

Jak wykorzystać związek między kątem dyfrakcji, stałą siatki i długością fali?

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Film samouczek](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)

Jak wykorzystać związek między kątem dyfrakcji, stałą siatki i długością fali?

Czy to nie ciekawe?

Każda fala ulega dyfrakcji (ugięciu), gdy dociera do przeszkody lub szczeliny. Światło, jako fala elektromagnetyczna również ulega dyfrakcji, jednak rozmiary przeszkód i szczelin muszą być porównywalne z długością fali światła. Przyrządem posiadającym szczeliny odpowiednich rozmiarów jest siatka dyfrakcyjna. Obraz powstały po przepuszczeniu światła przez siatkę dyfrakcyjną składa się z naprzemiennych wzmocnień i wygaszeń fal. Jaka zależność opisuje kąt, pod jakim pojawia się wzmocnienie światła? Kąt ten będzie zależał od stałej siatki oraz długości fali światła.

Twoje cele

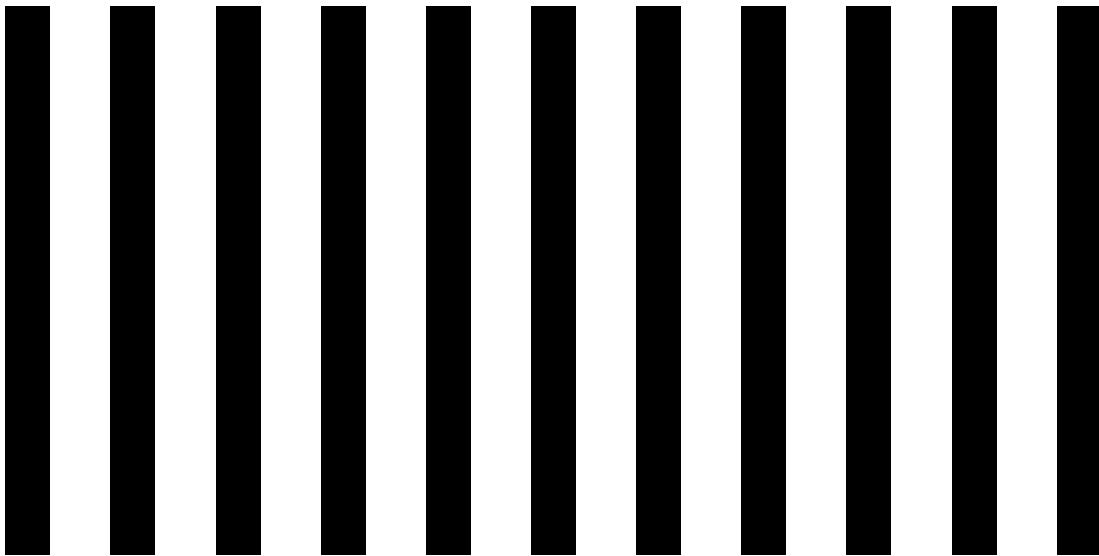
- poznasz zależność między kątem, pod którym widać wzmocnienie światła a długością fali i stałą siatki dyfrakcyjnej,
- dowiesz się, czym jest stała siatki dyfrakcyjnej,
- zrozumiesz mechanizm powstawania obrazu z siatki dyfrakcyjnej,
- poznasz i ocenisz argumenty przemawiające za tym, że wraz ze wzrostem liczby szczelin maleje szerokość linii wzmocnionego światła.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Dyfrakcja na siatce

Najprostsza [siatka dyfrakcyjna](#) to układ wielu przepuszczających światło szczelin, oddzielonych pasmami, które światła nie przepuszczają (Rys. 1.).



Rys. 1. Schemat siatki dyfrakcyjnej

Typowe siatki mają zwykle kilkaset linii na milimetr. **Stałą siatki dyfrakcyjnej** nazywamy odległość między środkami sąsiednich szczelin. Na przykład: dla siatki, która ma 500 linii na mm, [stała siatki](#) d jest równa

