

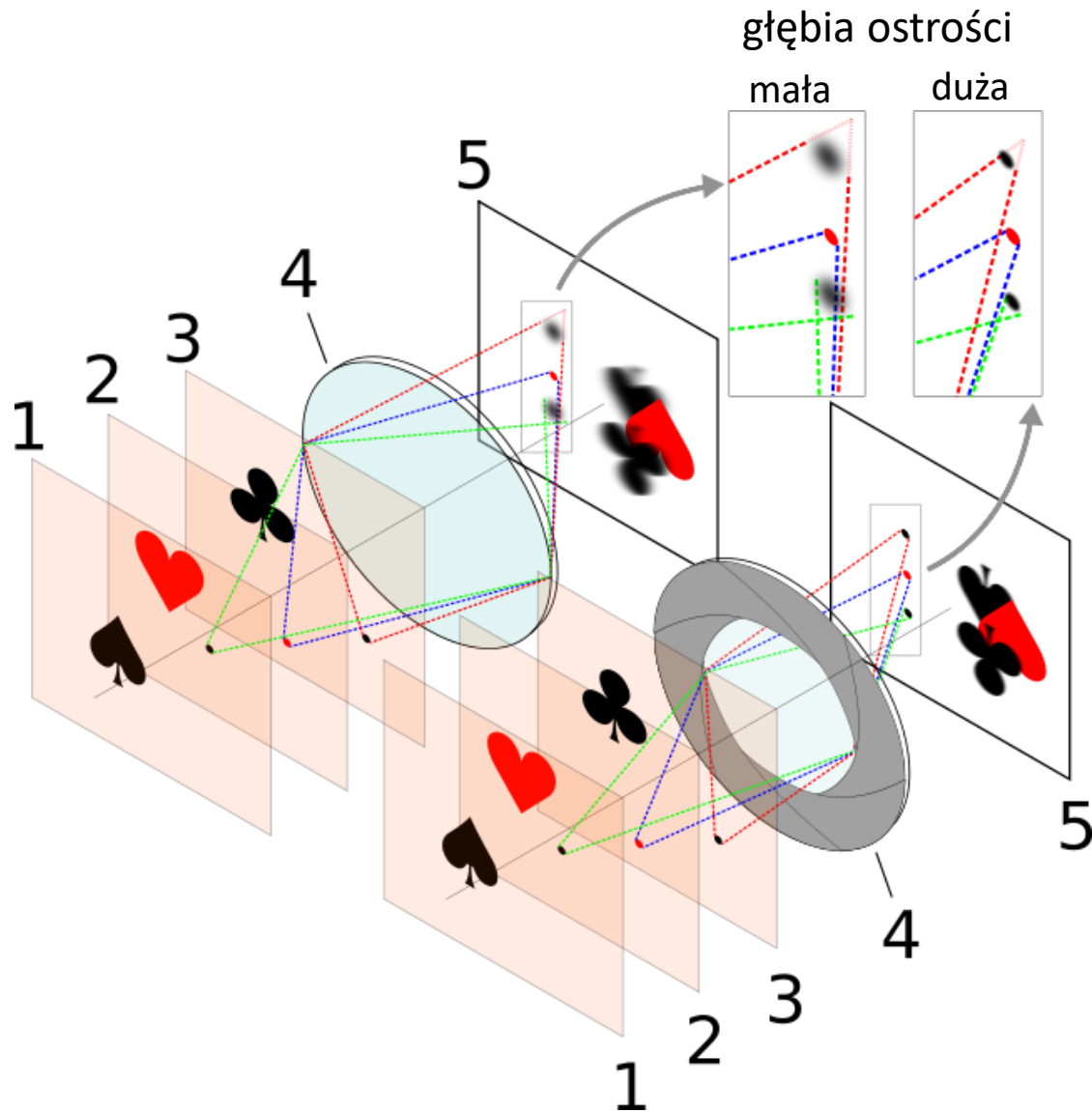
1100-1B015, rok akademicki 2019/20

OPTYKA GEOMETRYCZNA I INSTRUMENTALNA

dr hab. Rafał Kasztelanic

Wykład 9

Głębina ostrości

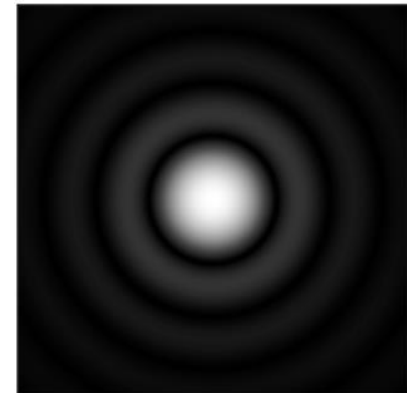


Głębina ostrości

- im mniejsza przysłona, tym większa głębina ostrości
- im odległość ustawienia ostrości obiektywu mniejsza, tym mniejsza głębina ostrości
- im krótsza ogniskowa tym większa głębina ostrości
- w fotografii: odległość hiperfokalna H – odległość od aparatu gdzie dla danej przysłony ostre są wszystkie obiekty począwszy od tej odległości aż do nieskończoności)

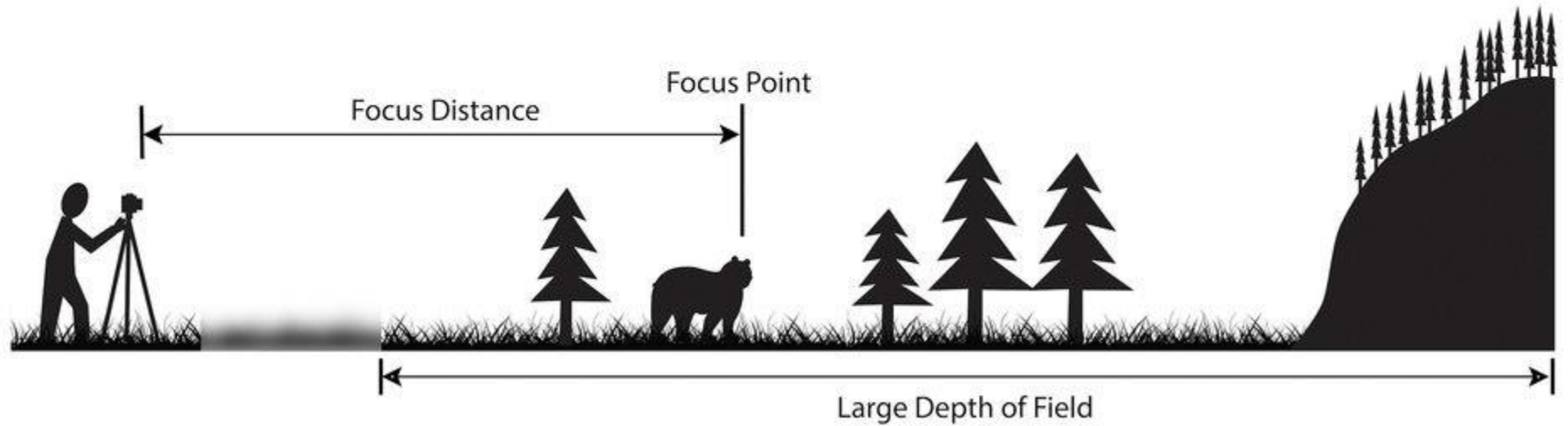
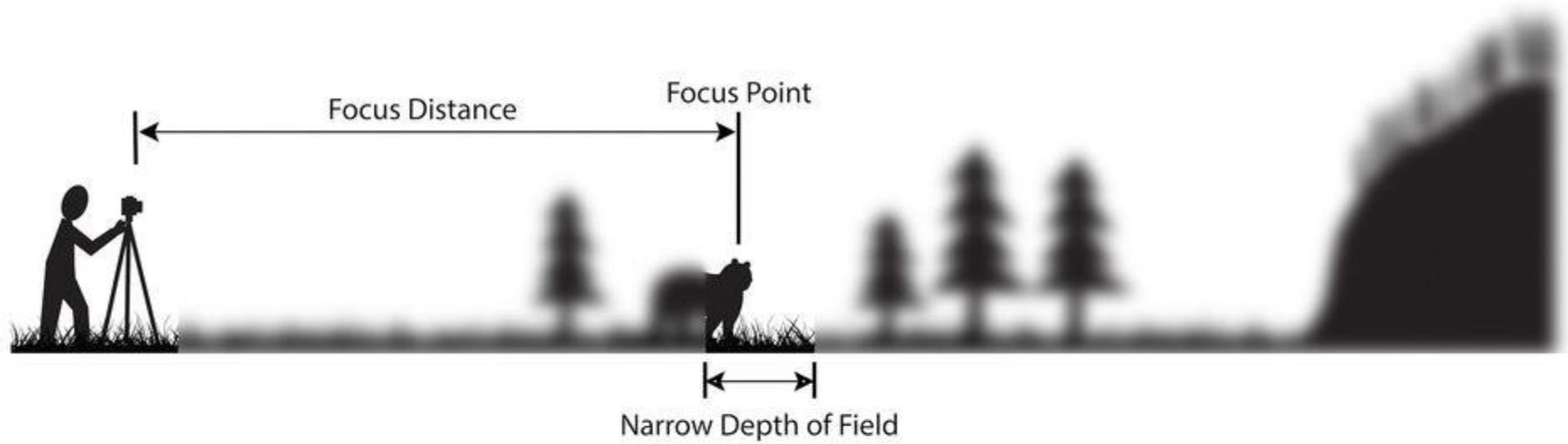
$$H \cong \frac{f^2}{Nc}$$

