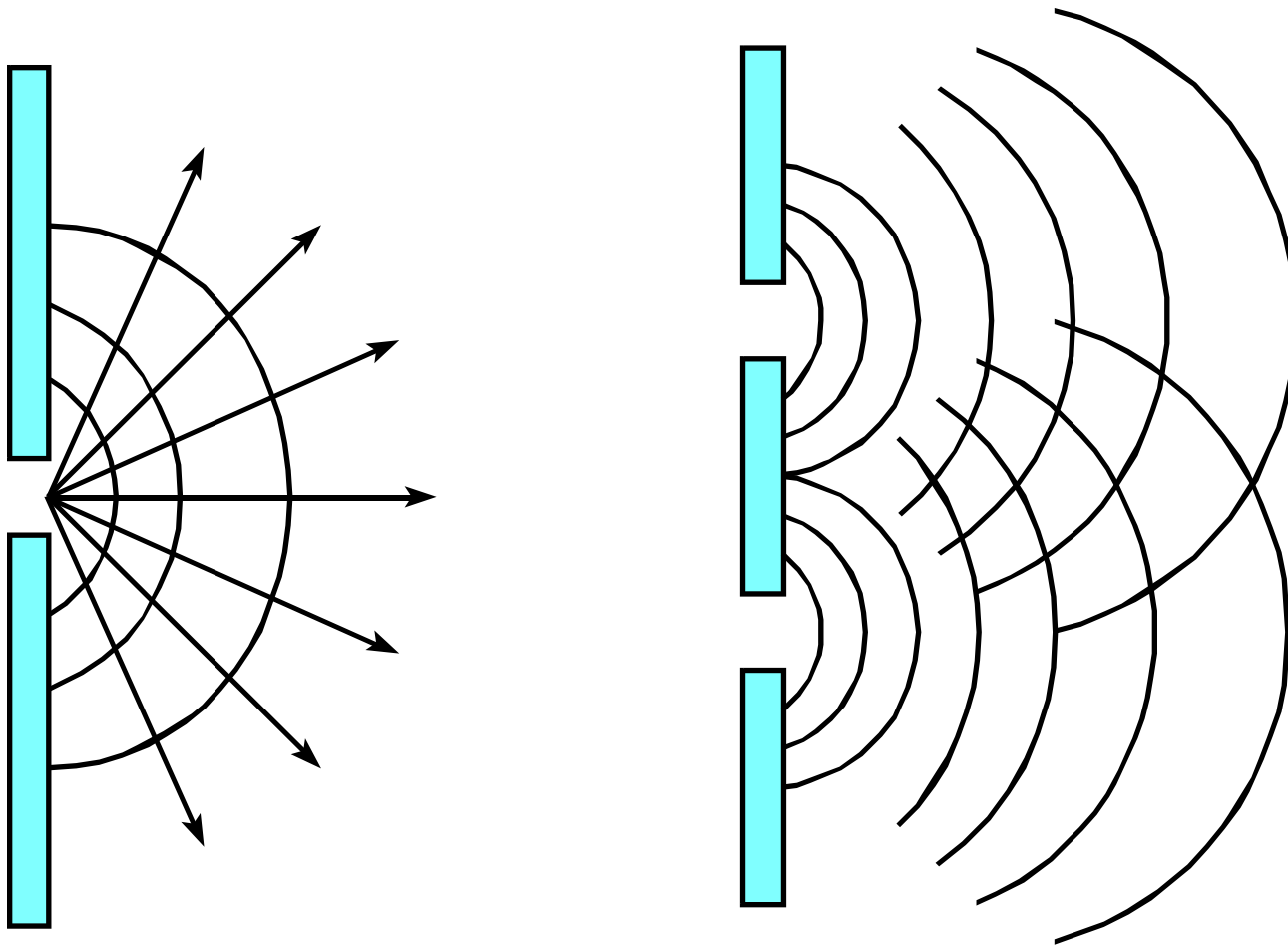


Optyka

Falowa

Geometryczna

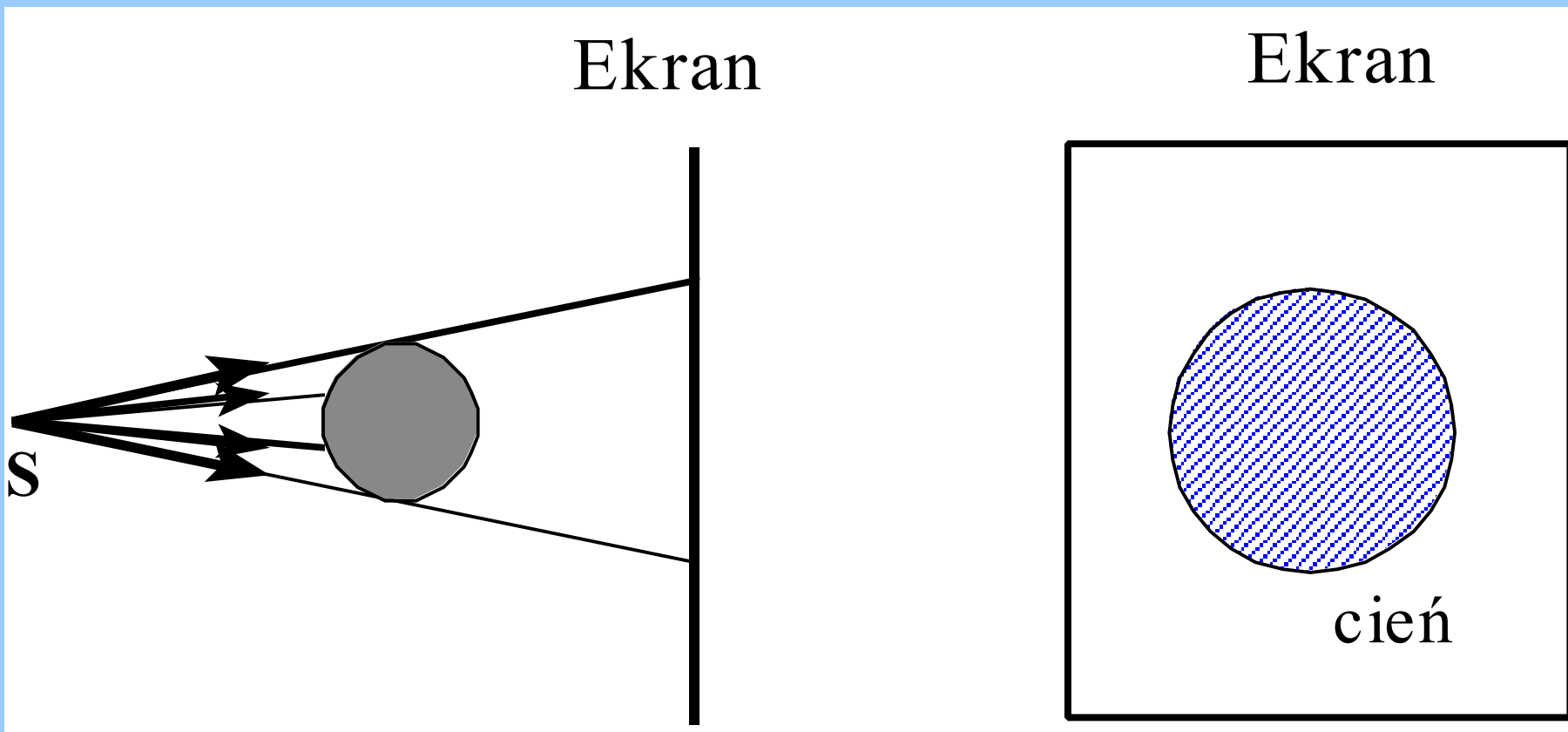




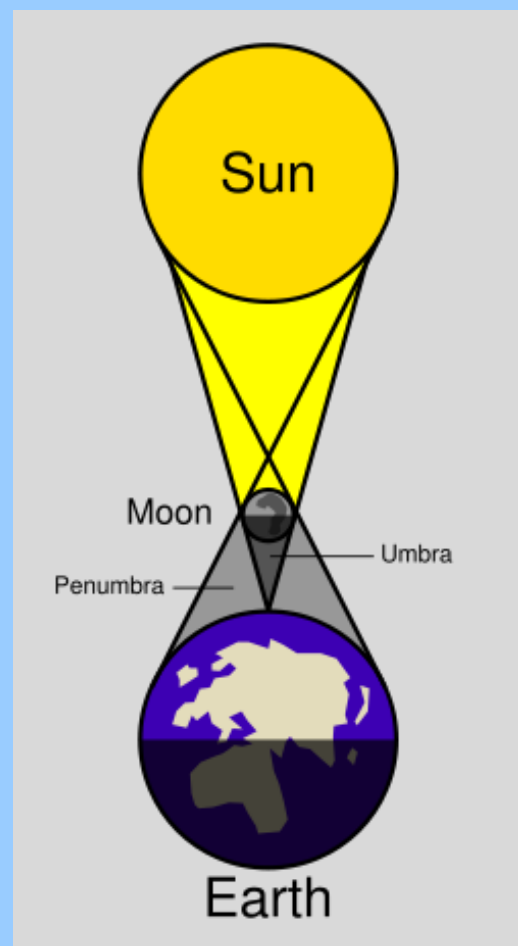
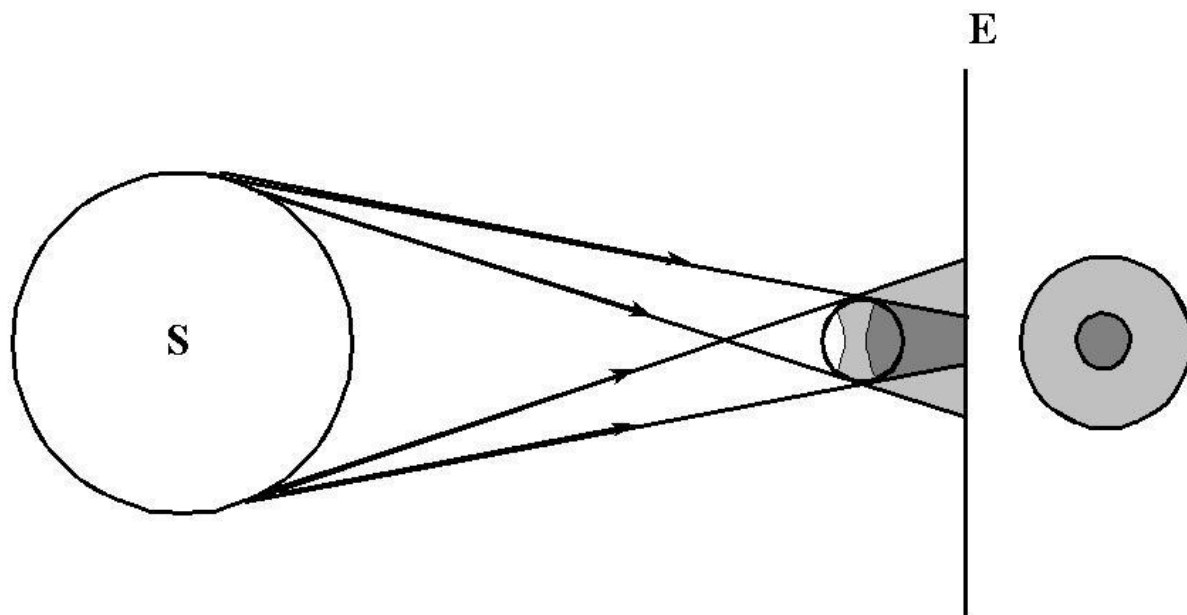
A oto, co dzieje się w każdej ze szczelin....

OPTYKA GEOMETRYCZNA

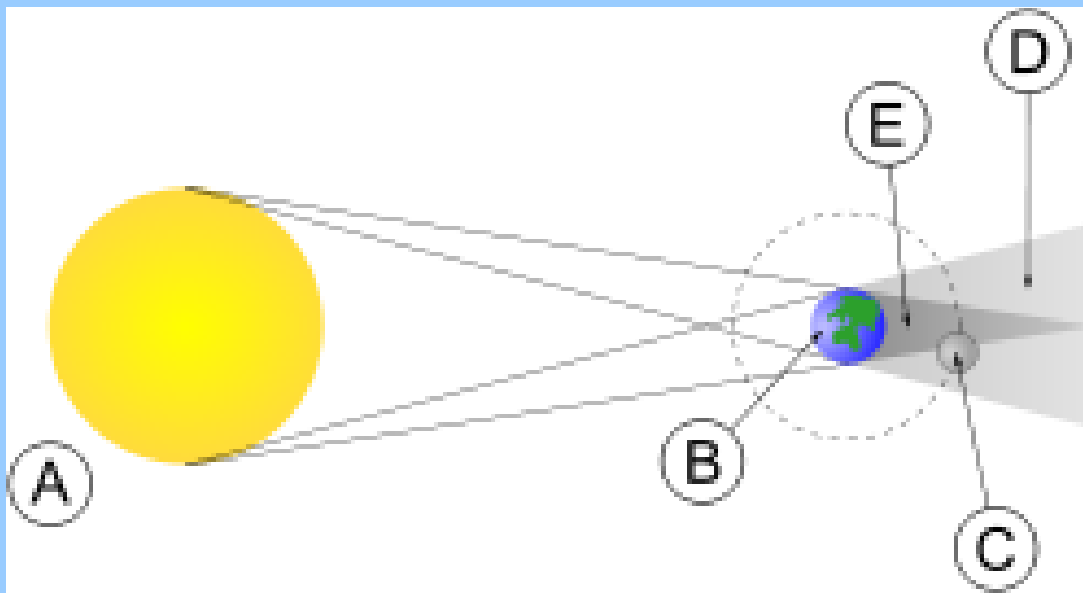
Powstawanie cienia:



Zaćmienie Słońca

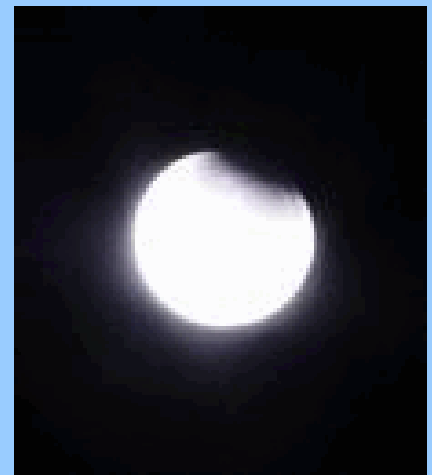






Zaćmienie Księżycy

Układ ciał niebieskich w czasie zaćmienia Księżycy.
 Legenda: A - Słońce; B - Ziemia; C - Księżyc; D -
 Stożek półcienia; E - Stożek cienia całkowitego



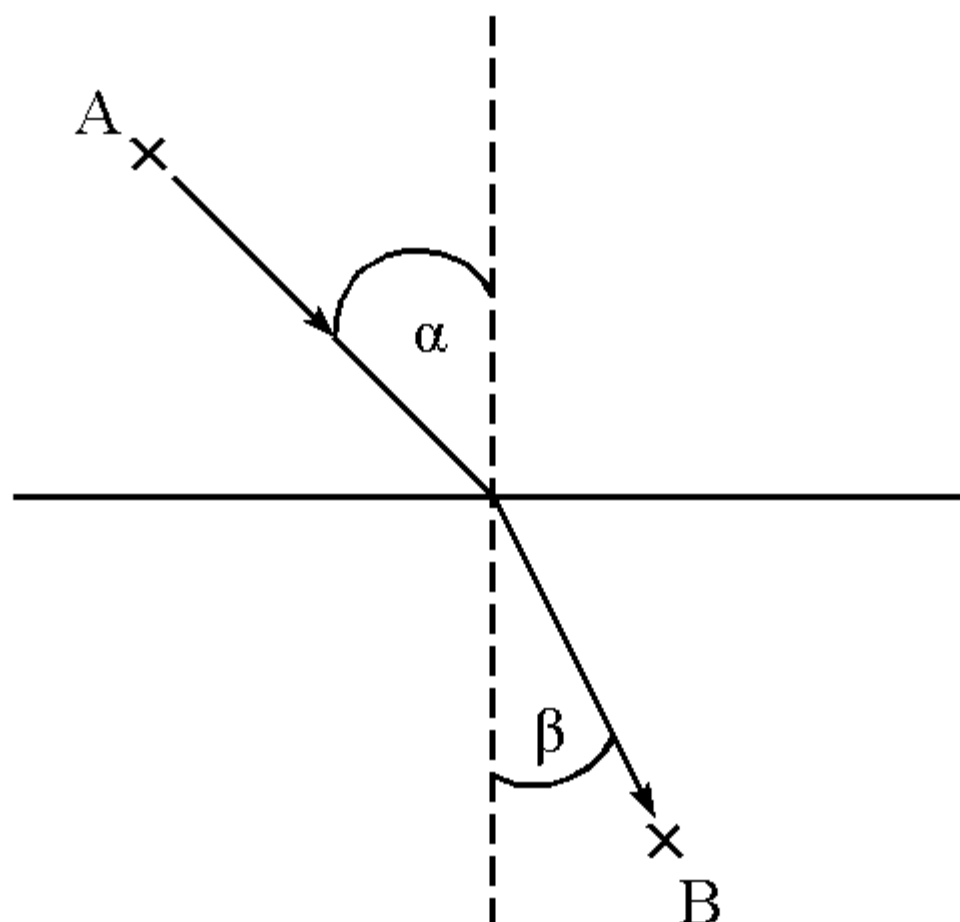
Prawa optyki geometrycznej

1. Prawo prostoliniowego rozchodzenia się światła:

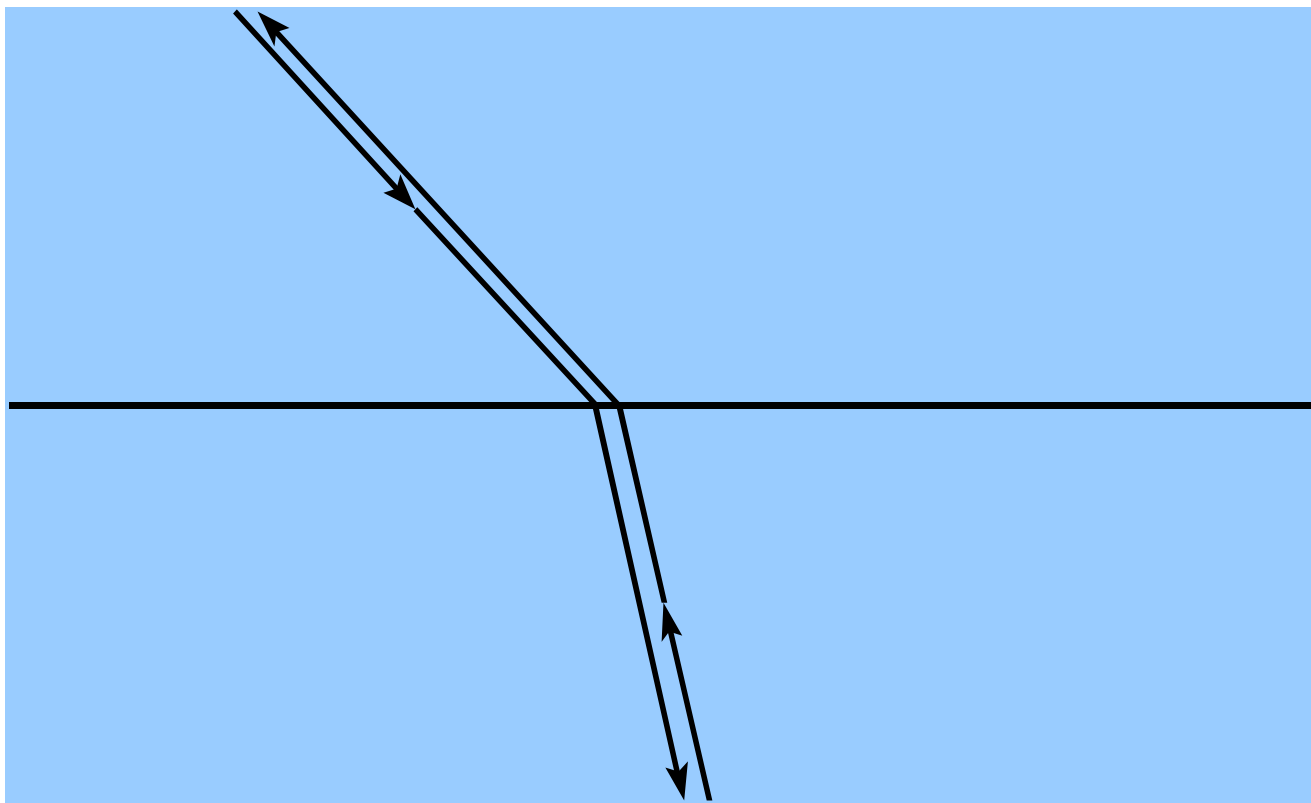
Fala świetlna (opisywana przez promień świetlny) rozchodzi się po liniach prostych.