$$d = \frac{1 \text{ mm}}{500} = 0,002 \text{ mm} = 2 \mu\text{m},$$

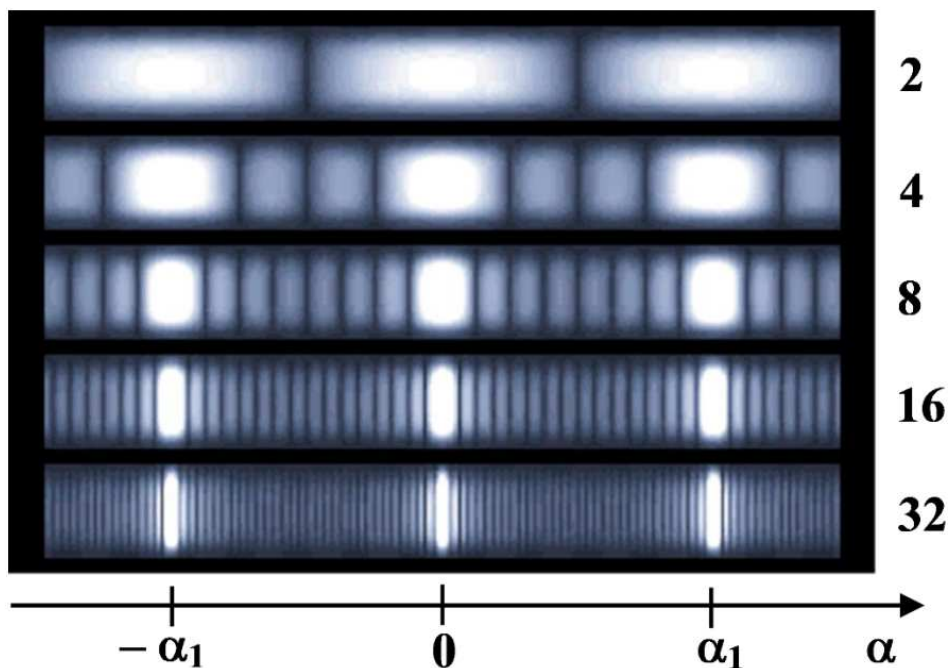
czyli jest porównywalna z długością fali światła widzialnego. Jeżeli skierować na taki układ wiązkę monochromatycznego (jednobarwnego) światła laserowego, na przykład z typowego wskaźnika, na ekranie zaobserwujemy wąskie plamki świetlne, oddzielone szerokimi ciemnymi obszarami (Rys. 2.).



Rys. 2. Prosty obraz dyfrakcyjny

Aby wytłumaczyć takie ich ułożenie, trzeba odpowiedzieć sobie na dwa pytania:

1. Dla jakich kierunków otrzymujemy wzmocnienie światła?
2. Na Rys. 3. mamy przedstawione powstałe obrazy w zależności od liczby szczelin. W przypadku dwóch szczelin obserwuje się obraz o płynnie zmieniającym się natężeniu. Dlaczego w przypadku siatki powstają ostre linie?



Rys. 3. Obraz światła po przejściu przez 2, 4, 8, 16 i 32 szczeliny. Odległość między szczelinami jest stała.

Dyfrakcja na dwóch szczelinach

Jeżeli dyfrakcja fali o długości λ zachodzi na dwóch szczelinach odległych o d , to

1. maksymalne wzmocnienia zachodzą dla kątów α spełniających warunek ($n = 0, 1, 2, \dots$):

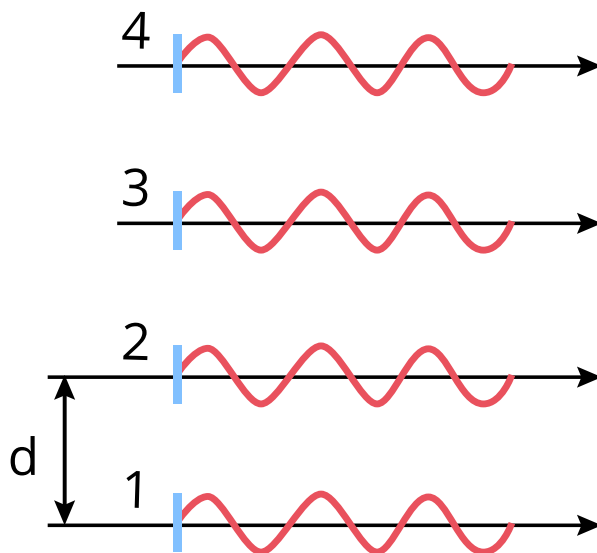
$$\sin \alpha_n = n \frac{\lambda}{d}. \quad (1)$$