N – liczba przysłony, c – krążek rozmycia (Airy)



photographylife.com

Głębia ostrości



Głębia ostrości

pl.pinterest.com/pin/816347869928675932/



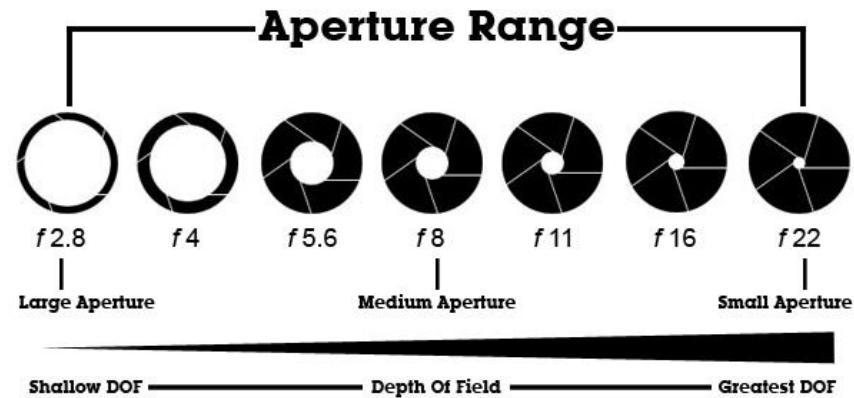
f/1.8



f/4.5



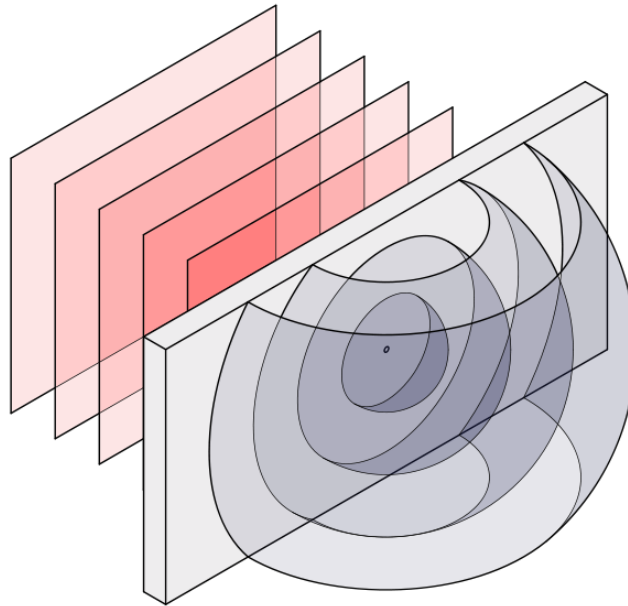
f/22



photography.tutsplus.com

Zasada Huygensa

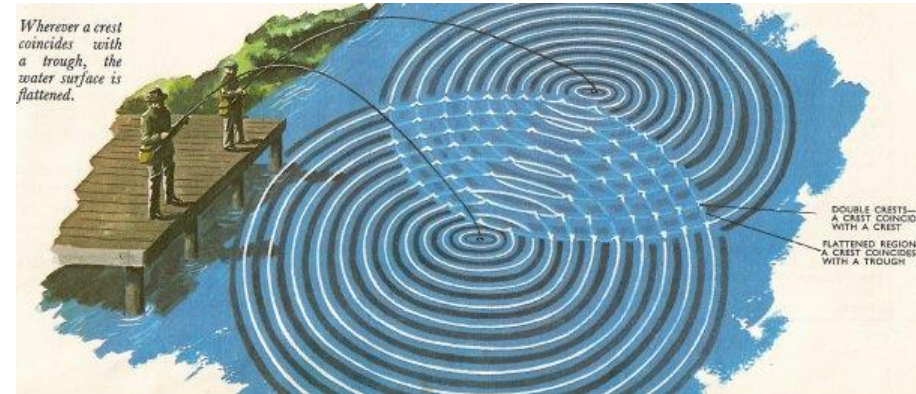
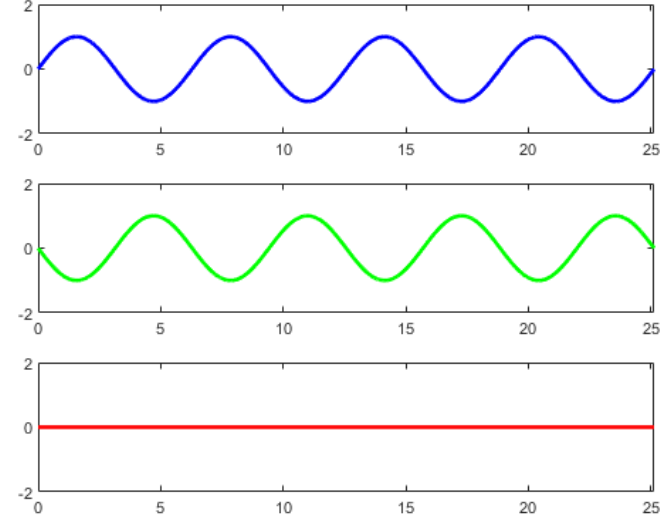
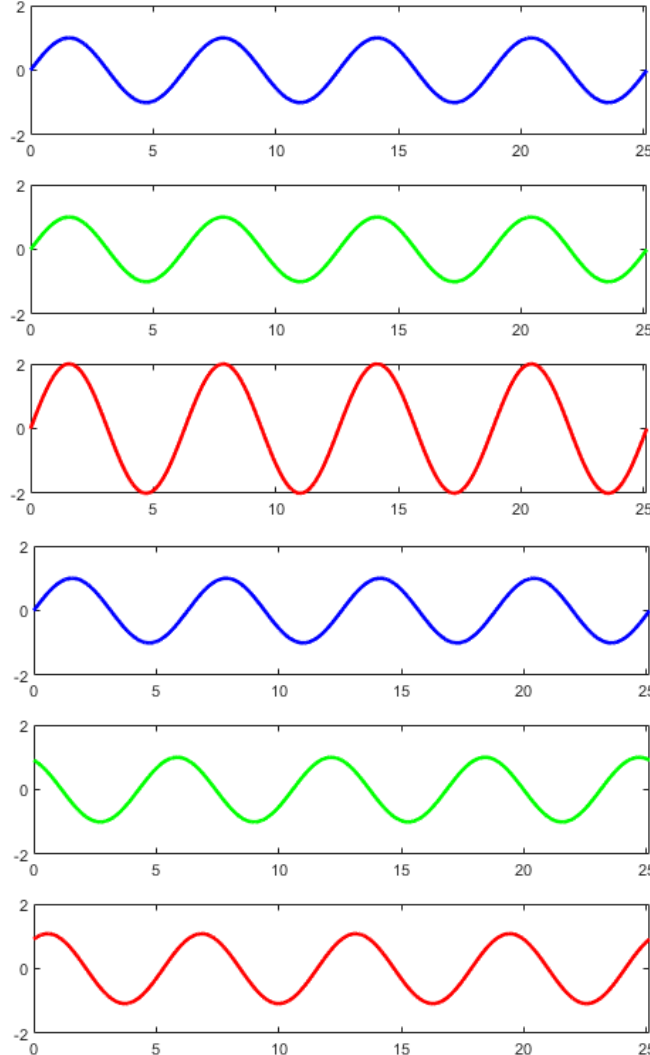
każdy punkt do którego dotrze fala staje się nowym źródłem fali kulistej. Fale te nakładają się zgodnie z zasadą superpozycji. W efekcie pojawiają się obszary wzmocnienia i osłabienia rozchodzących się fal (interferencja konstruktywna lub destruktywna).



