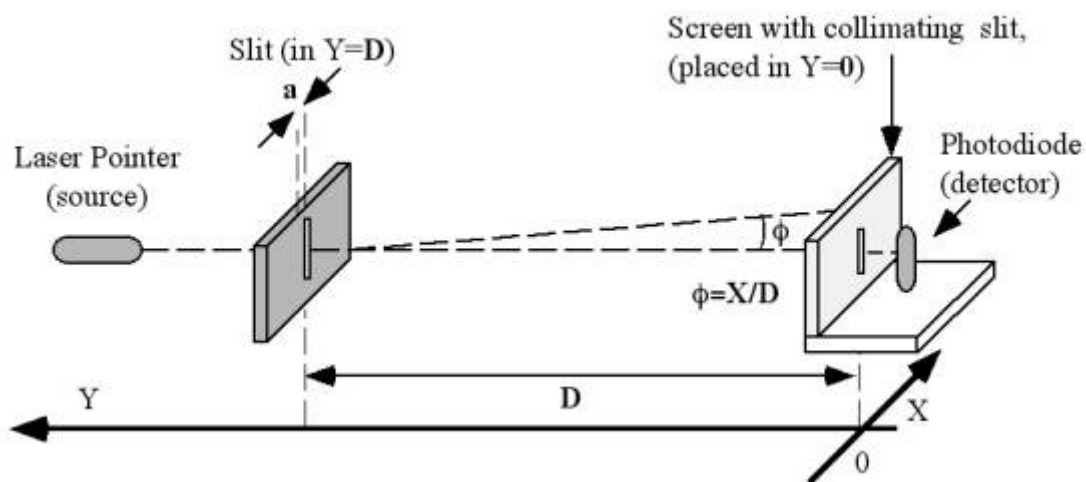


# Laboratorium 11 - Badanie zjawiska dyfrakcji i polaryzacji światła

## 1 Opis eksperymentu

### 1.1 Ustawienie eksperymentu

Stanowisko jest wyposażone następująco:



[<http://www.lepla.org/en/modules/Activities/m14/m14-setup.htm>]

Na ekranie otrzymamy podobny obraz dyfrakcyjny jak poniżej:



[<https://www.andrews.edu/phys/wiki/PhysLab/doku.php?id=lab-9>]

[http://pl.wikipedia.org/wiki/Drgania\\_t%C5%82umione](http://pl.wikipedia.org/wiki/Drgania_t%C5%82umione) [http://pl.wikipedia.org/wiki/Obw%C3%B3d\\_RLC](http://pl.wikipedia.org/wiki/Obw%C3%B3d_RLC)

## 1.2 Związek obrazu dyfrakcyjnego z intensywnością odczytywaną przez miernik

Laser emituje elektromagnetyczną falę płaską, zgodnie z oznaczeniami osi na rysunku powyżej wzór fali będzie następujący:

$$E(y, t) = E_m \cos(\omega t + k y)$$

$E_m$  to maksimum pola elektrycznego.

Fala w przestrzeni (medium) rozchodzi się według zasady Huygensa

([https://pl.wikipedia.org/wiki/Zasada\\_Huygensa](https://pl.wikipedia.org/wiki/Zasada_Huygensa)) czyli każdy punkt przestrzeni jest źródłem fali kulistej, a na skutek interferencji obserwujemy na przykład wzór fali płaskiej.

Fala płaska napotyka szczelinę o szerokości porównywalnej lub większej do długości tej fali. Korzystając z zasady Huygensa możemy przewidzieć wzór fali za szczeliną.

Dla pojedynczej szczeliny jasność w funkcji kąta odchylenia od osi przyjmuje postać:

$$I(\theta) = I_0 [\text{sinc}(\alpha)]^2$$

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

gdzie:

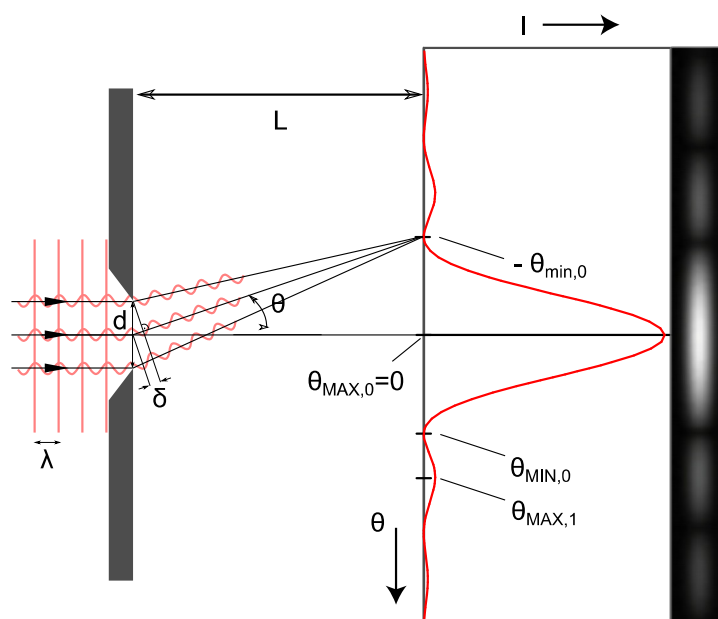
$I$  – intensywność światła,

$I_0$  – intensywność światła w maksimum, czyli dla kąta równego  $\theta$ ,

$\lambda$  – długość fali,

$d$  – szerokość szczeliny,

funkcja  $\text{sinc}(x) = \sin(x)/x$ .