2. wygaszenia zachodzą dla kątów

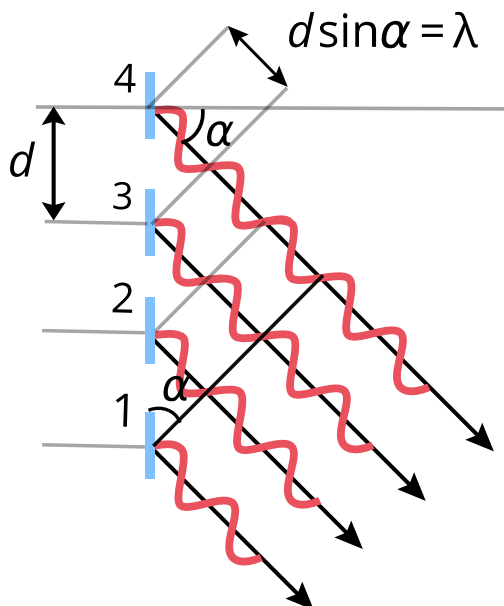
$$\sin \alpha = \left(n + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{d} = \frac{2n+1}{2} \frac{\lambda}{d}. \quad (2)$$

Wzmocnienia dla siatki dyfrakcyjnej

Na pierwsze pytanie, zadane na początku, odpowiedź jest prosta. Warunek maksymalnego wzmocnienia dla [siatki dyfrakcyjnej](#) jest taki sam, jak dla dwóch szczelin. Widać to z Rys. 4. i 5., narysowanych dla ustalenia uwagi dla czterech szczelin. Pierwszy z tych rysunków odpowiada prążkowi zerowemu, czyli $n = 0$, a drugi prążkowi pierwszego rzędu, $n = 1$.



Rys. 4. Prążek zerowego rzędu dla dyfrakcji na czterech szczelinach



Rys. 5. Prążek pierwszego rzędu dla dyfrakcji na czterech szczelinach

Jeżeli wzmacniają się fale z dwóch sąsiednich szczelin 1 i 2, to wzmacniać się będą i fale ze szczelin 2 i 3, 3 i 4, itp. Wzmacniają się więc fale ze wszystkich szczelin. Rozpatrzmy trójkąt

prostokątny, którego długość przeciwprostokątnej wynosi d , a jednej z przyprostokątnych λ . Widać, że spełniony jest związek

$$d \sin \alpha = \lambda,$$

który jest równoważny wzorowi (1) dla $n = 1$.

Szerokość linii

Odpowiedź na drugie z pytań, postawionych na początku, jest trudniejsza. Szerokość linii uzyskanej za pomocą [siatki dyfrakcyjnej](#) zależy od całkowitej liczby szczelin N , które biorą udział w dyfrakcji. Przedstawia to Rys. 3. Jest to symulacja komputerowa, oparta o wzory ogólne, których wyprowadzenie jest zbyt trudne, aby je tu przytaczać. W tych obliczeniach użyte zostało przybliżenie $\sin \alpha \approx \alpha$, spełnione dla małych kątów α .

Najważniejszy wniosek z tych rozważań jest następujący: Jeżeli dyfrakcja zachodzi na układzie N szczelin, pomiędzy maksimumami głównymi pojawia się $N - 1$ w przybliżeniu równoodległych miejsc zerowych:

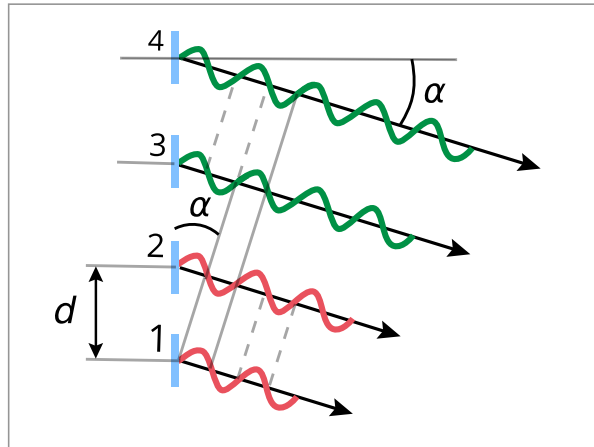
- jedno dla dwóch szczelin,
- trzy dla czterech szczelin,
- siedem dla ośmiu szczelin, ..., itd.

Wynika stąd, że w omówionych przybliżeniach szerokość kątowna (odległość między sąsiednimi minimami) maksimum głównego jest równa (Rys. 3.):

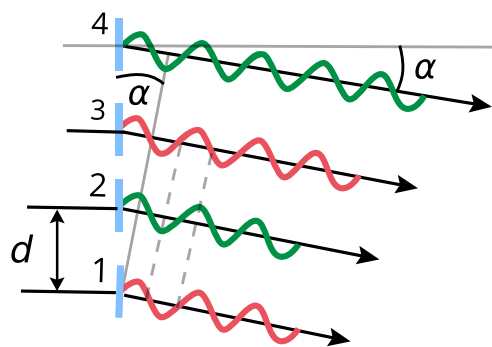
$$\frac{2}{N} \alpha_1,$$

czyli jest odwrotnie proporcjonalna do liczby szczelin. Omówimy dokładniej prosty przykład 4 szczelin.

