

## Badamy zjawisko dyfrakcji i interferencji fal

Stanisław BEDNAREK

Dyfrakcje i interferencje to zjawiska charakterystyczne dla ruchu falowego.

W celu przeprowadzenia doświadczeń potrzebne będą: płaskie naczynie z wodą – może to być kuweta fotograficzna, brytfanna lub miednica, kawałki listewki, plastelina, wskaźnik laserowy, zeszyt, klej do papieru, nożyczki, linijka i kawałek kartonu.

Do naczynia nalewamy wody, tak żeby jej głębokość wynosiła około 2 cm.

Kawałkiem listewki trzymanym poziomo uderzamy rytmicznie o powierzchnię wody. Obserwujemy wodę w naczyniu. Co zauważamy? Widzimy prostoliniowe grzbiety i doliny rozchodzące się po obu stronach listewki. Są to fale płaskie.

Zbadamy teraz, co dzieje się, kiedy fala płaska trafia na przeszkodę. W tym celu do dna naczynia przyklejamy kawałek listewki (rys. 1). Do przyklejenia używamy niewielkich plastelinowych kulek, które rozgniatamy i przyciskamy do dna naczynia oraz listewki (rys. 2). Podobnie jak poprzednio, wytwarzamy falę płaską przez rytmiczne uderzanie listewką o powierzchnię wody. Listewkę uderzającą trzymamy równoległe do przeszkody. Obserwujemy falę rozchodzącą się za przeszkodą. Co widzimy? Fala rozchodząca się za przeszkodą ulega zakrzywieniu, przy czym fala pojawia się również w obszarze zasłoniętym przez listewkę stanowiącą przeszkodę, w którym wydawać by się mogło, że fala nie powinna się rozchodzić (rys. 1). To zjawisko zakrzywienia, czyli ugięcia fali rozchodzącej się za przeszkodą, nazywamy dyfrakcją.

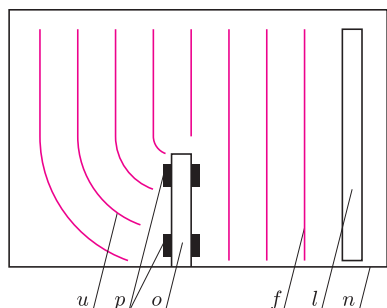
Zobaczymy teraz, co dzieje się, kiedy fala płaska przechodzi przez otwór w przeszkodzie. W tym celu do dna naczynia przyklejamy dwa kawałki listewki, między którymi powinien być odstęp o szerokości 1,5–2,5 cm (rys. 3). Trzeci kawałek listewki ustawiamy równoległe do przeszkody i uderzamy nim rytmicznie o powierzchnię wody, wytwarzając falę płaską. Uważnie obserwujemy falę rozchodzącą się za przeszkodą. Widzimy, że fala ta uległa ugięciu i rozchodzi się w postaci współśrodkowych okręgów. Mówimy, że fala ugięta stała się falą kolistą. Wygląda na to, jakby źródłem fali ugiętej był drgający punkt, znajdujący się w otworze przeszkody. Jest to zasada Huyensa. Zasada ta orzeka, że każdy punkt ośrodka, do którego dochodzi fala, staje się źródłem elementarnej fali kulistej lub kolistej, a obserwowana fala jest wypadkową tych elementarnych fal.

Zbadamy jeszcze falę rozchodzącą się za przeszkodą z dwoma otworami. Tym razem do dna wanienki przyklejamy plasteliną trzy kawałki listewki (rys. 4). Środkowy kawałek listewki powinien mieć długość około 2 cm, a odstępy między listewkami powinny wynosić 1,5–2,5 cm. Uderzając rytmicznie o powierzchnię wody kawałkiem listewki trzymanym równoległe do przeszkody, wytwarzamy falę płaską, padającą na przeszkodę. Co interesującego zauważamy za przeszkodą? Tym razem okazuje się, że w pewnych miejscach za przeszkodą nie występują drgania powierzchni wody, a w innych miejscach drgania te są bardzo wyraźne. Mówimy, że za przeszkodą pojawiają się minima i maksima fali. Obserwowana fala jest wynikiem interferencji, czyli nałożenia się dwóch fal, których źródła znajdują się w otworach przeszkody.

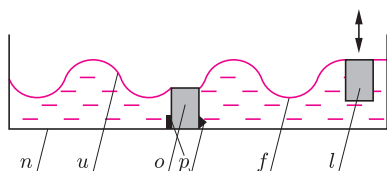
Dotychczas zajmowaliśmy się badaniem dyfrakcji i interferencji fal na wodzie. Były to fale mechaniczne. Teraz zajmiemy się badaniem dyfrakcji i interferencji światła. Światło jest również falą. Jest to jednak fala elektromagnetyczna.