[[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Single\\_Slit\\_Diffraction.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Single_Slit_Diffraction.svg)]

### 1.2.1 Właściwości nieznormalizowanej funkcji sinc

[[https://pl.wikipedia.org/wiki/Funkcja\\_sinc](https://pl.wikipedia.org/wiki/Funkcja_sinc)]

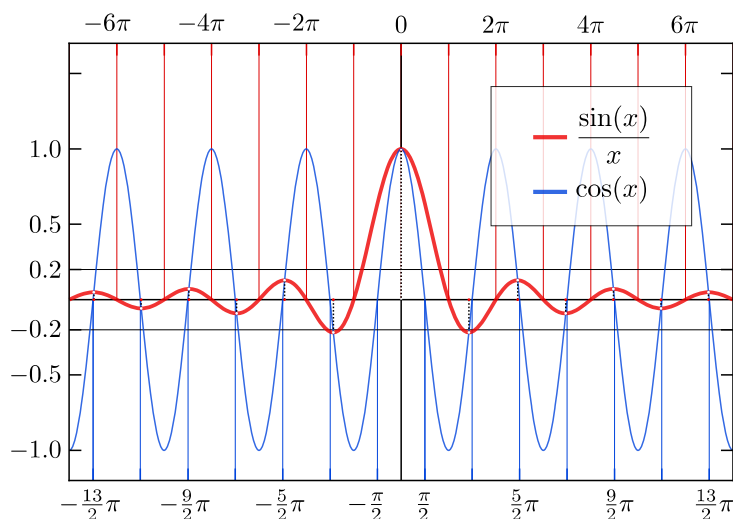
Argument funkcji sinc we wzorze na intensywność fali na ekranie:

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

służy do skalowania ("zwężania", "rozszerzania") funkcji sinc w zależności od szerokości szczeliny. Jest to analogiczna procedura jak na przykład gdy chcemy "rozszerzyć" dwukrotnie funkcję  $\cos(\omega t)$  stosujemy  $\cos(0.5\omega t)$

Istotną informacją jest wiedza dla jakich argumentów funkcja sinc przyjmuje minimum (lub ma miejsca zerowe).

Miejsca zerowe nieznormalizowana funkcja sinc przyjmuje dla argumentów będących całkowitą niezerową wielokrotnością liczby  $\pi$ .



## 2 Pomiar

### 2.1 Pomiar intensywności w funkcji położenia detektora $I(x)$

[[https://pl.wikipedia.org/wiki/Nat%C4%99%C5%BCenie\\_promieniowania](https://pl.wikipedia.org/wiki/Nat%C4%99%C5%BCenie_promieniowania)]

W radiometrii natężenie (intensywność) promieniowania to wielkość fizyczna określona jako strumień promieniowania wysyłany w jednostkowy kąt bryłowy.

$$I = \frac{\Phi}{\Omega}$$

gdzie:

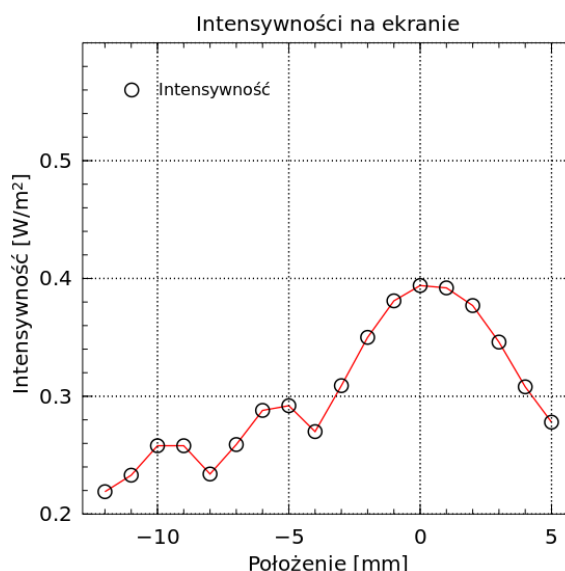
I - natężenie (intensywność) promieniowania  
Φ - strumień promieniowania  
Ω - kąt bryłowy

W układzie SI jednostką natężenia (intensywności) promieniowania jest wat na steradian (W/sr). (Fotodioda mierzy irradiancję - W/m<sup>2</sup>, ale w tym przypadku możemy ją uznać za intensywność)

