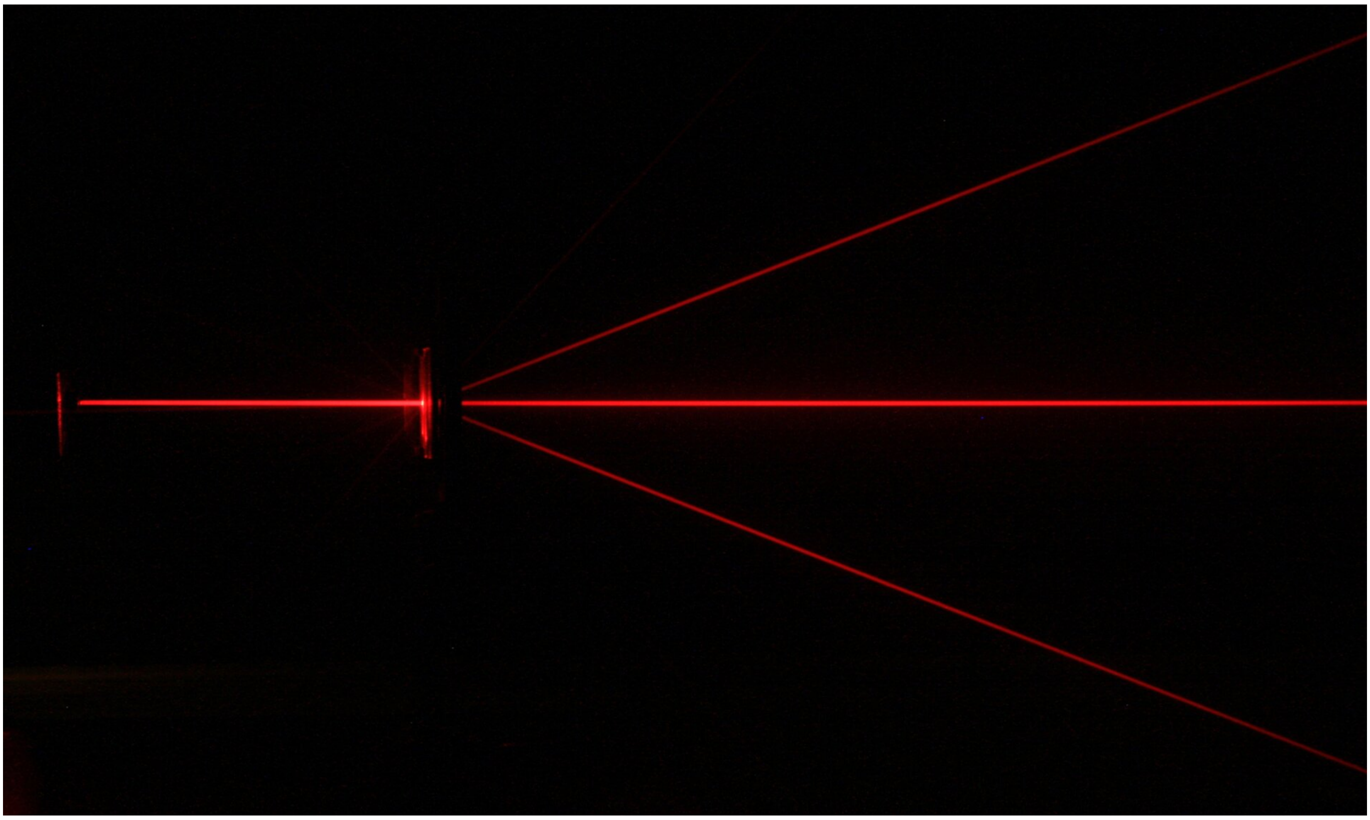