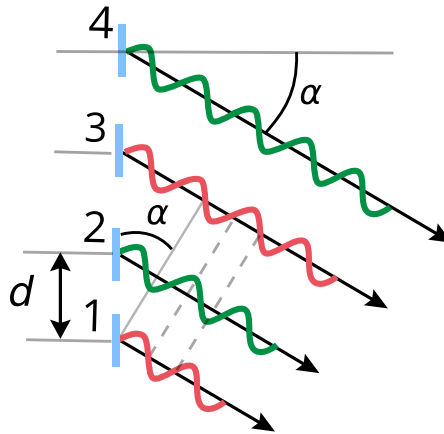
4 szczeliny



Rys. 6. Dyfrakcja na czterech szczelinach, wygaszanie fal ze szczelin 1. i 2.



Rys. 7. Dyfrakcja na czterech szczelinach, wygaszają się fale ze szczelin 1. i 3.



Rys. 8. Dyfrakcja na czterech szczelinach. Wygaszają się zarówno fale 1. i 3., jak i 2. i 4.

Dla czterech szczelin mamy dwie możliwości:

a) Wygaszają się fale z dwóch sąsiednich szczelin o numerach 1 i 2 (Rys. 6., czerwone sinusoidy). Wtedy też wygaszą się dwie fale ze szczelin 3 i 4 (zielone sinusoidy). Będzie obowiązywał warunek wygaszenia (2) – jak dla dwóch szczelin:

$$\sin \alpha = \left(n + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{d} = \frac{2n+1}{2} \frac{\lambda}{d}$$

Czyli dla kolejnych wygaszeń: $\sin \alpha = \frac{1}{2} \frac{\lambda}{d}$ (Rys. 6.), $\sin \alpha = \frac{3}{2} \frac{\lambda}{d}$, $\sin \alpha = \frac{5}{2} \frac{\lambda}{d}$, ... , itp.

b) Wygaszają się fale ze szczelin 1 i 3, oddległych od siebie o $d' = 2d$ (Rys. 7., czerwone sinusoidy). Wtedy wygaszą się też fale ze szczelin 2 i 4 (zielone sinusoidy). Dostaniemy wtedy warunki wygaszenia (wzór (2) z zamianą d na d')

$$\sin \alpha = \left(n + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{d'} = \frac{2n+1}{2} \frac{\lambda}{d'} = \frac{2n+1}{4} \frac{\lambda}{d}$$

Czyli dla kolejnych wygaszeń $\sin \alpha = \frac{1}{4} \frac{\lambda}{d}$ (Rys. 7.), $\sin \alpha = \frac{3}{4} \frac{\lambda}{d}$ (Rys. 8.), $\sin \alpha = \frac{5}{4} \frac{\lambda}{d}$, ... itp.

Uporządkujmy te wyniki. Wygaszenia zachodzą dla współczynników przed $\frac{\lambda}{d}$ równych

$$\frac{1}{4}, \frac{2}{4}, \frac{3}{4}, 1, \frac{5}{4}, \frac{6}{4} \dots$$

Pomiędzy maksimami głównymi dla $n = 0$ i $n = 1$ pojawiły się 3 wygaszenia. Dokładnie tyle wygaszeń widzimy na Rys. 3. dla czterech szczelin.

Wyznaczanie długości fali promieniowania elektromagnetycznego

Za pomocą **siatki dyfrakcyjnej** możemy wyznaczyć długość fali interesującego nas światła widzialnego. Wynika to wprost ze wzoru (1), przekształconego do postaci

$$\lambda = \frac{d \sin \alpha_n}{n}.$$

Trzeba tylko znać **stałą siatki** d i zmierzyć kąt α_n . Metodę tę można zastosować do podczerwieni i nadfioletu, a także – z pewną modyfikacją – do promieni Roentgena. Trzeba tylko użyć odpowiednich detektorów promieniowania zamiast ludzkiego oka.

Słowniczek

siatka dyfrakcyjna

(*ang.: diffraction grating*) – przyrząd posiadający identyczne, równoodległe szczeliny o szerokości porównywalnej z długością fali światła, służący do badania dyfrakcji światła.