2. Zasada Fermata:

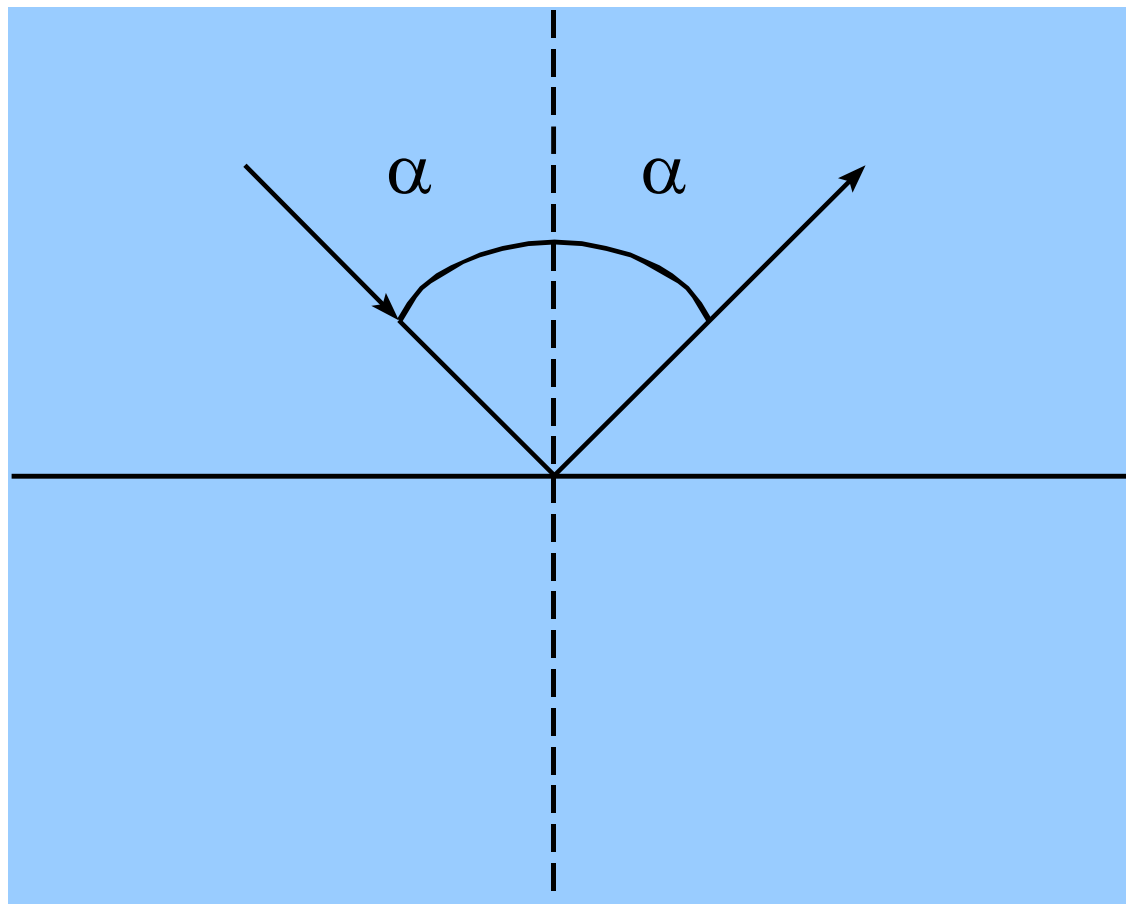
Światło biegnąc od A do B wybiera taką drogę, aby czas jej przebycia był najkrótszy (inaczej: najkrótsza droga optyczna).



3. *Bieg promienia jest odwracalny*

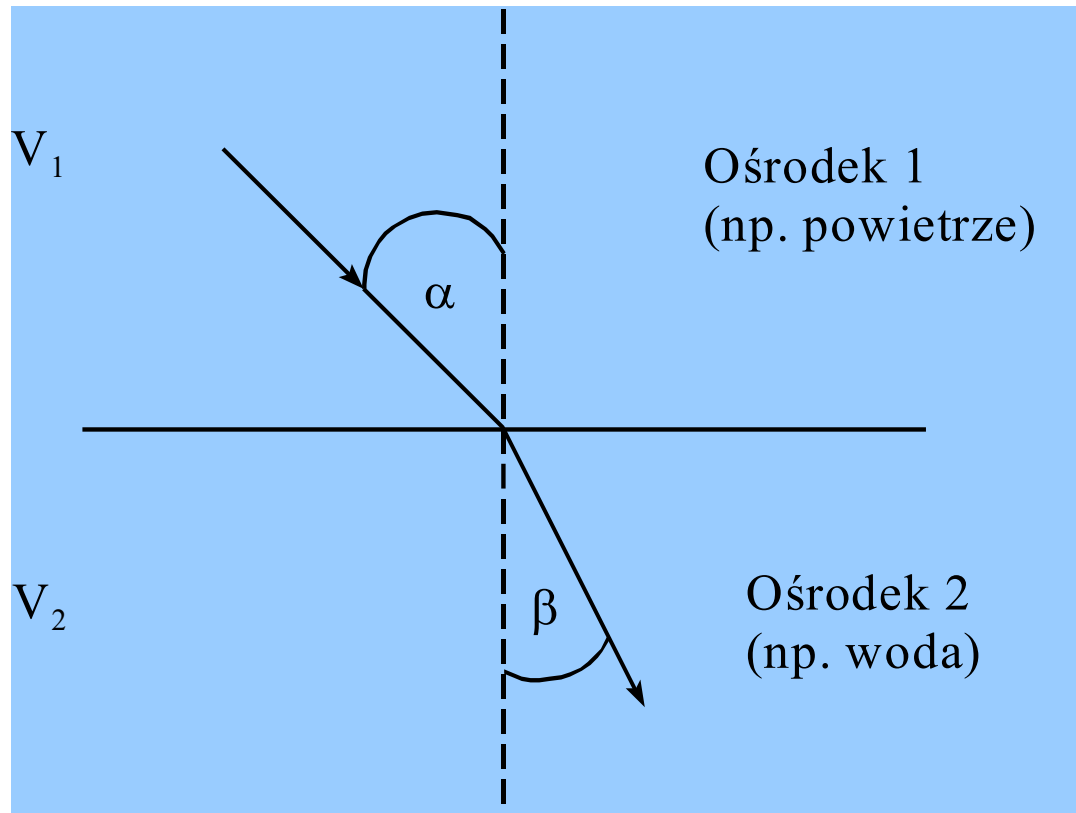


4. Prawo odbicia:



Kąty padania i odbicia są równe.

5. Prawo załamania:



$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{V_1}{V_2}$$

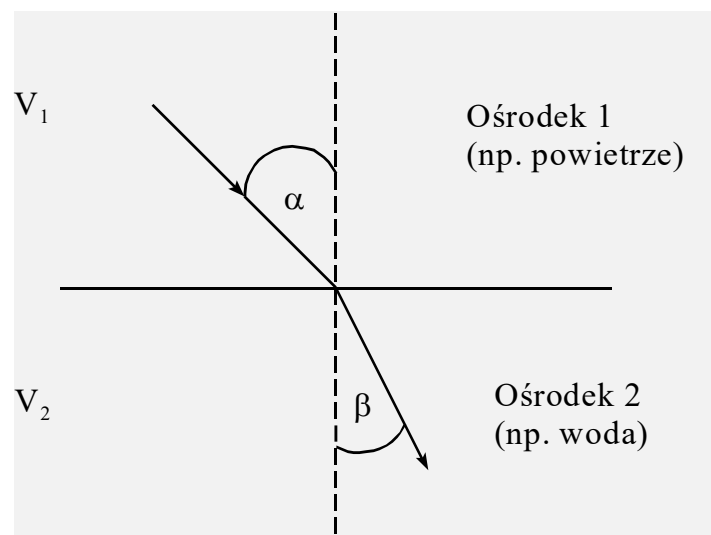
Dla danego ośrodka definiujemy bezwzględny współczynnik załamania (względem próżni):

$$n = \frac{c}{v}$$

Dla dwóch ośrodków 1 i 2 zdefiniujemy najpierw ich współczynniki bezwzględne:

$$n_1 = \frac{c}{v_1}$$

$$n_2 = \frac{c}{v_2}$$



Względny współczynnik załamania (ośrodka 2 względem 1):

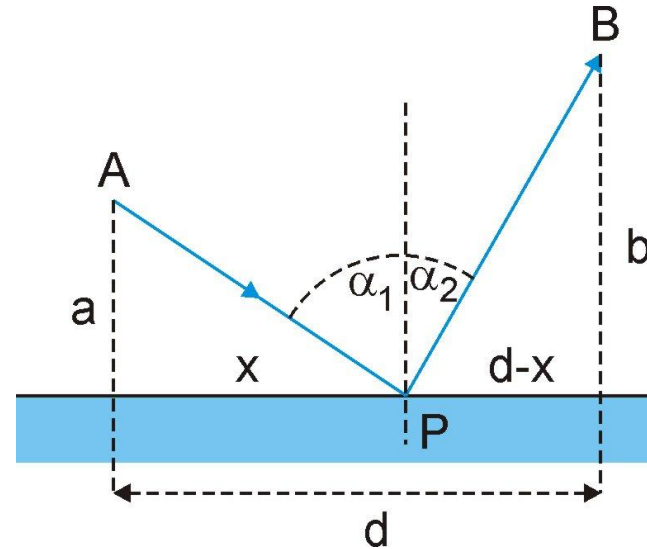
$$n_{2,1} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$n_{2,1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

lub też: $n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$

wyprowadzenia:

Zasada Fermata: Światło biegnące z jednego punktu do drugiego przebywa drogę, na której przebycie trzeba zużyć w porównaniu z innymi, sąsiednimi drogami, minimum czasu.



długość drogi promienia:

$$l = \sqrt{a^2 + x^2} + \sqrt{b^2 + (d - x)^2}$$

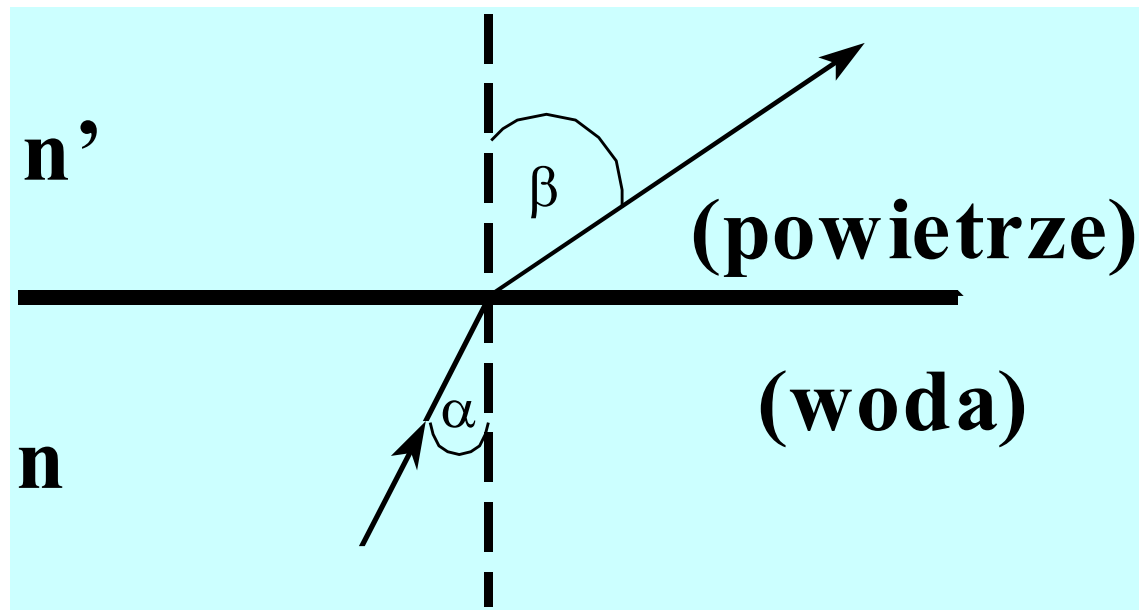
$$\frac{dl}{dx} = 0$$

$$\frac{dl}{dx} = \frac{1}{2}(a^2 + x^2)^{-1/2} 2x + \frac{1}{2}[b^2 + (d - x)^2]^{-1/2} 2(d - x)(-1) = 0$$

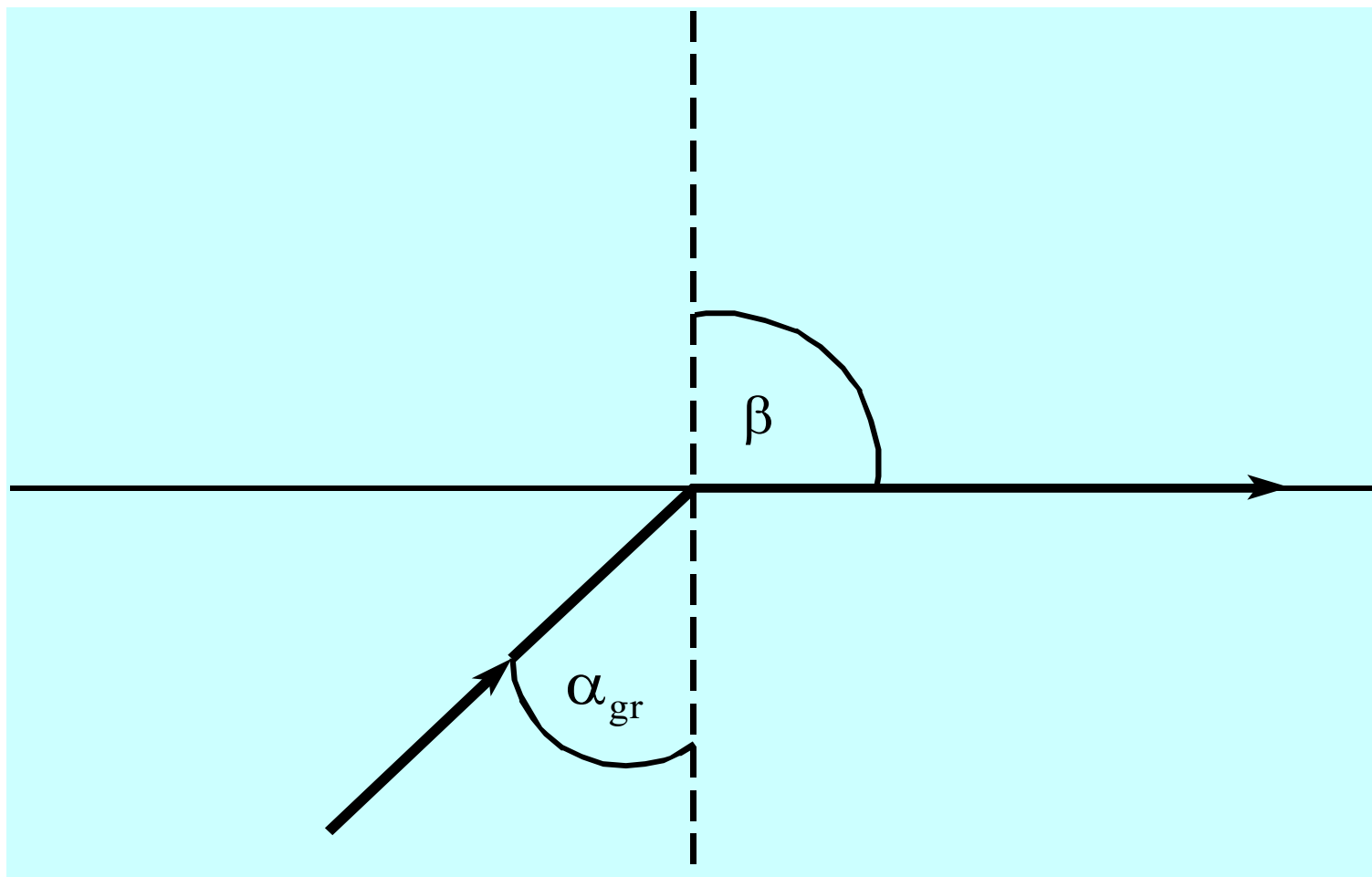
$$\frac{x}{\sqrt{a^2 + x^2}} = \frac{d - x}{\sqrt{b^2 + (d - x)^2}}$$

$$\sin \alpha_1 = \sin \alpha_2 \quad \Rightarrow \quad \boxed{\alpha_1 = \alpha_2}$$

Zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia



$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n'}{n}$$



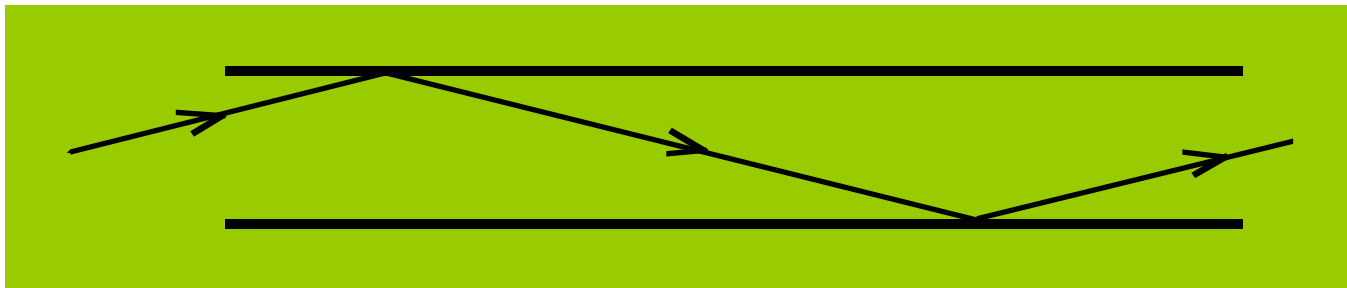
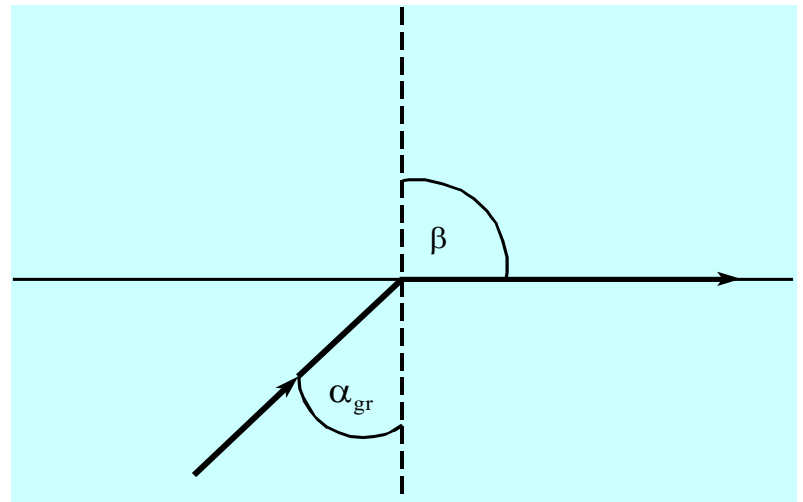
Kąt padania α_{gr} odpowiada kątowi ugięcia $\beta = 90^\circ$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n'}{n}$$

dla powietrza $n' \cong 1$

oraz $\beta = 90^\circ$, więc:

$$\sin \alpha_{gr} = \frac{1}{n}$$

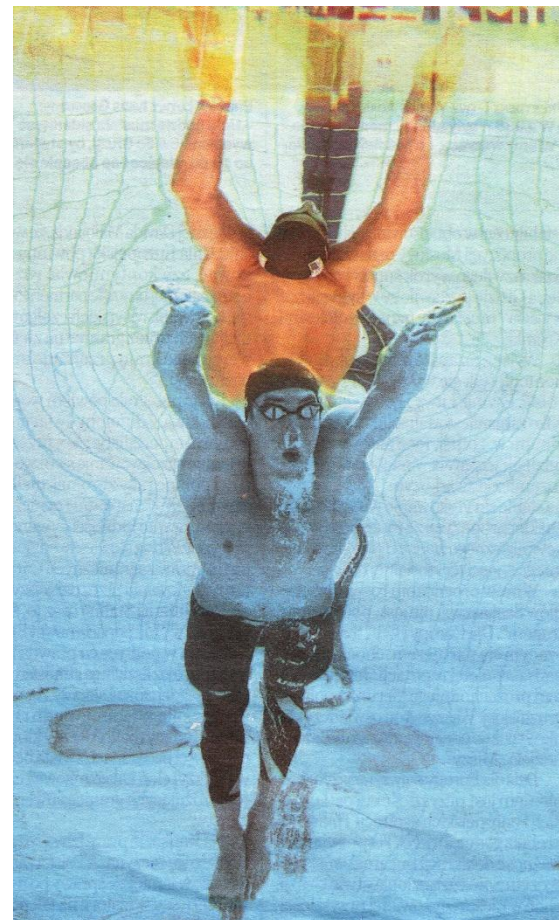
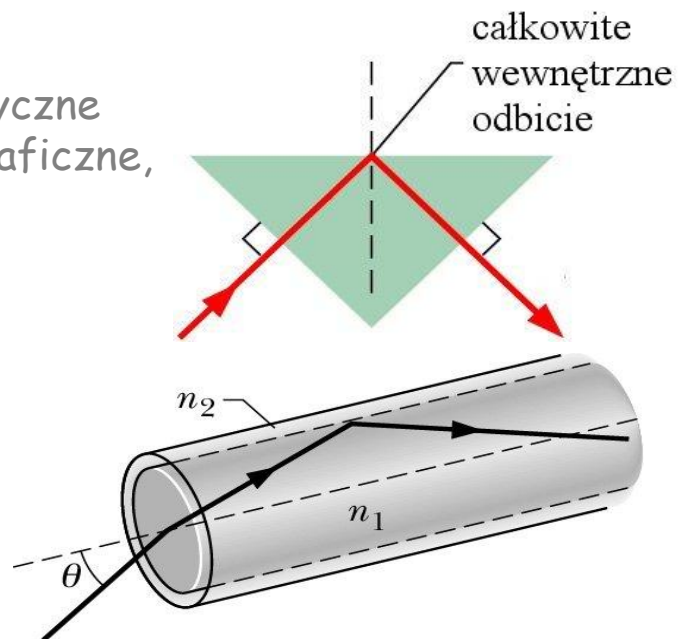


światłowód

Zastosowanie:

Urządzenia optyczne
(aparaty fotograficzne,
lornetki)