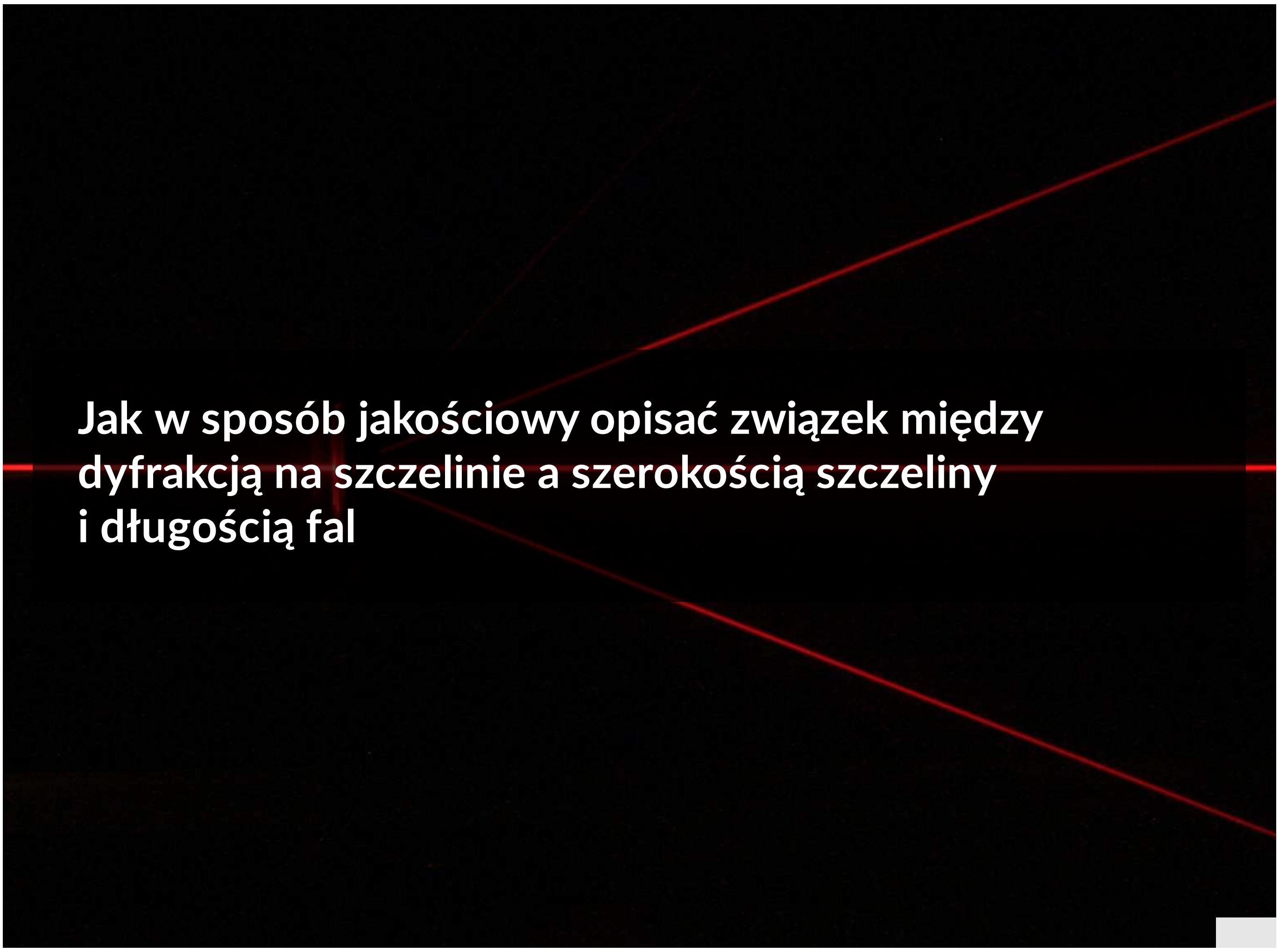