Optyka falowa - interferencja

Interferencja: nakładanie się fal prowadzące do zwiększania lub zmniejszania amplitudy fali wypadkowej.

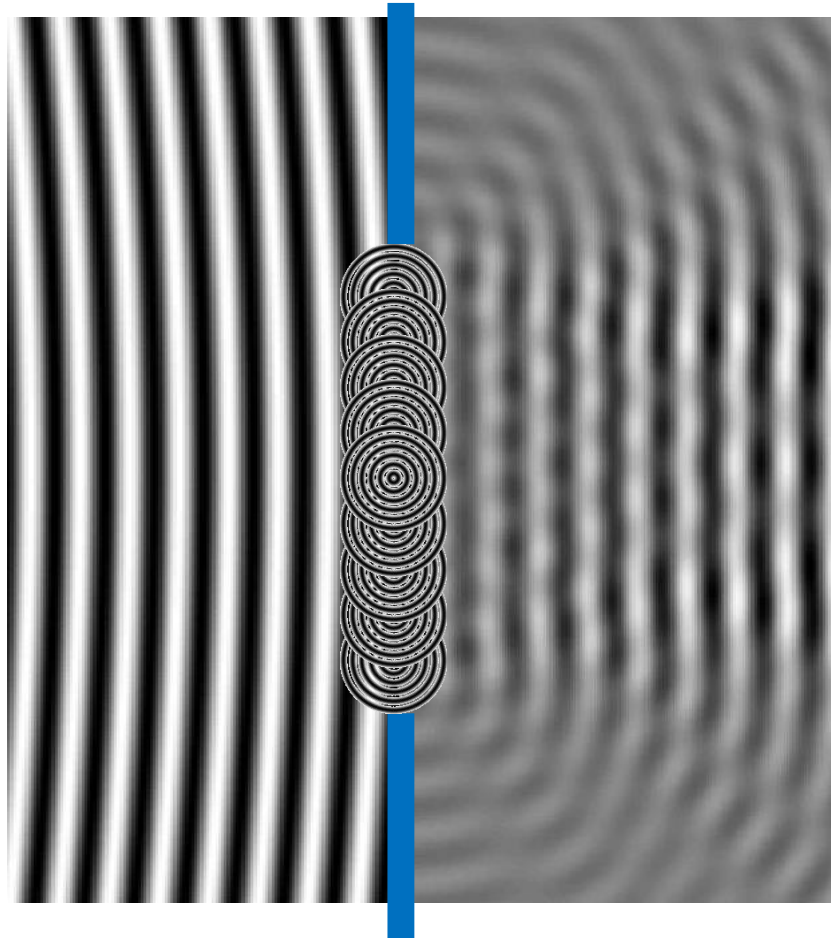
$$y(P) = A_1 \sin(\omega_1 t + \phi_1) + A_2 \sin(\omega_2 t + \phi_2)$$



Optyka falowa - interferencja

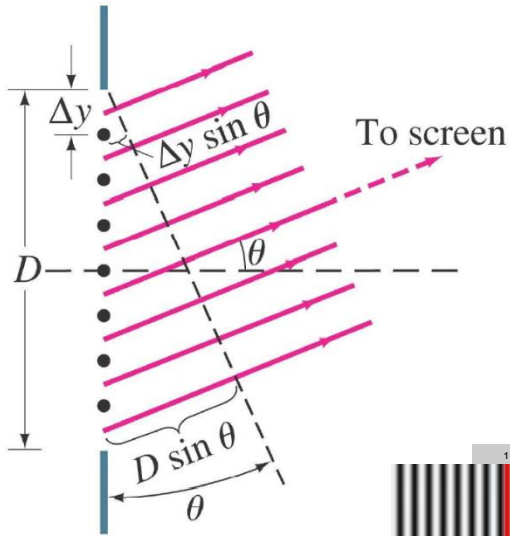
Pojedyncza szczelina

Propagację fali elektromagnetycznej za przeszkodą możemy sobie wyobrazić za Huygensem jako falę pochodzącą ze zbioru punktowych źródeł światła umieszczonych w płaszczyźnie przesłony.



