

Nazwisko

Data

Nr na liście

Imię

Wydział

Dzień tyg.

Godzina

Ćwiczenie 367

Wyznaczanie długości fali światła za pomocą siatki dyfrakcyjnej

Długość fali światła monochromatycznego [nm]	
Odległość siatki od ekranu l [m]	

I. Wyznaczanie stałej siatki d

Rząd widma	Odl. od szczeliny [m]			Kąt ugięcia	Stała siatki	Średnia stała siatki
	na prawo	na lewo	średnie			
n	x_p	x_l	x_n	α_n [°]	d_n [nm]	d [nm]

II. Wyznaczanie długości fali świetlnej

Barwa linii widmowych	niebieska $\lambda_{tab} = 435,1$ nm			zielona $\lambda_{tab} = 546,1$ nm			żółta $\lambda_{tab} = 578,0$ nm		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Rząd widma, n									
Odl. od szczeliny, [m]	na prawo, a_p								
	na lewo, a_l								
	średnia, a_n								
Kąt ugięcia, α_n [°]									
Długość fali, λ_n [nm]									
Średnia długość fali [nm]	$\lambda_I =$			$\lambda_{II} =$			$\lambda_{III} =$		
$\Delta\lambda_{tab} = \lambda - \lambda_{tab} $									
$(\Delta\lambda_{tab} / \lambda_{tab}) \cdot 100\%$									

Ćwiczenie 367. Wyznaczanie długości fali światła za pomocą siatki dyfrakcyjnej

Wprowadzenie

Światło widzialne jest to promieniowanie elektromagnetyczne (zaburzenie pola elektromagnetycznego rozchodzące się w przestrzeni), na które reaguje oko ludzkie. Zakres długości fal tego promieniowania wynosi (w próżni) od $3,8 \cdot 10^{-7}$ m (początek fioletu, częstotliwość ok. $8 \cdot 10^{14}$ Hz) do $7,7 \cdot 10^{-7}$ m (koniec czerwieni, częstotliwość ok. $4 \cdot 10^{14}$ Hz). W ogólności do światła zalicza się również promieniowanie podczerwone i nadfioletowe. Przypomnijmy, że *długość fali* λ równa jest odległości pomiędzy punktami przestrzeni, w których fala jest w tej samej fazie (w przypadku fal elektromagnetycznych oznacza to, że wektory natężenia pola elektrycznego \vec{E} (bądź magnetycznego \vec{H}) w punktach oddalonych o długość fali mają ten sam kierunek, wartość i zwrot, czyli są identyczne). Czas T , jaki potrzebuje fala na przebycie drogi równej długości fali, nazywany jest okresem fali:

$$\lambda = c \cdot T = c/f,$$

gdzie c — prędkość światła (w próżni 300 000 km/s), f — częstotliwość fali (wielkość określona liczbą długości fal mieszczących się na drodze przebytej przez falę w jednostce czasu).

Postrzeganie zjawisk świetlnych związane jest ze zmianą pola elektrycznego. Zmiana wartości natężenia pola elektrycznego E w czasie, w punkcie odległym o r od źródła światła, dla fali o częstotliwości f może być przedstawiona równaniem:

$$E = E_0 \sin \left[2\pi f \left(t - \frac{r}{c} \right) + \delta \right],$$

gdzie E_0 jest amplitudą, a δ — fazą początkową fali.

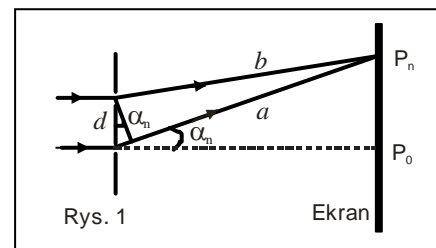
Światło ma naturę dualną, falowo–korpuskularną. Przyjmuje się, że światło to swego rodzaju strumienie osobliwych cząstek (korpuskuł), zwanych fotonami, które wykazują własności falowe. Na falową naturę światła wskazują takie zjawiska, jak *dyfrakcja* i *interferencja promieni świetlnych*. Zjawisko dyfrakcji i interferencji światła możemy zaobserwować wykorzystując siatkę dyfrakcyjną. Najprostszą siatkę dyfrakcyjną stanowi przezroczysta płytka szklana z gęsto ponacinanymi, równoodległymi rysami. Rysy odgrywają rolę przesłon, a przestrzeń między rysami to szczeliny. Odległość między szczelinami nazywana jest *stałą siatki dyfrakcyjnej* d . Siatka dyfrakcyjna jest używana do analizy widmowej i pomiarów długości fali światła.