Jak w sposób jakościowy opisać związek między dyfrakcją na szczelinie a szerokością szczeliny i długością fal



Jak w sposób jakościowy opisać związek między dyfrakcją na szczelinie a szerokością szczeliny i długością fal

Czy to nie ciekawe?

Mówi się, że światło ma naturę falowo-korpuskularną. Skoro światło jest falą (elektromagnetyczną), musi zachowywać się jak każda inna fala, czyli również ulegać dyfrakcji (ugięciu). Aby uległo mierzalnej dyfrakcji, przeszkoda na jego drodze lub szczelina musi mieć rozmiary porównywalne z długością fali światła. Gdy ten warunek jest spełniony, na ekranie ustawionym za szczeliną możemy zaobserwować naprzemienne występowanie miejsc, w których światło jest wzmocnione oraz wygaszone. To, czy w danym miejscu spotkamy wzmocnienie, czy wygaszenie światła będzie zależeć od szerokości szczeliny oraz od długości fali.

Twoje cele

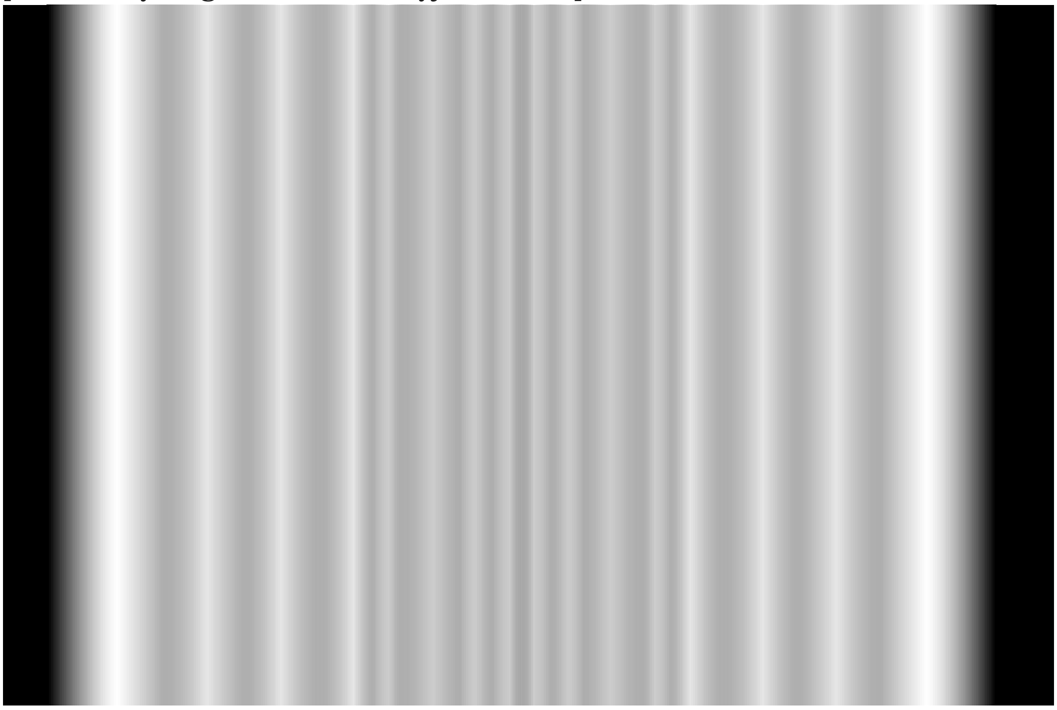
- dowiesz się, jak obliczyć kąt, pod którym widać wzmocnienie fali światła,
- poznasz zasadę Huygensa,

- zrozumiesz mechanizm powstawania wzmocnień i wygaszeń na szczelinie dyfrakcyjnej,
- przeanalizujesz i zinterpretujesz wynik dyfrakcji światła na szczelinie.

Przeczytaj

Warto przeczytać

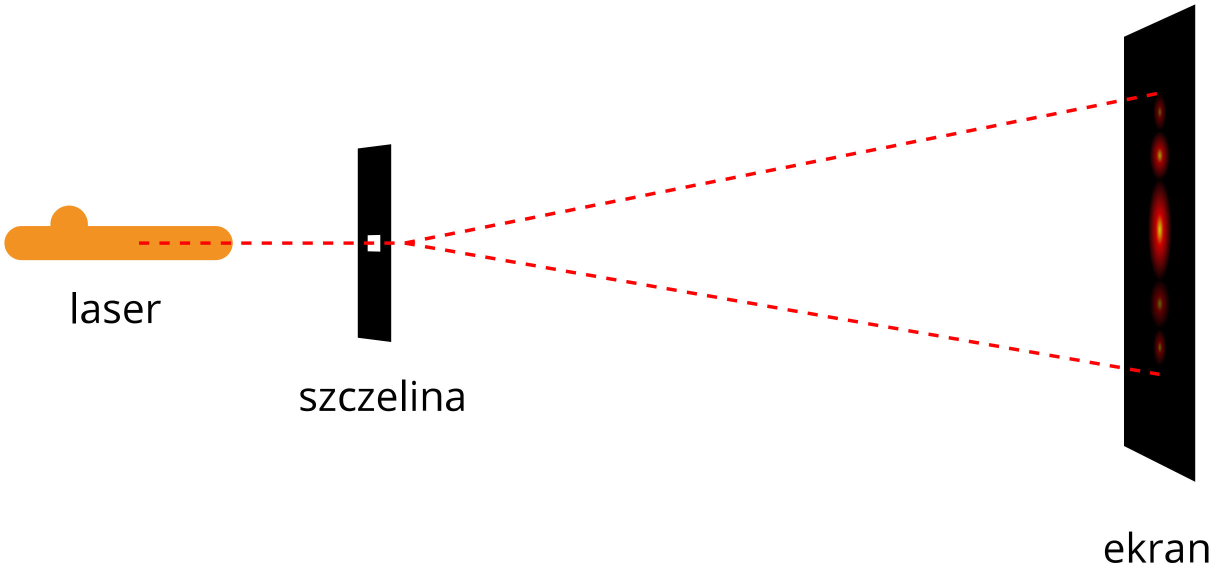
Doświadczenie 1
Na początku wykonaj proste doświadczenie: złóż ze sobą dwa palce, zbliż je do oka i spójrz przez szczelinę między nimi na jasną powierzchnię, na przykład na niebo. Okaże się, że na jasnym tle szczeliny pojawiają się ciemne „włókna” (Rys. 1.). Zaobserwowałeś w ten sposób dyfrakcję światła na pojedynczej szczelinie – i stwierdziłeś, że powstający obraz może być dość skomplikowany. Jego dokładne wyjaśnienie przekracza nasze możliwości.



