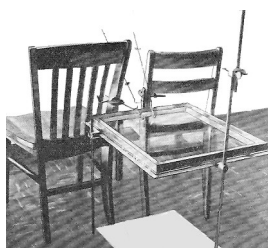




O interferencji nieco inaczej

Juliusz Domański

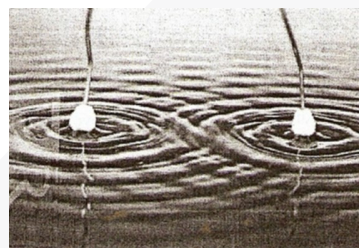
Omawiając fale mechaniczne, nie mamy większych problemów z zademonstrowaniem ich interferencji. Wystarczy niewielkie okno i żarówka z krótkim włóknem (rys. 1). Doskonale nadają się do tego żarówki 100 W, 12 V stosowane w rzutnikach do przezroczy.



Rys. 1



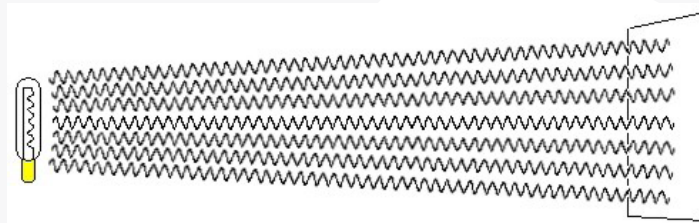
Rys. 2



Rys. 3

Szyba powinna być ustawiona dokładnie w poziomie. Warstwa wody na szybie powinna mieć 15-20 mm. Przy pewnej wprawie fale można wzbudzać ręcznie za pomocą kawałka drutu wygiętego w kształcie odwróconej litery V. W zestawie pokazanym na rysunku żarówka (niewidoczna) znajduje się nad oknem. Można też umieścić ją na podłodze (wtedy projekcja będzie na sufit). Uzyskany obraz widzimy na rysunku 2. W naturze interferencję fal często możemy zobaczyć na spokojnej wodzie (rys. 3). Nie zawsze jednak zwracamy na to uwagę.

Przechodząc do optyki fizycznej, natrafiamy na problem: skoro światło jest falą, to dlaczego, gdy na ścianę pada promieniowanie od dwóch żarówek, nie widzimy efektu interferencji. Przekonałem się wielokrotnie, że uczniowie wyobrażają sobie fale świetlne emitowane przez żarówkę (lub inne źródło światła) jako nieskończone ciągi falowe (rys. 4). Być może przyczynia się do tego rysowanie w optyce geometrycznej linii obrazujących trajektorie „promieni świetlnych”.



Rys. 4

Proponuję już na wstępie do optyki fizycznej powiedzieć uczniom, że światło ma własności fali. Zostało to potwierdzone doświadczalnie. My również przekonamy się o tym w jednym z doświadczeń. Ponadto światło ma też własności cząstki, która posiada określoną energię i pęd. To też potwierdzono doświadczalnie (w szkole nie uda się jednak wykonać odpowiedniego eksperymentu). Spotykamy się tu z własnością materii nieujawniającą się w świecie obiektów makroskopowych, nazwaną (niezbyt poprawnie) dualizmem korpuskularno-falowym. Pewną analogią (aczkolwiek niedoskonałą) może być moneta – widzimy orła lub reszkę, ale nigdy orła i reszkę równocześnie.



Źródłem promieniowania żarówki nie jest spirala wolframowa jako całość, ale jej poszczególne atomy. Drgające w wysokiej temperaturze atomy wolframu zderzają się. Na skutek tych zderzeń niektóre z nich uzyskują pewien nadmiar energii, której pozbywają się, wysyłając promieniowanie elektromagnetyczne (światło).

Rozpatrzmy to zjawisko na przykładzie żarówki o mocy 100 W. Jej wydajność świetlna wynosi około 4%¹. Oznacza to, że w każdej sekundzie emitowane przez nią promieniowanie (z zakresu widzialnego) unosi energię około 4 J.

Energia kwantu (porcji) promieniowania

$$E_{\nu} = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Średnia długość fali z zakresu widzialnego to $0,5 \mu\text{m} = 5 \cdot 10^{-7} \text{m}$. Zatem energia kwantu

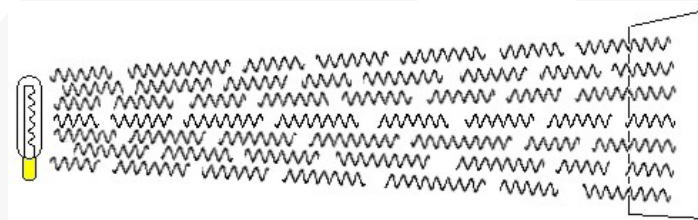
$$E_{\nu} = \frac{1,05 \cdot 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{5 \cdot 10^{-7} \text{m}} = 0,63 \cdot 10^{-19} \text{J}$$

Liczba fotonów opuszczających żarówkę o mocy 100 W w ciągu 1 sekundy to

$$n = \frac{4 \text{J}}{0,63 \cdot 10^{-19} \text{J}} = 6,35 \cdot 10^{19}$$

czyli ponad 63 miliardy miliardów fotonów mknących z zawrotną szybkością 300 000 km/s!

Zatem strumień światła opuszczający żarówkę należy sobie wyobrazić raczej tak, jak na rysunku 5. Jasne jest teraz, dlaczego w spotykanych na co dzień warunkach nie obserwujemy interferencji światła. Wynik nałożenia się fal w danym punkcie zmienia się z tak wielką częstotliwością, że nie tylko oko, ale i żaden z dotychczas skonstruowanych przyrządów, nie potrafi tych zmian zarejestrować. Interferencja światła jest nieobserwowalna. Można by ją zaobserwować jedynie wówczas, gdybyśmy potrafili wytworzyć wiązkę światła, w której różnica faz pomiędzy poszczególnymi „falkami” byłaby stała w czasie. Źródłem takiego światła jest laser. Mówimy, że laser emituje światło spójne.