Optyka falowa - interferencja

Pojedyncza szczelina

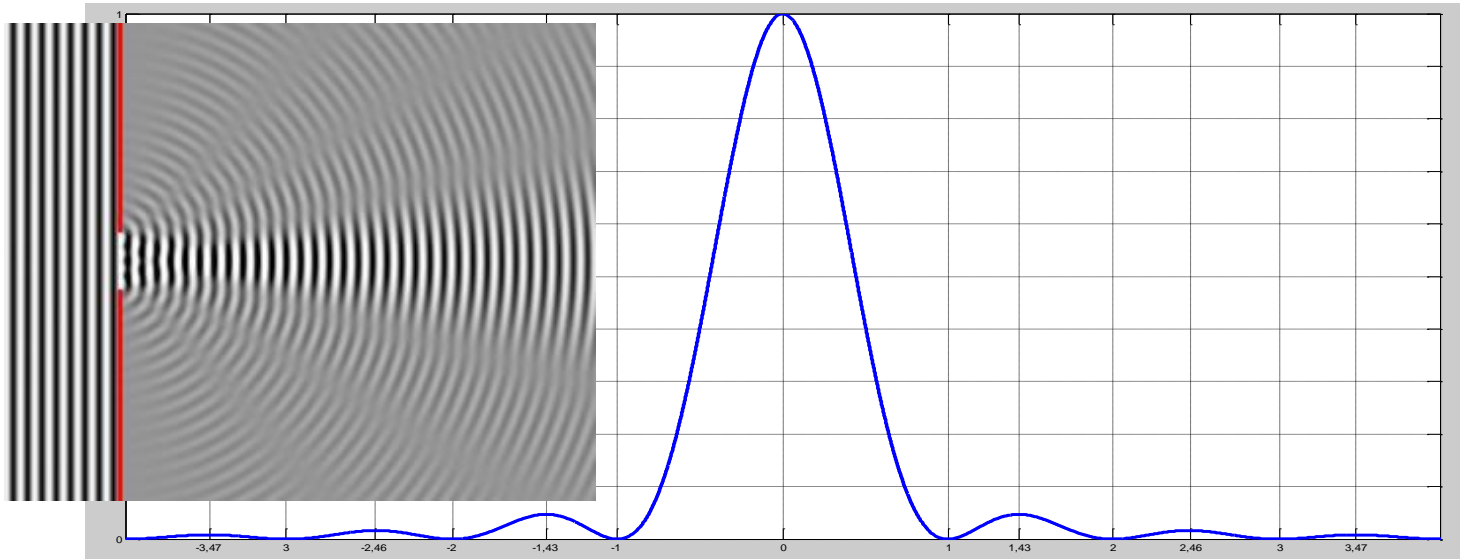


$$I = I_0 \left(\frac{\sin(\beta/2)}{\beta/2} \right)^2$$

Warunki na występowanie minimum:

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

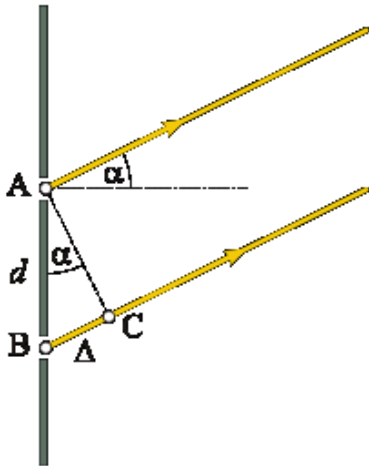
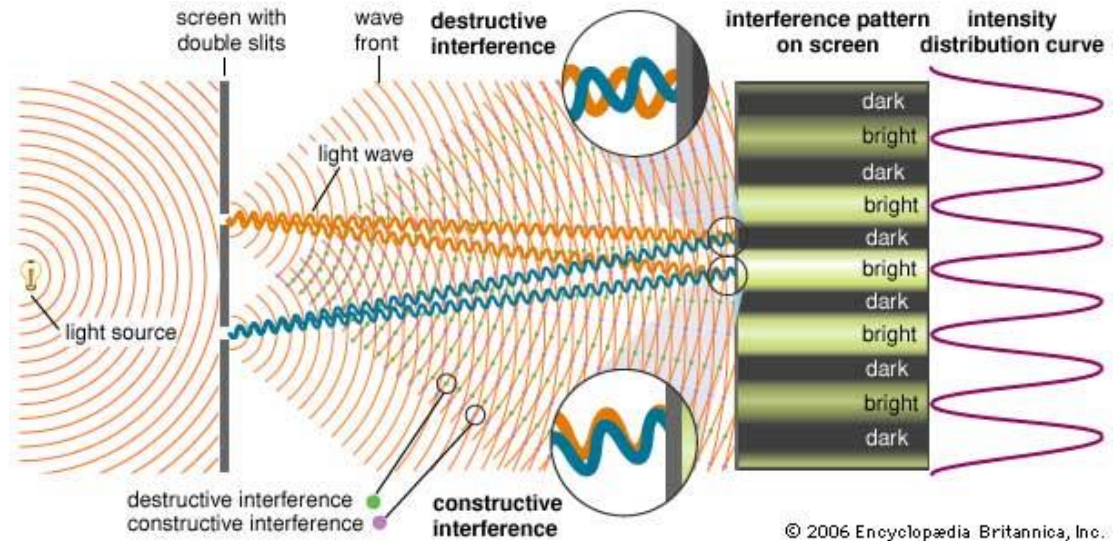
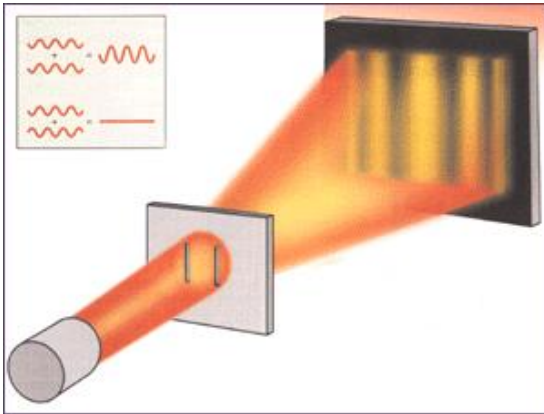
$$m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$



Optyka falowa - dyfrakcja

Doświadczenie Younga – 2 szczeliny

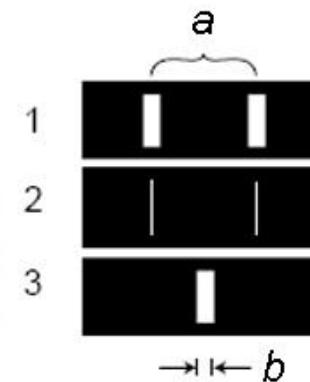
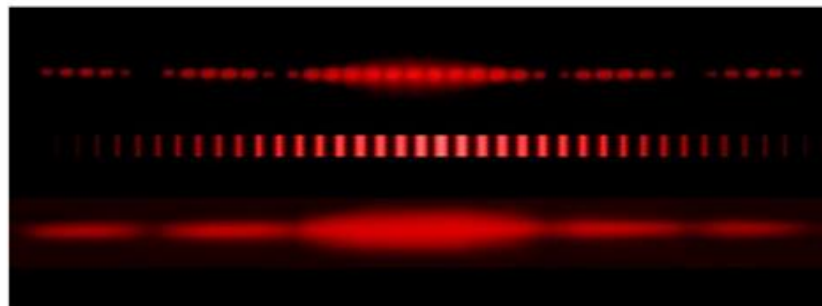
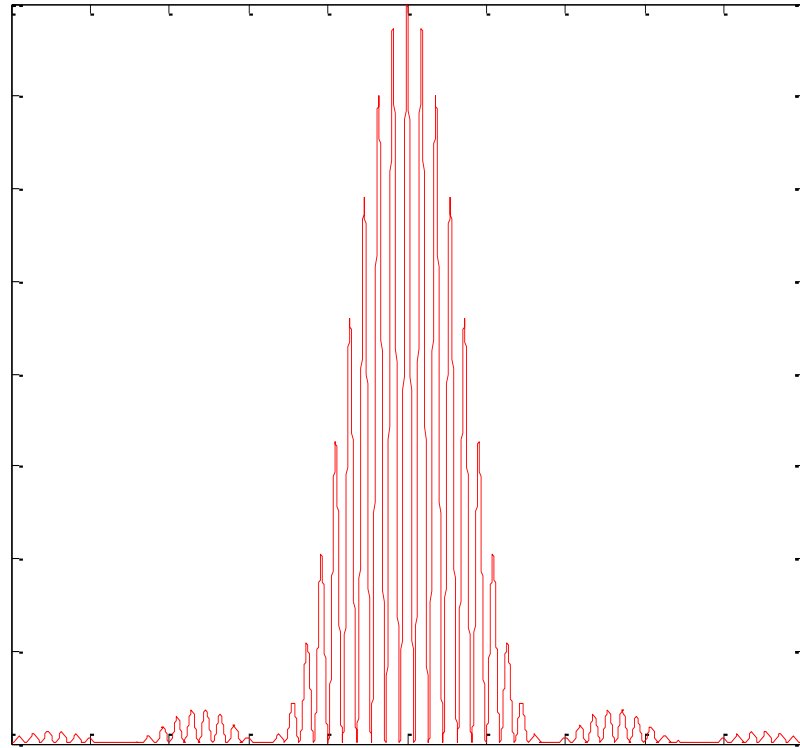
Dyfrakcja – ugięcie na przeszkodzie