Jej długość jest kilkadziesiąt tysięcy razy mniejsza niż długość fal na wodzie. Dlatego szczeliny i ich odległość, na których będziemy to badali, muszą mieć odpowiednio mniejsze rozmiary. Istnieje kilka skutecznych sposobów wykonania takich szczelin. Zaczniemy od wyznaczenia grubości pojedynczej kartki papieru w zeszytce. W tym celu mierzymy linijką grubość zeszytu bez okładek. Otrzymany wynik dzielimy przez ilość kartek w zeszytce. Dla uzyskania większej dokładności dobrze byłoby mieć grubszy zeszyt, np. osiemdziesięciokartkowy. Jeszcze lepiej byłoby zmierzyć grubość zeszytu suwmiarką lub mikromierzem.

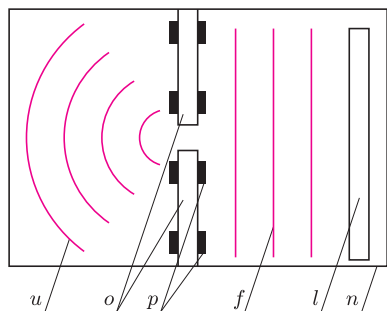
Znając grubość kartki, przystępujemy do wykonania szczelin. W tym celu przycinamy kawałek kartonu o wymiarach  $4 \times 4$  cm i wycinamy w jego środku



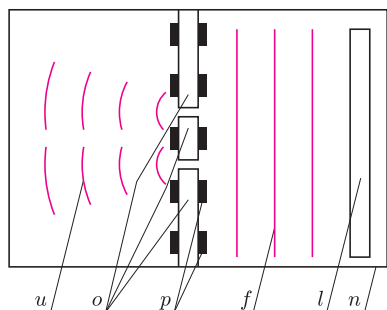
Rys. 1. Układ do badania dyfrakcji fal na brzegu przeszkody widziany z góry;  $n$  – naczynie z wodą,  $l$  – listewka wytwarzająca fale,  $f$  – fala padająca,  $o$  – przeszkoda,  $p$  – plastelina,  $u$  – fala ugięta.



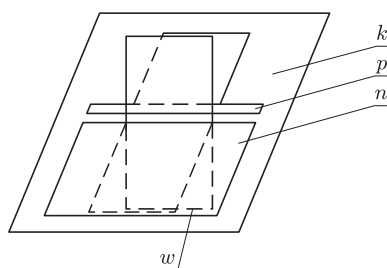
Rys. 2. Układ do badania dyfrakcji fal na brzegu przeszkody widziany w przekroju poprzecznym; znaczenie symboli takie samo, jak na rysunku 1.



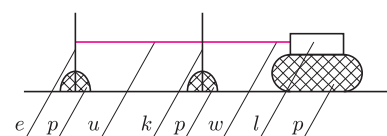
Rys. 3. Układ do badania dyfrakcji fal na szczelinie widziany z góry; znaczenie symboli takie samo, jak na rysunku 1.



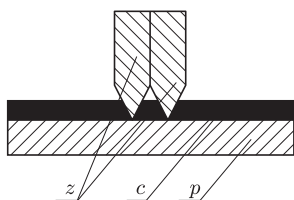
Rys. 4. Układ do badania dyfrakcji i interferencji fal na dwóch szczelinach widziany z góry; znaczenie symboli takie samo, jak na rysunku 1.



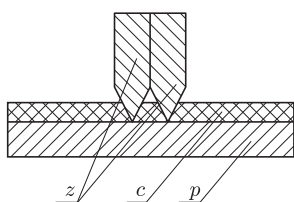
Rys. 5. Sposób wykonania papierowych szczelin; *k* – kwadrat z kartonu z wyciętym okienkiem, *p* – pasek papieru o szerokości 1 mm, *n* – prostokąt o wymiarach  $2 \times 1$  cm, *w* – kwadrat o boku 1 cm.



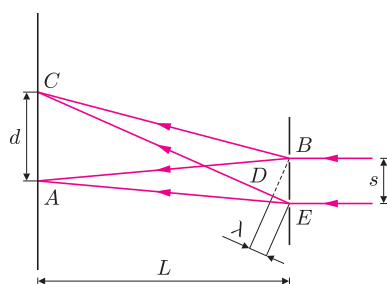
Rys. 6. Układ do badania dyfrakcji i interferencji fal świetlnych widziany z boku; *l* – wskaźnik laserowy, *p* – plastelina, *w* – wiązka światła padająca, *k* – karton ze szczelinami, *u* – wiązka światła ugięta, *e* – ekran.



Rys. 7. Sposób wykonania dwóch szczelin na okopconym szkiełku, *z* – żyłetki, *s* – warstwa sadzy, *p* – szkiełko.



Rys. 8. Sposób nacięcia szczelin na kawałku kartonu, *z* – żyłetki, *c* – kawałek kartonu, *p* – drewniana lub tekturowa podkładka.