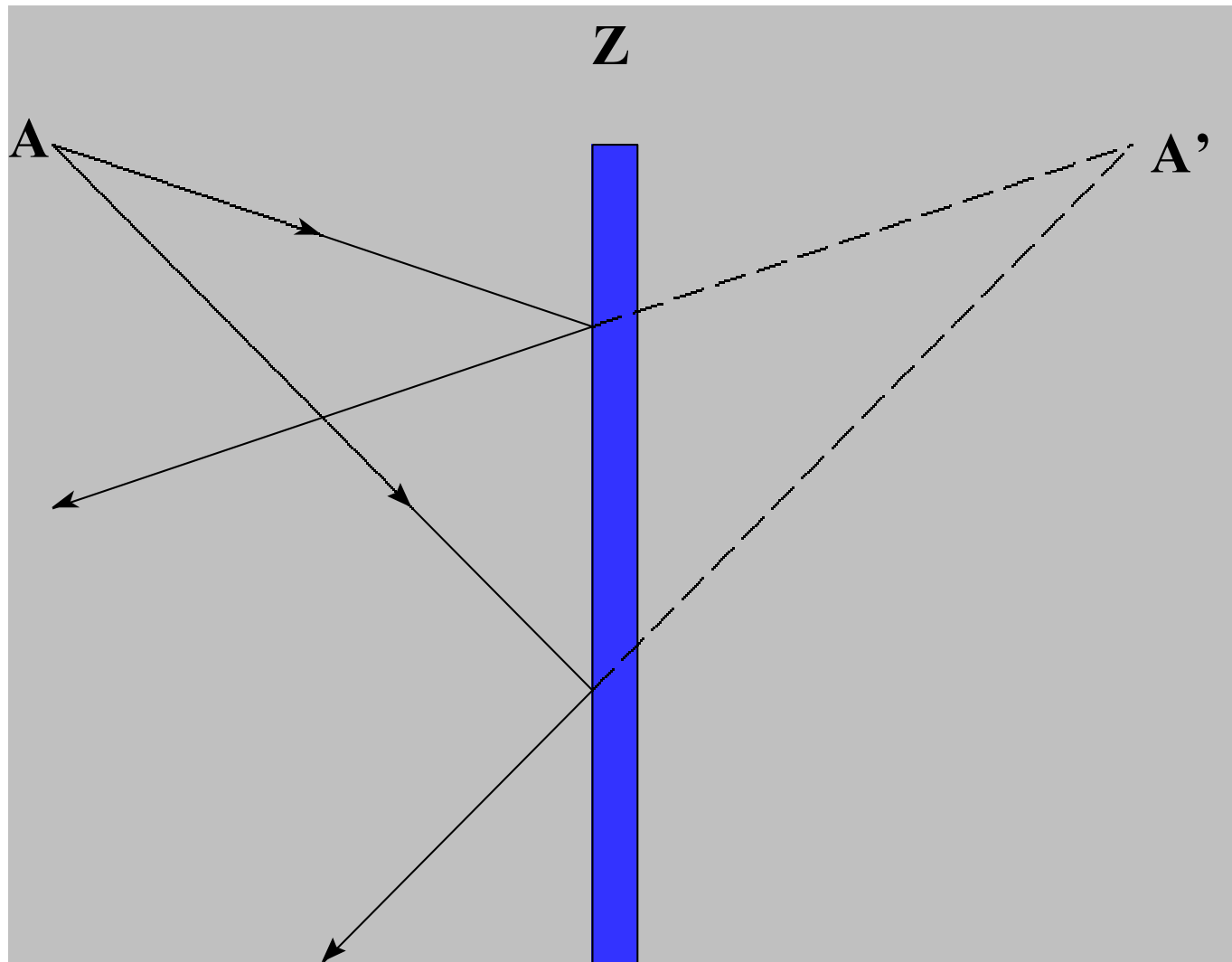
Światłowody



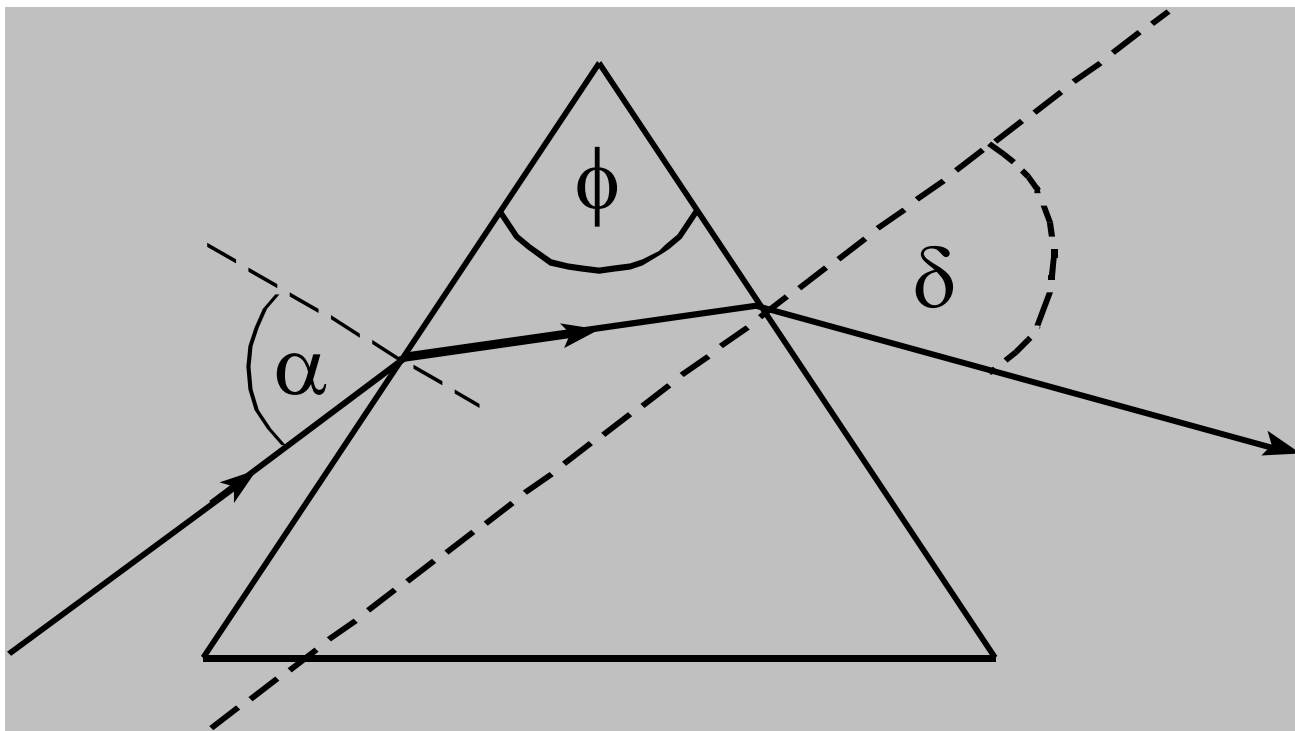
zdjęcie zrobione kamerą
umieszczoną na dnie basenu

Bieg promieni i powstawanie obrazów

a) zwierciadło płaskie

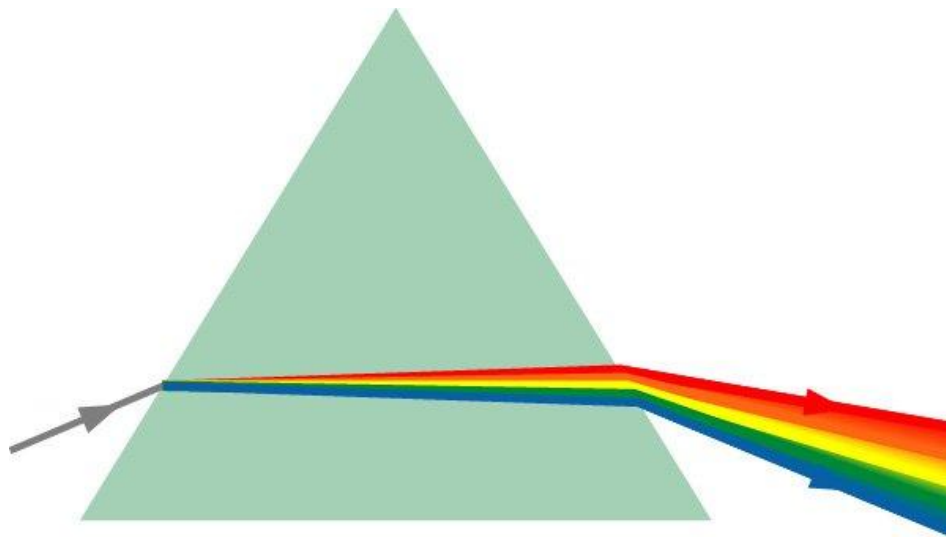


b) Pryzmat

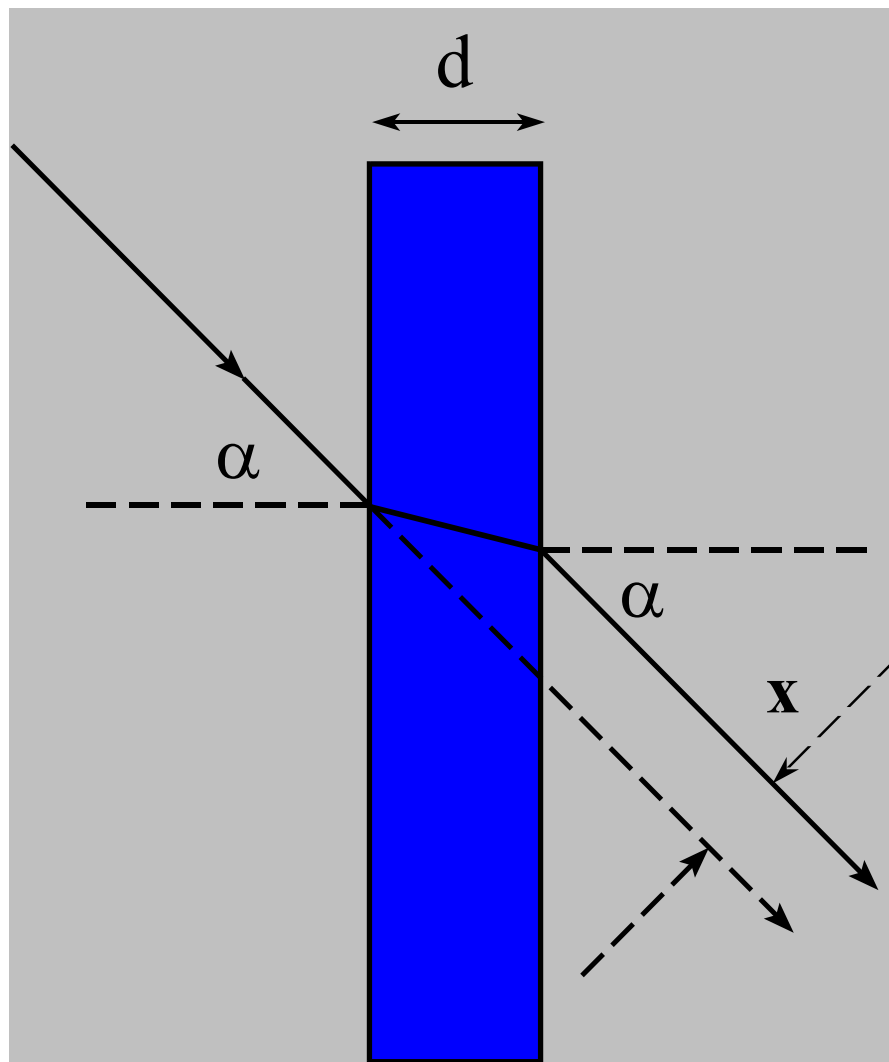


$$\delta = f(\alpha, \phi, n)$$

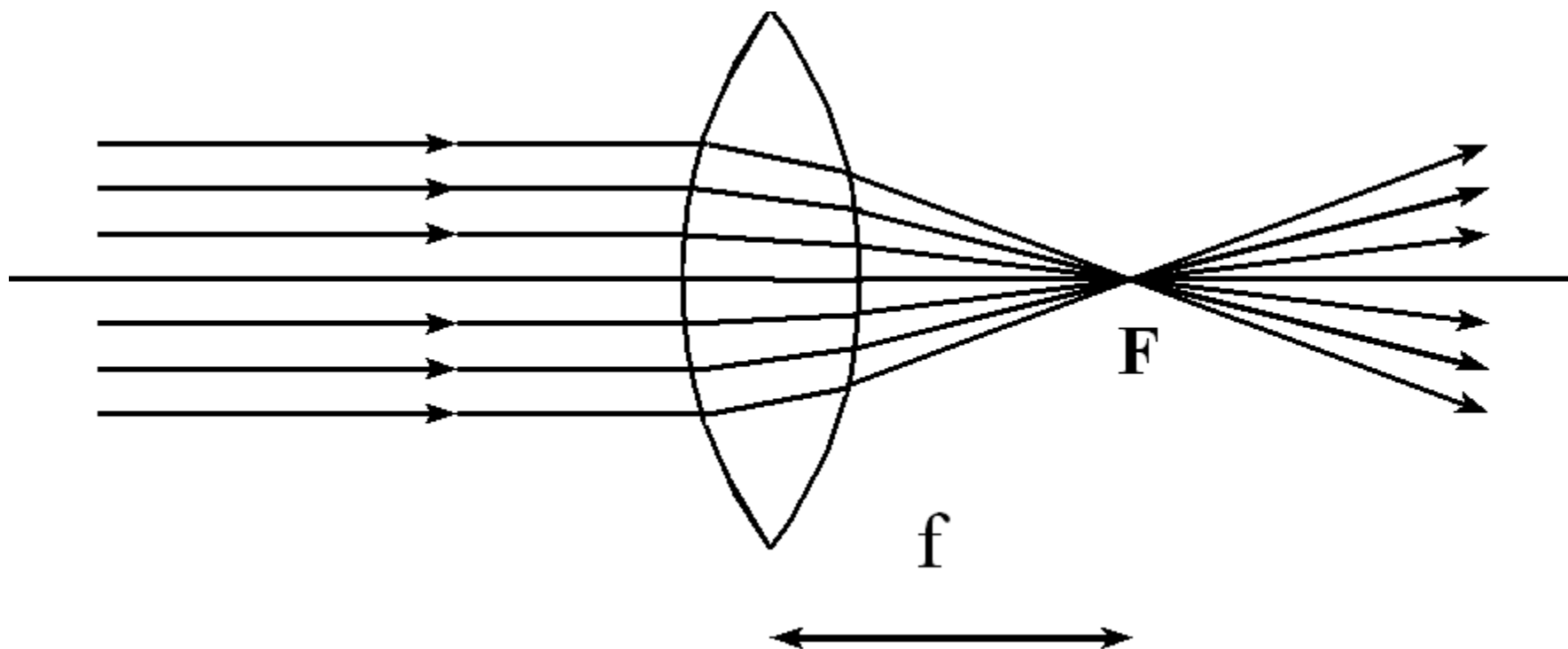
Rozszczepienie światła białego przez pryzmat

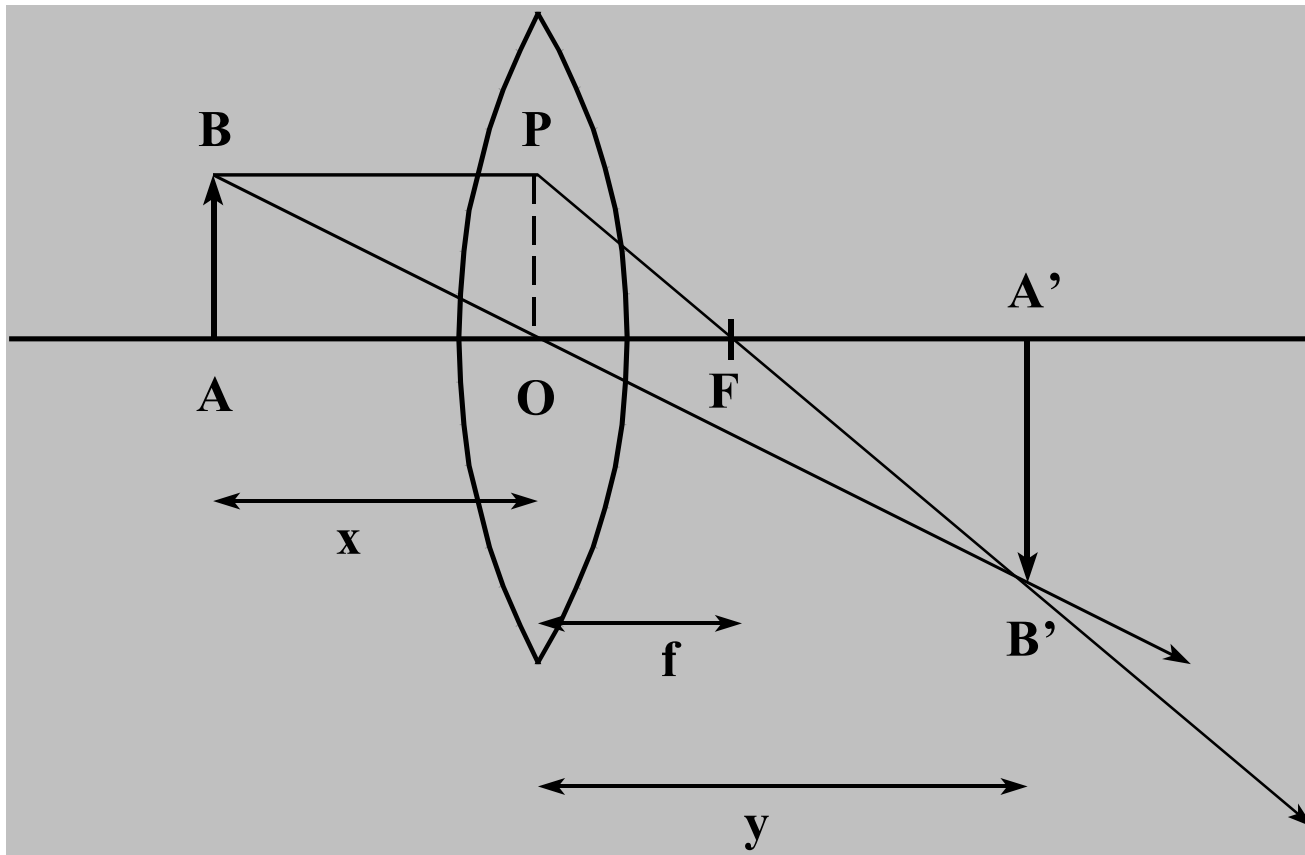


c) płytka równoległa



d) soczewka skupiająca





Z podobieństwa trójkątów ABO i A'B'O wynika, że $p = A'B'/AB$ wynosi:

$$p = \frac{A'B'}{AB} = \frac{y}{x}$$

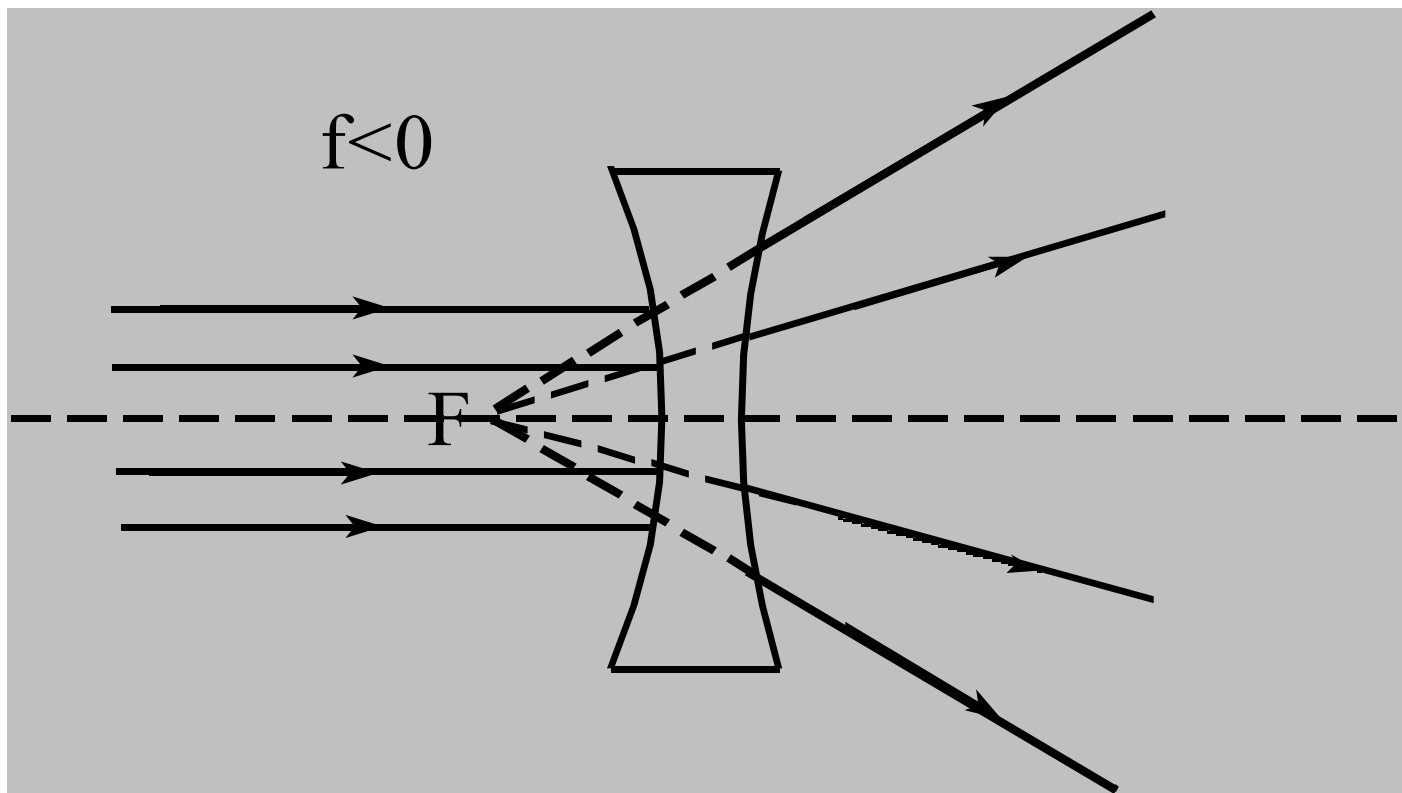
Równanie obrazu soczewki:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{x} + \frac{1}{y}$$

Stosujemy następującą konwencję:

- jeśli przedmiot umieszczamy po lewej stronie soczewki, to $x > 0$,
- obraz powstający po prawej stronie jest obrazem rzeczywistym ($y > 0$),
- obraz powstający po lewej stronie jest obrazem pozornym ($y < 0$),
- dla soczewki skupiającej: $f > 0$, zaś dla rozpraszającej: $f < 0$.