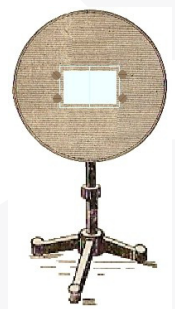


Rys. 5

Teraz czas na doświadczenie. Istnieje kilka sposobów pokazania interferencji światła – pojedyncza i podwójna szczelina, zwierciadło Lloyd’a, zwierciadło Fresnela, bipryzmat Fresnela, cienkie warstwy (rys. 6). Najprostsze w wykonaniu i najbardziej zrozumiałe dla uczniów jest doświadczenie z bipryzmatem Fresnela. Tylko skąd go wziąć? Bipryzmaty (rys. 7) były co prawda produkowane przez Zakład Pomocy Naukowych Edmunda Romera we Lwowie (kiedyś udało mi się taki zdobyć),



Rys. 6



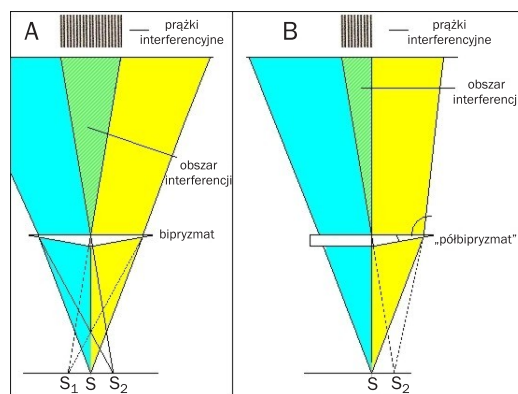
Rys. 7

¹ Pieńkowski Stefan, *Fizyka doświadczalna*, t. III, PWN, Warszawa 1955.



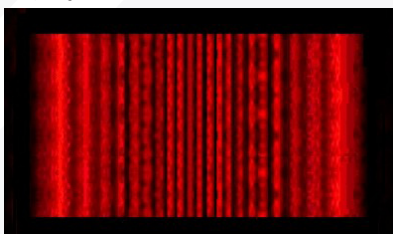
ale prawdopodobnie bardzo niewiele zachowało się do dziś. Od kilkunastu lat działają na naszym rynku firmy zachodnie (Pasco, Phylve, Leybold), ale ich produkty są bardzo drogie (a nasze szkoły wyjątkowo biedne).

Tymczasem „półbipryzmat” można mieć dosłownie za darmo. Ja swój, działający całkiem dobrze, znalazłem na śmietniku. Był to po prostu kawałek lustra z lekko ściętym ukośnie brzegiem (oczywiście musiałem usunąć metaliczną warstwę odbijającą). Kąt α powinien być bardzo mały. W moim przypadku wynosił około 5° . W oryginalnych bipryzmatkach jest on przynajmniej dwukrotnie mniejszy. Ponieważ nasz „półbipryzmat” nie ma jeszcze przyjętej nazwy, niech nosi miano pryzmatu Juliusza. Rysunek 8A przedstawia schemat działania bipryzmatu Fresnela. Jak widać, rzeczywiste źródło S zostało tu zastąpione źródłami pozornymi S_1 i S_2 . Schemat działania pryzmatu Juliusza to rysunek 8B. Tu interferują wiązki ze źródła rzeczywistego S i źródła pozornego S_2 .

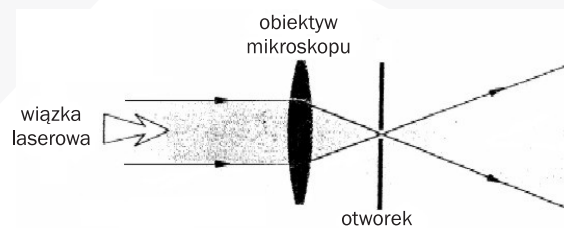


Rys. 8

Do wykonania doświadczenia potrzebny będzie laser. Może być taki *made in China* kupiony w kiosku za 6-7 zł i krótkoogniskowa soczewka do poszerzenia wiązki laserowej. Uzyskane prążki interferencyjne widzimy na fotografii pokazanej na rysunku 9. Na zdjęciu widać szumy optyczne. Ich źródłem są zanieczyszczenia (kurz), a także niedoskonałości optyki lasera. Za szumy mogą też być odpowiedzialne odbicia od ścianek wewnętrznych lasera. Szum w znacznym stopniu daje się usunąć za pomocą filtra przestrzennego (rys. 10). Otrzymamy jednak znacznie ciemniejszy obraz.



Rys. 9



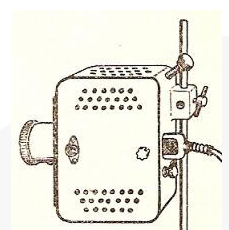
Rys. 10

Doświadczenie można też wykonać ze światłem białym. Źródłem musi być wąska, silnie oświetlona szczelina. Do jej oświetlenia używałem żarówki o mocy 600 W (rys. 11) stosowanej w rzutnikach pisma. Żarówkę umieściłem w nieużywanej już obudowie lampy łukowej (rys. 12). Warunek powodzenia to dobre zaciemnienie i równoległość szczeliny i grzbietu pryzmatu.

Raczej trudno jest liczyć na znalezienie na śmietniku odpowiedniego kawałka lustra. Jednak dobrze wyposażony zakład szklarski może nam za kilka złotych wykonać odpowiedni szlif na niewielkim kawałku szkła.



Rys. 11



Rys. 12