Światło przechodzące przez siatkę dyfrakcyjną ugina się na szczelinach, bowiem zgodnie z zasadą Huygensa, każda szczelina staje się źródłem nowej fali i wysyła promienie we wszystkich kierunkach. Zjawisko uginania się fali na otworach bądź krawędziach przesłon (o wymiarach porównywalnych z długością fali) nazywamy *dyfrakcją*, czyli *uginaniem prostoliniowego biegu promieni*. Ugięte wiązki (ewentualnie zebrane za pomocą soczewki) padające w to samo miejsce ekranu ulegają interferencji. *Interferencją fal* nazywamy nakładanie się fal o tej samej częstotliwości, powodujące wzmocnienie lub osłabienie natężenia fali wypadkowej. W tych miejscach ekranu, w których ugięte promienie spotykają się w zgodnych fazach, następuje ich wzmocnienie i powstają jasne prążki interferencyjne.

Z warunku zgodności faz wynika, że interferujące promienie będą się wzmacniać, jeżeli różnica dróg dwóch sąsiednich promieni, $a - b = d \sin \alpha_n$, będzie równa całkowitej wielokrotności długości fali padającego światła (rys. 1):

$$d \sin \alpha_n = n\lambda, \quad (1)$$

gdzie d – odległość między szczelinami (*stała siatki*), α_n – kąt ugięcia, n – liczba całkowita (rzęd prążka), λ – długość fali światła.



Równanie (1) wskazuje, że prążki odpowiadające różnym długościom fal będą powstawać w różnych miejscach ekranu. Mierząc kąt ugięcia α_n dla prążka rzędu n , możemy wyznaczyć długość fali, jeśli znamy stałą siatki.

Promienie spotykające się w tym samym miejscu ekranu w fazach przeciwnych ulegną wzajemnemu wygaszeniu i na ekranie otrzymamy ciemny prążek. Warunkiem uzyskania minimum dyfrakcyjnego jest, aby różnica dróg sąsiednich promieni była równa nieparzystej wielokrotności połowy długości fali:

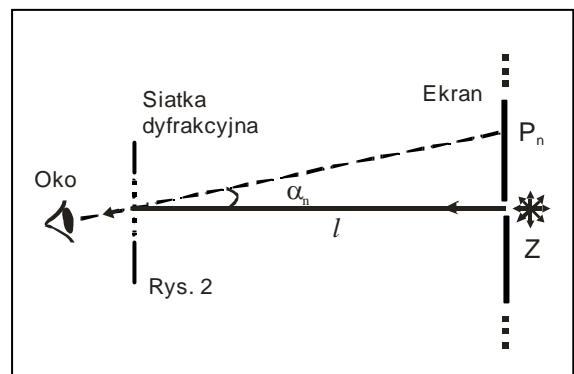
$$d \sin \alpha_n = (2n + 1) \frac{\lambda}{2}.$$

Wyraźny obraz dyfrakcyjny (ostre prążki jasne i ciemne) otrzymuje się tylko wówczas, gdy stała siatki jest porównywalna z długością fali uginanego światła. W typowych siatkach dyfrakcyjnych liczba rys na 1 mm wynosi od ok. 1200 dla nadfioletu do 300 dla podczerwieni.

Wykonanie zadania

I. Układ pomiarowy

Schemat układu pomiarowego przedstawia rys. 2. Światło wysyłane przez źródło Z przechodzi przez szczelinę w ekranie i dociera do siatki dyfrakcyjnej, umieszczonej na statywie w odległości l od ekranu. Płaszczyznę siatki dyfrakcyjnej ustawiamy równoległe do ekranu, a rysy powinny znajdować się na wysokości szczeliny (kierunek rys, tak jak szczelina w ekranie, musi być pionowy). Znajdująca się za siatką



dyfrakcyjną soczewka oka obserwatora wytworzy na siatkówce obraz z promieni ugiętych. Obserwator ujrzy na ekranie szereg barwnych prążków z prawej i lewej strony szczeliny. Jest to widmo pozorne, widziane na ekranie na przedłużeniu wiązek ugiętych wchodzących do oka.