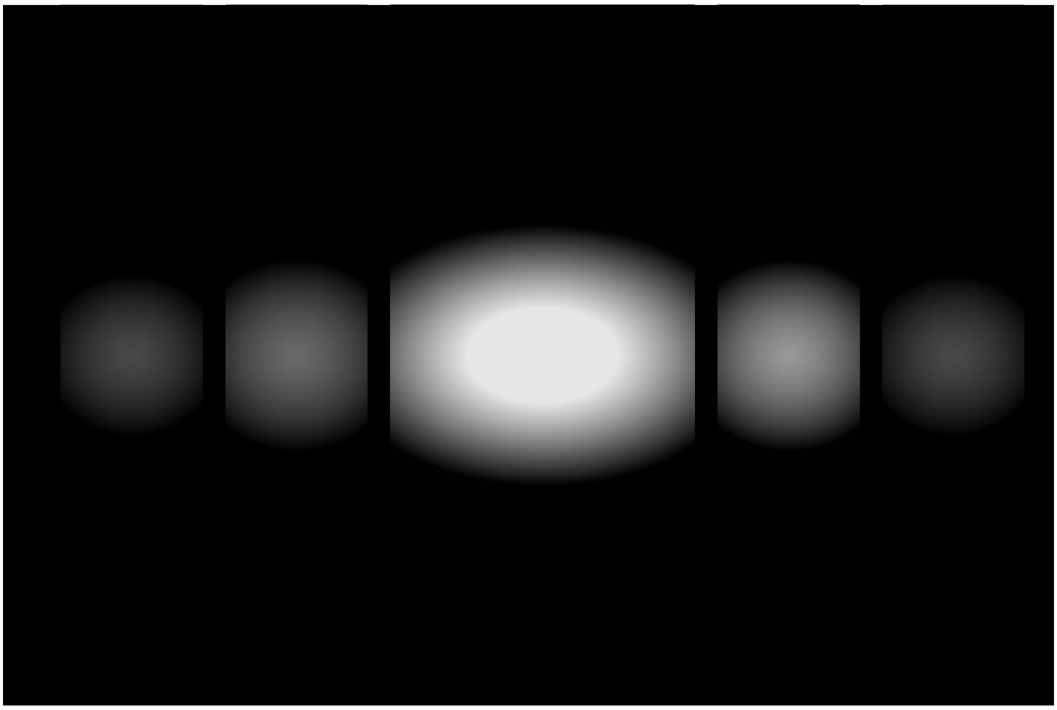
Rys. 1. Obraz dyfrakcyjny obserwowany w Doświadczeniu 1.

Doświadczenie 2
Możemy jednak zrobić inne doświadczenie: zbadać dyfrakcję światła wskaźnika laserowego na pojedynczej szczelinie. Możliwie najwęższą szczelinę zrobimy w folii aluminiowej (najlepiej grubszej, od kwiatów) końcem ostrego noża. Na tę szczelinę skierujemy wiązkę wskaźnika laserowego (Rys. 2.). Obraz w świetle przechodzącym obserwować będziemy w ciemnym pomieszczeniu na białym ekranie (na przykład białych drzwiach).

Uzyskany obraz przedstawia Rys. 3. Obserwujemy jasną plamkę środkową (będziemy ją nazywać maksimum centralnym) oraz coraz ciemniejsze plamki po jej obu stronach (nazywane maksimami bocznymi lub rzędami widma). Pomiędzy nimi występują całkowicie ciemne miejsca – są to minima.



Rys. 2. Schemat Doświadczenia 2.



