Ugięcia światła na szczelinie i krawędzi

Zagadnienia powiązane

Natężenie światła, całka Fresnela, dyfrakcja Fraunhofera

Podstawy

Wyznaczymy rozkład natężenia światła w obrazie dyfrakcyjnym powstałym w wyniku ugięcia światła monochromatycznego na szczelinie lub krawędzi.

Wyposażenie

Laser helowo-neonowy, 1,0 mW, 230V	08181.93	1
Fotoelement krzemowy do płyty bazowej	08734.00	1
Uchwyt soczewek	08012.00	1
Soczewka w oprawce, f - 50mm	08026.01	1
Szczelina, regulowana	08049.00	1
Ekran metalowy, 300 x 300 mm	08062.00	1
Stopka okrągła statywu Phywe	02006.55	4
Przymiar, l = 1000mm	03001.00	1
Zwornica (ściski)	02014.00	1
Taśma pomiarowa, l = 2000 mm	09936.00	1
Wielozakresowy miernik ze wzmacniaczem*	07034.00	1
Alternatywnie		
Uniwersalny wzmacniacz pomiarowy	13625.93	1
Multimetr cyfrowy	07122.00	1
Przewód 32 A, 750 mm, czerwony	07362.01	1
Przewód 32 A, 750 mm, niebieski	07362.04	1

Zadania

1. Pomiar szerokości danej szczeliny.
2. Pomiar rozkładu natężenia światła w obrazie dyfrakcyjnym powstałym w wyniku ugięcia na szczelinie
3. i krawędzi.

Przygotowanie i wykonanie doświadczenia

Przygotuj doświadczenie zgodnie z Rysunkiem 1. Przed laserem, w celu rozszerzenia wiązki, umieszczamy soczewkę rozpraszającą, o ogniskowej -50 mm. Wewnętrzna krawędź szczeliny, która jest całkowicie otwarta służy, jako krawędź. Odległość pomiędzy soczewką a szczeliną wynosi 75 mm. Moc lasera jest ustawiona na 1 mW.

Do uzyskania dyfrakcji na szczelinie, wiązkę laserową należy skierować symetrycznie na pionowe, zamknięte krawędzie szczeliny. Metalowy ekran ze papierową skalą, jest ustawione w pewnej odległości (np. 3 m).

Szczelina jest otwarta, a jej szerokość wyznaczymy z:

$$b = \frac{2m + 1}{2 \cdot \sin\alpha_m} \cdot \lambda$$

gdzie:

$$\sin \alpha_m = \frac{x_m}{\sqrt{x_m^2 + r^2}}$$

$b =$	szerokość szczeliny
$m =$	kolekny numer maksima (od centrum)
$x_m =$	odległość między m-tymi maksimami
$r =$	odległość między szczeliną i ekranem
$\lambda =$	długość światła laserowego

Uwaga: Nie wolno patrzeć bezpośrednio w wiązkę nieosłabionego lasera.

Rys. 1: Zestaw pomiarowy „Ugięcie światła na szczelinie i krawędzi".

Aby uzyskać nieoślepiający, czytelny obraz na ekranie, należy zakryć intensywnie jasny środek wzoru (np. ołówkiem w podstawce statywu).
Do uzyskania dyfrakcji na krawędzi, do fotokomórki, za pomocą taśmy, należy przykleić ekran z pojedynczą szczeliną (pionową). Skala metryczna, w podstawce statywu, może być przemieszczana z fotokomórką pod kątem prostym w stosunku do wiązki laserowej, jest zamocowana w pewnej odległości (na przykład 3 m). Fotokomórka jest podłączony do wzmacniacza (z miernikiem wielozakresowym mV ≙ nA).
Przede wszystkim natężenie I_0, mierzone bez krawędzi - najpierw bez lasera (wartość ciemna), a następnie z nim (wartość jasna). Wartości te należy brać pod uwagę podczas analizy.
Krawędź (krawędź szczeliny) przemieszcza się do wiązki laserowej tak, aby jaj część była zamaskowana. To wymaga staranności. W niektórych przypadkach, pomiar natężenia można przeprowadzić szybciej, korzystając z ekranu szczelinowego leżącego poziomo. W tym przypadku krawędź jest przemieszczana do wiązki tylko dla połowy rejestrowanego napięcia.

Teoria i analiza wyników

Jeśli światło o długości fali λ pada na szczelinę o szerokości b, każdy punkt szczeliny staje się źródłem nowej fali kulistej. W wyniku interferencji tych fal, na ekranie za szczeliną tworzy się dyfraktogram.
Korzystając z przybliżenia Fraunhofera, obrobimy ten obraz dyfrakcyjny, badając, przy użyciu symboli z Rysunku 2, natężenie w punkcie P, na równoległym do szczeliny, ekranie.

$$I = c \cdot \left(\frac{\sin \frac{\pi b}{\lambda} \sin \theta}{\frac{\pi b}{\lambda} \sin \theta} \right)^2 \qquad (1)$$

c jest stałą, która zależy od długości fali i geometrii układu. Maksima natężenie występują dla:

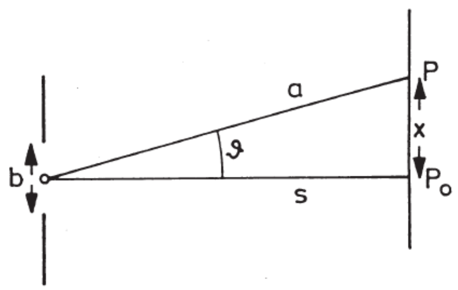
$$\tan \frac{\pi b}{\lambda} \sin \theta = \frac{\pi b}{\lambda} \sin \theta \, .$$

Pierwsze, otrzymane w ten sposób maksimum otrzymuje się dla $\theta = 0$. Kolejne występują, jeśli argument stycznej przybiera wartości:

$$1.43\ \pi,\ 2.459\ \pi,\ 3.47\ \pi,\ 4.479\ \pi,\ \ldots$$

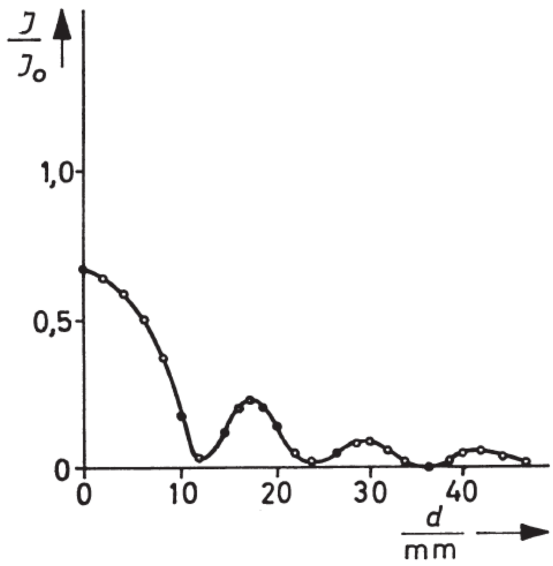
Minima natężeń występują, gdy:

$$\frac{\pi b}{\lambda} \sin \theta = n\ \pi;\ n = 1, 2, \ldots$$



Rys. 2. Dyfrakcja na szczelinie.

Rys. 3: Dyfrakcyjny rozkład natężeń na szczelinie, w zależności od położenia wzdłuż prostej równoległej do płaszczyzny szczeliny, znormalizowany względem natężenia bez szczeliny.

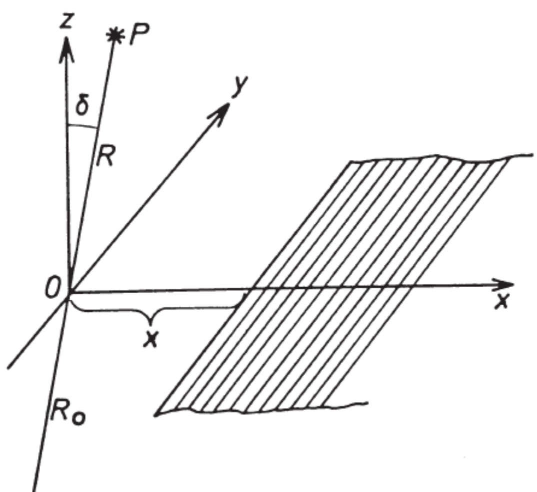


w przypadku, gdy $a \gg x$, minima są w przybliżeniu równoległe i

$$x = n \cdot \frac{a\lambda}{b}$$

Światło padające na szczelinę, utworzoną przez prostą krawędź (równolegle do osi y), ulega dyfrakcji. Jeśli zachowane są oryginalne współrzędne punktów PQ linii łączącej źródło światła z miejscem padania na płaszczyznę ekranu, dyfrakcyjny rozkład natężenia za krawędzią ugięcia jest następujący:

$$I = \frac{I_0}{2} \left(\left(U(\omega) + \frac{1}{2} \right)^2 + \left(V(\omega) + \frac{1}{2} \right)^2 \right) \qquad (2)$$



Rys. 4: Dyfrakcja na krawędzi.

Przy zastosowaniu symboli z Rysunku 4 uzyskamy:

$$I_0 = \frac{1}{(R_0 + R)^2} \tag{3}$$

$$\omega = x \cdot \cos \delta \sqrt{\frac{2}{\lambda}\left(\frac{1}{R_0} + \frac{1}{R}\right)} \tag{4}$$

U i V to całki Fresnela, określone następująco:

$$U(\omega) = \int_0^{\omega} \cos\left(\frac{\pi}{2} n^2\right) dn\,.$$

$$V(\omega) = \int_0^{\omega} \sin\left(\frac{\pi}{2} n^2\right) dn\,.$$

Natężenie po stronie ciemnej maleje regularnie. Na jasnej stronie natężenia wykazują maksima i minima, całkowite natężenie, zgodnie z równaniem (3), zmniejsza się wraz z kwadratem odległości między źródłem światła a punktem padania.

Rys. 5: Dyfrakcyjny rozkład natężeń na krawędzi, w zależności od położenia wzdłuż prostej równoległej do płaszczyzny szczeliny, znormalizowany względem natężenia bez krawędzi.