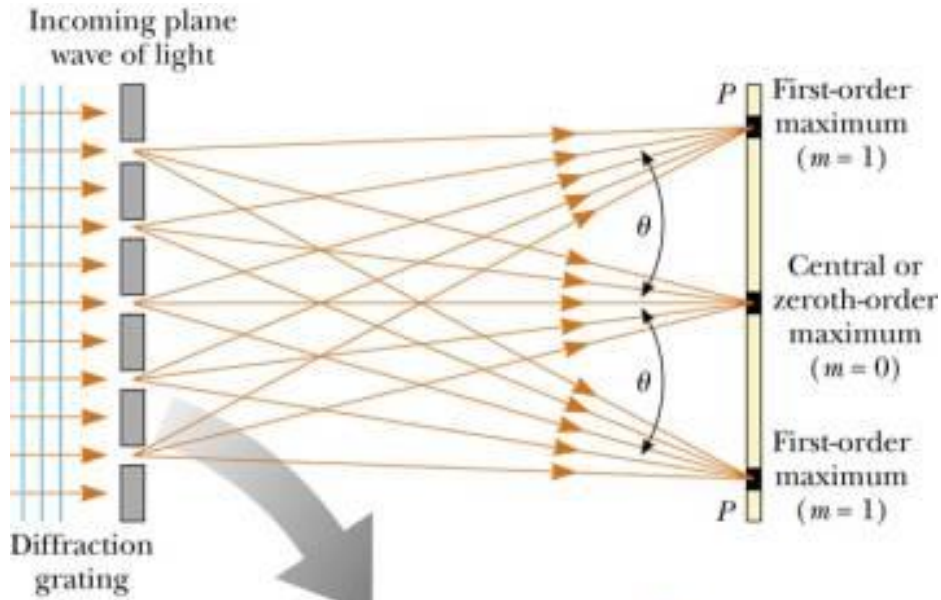
maksimum: $d \sin \alpha_k = k\lambda \quad k \in \mathbb{Z}, k \in \left(-\frac{d}{\lambda}, \frac{d}{\lambda}\right)$

minimum: $d \sin \alpha_k = \left(\frac{2k+1}{2}\right)\lambda \quad k \in \mathbb{Z}, k \in \left(-\frac{2d-\lambda}{2\lambda}, \frac{2d-\lambda}{2\lambda}\right)$

Doświadczenie Younga – 2 szczeliny



Optyka falowa – siatka dyfrakcyjna



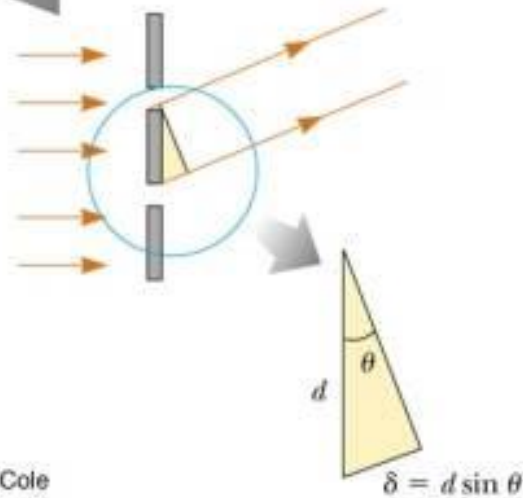
Wzór siatki dyfrakcyjnej:

$$d \sin(\theta_k) = k \lambda$$

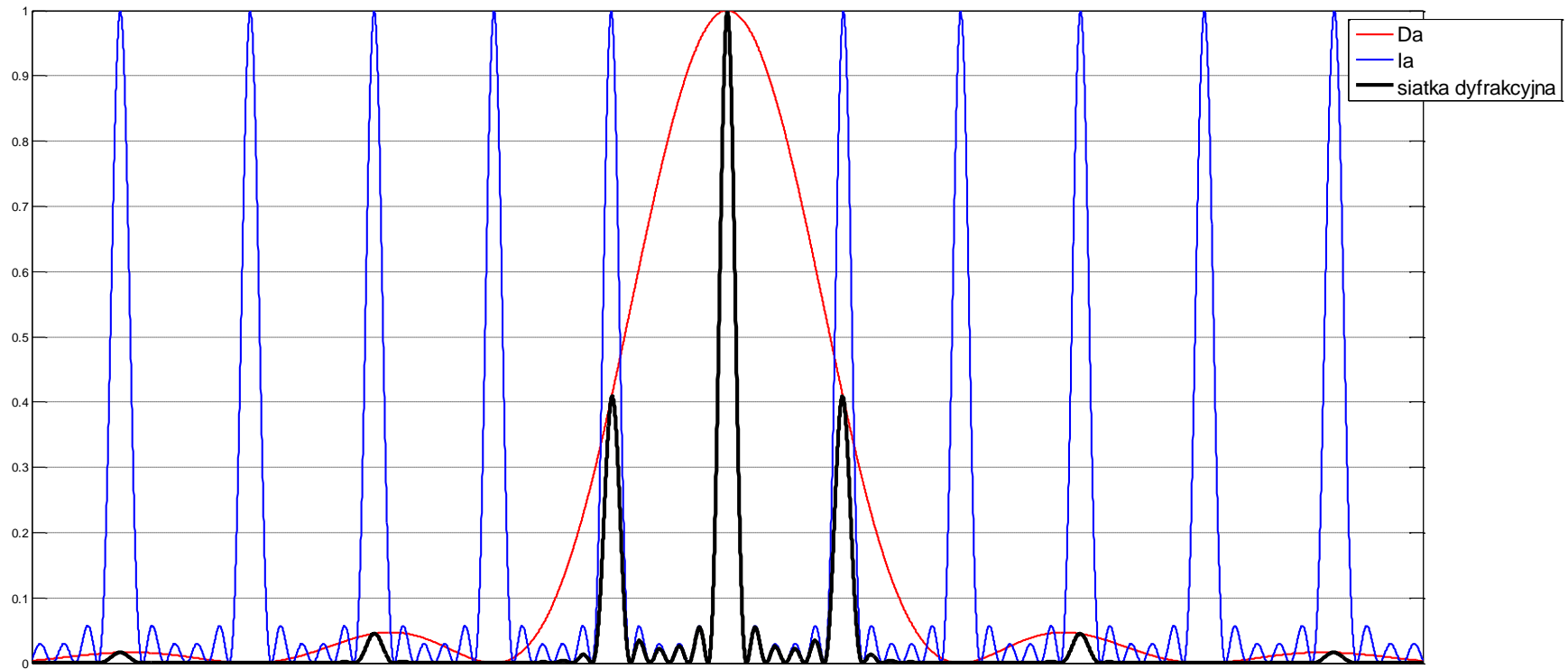
$$k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

d – stała siatki

k – rząd ugięcia, numer wzmocnienia



Optyka falowa – siatka dyfrakcyjna



Optyka falowa – siatka dyfrakcyjna

Przykładowa siatka – płyta CD

Odległość między ścieżkami: $d = 1,6 \mu\text{m}$

Liczba linii na mm: $N = 625$

Długość fali (laser He-Ne): $\lambda = 632,8 \text{ nm}$



Rzędy ugięcia:

$$\theta_k = \arcsin\left(\frac{k\lambda}{d}\right)$$

Czyli: $\theta_1 = 23,2972$

$\theta_2 = 52,2791$

$\theta_3 = \text{nie ma}$

Rozdzielczość siatki dyfrakcyjnej:

Określa możliwość rozdzielenia dwóch długości fali różniących się o $\Delta\lambda$

Maksimum od jednej wypada w pierwszym minimum od drugiej (kryterium Rayleigha)

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = \frac{Nd |\sin \theta - \sin \theta_0|}{\lambda}$$

gdzie:

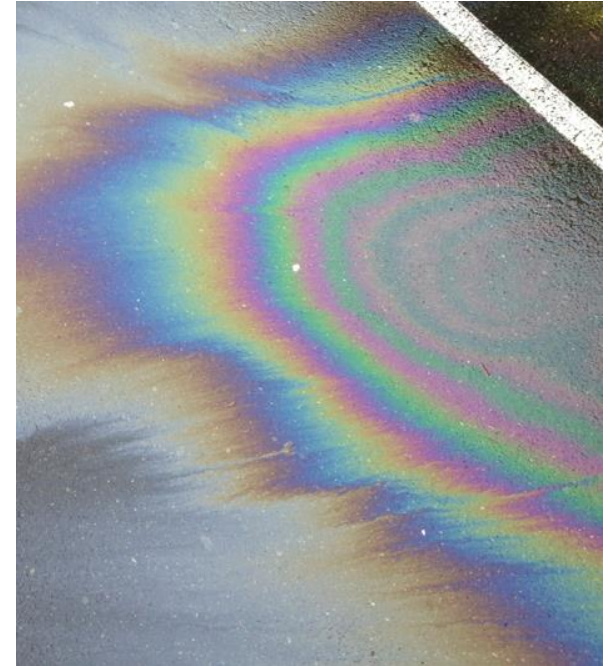
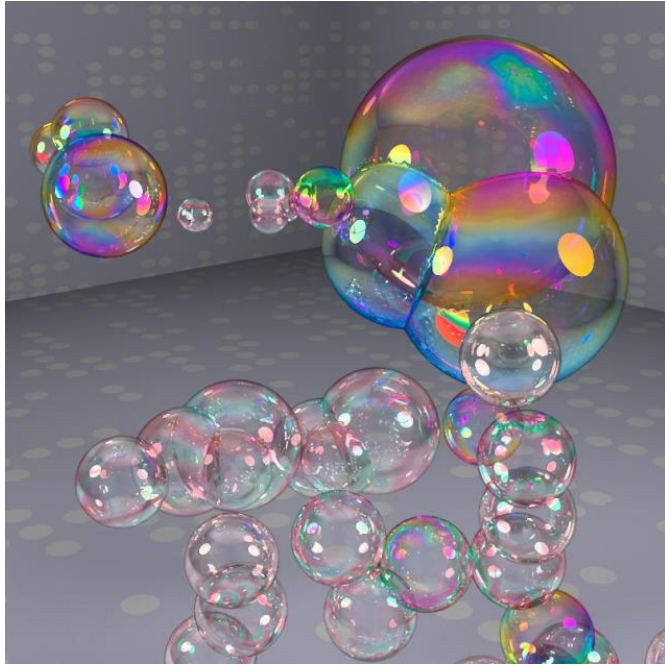
ϑ_0 – kąt padania wiązki na siatkę

$$\Delta\lambda = 0,506 \text{ nm}$$

(2 rząd)

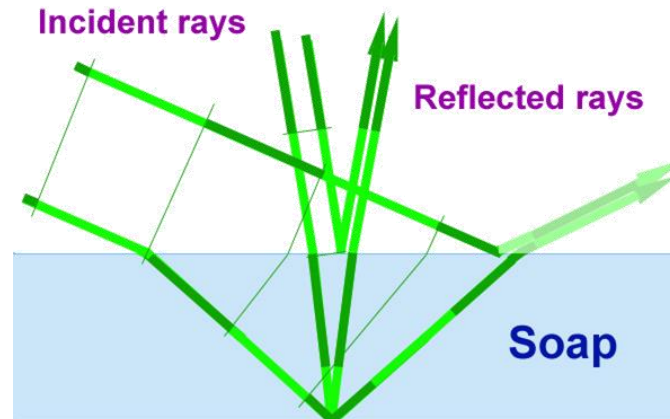


Optyka falowa – cienkie warstwy



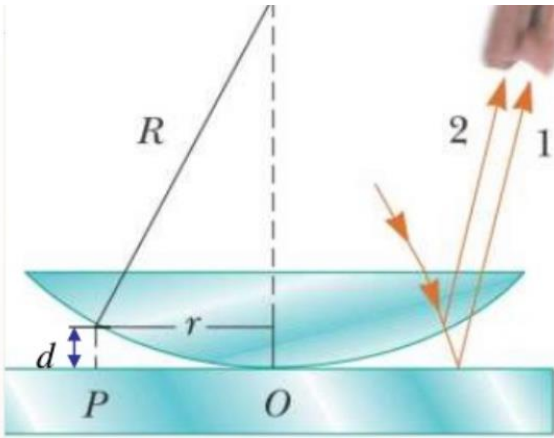
climate.uvic.ca/climate-lab/front_page_pics/thin_film.html

Thin Film Interference



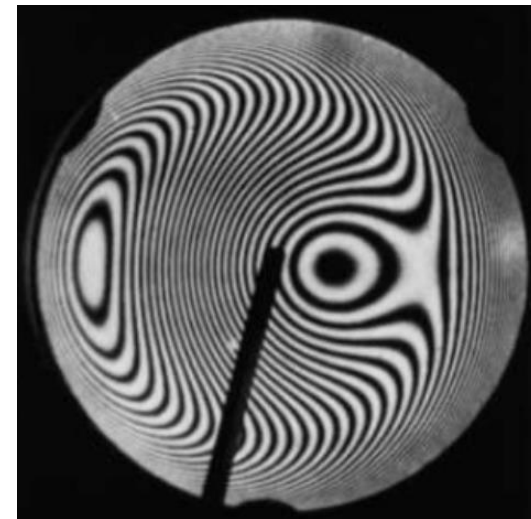
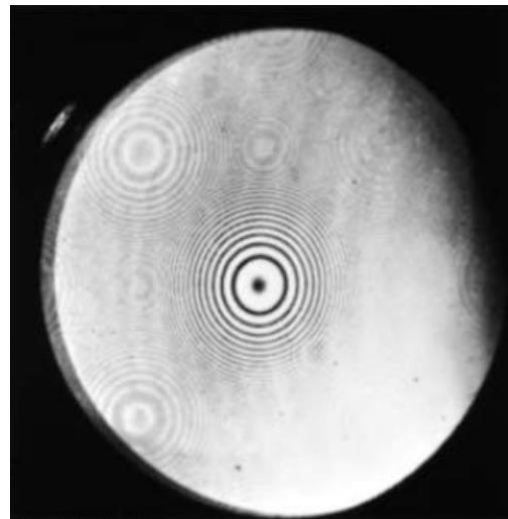
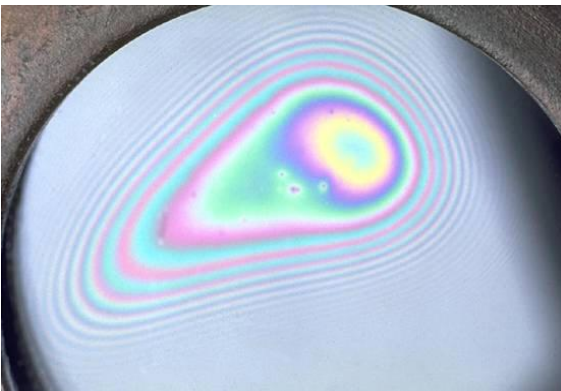
Optyka falowa – pierścienie Newtona

- Pierścienie Newtona prążki interferencyjne w kształcie pierścieni, w świetle przechodzącym (lub odbitym) przez cienkie warstwy w pobliżu styku powierzchni wypukłej i płaskiej rozdzielonych substancją o innym niż stykające się współczynniku załamania.
- Dla światła białego powstają wielobarwne prążki, dla monochromatycznego – jasne i ciemne prążki.