Istnieją także soczewki rozpraszające (dla nich $f < 0$):



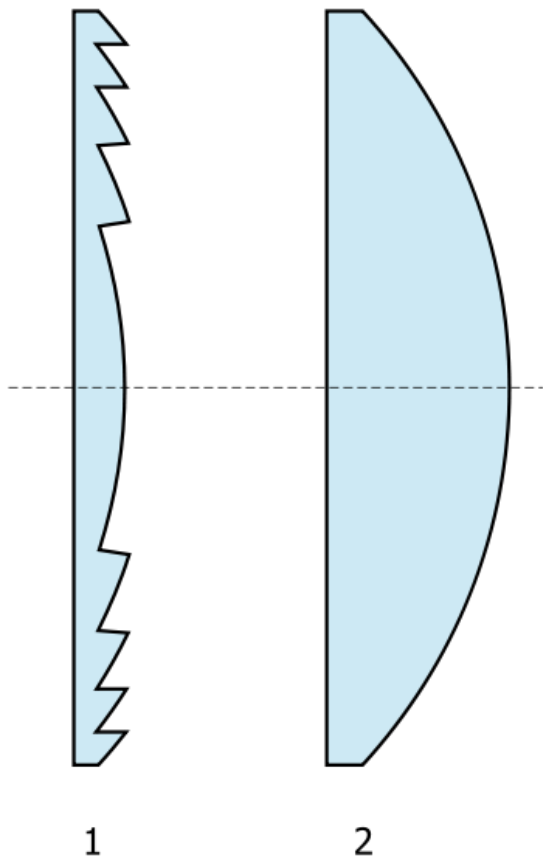
„Wypadkowa” ogniskowa dla dwóch soczewek:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

Ogniskową soczewki można wyliczyć z następującej relacji:

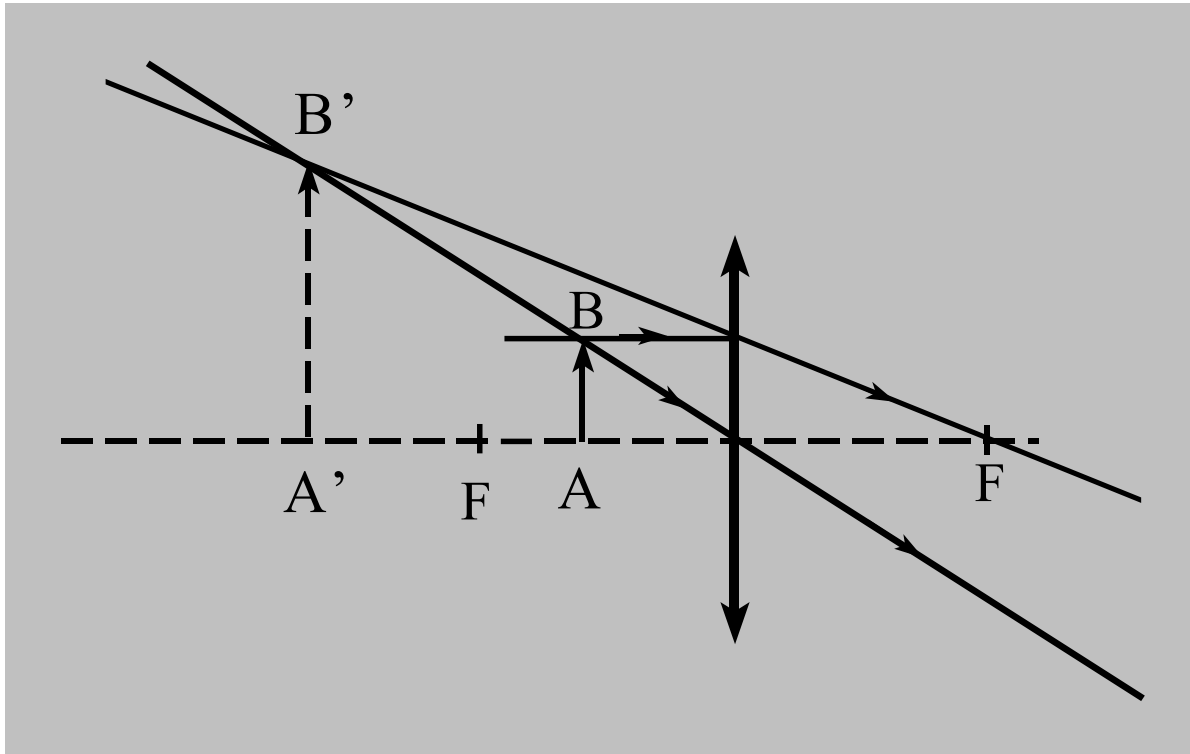
$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

Inne rozwiązanie: Soczewka Fresnela

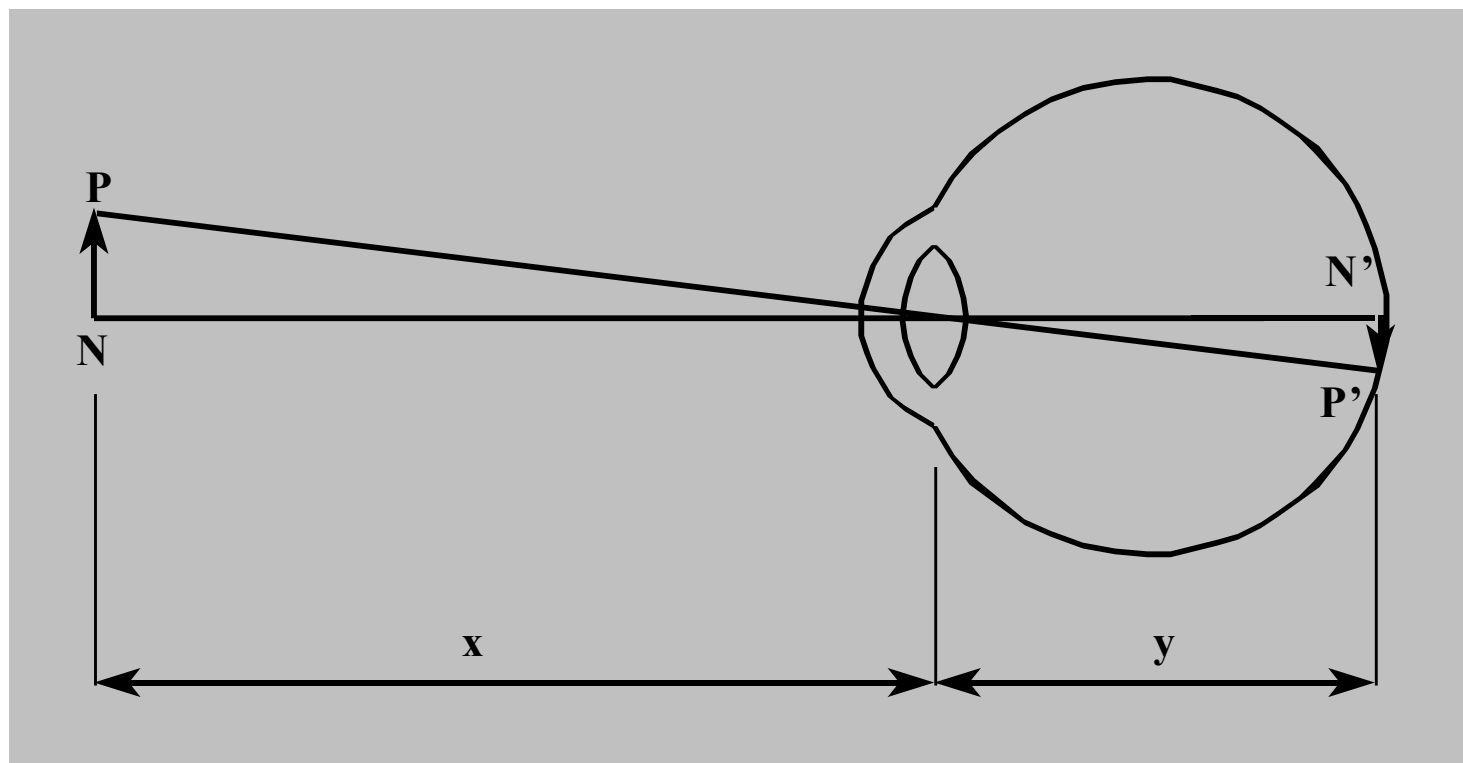


Soczewka starego reflektora w
latarni morskiej Stilo
(muzeum w latarni Rozewie)

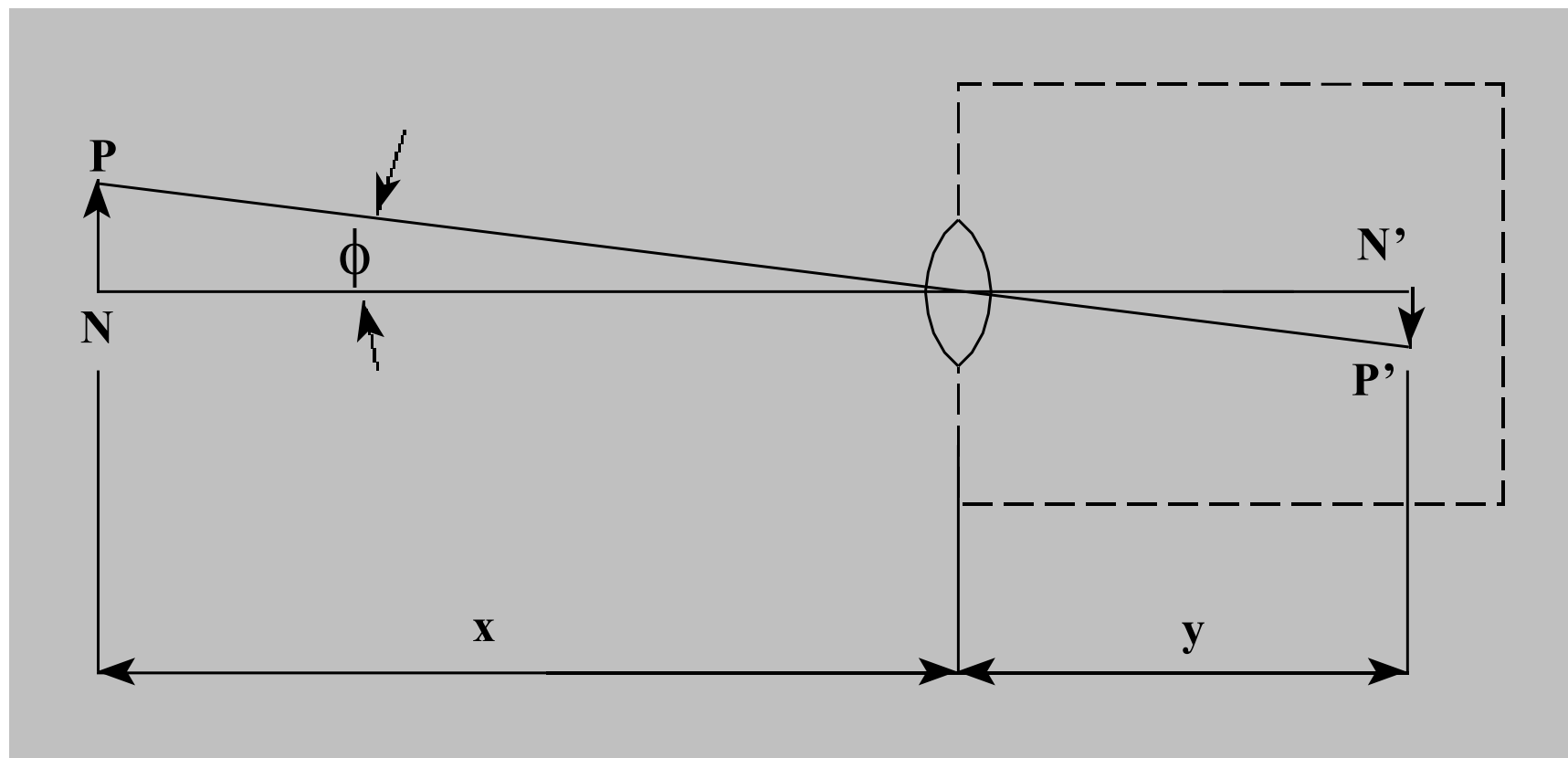
e) Lupa



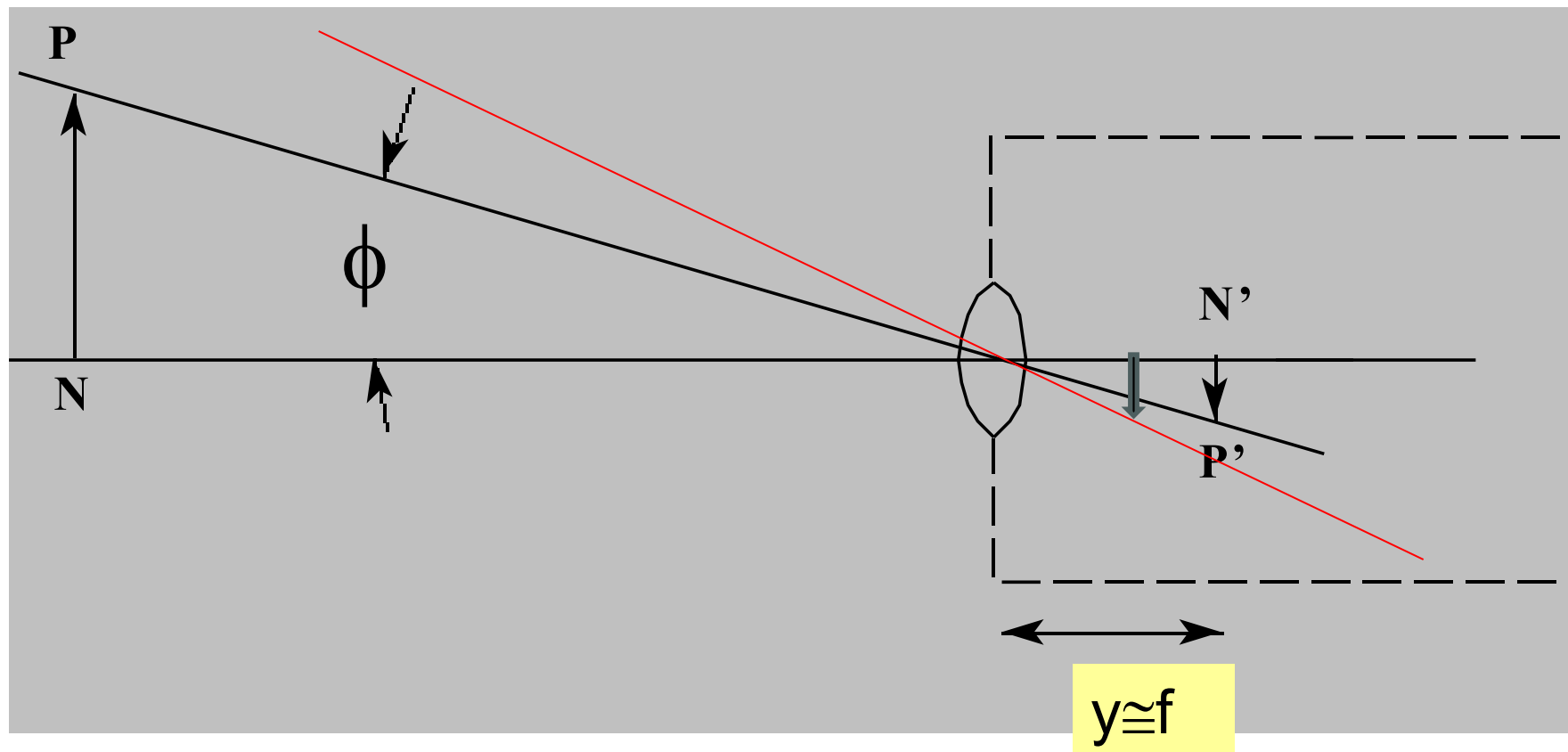
f) oko



g) aparat fotograficzny



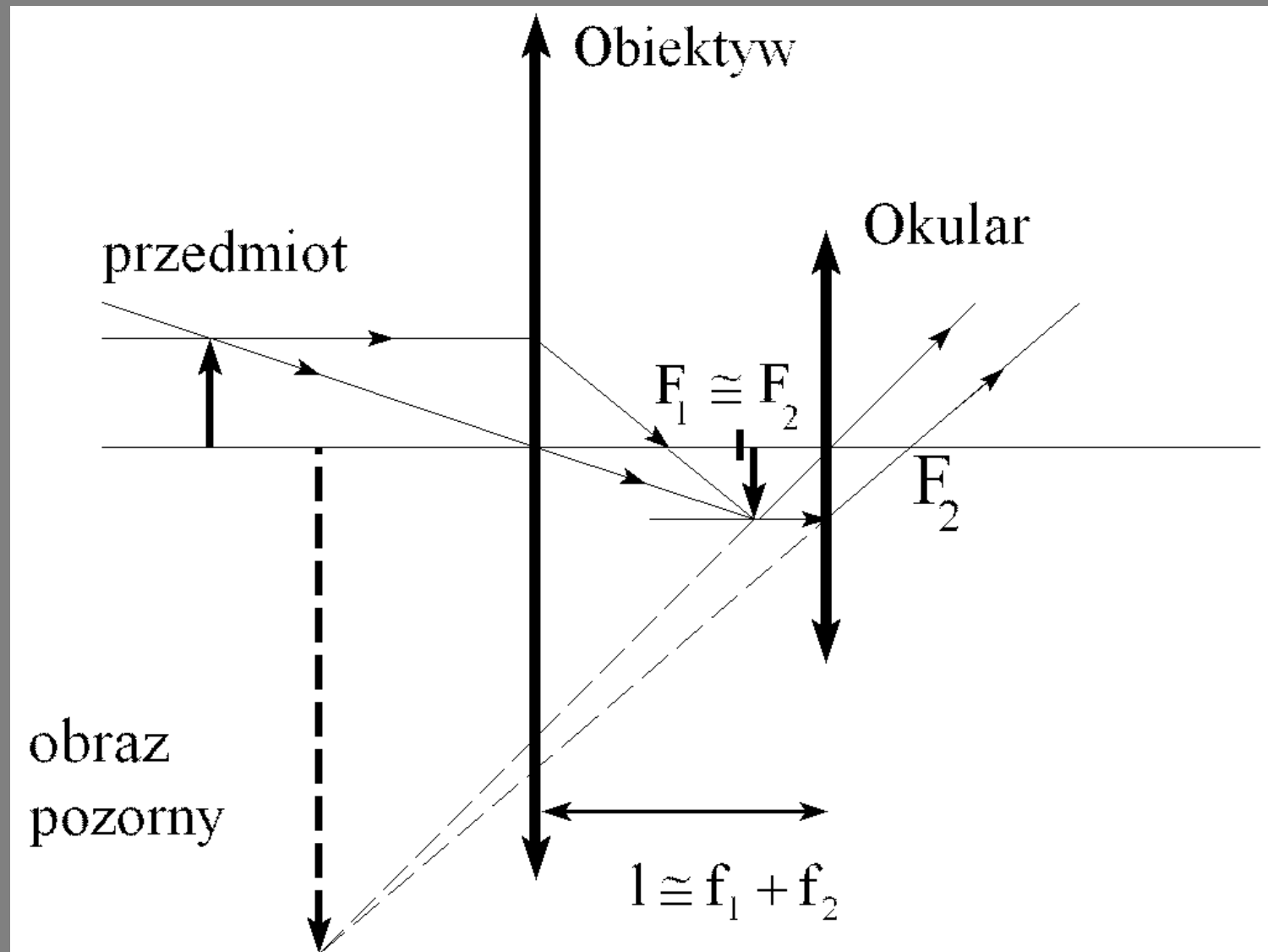
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{x} + \frac{1}{y}$$