Rys. 3. Obraz dyfrakcyjny otrzymany w Doświadczeniu 2.

Zasada Huygensa

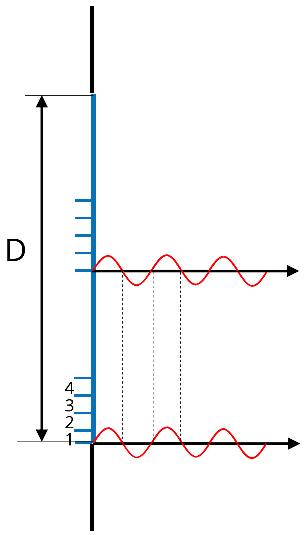
Aby opisać ten obraz – znacznie prostszy niż na Rys. 1. – musimy wprowadzić pewne nowe pojęcia. Posłużymy się zasadą Huygensa, według której, jeśli w przesłonie jest jeden duży otwór, można go potraktować jako sumę wielu małych, stykających się otworków, z których każdy ma rozmiar mniejszy od długości fali świetlnej. Każdy z tych otworków jest źródłem fali kulistej. Fala za dużym otworem może więc być potraktowana jako wynik nałożenia się bardzo wielu fal kulistych, pochodzących od myślowo wyodrębnionych małych otworków, na które podzieliliśmy duży otwór.

Zasadę Huygensa często formułuje się następująco:

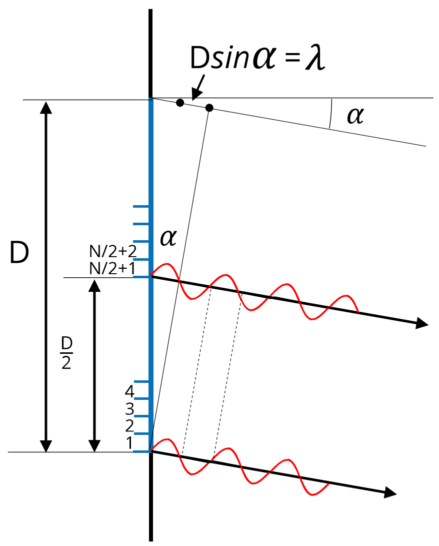
Każdy punkt, do którego dobiegła fala, może być potraktowany jako źródło nowej fali kulistej o częstotliwości równej częstotliwości fali padającej.

Jak opisać dyfrakcję na szczelinie?

Rozważmy szczelinę o szerokości D, którą podzieliliśmy myślowo na wiele elementów (Rys. 4.). Będziemy starali się znaleźć kąt α_1, pod którym można zaobserwować pierwsze minimum.

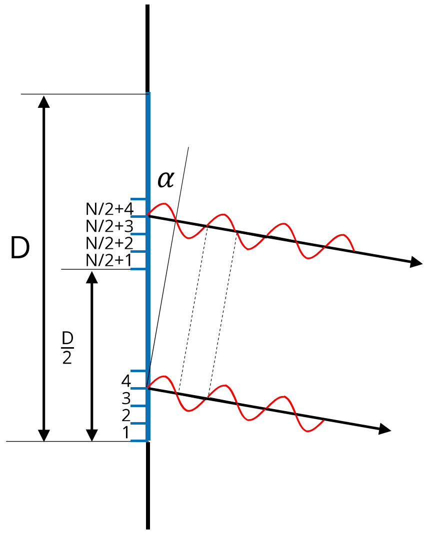


Rys. 4. Rozważmy szczelinę o szerokości D, na którą pada fala płaska. Szczelinę podzieliliśmy myślowo na wiele elementów - każdy z nich, zgodnie z zasadą Huygensa, staje się źródłem fali kulistej. Na rysunku zaznaczono dwie przykładowe fale, obserwowane w kierunku prostopadłym do przesłony.



Rys. 5. Szczelinę podzieliliśmy na parzystą liczbę N równych elementów oraz dwie równe części. Analizujemy wynik interferencji fal cząstkowych w funkcji kąta α pomiędzy linią prostopadłą do przesłony a kierunkiem

obserwacji. Na rysunku przedstawiono sytuację, gdy fala z dolnego elementu 1 znosi się z falą z elementu tuż nad połową szczeliny, czyli elementu o numerze $\frac{N}{2}+1$.



Rys. 6. Dla tego samego kąta α jak na Rys. 5. zniosą się fale z elementów 2 i $\frac{N}{2}+2$, a także 3 i $\frac{N}{2}+3$, 4 i $\frac{N}{2}+4$, itp. Zatem fale z dolnej połowy szczeliny zniosą się z falami z górnej połowy szczeliny - nastąpi wygaszenie fal.