II. Wyznaczanie stałej siatki d

1. Włączamy źródło światła monochromatycznego (laser) o znanej długości fali – λ_s .
2. Odczytujemy położenia linii widmowych dla kilku rzędów po lewej i prawej stronie szczeliny. Obliczamy dla każdego rzędu średnie odległości prążków od szczeliny:

$$x_n = (x_l + x_p) / 2.$$

3. Obliczamy sinus kąta ugięcia, rys. 2:

$$\sin \alpha_n = \frac{x_n}{\sqrt{x_n^2 + l^2}} \quad (2)$$

4. Na podstawie wzoru (1) możemy napisać:

$$d_n = \frac{n \lambda_s}{\sin \alpha_n} \quad (3)$$

Podstawiając do wzoru (3) wartość $\sin \alpha_n$ wyznaczamy dla każdego rzędu stałą siatki d_n .

5. Obliczamy wartość średnią stałej siatki d :

$$d = (d_1 + d_2 + d_3) / 3.$$

III. Wyznaczanie długości fali świetlnej λ

1. Za szczeliną ekranu ustawiamy lampę rtęciową.
2. Notujemy współrzędne położenia linii widmowych: na lewo od szczeliny — a_l i na prawo — a_p .
Odczytu dokonujemy dla trzech rzędów, intensywnie świecących prążków barwy niebieskiej, zielonej i żółtej.
3. Obliczamy dla każdego rzędu średnią odległość prążka od szczeliny:

$$a_n = (a_l + a_p) / 2.$$

4. Znajdujemy sinus kąta ugięcia

$$\sin \alpha_n = \frac{a_n}{\sqrt{a_n^2 + l^2}}, \quad (4)$$

kąt ugięcia i długość fali:

$$\lambda_n = \frac{d \sin \alpha_n}{n}. \quad (5)$$

5. Dla każdej barwy obliczamy wartość średnią długości fali: $\lambda = (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) / 3$.

Rachunek błędów

Rachunek błędów dotyczy pomiaru długości fali λ_n dla prążka rzędu n . Maksymalny błąd bezwzględny $\Delta \lambda_n$ wyznaczamy metodą różniczki zupełnej. Zgodnie z wzorem (5), zmienne obarczone błędem pomiaru to stała siatki d i kąt ugięcia α_n :

$$\Delta \lambda_n = \left| \frac{\partial \lambda_n}{\partial d} \right| \Delta d + \left| \frac{\partial \lambda_n}{\partial \alpha_n} \right| \Delta \alpha_n \quad \Rightarrow \quad \Delta \lambda_n = \lambda \left(\frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta \alpha_n}{\operatorname{tg} \alpha_n} \right) = \lambda \left(\frac{\Delta d}{d} + \frac{l}{a_n} \Delta \alpha_n \right).$$

Jako Δd przyjmujemy błąd maksymalny średniej: $\Delta d = \max |d - d_n|$; $n = 1, 2, 3$.

$\Delta \alpha_n$ obliczamy metodą różniczki zupełnej. Ponieważ $\operatorname{tg} \alpha_n = \frac{a_n}{l}$ skąd $\alpha_n = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{a_n}{l}$, otrzymamy:

$$\Delta \alpha_n = \left| \frac{\partial \alpha_n}{\partial a_n} \right| \Delta a_n + \left| \frac{\partial \alpha_n}{\partial l} \right| \Delta l \quad \Rightarrow \quad \Delta \alpha_n = \frac{l \cdot a_n}{l^2 + a_n^2} \left(\frac{\Delta a_n}{a_n} + \frac{\Delta l}{l} \right).$$

Podstawiamy: $\Delta a_n = 2 \text{ mm}$ (dokładność pomiaru odległości prążka), $\Delta l = 5 \text{ mm}$.

Obliczenia przeprowadzamy dla jednego rzędu widma jednej z badanych barw.