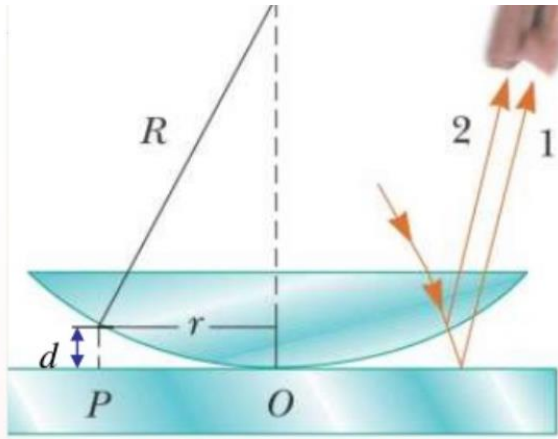


$$d = r^2/2R$$

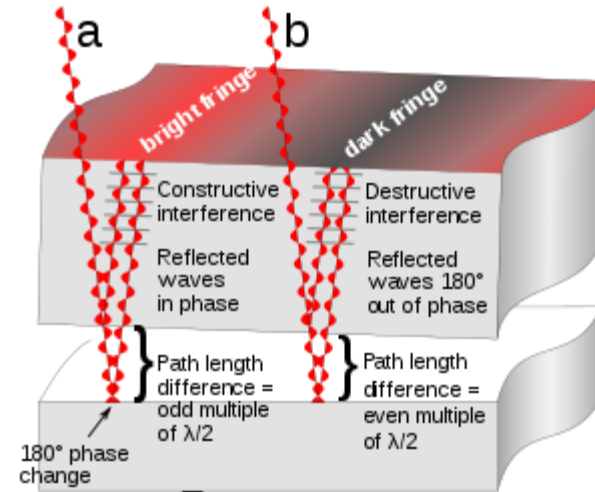
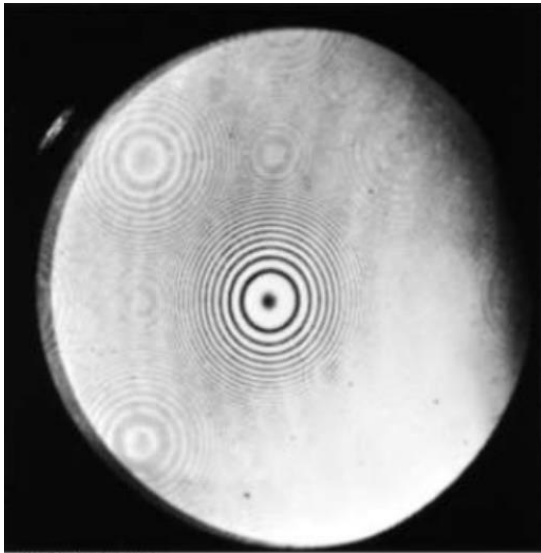
$$r = \sqrt{\frac{m\lambda R}{n}}$$



Optyka falowa – pierścienie Newtona

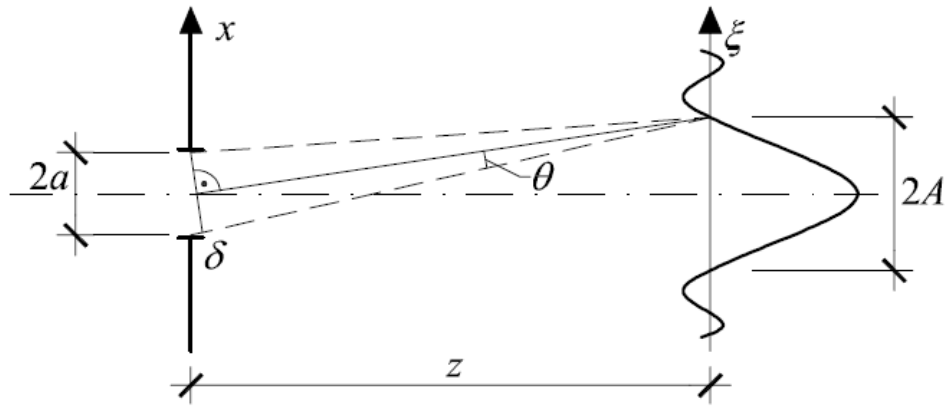


- Światło przy odbiciu zmienia swoją fazę o $\pi/2$ gdy odbija się od ośrodka o wyższym współczynniku załamania
- Przy odbiciu od ośrodka o niższym współczynniku załamania faza się nie zmienia
- Przy przejściu przez granicę między ośrodkami faza się nie zmienia