Przesuwając detektor odczytujemy jego względne położenie ze śruby mikrometrycznej i odpowiadające mu natężenie światła na mierniku uniwersalnym (napięcia/prądu). Zapisujemy pomiar. Następnie normalizujemy położenia przyjmując położenie największego maksimum jako  $x=0$ .

```
("polozenia_pomiar [mm]", [0,1,2,3,4,5,6,7,8,9 ... 11,12,13,14,15,16,17,18,19,20])
("polozenia [mm]", [-12,-11,-10,-9,-8,-7,-6,-5,-4,-3 ... -1,0,1,2,3,4,5,6,7,8])
("intensywnosci [W/m2]",
[0.219,0.233,0.258,0.258,0.234,0.259,0.288,0.292,0.27,0.309,0.35,0.381,0.394,0.3
92,0.377,0.346,0.308,0.278])
("intensywnosc_max [W/m2]",0.394)
```

## 2.2 Ilustracja graficzna znormalizowanej intensywności $I(x)$



## 2.3 Wyznaczamy znormalizowane położenia minimów intensywności $x_{min}$

```
polozenia_minimow = [-4, -8 ] #[mm]
```

## 2.4 Dopasowanie funkcji $I(\theta)$ do zmierzonej intensywności = znalezienie szerokości szczeliny $d$

Funkcja

$$I(\theta) = I_0 [\text{sinc}(\alpha)]^2$$

ma miejsca zerowe dla  $\alpha$  będącego wielokrotnościami  $\pi$ , czyli 1 minimum (licząc od maximum) będzie dla  $\alpha = \pi$ , drugie minimum dla  $\alpha = 2\pi$ , w związku z czym otrzymujemy równania:

$$\pi = \frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta_1$$

$$2\pi = \frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta_2$$

gdzie:

d - jest nieznaną szerokością szczeliny,  
 $\lambda$  - jest długością fali płaskiej padającej na szczelinę (w przypadku lasera gazowego He-Ne 632,8 nm),  
 $\theta_1$  - nieznanym kątem dla którego zmierzono pierwsze minimum intensywności,  
 $\theta_2$  - nieznanym kątem dla którego zmierzono drugie minimum intensywności.

Kąt  $\theta$  możemy wyznaczyć z właściwości geometrycznych stanowiska pomiarowego, tangens tego kąta to stosunek znormalizowanego położenia fotodiody x do odległości pomiędzy szczeliną a fotodiodą L:

$$\theta = \arctg\left(\frac{x}{L}\right)$$

Przekształcając powyższe wzory otrzymujemy wzór na szerokość szczeliny, dla pierwszego minimum:

$$d = \frac{\lambda}{\sin\left(\arctg\left(\frac{x_1}{L}\right)\right)}$$

dla drugiego minimum:

$$d = \frac{2\lambda}{\sin\left(\arctg\left(\frac{x_2}{L}\right)\right)}$$

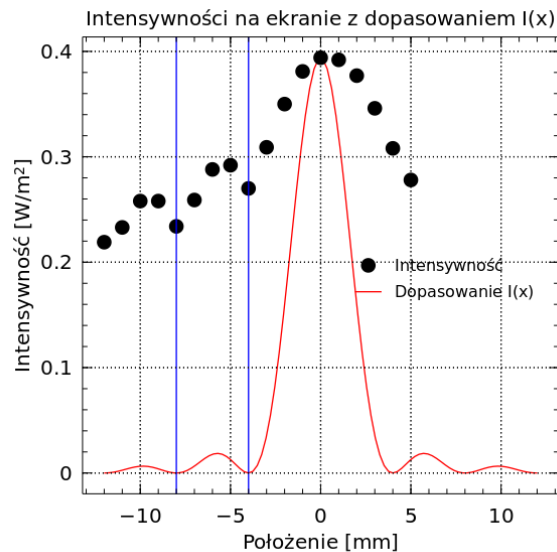
itd.

Podsumowując, jeżeli znajdziemy d spełniające powyższe równania to wykres funkcji  $I(\theta)$  powinien mieć minima dla takich samych x-ów jak punkty pomiarowe intensywności.

### 2.4.1 Wyznaczona szerokość szczeliny

```
("odleglosc_detektora [cm]", 80)
("λ_lasera [nm]", 632.8)
("θ_minimow [rad]", [-0.005, -0.01])
("szerokosci_szczeliny [mm]", [-0.13, -0.13])
("szerokosci_szczeliny_srednia [mm]", -0.13)
```

## 2.5 Ilustracja funkcji $I(\theta)$ dla wyznaczonej szerokości szczeliny $d$



## 2.6 Błąd wyznaczenia szerokości szczeliny $\Delta d$ dla pierwszego minimum

$$\Delta d = d(x + \Delta x, L + \Delta L, \lambda) - d(x, L, \lambda)$$

$$d(x, L, \lambda) = \frac{\lambda}{\sin(\arctg(\frac{x}{L}))}$$

### 2.6.1 Błąd wyznaczenia szerokości szczeliny

("szerokosc\_szczeliny\_blad [mm]", -0.022)

## 3 Wnioski

Znormalizowano pomiary i przestawiono je na rysunku.

Na podstawie zidentyfikowanych minimów i właściwości funkcji sinc dopasowano dane to krzywej teoretycznej, w ten sposób wyznaczono szerokość szczeliny:

"szerokosci\_szczeliny\_srednia [mm]", 0.13 +/- 0.02

co się wydaje wynikiem racjonalnym, co również zobrazowano na rysunku.