Stała siatki dyfrakcyjnej

(*ang.: diffraction grating constant*) – wielkość charakteryzująca siatkę dyfrakcyjną, równa odległości między środkami sąsiednich szczelin.

Film samouczek

Jak obliczyć związek między kątem dyfrakcji, stałą siatki i długością fali?

Polecenie 1

Obejrzyj film samouczek, w którym przedstawiono rozwiązanie przykładowego zadania dotyczącego dyfrakcji światła na siatce dyfrakcyjnej. Zastanów się, czy zwiększenie odległości między siatką a ekranem wpłynie na liczbę obserwowanych na ekranie maksimum dyfrakcyjnych.

Trwa wczytywanie danych ..

Polecenie 2

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3

Światło lasera przechodzi przez siatkę dyfrakcyjną i tworzy na ekranie obraz dyfrakcyjny. Czy i jak zmiana lasera na inny, emitujący światło o większej długości fali, spowoduje zmianę kątów, pod którymi widać poszczególne wzmocnienia?



Ćwiczenie 4



Ćwiczenie 5



Ćwiczenie 6



Ćwiczenie 7



Ćwiczenie 8



Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Józef Ginter, Michał Kurek
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Siatka dyfrakcyjna
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa	<p>Cele kształcenia – wymagania ogólne</p> <p>I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.</p> <p>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.</p> <p>Zakres rozszerzony</p> <p>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>16) przeprowadza obliczenia i zapisuje wynik zgodnie z zasadami zaokrąglania oraz zachowaniem liczby cyfr znaczących wynikającej z dokładności pomiaru lub z danych.</p> <p>X. Fale i optyka. Uczeń:</p> <p>16) opisuje obraz powstający po przejściu światła przez siatkę dyfrakcyjną; stosuje do obliczeń związek między kątem dyfrakcji, stałą siatki i długością fali.</p>
Kształtowane kompetencje kluczowe:	<p>Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.:</p> <ul style="list-style-type: none">• kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji,• kompetencje cyfrowe,• kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii,• kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

Cele operacyjne:	<p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. dowie się jaka jest zależność między kątem, pod którym widać wzmocnienie światła a długością fali i stałą siatki dyfrakcyjnej; 2. pozna stałą siatki dyfrakcyjnej; 3. zrozumie mechanizm powstawania obrazu z siatki dyfrakcyjnej; 4. pozna i oceni argumenty przemawiające za poglądem, że wraz ze wzrostem liczby szczelin spada szerokość linii wzmocnionego światła.
Strategie nauczania	strategia eksperymentalno-obszernyjna - dostrzeganie i definiowanie problemów oraz odkrywanie rzeczywistości poprzez eksperymenty
Metody nauczania	wykład informacyjny, burza mózgów
Formy zajęć:	praca indywidualna
Środki dydaktyczne:	siatka dyfrakcyjna, podwójna szczelina do dyfrakcji światła, laser
Materiały pomocnicze:	e-materiał „Jak obliczyć związek między kątem dyfrakcji, stałą siatki i długością fali?”
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
<p>Nauczyciel przy pomocy lasera i podwójnej szczeliny przedstawia dyfrakcję światła. Następnie podwójną szczelinę zastępuje siatką dyfrakcyjną. Pyta uczniów o podobieństwa i różnice w otrzymanych obrazach.</p>	
Faza realizacyjna:	
<p>W formie burzy mózgów uczniowie odpowiadają na pytanie: „Jakie parametry mogą mieć wpływ na to, w którym miejscu powstaje wzmocnienie światła?”. Pomysły nauczyciel zapisuje na tablicy.</p> <p>Następnie nauczyciel wyprowadza wzór na kąt, pod którym widać maksimum dla dwóch szczelin i uogólnia wynik na siatkę dyfrakcyjną.</p>	
Faza podsumowująca:	
<p>W ramach utrwalenia zdobytych wiadomości i zrozumienia zasad działania siatki dyfrakcyjnej uczniowie rozwiązują zadania 1., 3., 6. oraz 8. z zestawu ćwiczeń e-materiału.</p>	
Praca domowa:	

W ramach pracy domowej uczniowie rozwiązują zadania 2., 4. oraz 5. z zestawu ćwiczeń e-materiału.

**Wskazówki metodyczne
opisujące różne
zastosowania danego
multimedia**

Film samouczek może zostać wykorzystany jako przypomnienie sposobu rozwiązywania zadań związanych z siatką dyfrakcyjną podczas powtórzenia wiadomości.