Prawie: $y \cong f$

Ponadto: im mniejsze f tym większe ϕ

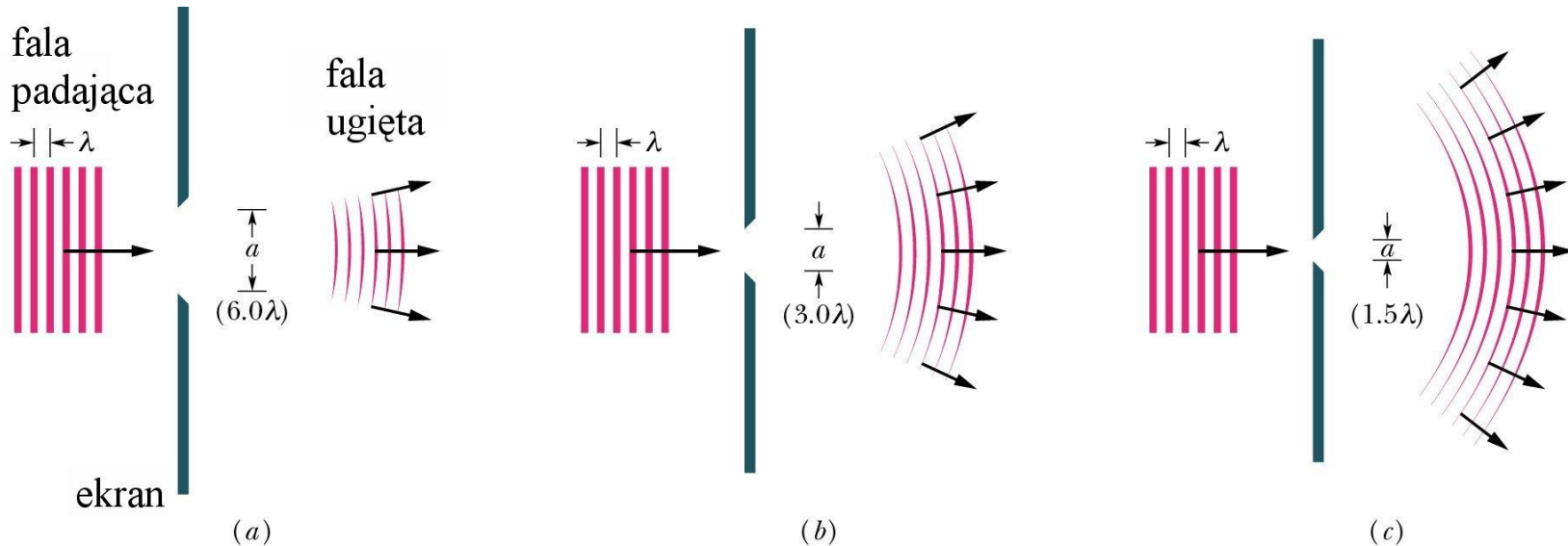
h) Luneta astronomiczna



OPTYKA FALOWA

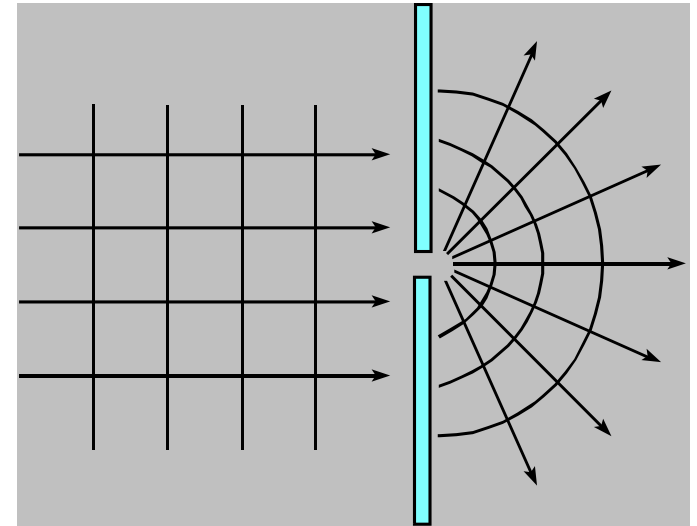
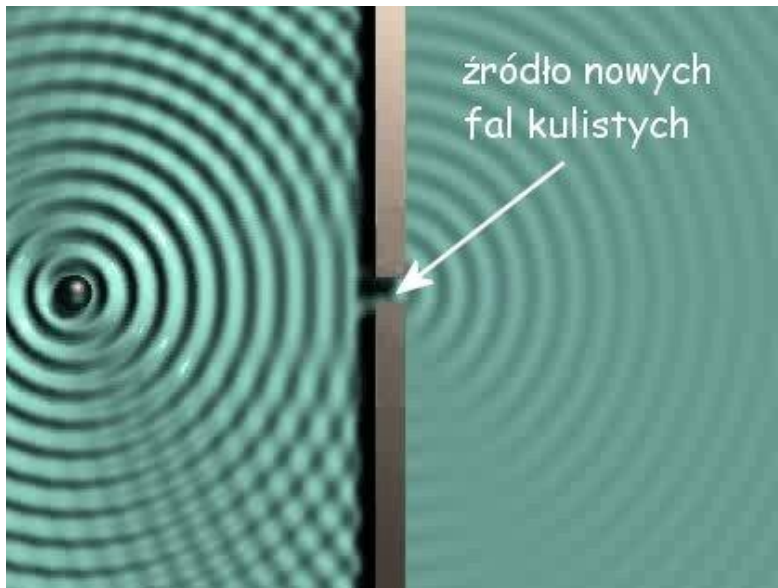
Warunki stosowalności optyki geometrycznej

Pojęciem promienia świetlnego (optyka geometryczna) nie możemy posłużyć się przy opisie ugięcia światła.



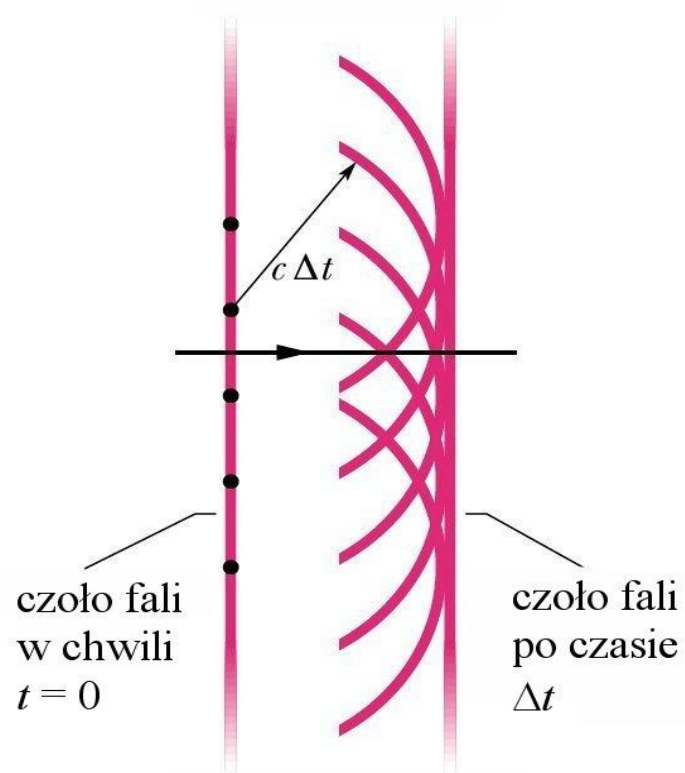
Ugięcie staje się coraz bardziej wyraźne gdy szczelina staje się coraz węższa ($a/\lambda \rightarrow 0$). W tym zjawisku ujawnia się falowa natura światła.

Warunkiem stosowalności optyki geometrycznej jest aby wymiary liniowe wszystkich obiektów (soczewek, pryzmatów, szczelin itp.) były o wiele większe od długości fali.



Zasada Huygensa:

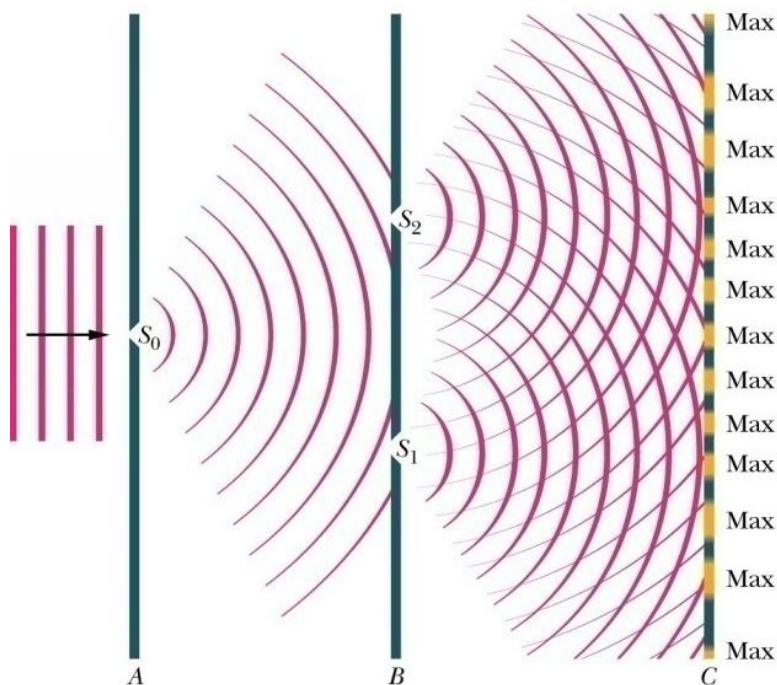
każdy punkt czoła fali można uważać za źródło nowej fali kulistej



Wszystkie punkty czoła fali można uważać za źródła nowych fal kulistych.

Położenie czoła fali po czasie t będzie dane przez powierzchnię styczną do tych fal kulistych.

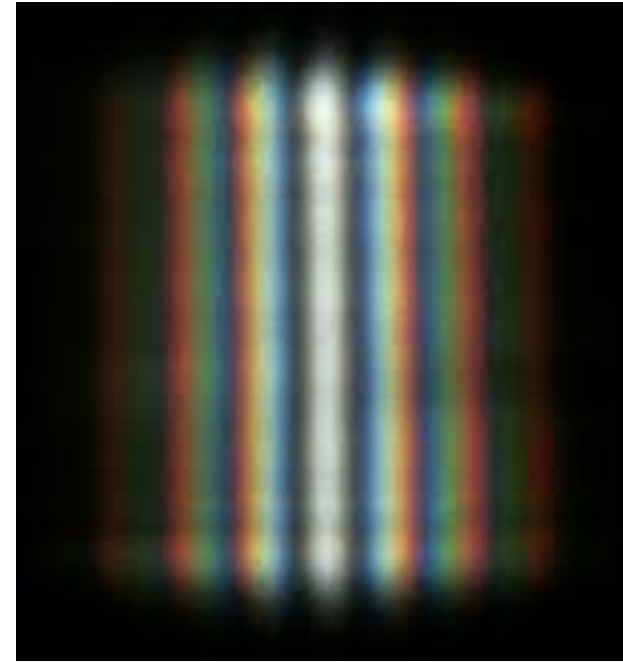
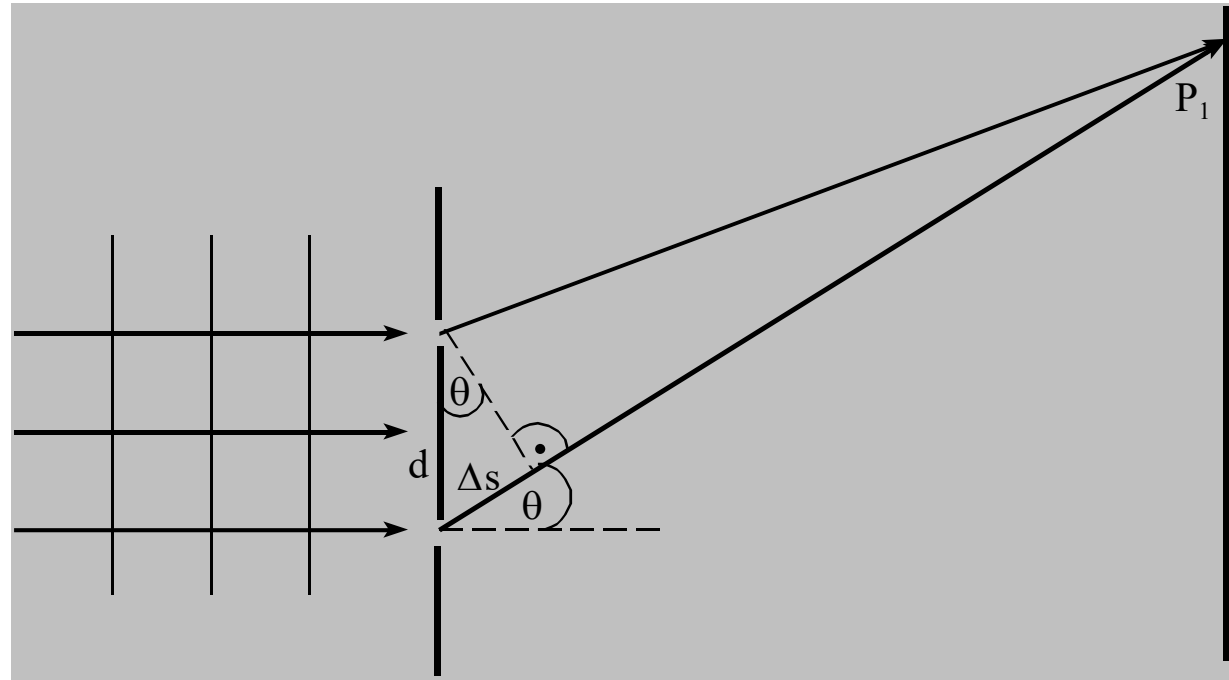
Interferencja, doświadczenie Younga



Doświadczenie Younga (w 1801 r.)
wykazało istnienie takiej interferencji dla
światła.

Na ekranie obserwujemy miejsca ciemne
(wygaszania się interferujących fal) i jasne
(wzajemne wzmocnienie).

Interferencja na dwóch szczelinach



$$\Delta s = d \sin \theta$$

$$d \sin \theta = n\lambda$$

(**Maksima** czyli
prążki jasne)

$$d \sin \theta = (2n + 1) \frac{\lambda}{2}$$

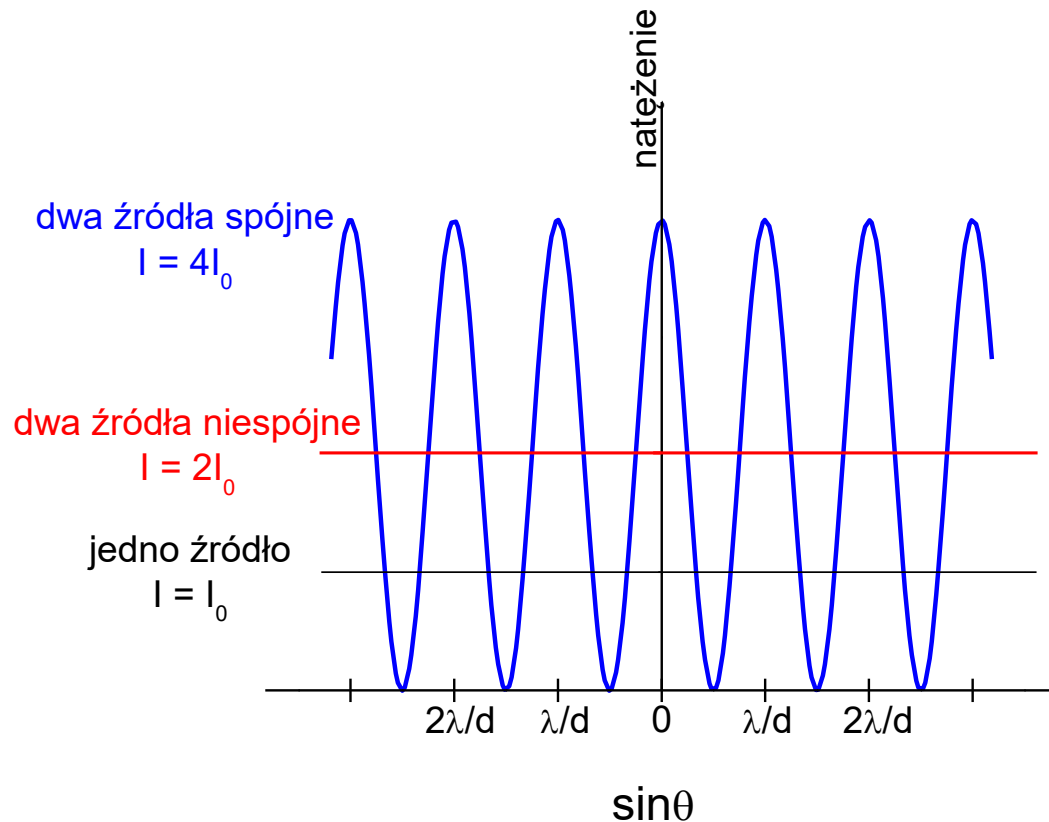
(**Minima** czyli
prążki ciemne)

Przeprowadzając ilościową analizę ugięcia światła na dwóch szczelinach, na natężenie ugiętego światła uzyskuje się:

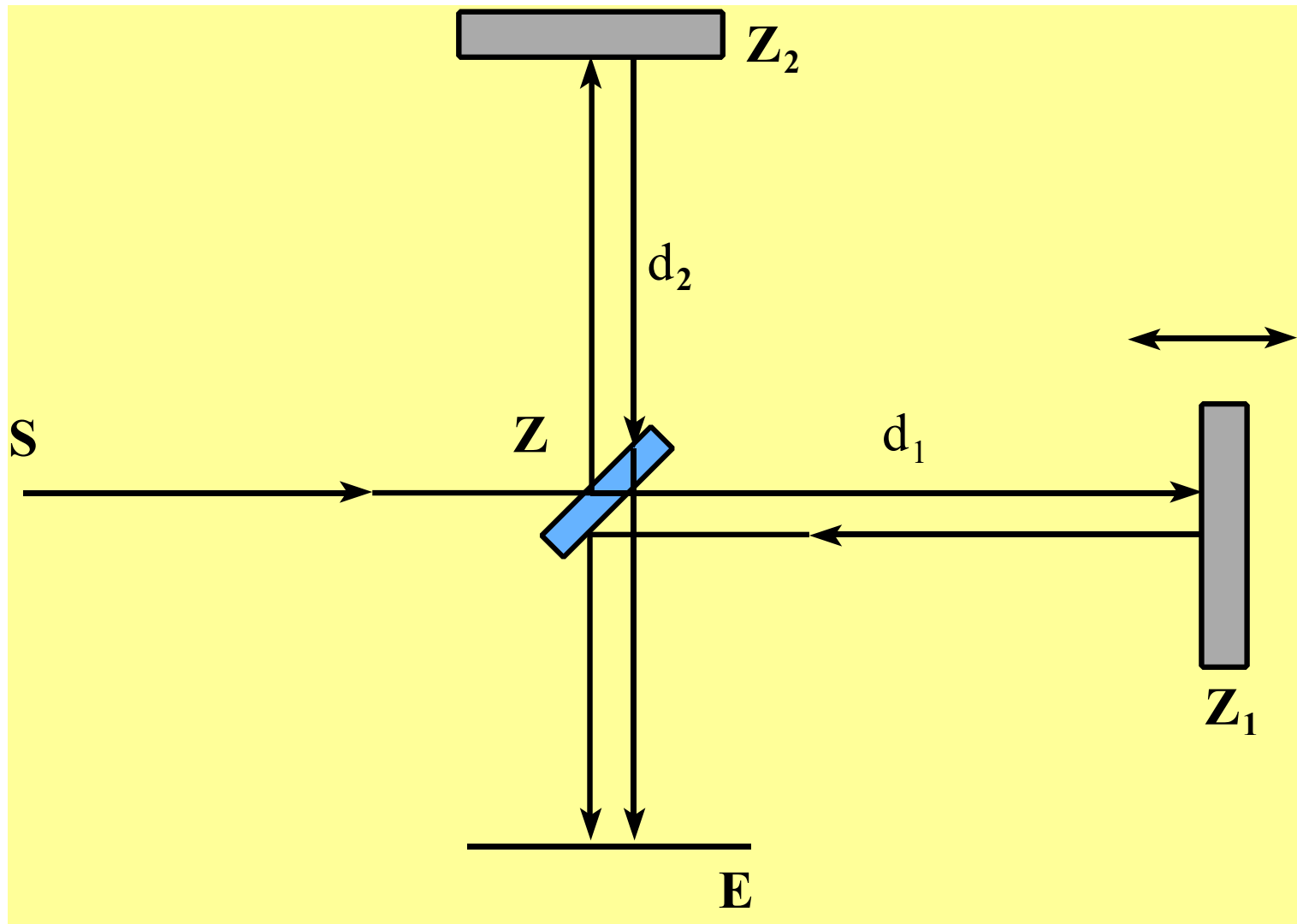
$$I_{\theta} = I_m \cos^2 \beta$$

gdzie:

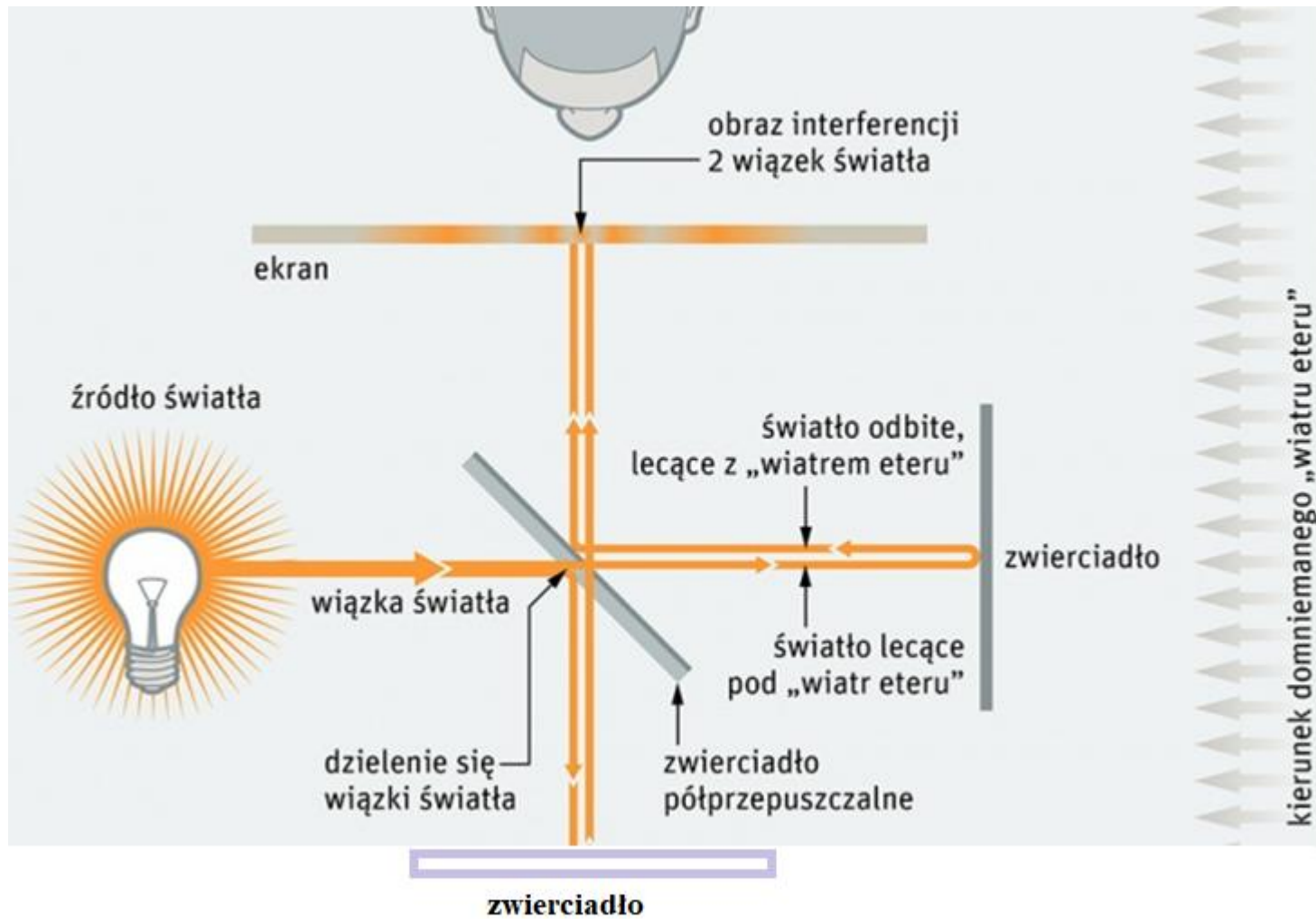
$$\beta = \frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta$$



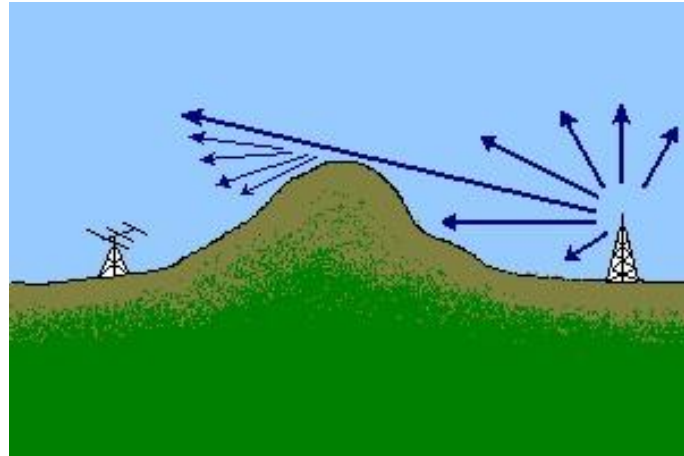
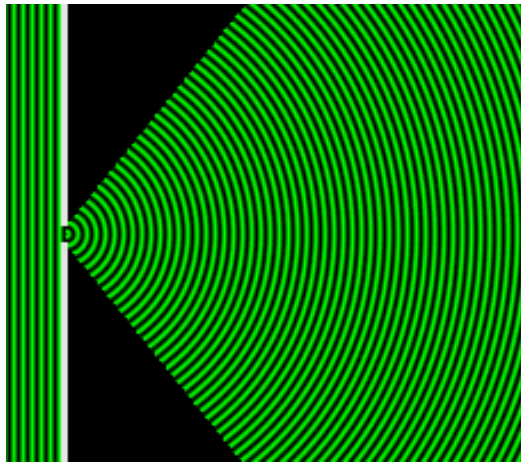
Interferometr Michelsona



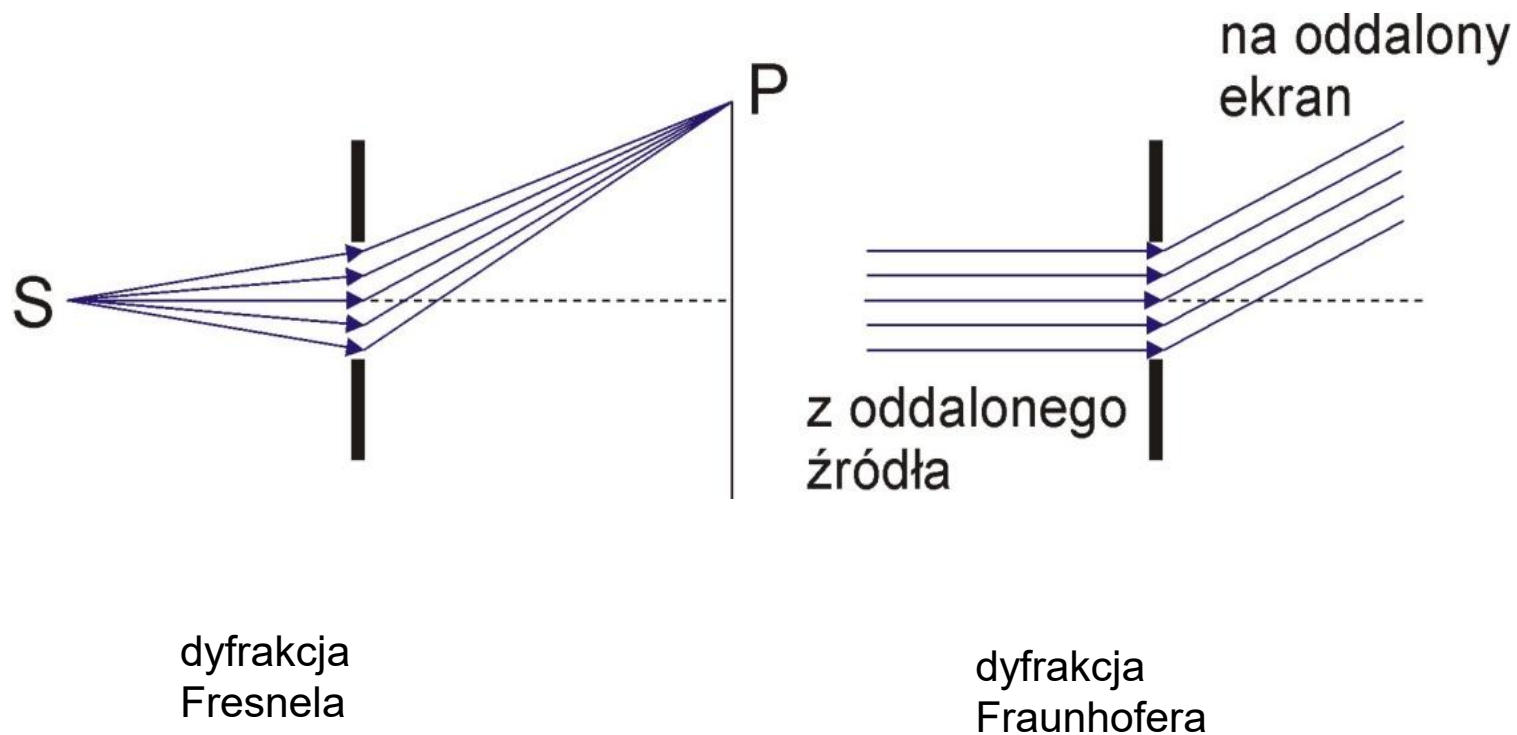
Doświadczenie Michelsona – Morley'a

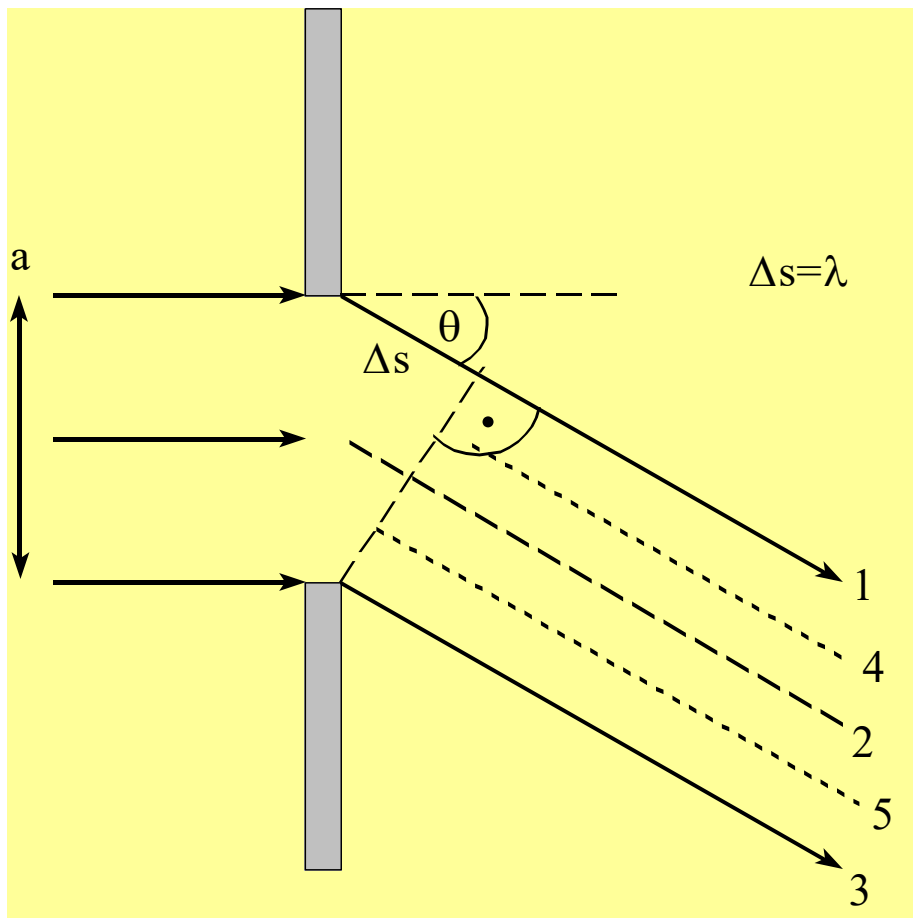


Dyfrakcja (ugięcie) światła



Dyfrakcja światła na pojedynczej szczelinie





rożnica dróg przebytych przez promienie (1 i 3) wynosi:

$$\Delta s = a \sin \theta$$

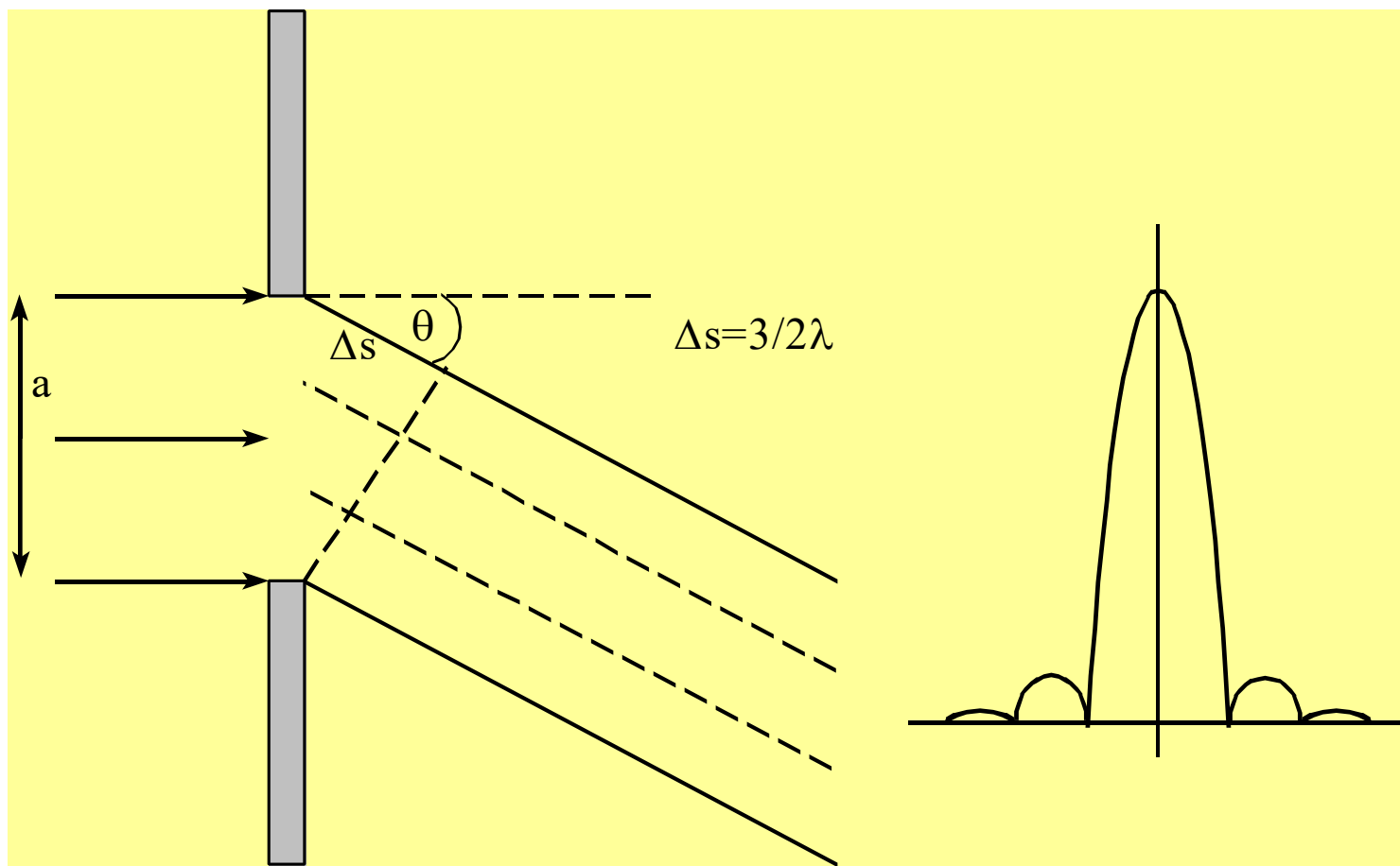
Prążki ciemne (minima) otrzymujemy gdy:

$$\Delta s = n\lambda$$

A zatem warunek uzyskania minimum:

$$a \sin \theta = n\lambda$$

A kiedy dostaniemy maksima, czyli prążki jasne ?



Wystąpi to, np., dla:
$$\Delta s = \frac{3}{2}\lambda$$

Maksima (czyli prążki jasne) w wiązce ugiętej wystąpią, jeśli:

$$\Delta s = (2n + 1) \frac{\lambda}{2}$$

A zatem warunek powstania maksimów:

$$a \sin \theta = (2n + 1) \frac{\lambda}{2}$$

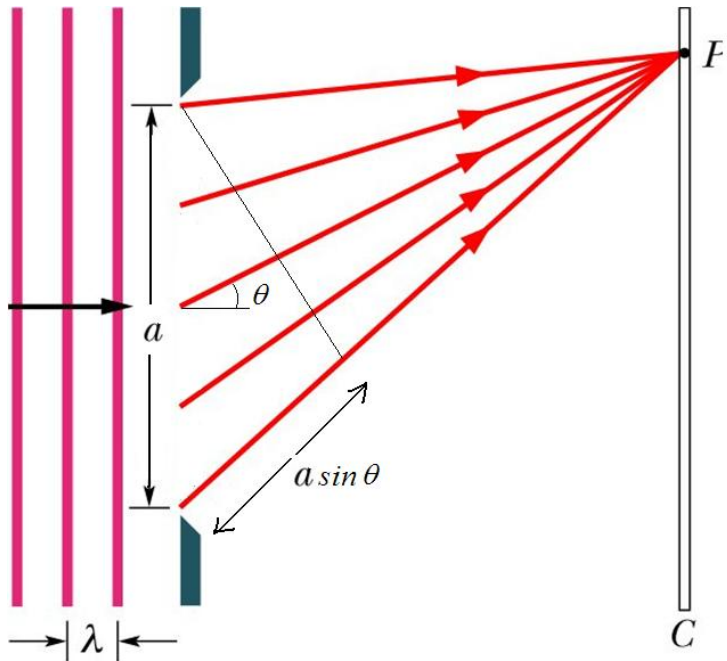
A zatem, podsumujmy:

Warunek uzyskania minimum:

$$a \sin \theta = n\lambda$$

Warunek powstania maksimum:

$$a \sin \theta = (2n + 1) \frac{\lambda}{2}$$

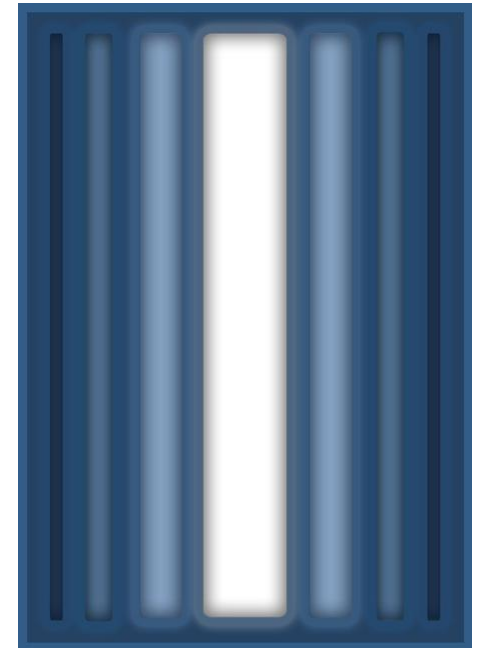
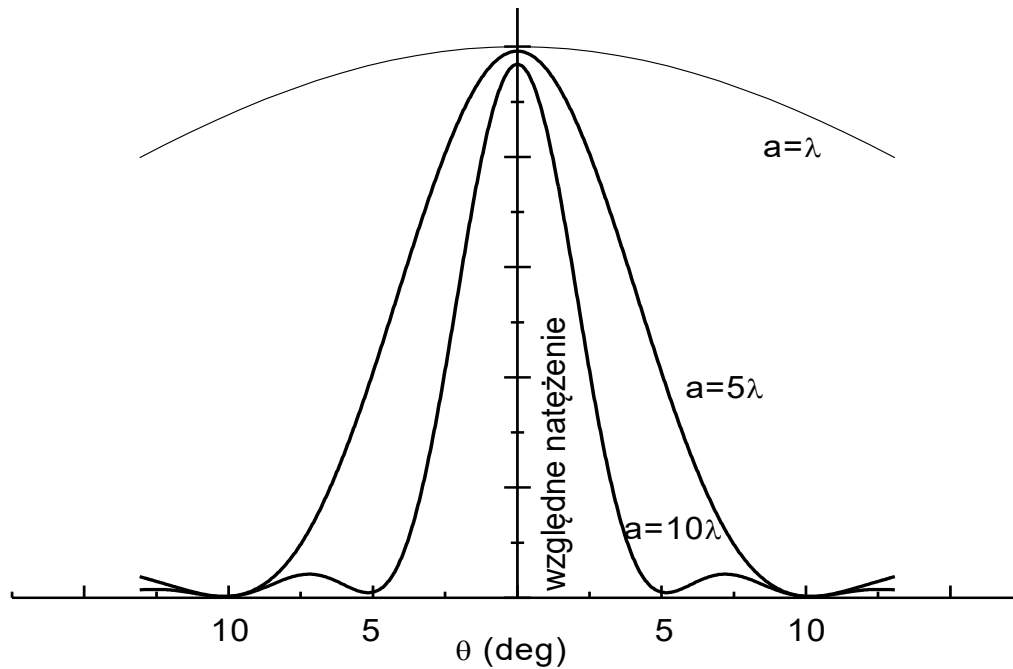