Podzielmy szczelinę na N równych elementów. Dla uproszczenia – niech liczba tych elementów będzie parzysta (na przykład równa 60). Każdy z tych elementów potraktujemy jako źródło nowej fali kulistej (zgodnie z zasadą Huygensa). Przypuśćmy, że do szczeliny dobiega fala płaska. Dociera ona do każdego z elementów w tej samej fazie (na przykład maksimum tej fali dociera do każdego z N elementów jednocześnie). Zatem każde z fikcyjnych źródeł wysyła falę wtórną z taką samą fazą.

Ograniczymy się do sytuacji, kiedy obserwator jest daleko od rozważanego otworu. Wtedy linie łączące środki poszczególnych elementów z punktem obserwacji są w pobliżu szczeliny niemal równoległe. Będziemy analizować wynik interferencji w funkcji kąta α (Rys. 5.) pomiędzy linią prostopadłą do przesłony a kierunkiem obserwacji.

1. Przede wszystkim zauważamy, że dla kierunku na wprost, czyli $\alpha = 0^\circ$, wszystkie fale cząstkowe mają zgodne fazy. Na Rys. 4. – dla uproszczenia – zostały narysowane tylko dwie takie fale. Dla tego kierunku amplituda fali wypadkowej jest równa sumie amplitud fal od poszczególnych elementów. Jest to przypadek maksymalnego wzmocnienia.
2. Można teraz zapytać, dla jakiego kąta α nastąpi pierwsze minimum (wygaszenie fali). Aby to zauważyć, podzielmy szczelinę na dwie równe części (Rys. 5.). Niech kąt α_1 będzie taki, aby fala z dolnego elementu 1 znosiła się z falą z elementu tuż nad połową szczeliny, czyli elementu o numerze $\frac{N}{2}+1$. Rozpatrzmy trójkąt prostokątny, którego

przeciwprostokątna jest równa $\frac{D}{2}$, a jedna z przyprostokątnych równa $\frac{\lambda}{2}$. Zachodzi związek

$$\sin\alpha_1 = \frac{\frac{\lambda}{2}}{\frac{D}{2}} = \frac{\lambda}{D} \qquad (1)$$

Z Rys. 6. widać jednak, że dla tego samego kąta α zniosą się fale z elementów 2 i $\frac{N}{2}+2$, a także 3 i $\frac{N}{2}+3$, 4 i $\frac{N}{2}+4$, itp. Zatem fale z dolnej połowy szczeliny zniosą się z falami z górnej połowy szczeliny – nastąpi wygaszenie fal. A zatem wzór (1) jest warunkiem wystąpienia pierwszego minimum. Wzór ten zapisuje się zwykle w postaci:

$$D\sin\alpha_1 = \lambda.$$

Dzieląc naszą szczelinę na cztery części dostaniemy warunek na wystąpienie drugiego minimum:

$$D\sin\alpha_2 = 2\lambda.$$

Wynikiem takiej samej analizy dla szczeliny podzielonej na sześć części będzie równanie

$$D\sin\alpha_3 = 3\lambda$$

opisujące trzecie minimum.

Możemy zauważyć, że wraz z wzrostem numeru minimum wzrasta czynnik stojący przed długością fali. Możemy tę zależność zapisać w postaci

$$D\sin\alpha_n = n\lambda.$$

Jest to wzór opisujący kąt, pod którym widać n-te minimum na ekranie.

1. Jeśli chcemy napisać analogiczny wzór dla maksimów bocznych, kluczowym jest zauważenie, że maksima boczne występują dokładnie pomiędzy sąsiednimi minimami. Przechodząc ze wzoru opisującego pierwsze minimum $D\sin\alpha_1 = \lambda$ na wzór opisujący drugie minimum $D\sin\alpha_2 = 2\lambda$ musimy prawą stronę równania zwiększyć o α. Aby trafić w maksimum musimy ją zwiększyć o połowę tej wartości, a więc o $\frac{\lambda}{2}$. W ten sposób dostajemy wzór na pierwsze boczne maksimum:

$$D \sin \alpha_1 = \frac{3\lambda}{2}.$$

Podobnie dla drugiego i trzeciego bocznego maksimum otrzymujemy

$$D \sin \alpha_2 = \frac{5\lambda}{2}, \quad D \sin \alpha_3 = \frac{7\lambda}{2}.$$

Tym razem po prawej stronie równania występują tylko nieparzyste wielokrotności połowy długości fali, co możemy przedstawić przy pomocy ogólnego wzoru

$$D \sin \alpha_n = \left(2n + 1\right) \frac{\lambda}{2},$$

który opisuje kąt, pod którym widzimy n-te maksimum boczne.