Rys. 9. Wielkości niezbędne do wyznaczenia długości fali światła.

kwadratowe okienko o wymiarach  $1 \times 1$  cm. Następnie, na jednej z kartek o znanej grubości rysujemy pasek o szerokości 1 mm i długości 2 cm. Szerokość paska staramy się jak najdokładniej odmierzyć linijką. Nożyczkami odcinamy ten pasek i przyklejamy go w połowie szerokości okienka do kartonu (rys. 5). Z kartki papieru przycinamy jeszcze dwa prostokąty o wymiarach  $2 \times 1$  cm i kwadrat o boku 1 cm. Kwadrat przykładamy prostopadłe do paska papieru o szerokości 1 mm przyklejonego do okienka, tak jak pokazano to na rysunku 5. Do kwadratu przykładamy posmarowany klejem jeden z prostokątów i przyklejamy go do kartonu. Następnie usuwamy kwadrat. Dzięki temu uzyskaliśmy szczelinę o grubości kartki papieru i długości 1 cm. W ten sam sposób wykonujemy drugą szczelinę.

Mając kawałek kartonu z dwiema szczelinami, przystępujemy do zestawienia układu doświadczalnego (rys. 6). Z plasteliny formujemy prostopadłościenną podstawkę o wysokości 2 cm i umieszczamy ją na stole, a następnie układamy na niej wskaźnik laserowy. Przed wskaźnikiem kładziemy plastelinową kulkę, którą rozgniatamy i osadzamy w niej pionowo kawałek kartonu z dwiema szczelinami. Z kartonu odcinamy jeszcze pasek o długości 30 cm i szerokości 4 cm. Pasek ten będzie stanowił ekran, który osadzamy pionowo w dwóch rozgniecionych kulkach z plasteliny, umieszczonych w odległości kilkudziesięciu centymetrów przed kawałkiem kartonu ze szczelinami.

Mając zestawiony układ doświadczalny, włączamy wskaźnik laserowy i sprawdzamy, czy wiązka światła pada dokładnie na karton z dwiema szczelinami oraz ewentualnie korygujemy ustawienie wskaźnika. Oglądamy obraz uzyskany na kartonowym ekranie. Powinniśmy zobaczyć kilka równoległych pionowych prążków, rozmieszczonych w równych odstępach. Są one wynikiem interferencji wiązki światła laserowego na dwóch szczelinach. Podobne doświadczenie zostało wykonane na początku XIX wieku przez Younga. Wyznaczamy jeszcze odległość między prążkami. Żeby tego dokonać, mierzymy linijką odległość między skrajnymi prążkami i liczymy ilość prążków. Odległość między skrajnymi prążkami dzielimy przez liczbę prążków pomniejszoną o jeden i otrzymujemy odległość między sąsiednimi prążkami.

Dwie wąskie szczeliny, znajdujące się w małej odległości od siebie, możemy wykonać także innymi sposobami. W tym celu potrzebne będą dwie żyłetki i szkiełko przedmiotowe, używane do badań mikroskopowych lub inny kawałek szkła oraz świeczka. Szkiełko umieszczamy nad płomieniem świeczki i powodujemy jego okopcenie. Całe szkiełko powinno pokryć się równomiernie warstwą sadzy. Następnie składamy razem dwie żyłetki i przesuwamy ich ostrzami po okopconym szkiełku (rys. 7). W ten sposób otrzymujemy w sadzy dwie rysy, których odległość równa jest grubości żyłetki. Jeszcze innym sposobem wykonania dwóch rys jest nacięcie ich na kawałku kartonu za pomocą złożonych żyłek (rys. 8). Żeby to wykonać, kładziemy kawałek kartonu na drewnianej lub tekturowej podkładce i przesuwamy po kartonie kilkakrotnie ostrzami dwóch złożonych żyłek prowadzonych wzdłuż linijki. Również w tym przypadku odległość rys równa jest grubości żyłetki. Grubość ta zmierzona mikromierzem wynosi dla typowej żyłetki 0,082 mm.

Znając odległość między szczelinami *s*, odległość sąsiednich prążków *d* oraz odległość ekranu od kawałka kartonu ze szczelinami *L*, możemy obliczyć długość fali światła  $\lambda$ , które wysłał laser. W tym celu popatrzmy na rysunek 9. Z dobrym przybliżeniem otrzymujemy następującą zależność

$$(*) \quad \lambda = \frac{d}{L} s.$$

Odległość między szczelinami *s* w przypadku ich wykonania przez przyklejenie papierowych prostokątów równa jest jeden milimetr plus grubość kartki papieru zeszytowego. W przypadku wykonania szczelin dwiema złożonymi żyłetkami ich odległość równa jest podanej grubości żyłetki. Odległość między sąsiednimi prążkami *d* wyznaczyliśmy już wcześniej. Pozostaje nam odległość ekranu od kawałka kartonu ze szczelinami *L*, którą możemy łatwo zmierzyć linijką. W ten sposób otrzymaliśmy wszystkie niezbędne wielkości. Ich wartości podstawiamy do wzoru (\*) i obliczamy długość fali światła  $\lambda$ .