Ścisła analiza :

$$I_{\theta} = I_m \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2$$

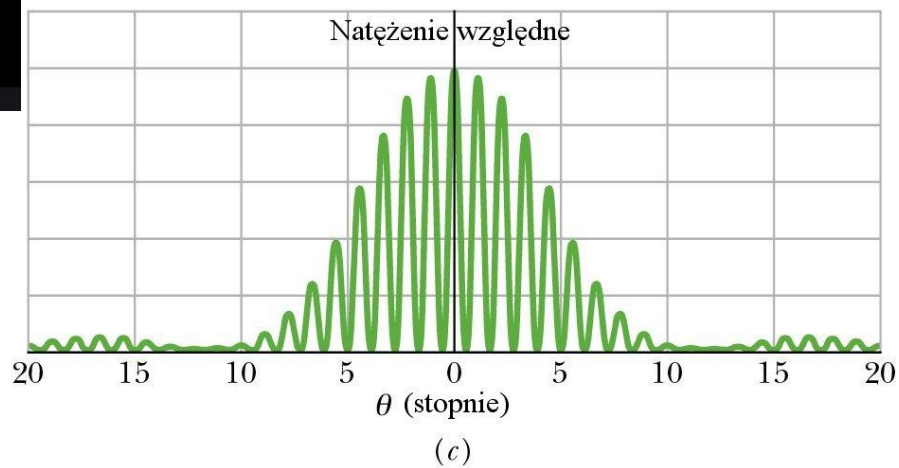
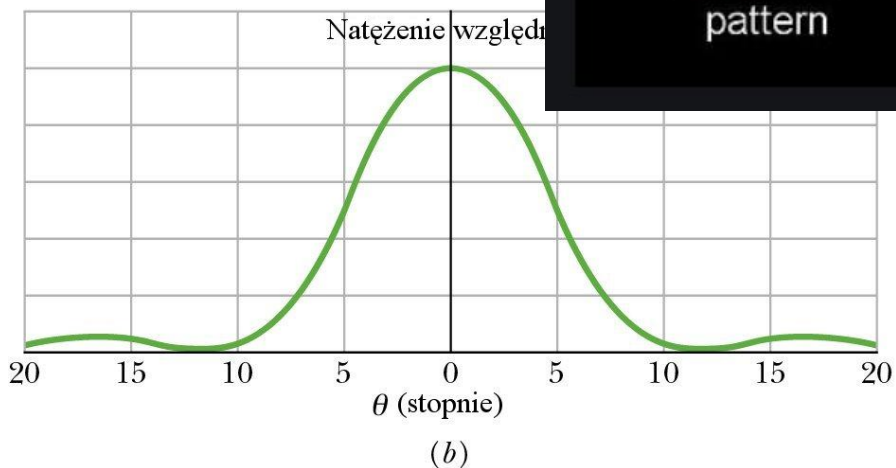
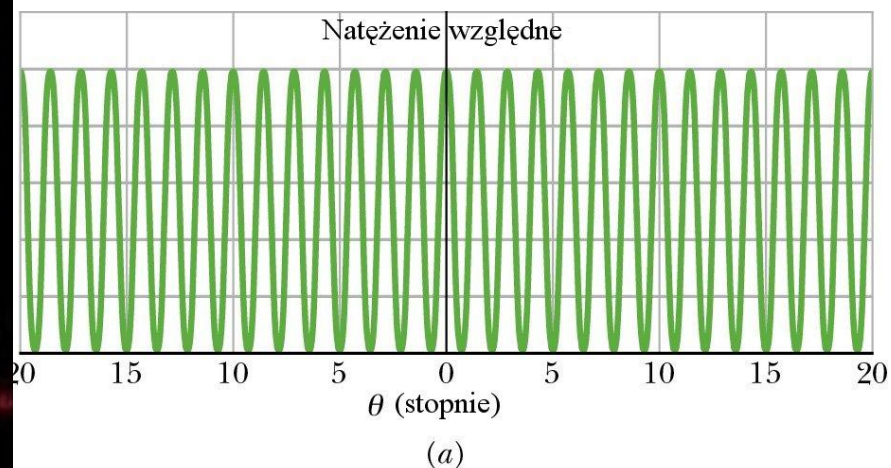
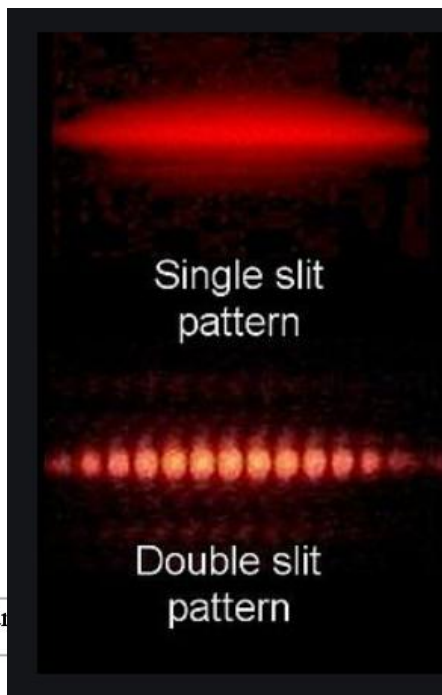
gdzie:

$$\alpha = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta$$



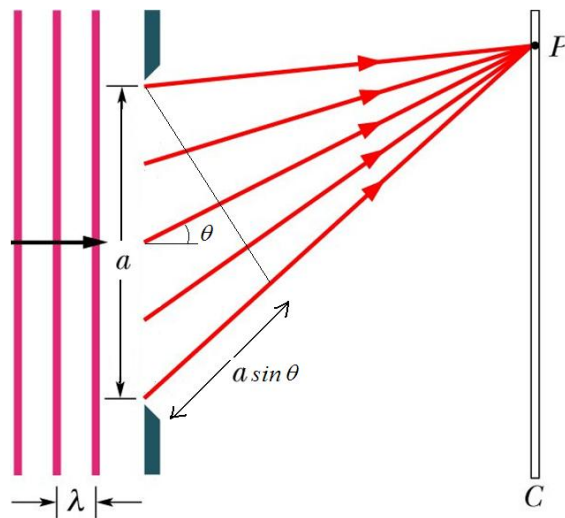
Obraz dyfrakcyjny wielu szczelin – dyfrakcja + interferencja

Dwie szczeliny → pojedyncza szczelina daje obraz dyfrakcyjny i te obrazy interferują.

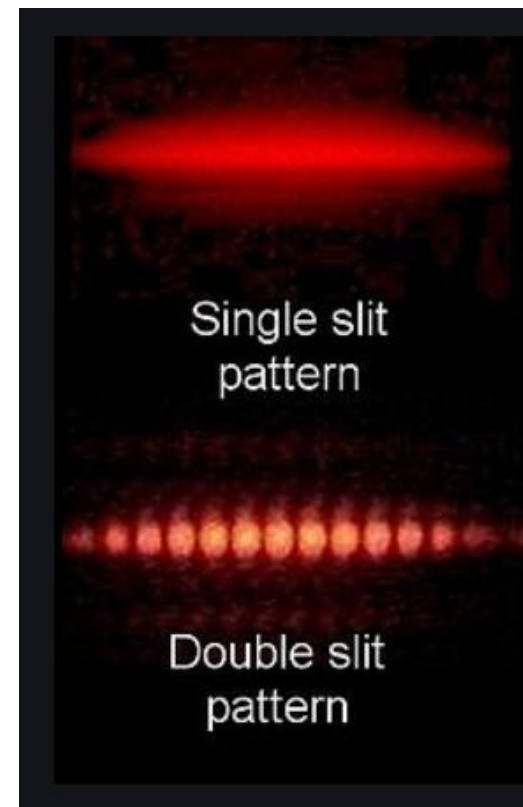
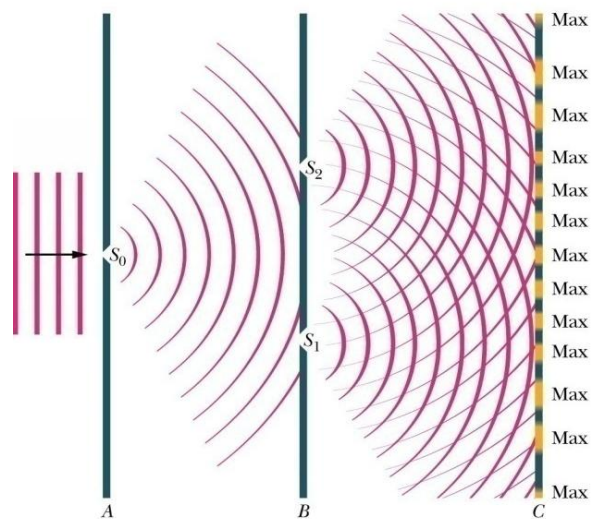


Porównanie:

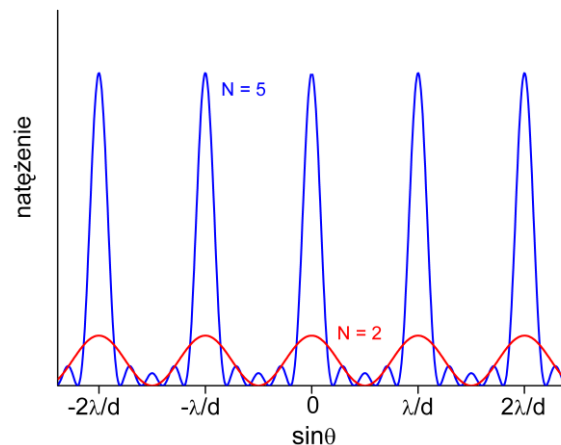
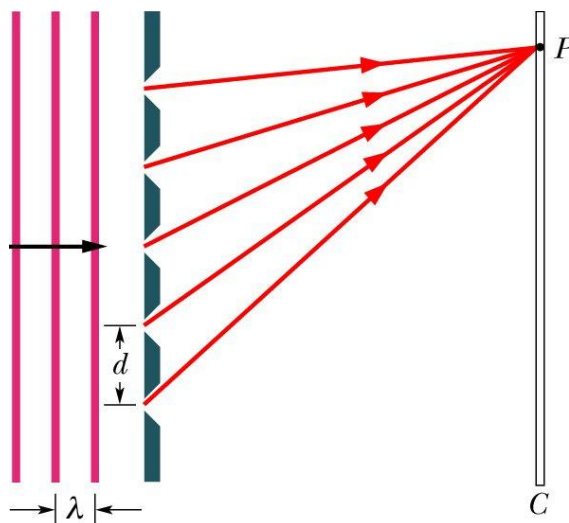
1 szczelina



2 szczeliny



Interferencja fal z wielu źródeł: siatka dyfrakcyjna

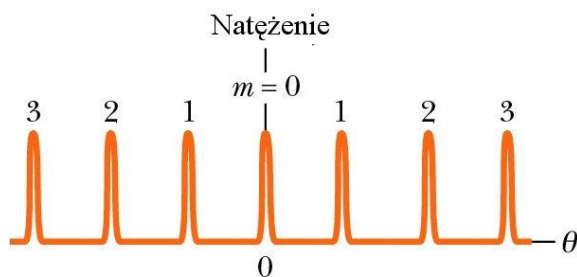


Nie zmienia się odległość pomiędzy głównymi maksimami. Obserwujemy wzrost natężenia maksimów głównych.

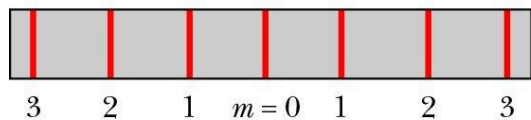
$$d \sin \theta = m\lambda, \quad m = 1, 2, \dots (\text{maksima})$$

d - stała siatki dyfrakcyjnej

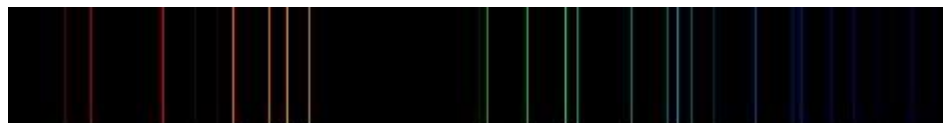
w spektrometrii, do pomiaru długości fal stosuje się siatki o stałej $d = 1 \mu\text{m}$



(a)



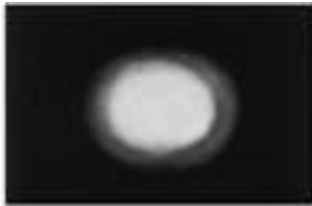
(b)



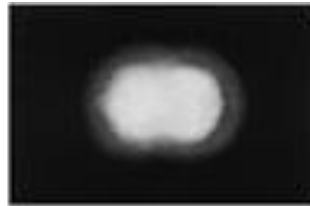
Rozdzielczość

Kryterium Rayleigha

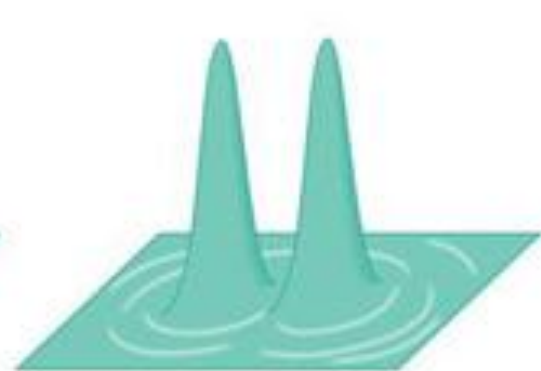
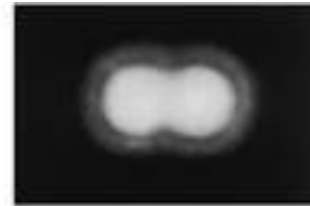
Dwa obiekty są jeszcze rozróżnialne jeżeli maksimum obrazu dyfrakcyjnego jednego obiektu przypada na pierwsze minimum obrazu dyfrakcyjnego drugiego obiektu.



(a)



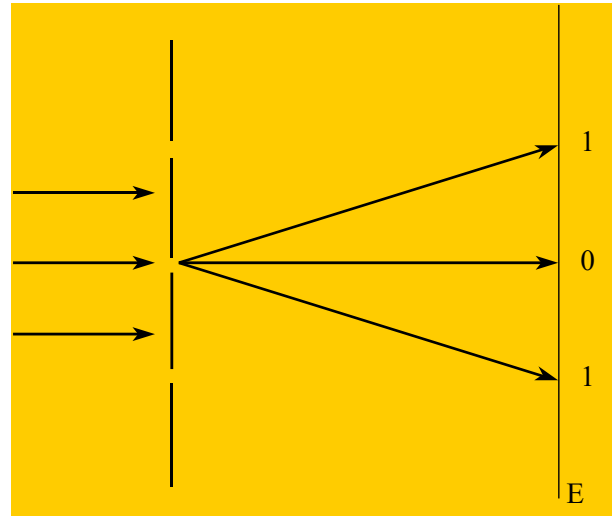
(b)



(c)

Najmniejsza odległość, którą możemy zmierzyć metodami dyfrakcji

Przykład siatki dyfrakcyjnej:



Odległość między szczelinami:

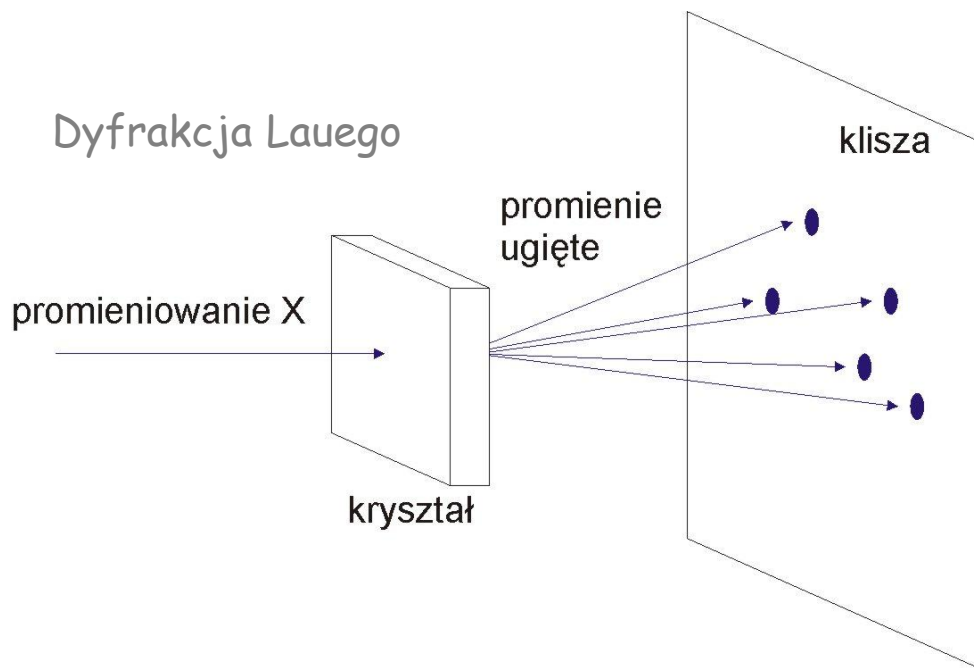
$$d = \frac{n\lambda}{\sin \theta}$$

Dla ugięcia pierwszego rzędu ($n=1$) oraz dla największego możliwego kąta θ , przy którym $\sin\theta \cong 1$; wtedy:

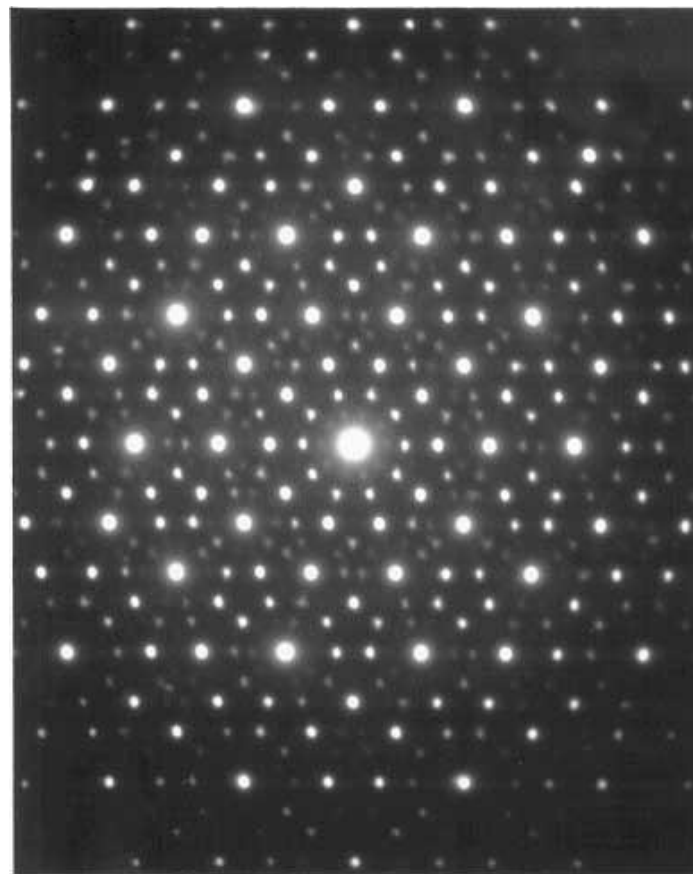
$$d \cong \lambda$$

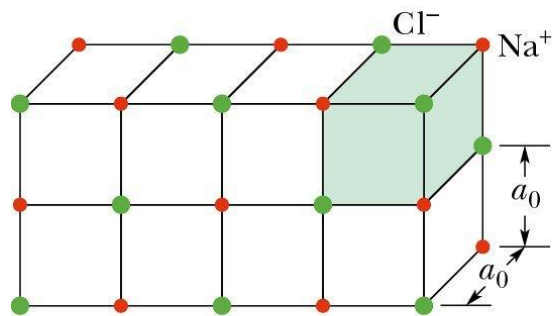
Dyfrakcja promieni Roentgena (promieni X)

Kryształ – „naturalna siatka dyfrakcyjna”

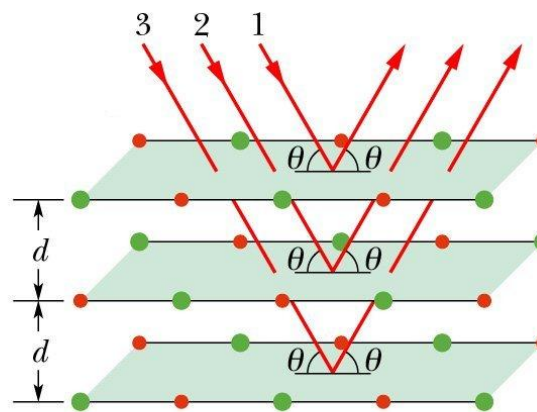


Analiza położzeń i natężeń punktów pozwala na określenie struktury kryształu.

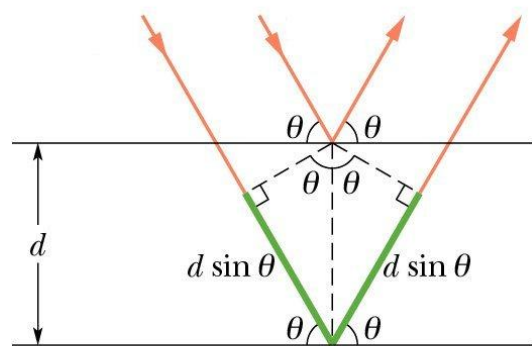




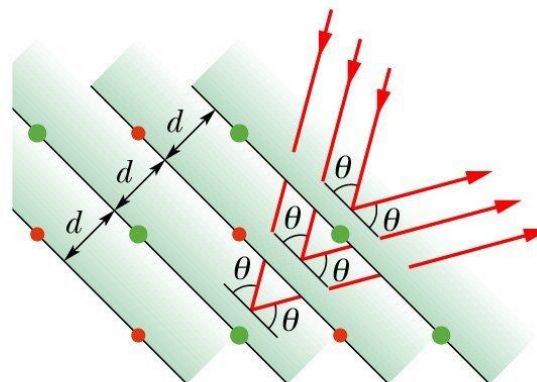
(a)



(b)



(c)



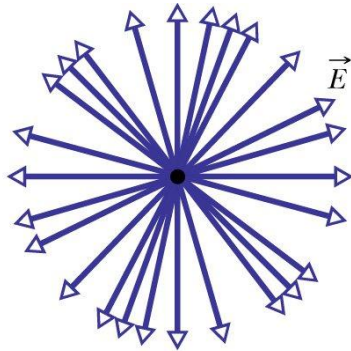
(d)

$$2d \sin \theta = m\lambda, \quad m = 1, 2, 3, \dots (\text{maksima})$$

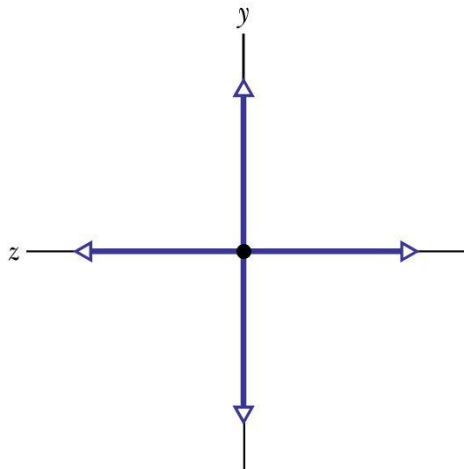
prawo Bragg-ów

Dyfrakcja promieni X jest doświadczalną metodą badania rozmieszczenia atomów w kryształach.