Słowniczek

Dyfrakcja

(*ang.: diffraction*) zjawisko ugięcia się fali na przeszkodzie lub otworze/szczelinie, na którą trafiła fala.

Zasada Huygensa

(*ang.: Huygens-Fresnel principle*) zasada opisująca sposób rozchodzenia się fali w ośrodku. Mówi ona, że każdy punkt, do którego dobiegła fala, może być potraktowany jako źródło nowej fali kulistej o częstotliwości równej częstotliwości fali padającej.

Film samouczek

Dyfrakcja światła na szczelinie

Polecenie 1

Obejrzyj film, w którym rozwiązano przykładowe zadanie związanie z dyfrakcją światła na szczelinie. Jaki warunek spełnia pierwsze boczne maksimum dyfrakcyjne?

Polecenie 2

Jak zmieni się obserwowany na ekranie obraz dyfrakcji światła na szczelinie, gdy przy tej samej długości fali światła zmniejszymy odległość między szczeliną a ekranem?

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:

Ćwiczenie 1

Ćwiczenie 2

Wskaż zdania fałszywe.

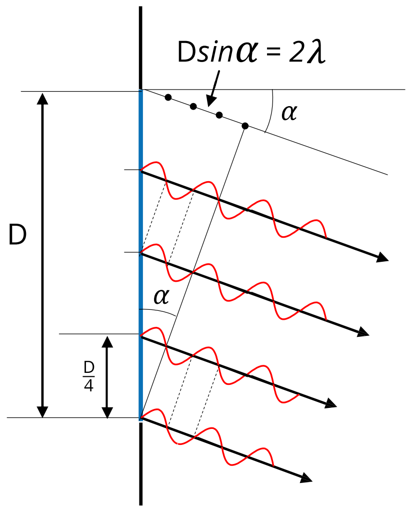
- Zasada Huygensa mówi o rozprzestrzenianiu się fali po dotarciu do nowego punktu.
- Pod kątem $\alpha = 0^{\circ}$ zawsze obserwujemy wzmocnienie fali.
- Jeśli zwiększymy długość fali światła, którym świecimy na szczelinę, to pierwsze boczne maksimum zbliży się od środka.
- Szerokość szczeliny nie ma wpływu na wyświetlany obraz na ekranie za szczeliną.
- Drugie boczne maksimum jest obserwowane pod większym kątem niż pierwsze.

Ćwiczenie 3

Ćwiczenie 4

Ćwiczenie 5

Możemy podzielić szczelinę nie na dwie, ale na cztery równe części (rysunek) i dobrać tak kąt α, aby fale z najniższej ćwiartki znosiły się z falami z ćwiartki drugiej od dołu, a fale z ćwiartki trzeciej znosiły się z falami z ćwiartki czwartej. Jaki otrzymamy wtedy warunek znikania fali?