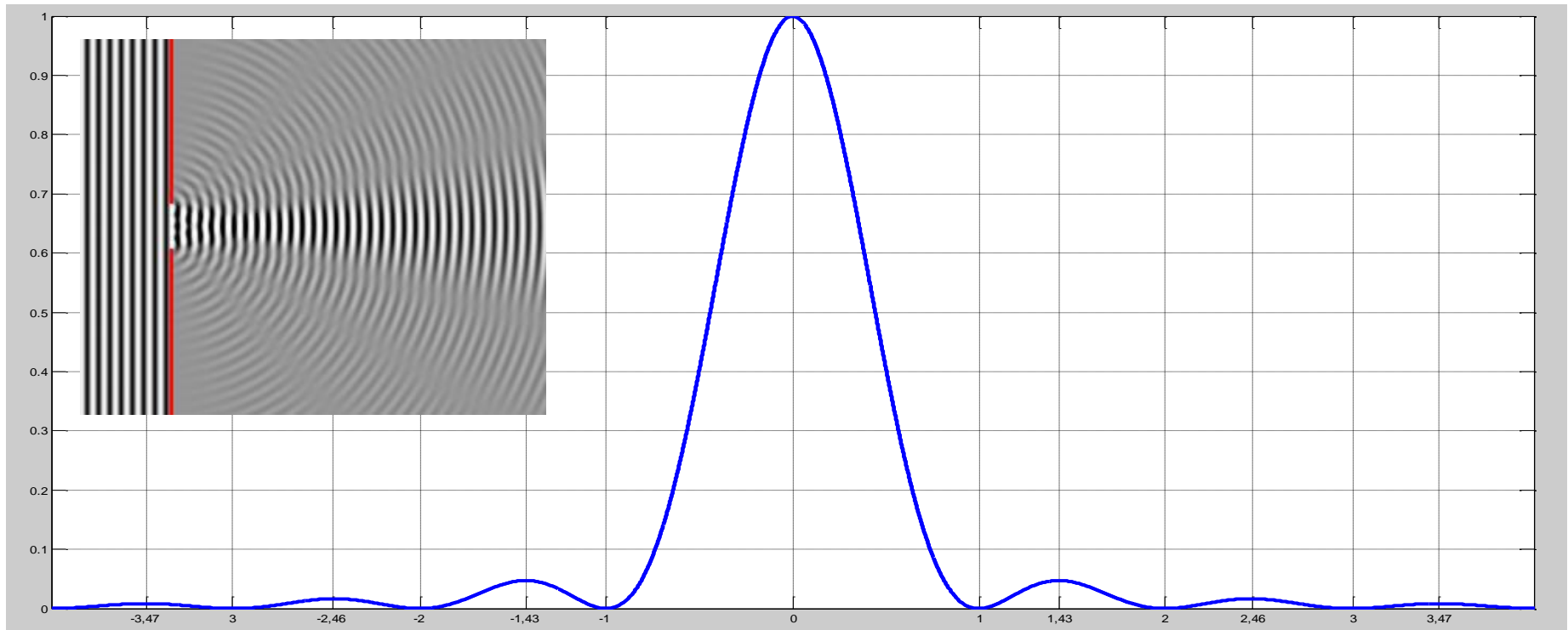


en.wikipedia.org/wiki/Newton%27s_rings

Rozdzielczość – obraz punktu



$$I = I_0 \left(\frac{\sin(\beta/2)}{\beta/2} \right)^2$$



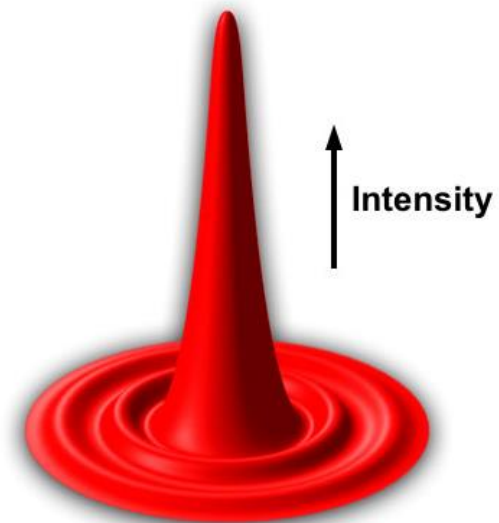
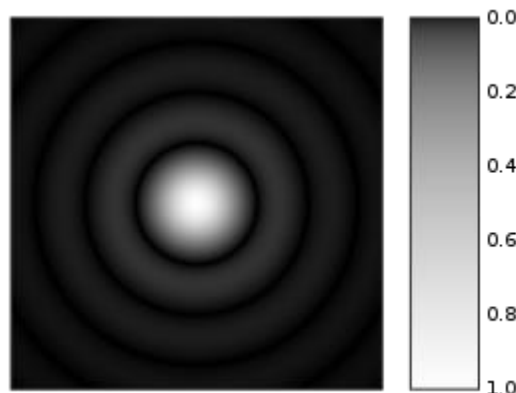
Rozdzielczość – obraz punktu

Plamka Airy'ego

- Obraz punktu po przejściu światła przez układ optyczny bez aberracji z kołową przesłoną aperturową.
- W dużej odległości od apertury kąt, pod jakim jest widziane pierwsze minimum, mierzony od kierunku padania światła, jest dany przybliżonym wzorem (kryterium Rayleigha):

$$\sin \theta = 1.22 \frac{\lambda}{d}$$

- λ – długość fali światła, d – średnica apertury.

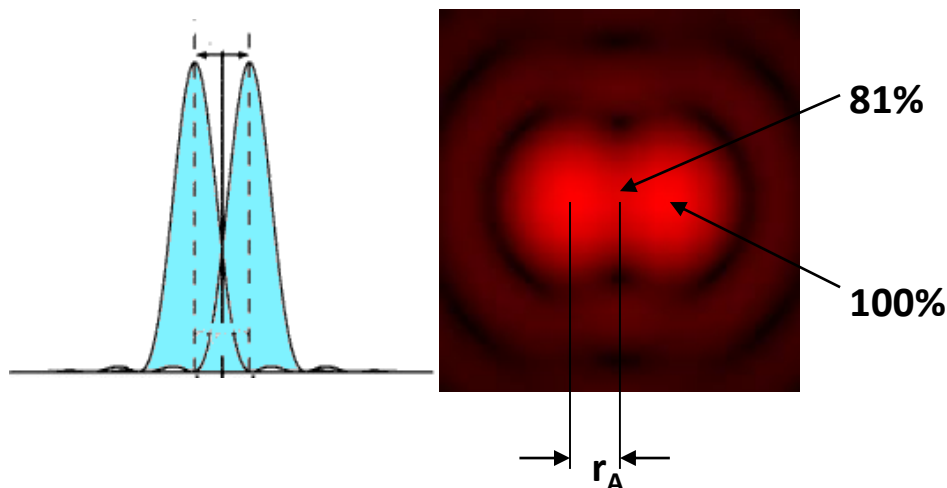


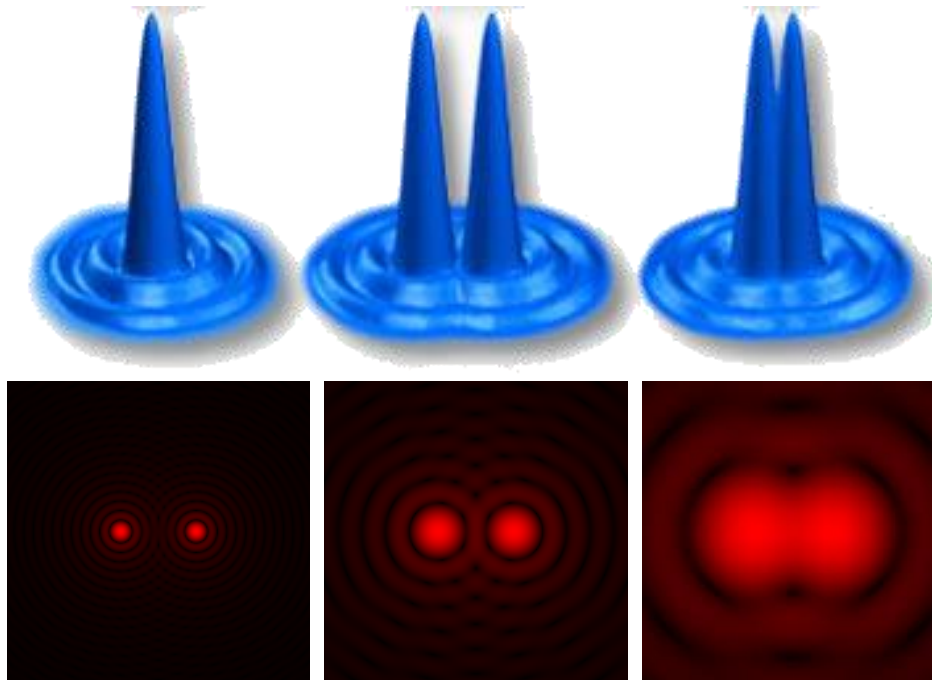
Kryterium rozdzielczości Rayleigha:

- W optyce instrumentalnej przyjęto się za taką umowną granicę uznać sytuację, gdy maksimum natężenia w jednej plamce przypada na pierwsze minimum natężenia w drugiej plamce. W środku wypadkowego rozkładu natężenia światła występuje wtedy niewielkie minimum pozwalające orzec, że pochodzi ono w istocie od dwóch punktów. Określa się to mianem kryterium Rayleigha. W przypadku, gdy aberracje są zanedbywalnie małe w porównaniu z wpływem dyfrakcji graniczna wartość dwupunktowej (kątownej) zdolności rozdzielczej według Rayleigha wynosi, zgodnie ze wzorem.

$$r_A = 1,22 \frac{\lambda f}{2a}$$

- Im mniejszy kąt graniczny tym większa (lepsz) zdolność rozdzielcza.





Funkcja rozmycia punktu

Point spread function

- Funkcja rozmycia punktu obrazuje jakość odwzorowania układu optycznego.
- Dla układu bezaberracyjnego większa źrenica umożliwia poprawienie zdolności rozdzielczej.

Funkcja rozmycia punktu układu ludzkiego oka w funkcji średnicy źrenicy (linia ciągła, przerywana – ograniczenie dyfrakcyjne).