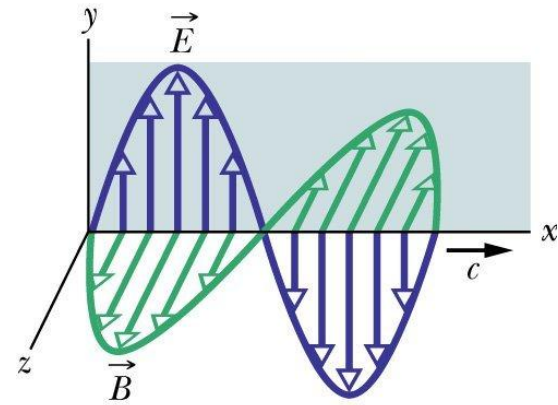
Polaryzacja światła



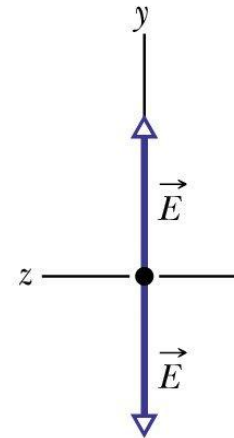
(a)



Fala niespolaryzowana



(a)



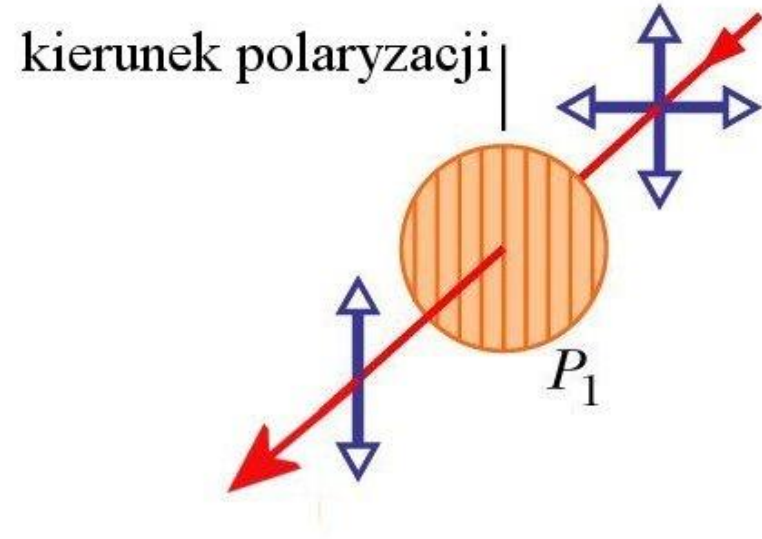
Fala płasko
spolaryzowana
(spolaryzowana liniowo).

Zjawisko polaryzacji jest charakterystyczne dla fal poprzecznych

Sposoby polaryzacji światła

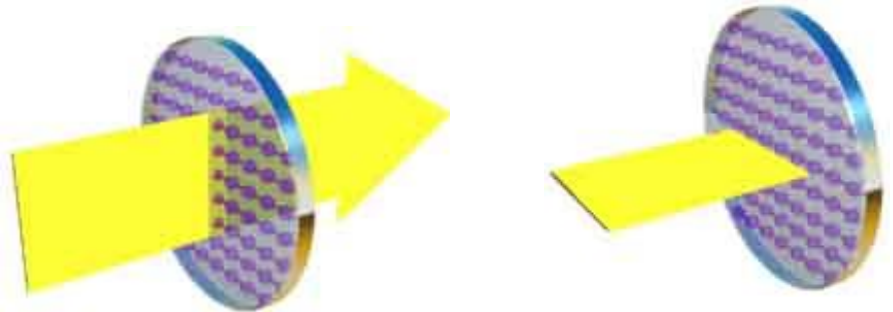
Płytki polaryzujące

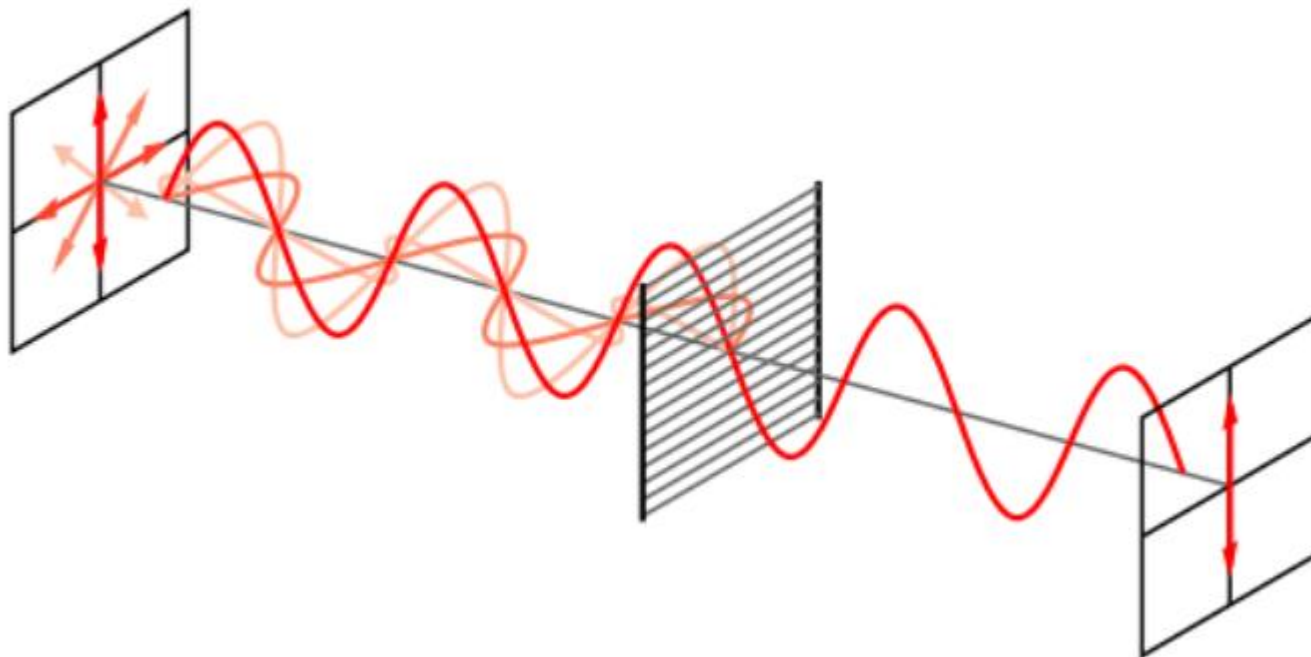
Niespolaryzowana fala świetlna pada na płytkę z materiału polaryzującego (polaroid)



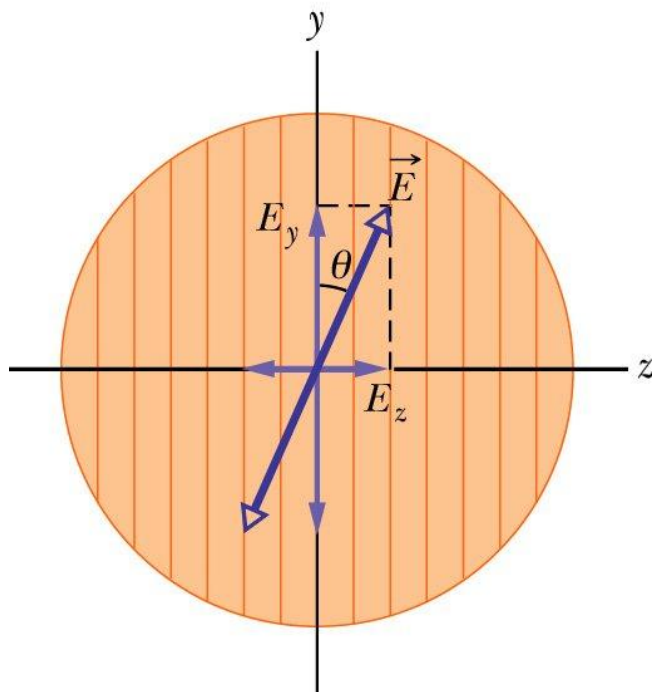
Kierunek polaryzacji polaroidu ustala się w procesie produkcji.

Cząsteczki o strukturze łańcuchowej ułożone równoległe na elastycznym podłożu.





Ilustracja polaryzacji na przykładzie polaryzatora siatkowego.



Jeżeli wektor $\mathbf{E}$ tworzy kąt θ z kierunkiem polaryzacji płytki to przepuszczana jest tylko składowa równoległa E_y (składowa prostopadła E_z jest pochłaniana)

$$E_y = E \cos \theta$$

Natężenie światła jest proporcjonalne do kwadratu amplitudy :

$$I = I_0 \cos^2 \theta$$

Prawo Malusa

50% energii wiązki światła *niespolaryzowanego* padającego na polaroid jest w nim pochłaniane, a 50% przepuszczane.

Polaryzacja światła przez odbicie

Dla pewnego kąta padania α_p wystąpią tylko drgania wektora **E** prostopadłe do płaszczyzny padania.

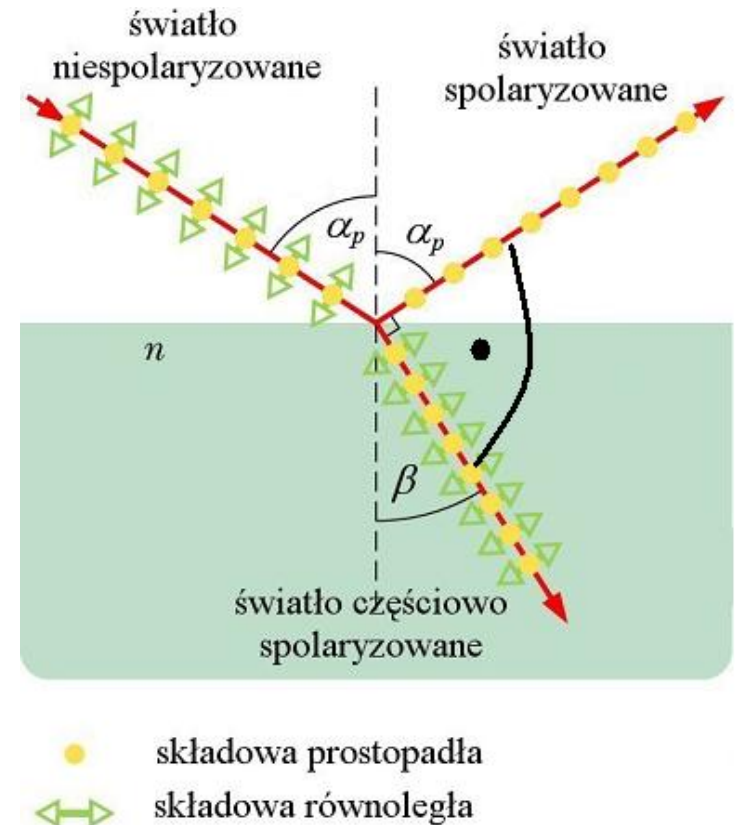
Zachodzi to gdy:

$$\alpha_p + \beta = 90^\circ$$

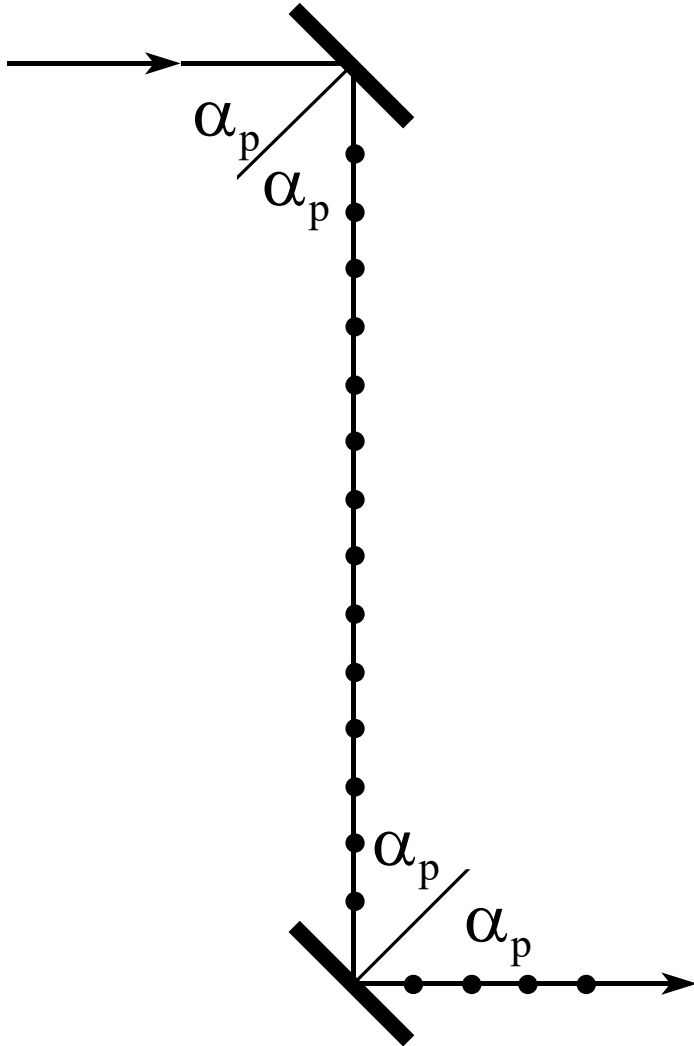
$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\sin \alpha_p}{\sin(90^\circ - \alpha_p)} = \frac{\sin \alpha_p}{\cos \alpha_p} = \operatorname{tg} \alpha_p$$

czyli:

$$\operatorname{tg} \alpha_p = n$$



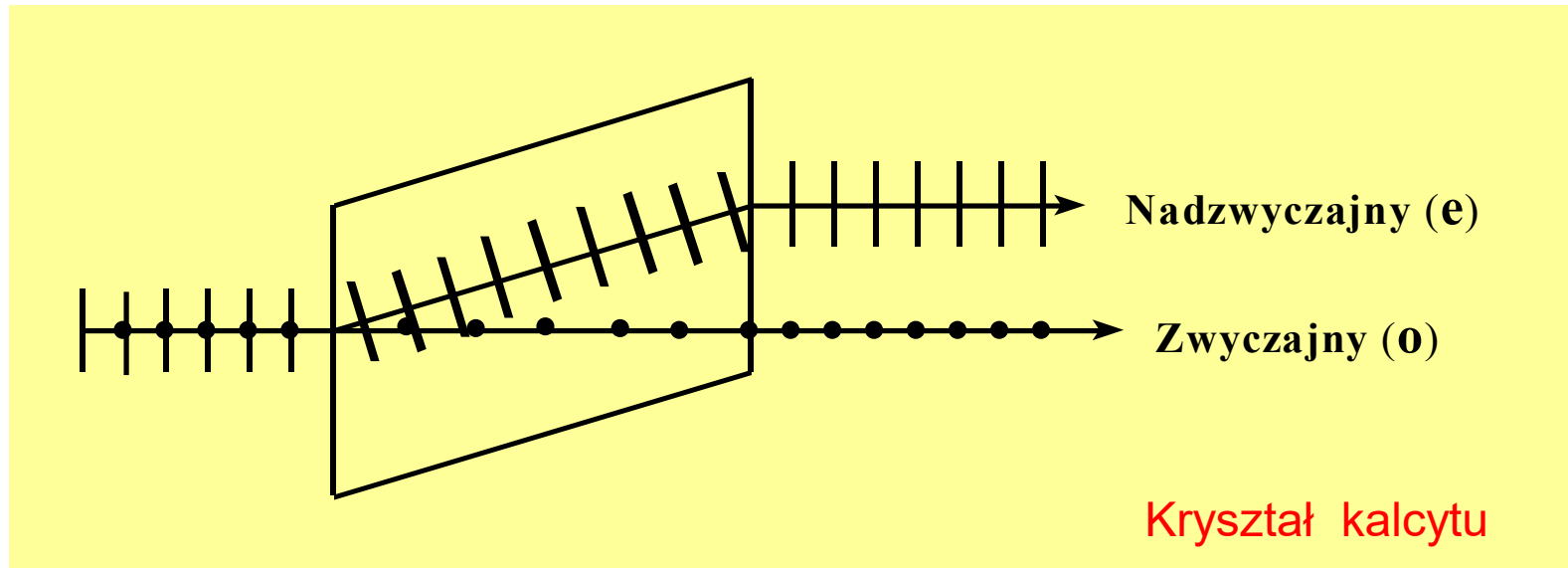
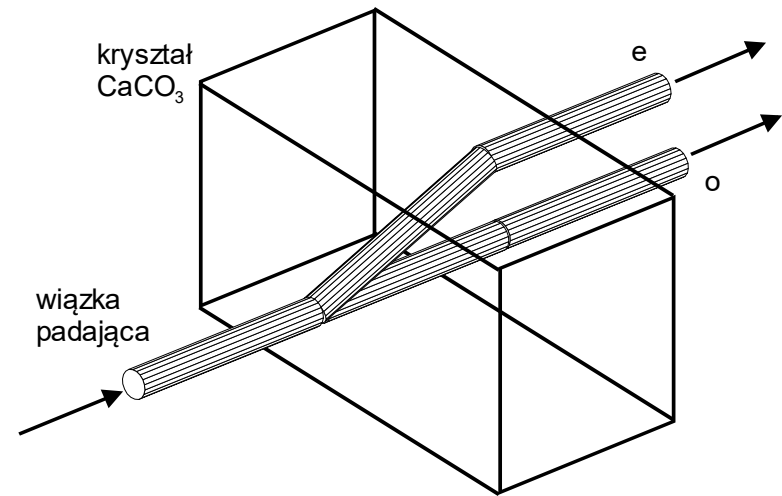
Jest to prawo Brewstera.



Dwa lusterka (analizator i polaryzator) ustawione są początkowo równolegle.

Obracając dolne lusterko wokół promienia padającego, zaobserwujemy cykliczne (co 90°) maksima i minima natężenia światła odbitego.

Załamanie podwójne (dwójłomność)

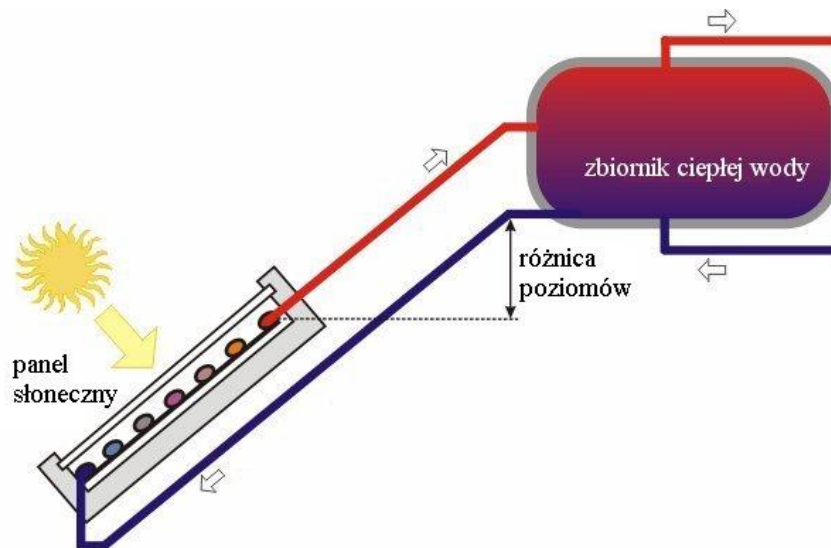


Niektóre podwójnie załamujące kryształy wykazują ponadto własność nazywaną dichroizmem: pochłaniają jeden z promieni (o lub e) silniej niż drugi.

Na wykorzystaniu tego zjawiska opiera się działanie szeroko stosowanych polaroidów.

Absorpcja

ogrzewanie



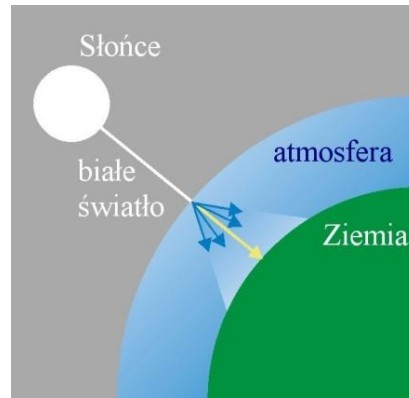
energia elektryczna



fotosynteza

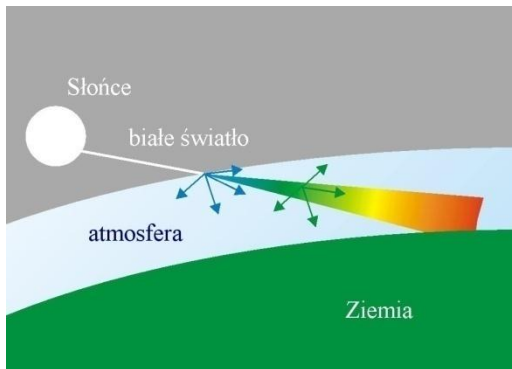


Rozproszenie (Rayleigha $\sim \lambda^{-4}$)



Rozproszenie światła (niebieskiego) na cząsteczkach atmosfery powoduje, że niebo jest błękitne.

Cząstki na chwilę pochłaniają światło a następnie je emitują w różnych kierunkach.



Światło przechodzi przez grubszą warstwę atmosfery i rozproszeniu ulega również światło zielone.





Dziękuję za Waszą uwagę !!!