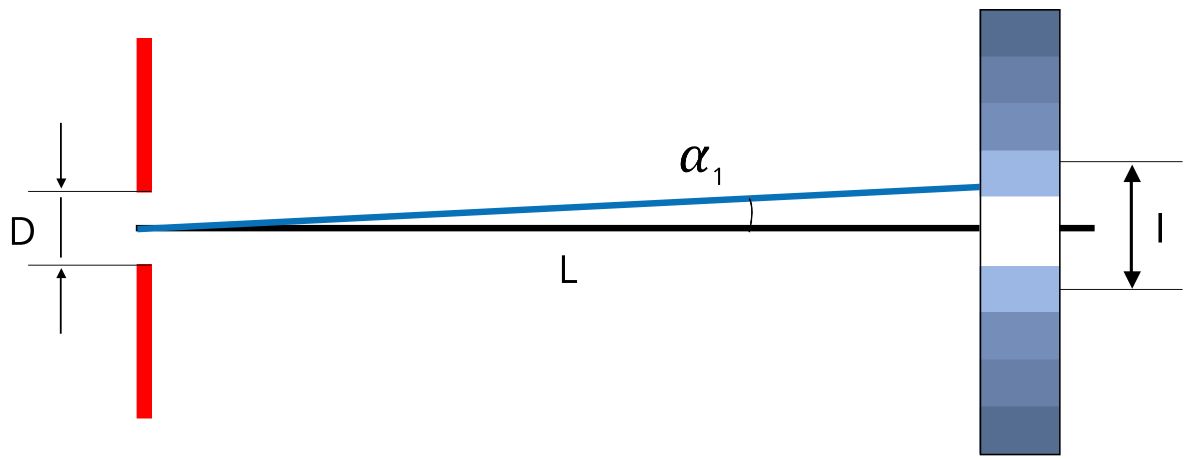


Rys.7

Ćwiczenie 6

Szczelinę z zadania 5. możemy podzielić, z podobnym skutkiem, na 6 części, 8 części itd. Jaki warunek znikania fali uzyskalibyśmy, dzieląc szczelinę na $2n$ części?

Ćwiczenie 7



Ćwiczenie 8

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Józef Ginter, Michał Kurek
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	**Dyfrakcja na szczelinie oraz siatce dyfrakcyjnej**
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa:	**Cele kształcenia – wymagania ogólne** II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. III. Planowanie i przeprowadzanie obserwacji lub doświadczeń oraz wnioskowanie na podstawie ich wyników. **Zakres rozszerzony** **Treści nauczania – wymagania szczegółowe** I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu; X. Fale i optyka. Uczeń: 8) opisuje jakościowo związek pomiędzy dyfrakcją na szczelinie a szerokością szczeliny i długością fali.
Kształtowane kompetencje kluczowe:	**Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.:** • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

Cele operacyjne:	Uczeń: 1. objaśnia, jak obliczyć kąt, pod którym widać wzmocnienie fali światła rozproszonego na pojedynczej szczelinie i siatce dyfrakcyjnej. 2. formułuje zasadę Huygensa. 3. objaśnia mechanizm powstawania wzmocnień i wygaszeń na szczelinie dyfrakcyjnej. 4. analizuje i interpretuje wynik dyfrakcji światła na szczelinie.
Strategie nauczania:	Strategia eksperymentalno-obserwacyjna.
Metody nauczania:	Wykład informacyjny, wyciąganie wniosków z doświadczeń
Formy zajęć:	Praca indywidualna
Środki dydaktyczne:	Siatka dyfrakcyjna z jedną, dwiema, trzema i wieloma szczelinami, laser lub wskaźnik laserowy
Materiały pomocnicze:	e-materiał „Jak w sposób jakościowy opisać związek między dyfrakcją na szczelinie a szerokością szczeliny i długością fal?”
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Nauczyciel w zaciemnionej klasie prezentuje zjawisko dyfrakcji światła na pojedynczej szczelinie. Uczniowie obserwują obraz dyfrakcyjny. Następnie zamienia pojedynczą szczelinę na podwójną i pyta uczniów o różnicę. Podobnie czyni z potrójną szczeliną oraz pełnoprawną siatką dyfrakcyjną. Uczniowie obserwują kolejne obrazy dyfrakcyjne i odpowiadają na zadane pytania.	
Faza realizacyjna:	

Nauczyciel zapoznaje uczniów z zasadą Huygensa i jej zastosowaniem w przypadku pojedynczej szczeliny. Prosi uczniów o podanie innego przykładu zastosowania zasady Huygensa. Uczniowie podają przykłady zjawisk, które można wyjaśnić w oparciu o tę zasadę: ugięcie fal na wodzie przy przejściu przez szczelinę, załamanie fali na granicy ośrodków. Następnie nauczyciel wyprowadza wzór na kąt, pod jakim widać boczne maksima i minima, tak jak w części „Przeczytaj”. Pokazuje podobieństwo tego wyprowadzenia do przypadku siatki dyfrakcyjnej. Uczniowie śledzą tok rozumowania i zadają pytania w celu wyjaśnienia niezrozumiałych kwestii. Nauczyciel zachęca do odpowiedzi uczniów, którzy zrozumieli omawiane zagadnienie lub sam udziela wyjaśnień.	
Faza podsumowująca:	
W ramach utrwalenia zdobytych wiadomości i zrozumienia materiału uczniowie rozwiązują zadania 2., 4. oraz 7. z części „Sprawdź się”.	
Praca domowa:	
W ramach pracy domowej uczniowie rozwiązują zadania 1., 5. oraz 6. z części „Sprawdź się”.	
Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium:	Samouczek może posłużyć do sprawdzenia poprawności wykonania doświadczenia z siatką dyfrakcyjną i szczeliną.