

**XXXI OLIMPIADA FIZYCZNA (1981/1982). Stopień III, zad. doświadczalne – D.**

**Źródło:** Komitet Główny Olimpiady Fizycznej;  
Andrzej Kotlicki, Andrzej Nadolny: *Fizyka w Szkole* nr 5, 1982;  
Andrzej Nadolny, Krystyna Pniewska: Olimpiady Fizyczne XXIX – XXXI,  
WSiP, Warszawa 1986, str. 198–201.

**Nazwa zadania:** Badanie chropowatości płytki za pomocą światła lasera

**Działy:** Optyka

**Słowa kluczowe:** wiązka światła, laser, kąt padania, graniczny, długość fali, droga optyczna, chropowatość, płytka, interferencja.

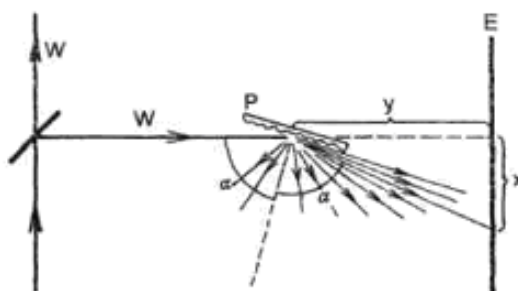
**Zadanie doświadczalne – D, zawody III stopnia, XXXI OF.**

Mając do dyspozycji: wiązkę światła laserowego o długości fali  $\lambda = 0,6328 \mu\text{m}$ , płytkę o chropowatej powierzchni, ekierkę, papier milimetrowy, kawałek białego kartonu z otworem, kawałek białego kartonu, plastelinę do mocowania elementów, oszacuj głębokość chropowatości płytki.

*Uwaga:* Patrzenie wprost w wiązkę jest niebezpieczne dla wzroku.

**Rozwiązanie**

Schemat układu doświadczalnego przedstawia rysunek 1.



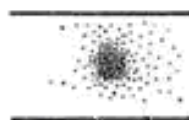
Rys. 1.

Wiązka lasera W za pomocą szklanych płytek (mikroskopowe szkiełka przykrywkowe) odpowiednio ustawionych przez organizatorów, została rozdzielona na poszczególne stanowiska pomiarowe. Umieszczenie płytki P na papierze milimetrowym oraz pomiar odległości  $x$ ,  $y$  umożliwi wyznaczenie kąta odbicia wiązki światła od badanej płytki.

Dla dużych kątów padania  $\alpha$  ( $90^\circ - 70^\circ$ ) obraz wiązki odbitej obserwowanej na ekranie był ostry i wyraźny (wyraźna plamka – rys. 2b). Dla małych kątów ostry obraz plamki zniknął i można było jedynie zaobserwować (odpowiednio zaciemniwszy układ czarnym papierem) światło rozproszone odbite od płytki (rys. 2a).



Rys. 2a.



Rys. 2b.

Przy użyciu dostępnych przyrządów łatwo można było wyznaczyć kąt graniczny  $\alpha_0$ , przy którym wyraźny obraz wiązki na ekranie zniknął. Można było także stwierdzić doświadczalnie, że jeżeli na ekranie obserwuje się ostry obraz wiązki, to kąt padania wiązki na płytkę jest równy jej kątowi odbicia.

Trzeba było następnie opracować model obserwowanego zjawiska, który pozwalałby powiązać obserwacje doświadczalne (wartość kąta  $\alpha_0$ ) z głębokością chropowatości  $h$  badanej płytki.

Wiadomo, że wiązka światła, padając na granicę dwóch ośrodków, odbija się. W zależności od charakteru powierzchni, rozdzielającej dwa ośrodki, może zachodzić odbicie zwierciadlane lub rozproszeniowe (dyfuzyjne). Odbicie zwierciadlane zachodzi wówczas, gdy powierzchnia odbijająca jest gładka w porównaniu z długością fali padającej, tzn. nierówności na tej powierzchni są znacznie mniejsze od długości fali. W przypadku, gdy nierówności mają rozmiary porównywalne z długością fali  $\lambda$  i rozłożone są przypadkowo, zachodzi dyfuzyjne odbicie światła dające w efekcie rozproszenie.

Należy zauważyć, że to, jak duże nierówności powierzchni „widzi” światło, zależy od kąta padania wiązki na płytkę. Miarą „widzianych” przez światło chropowatości jest różnica dróg optycznych, jaka powstaje przy odbiciu na nierównościach.

Założmy, że powierzchnia płytki jest w miarę regularnym ciągiem „wierzchołków” i „dolin”. Przy dużych kątach światło odbija się od wierzchołków, a wewnątrz dolin pozostają w cieniu. Przy małych kątach padania światło odbija się od wierzchołków i dna dolin, obserwujemy wygaszanie się promienia odbitego.

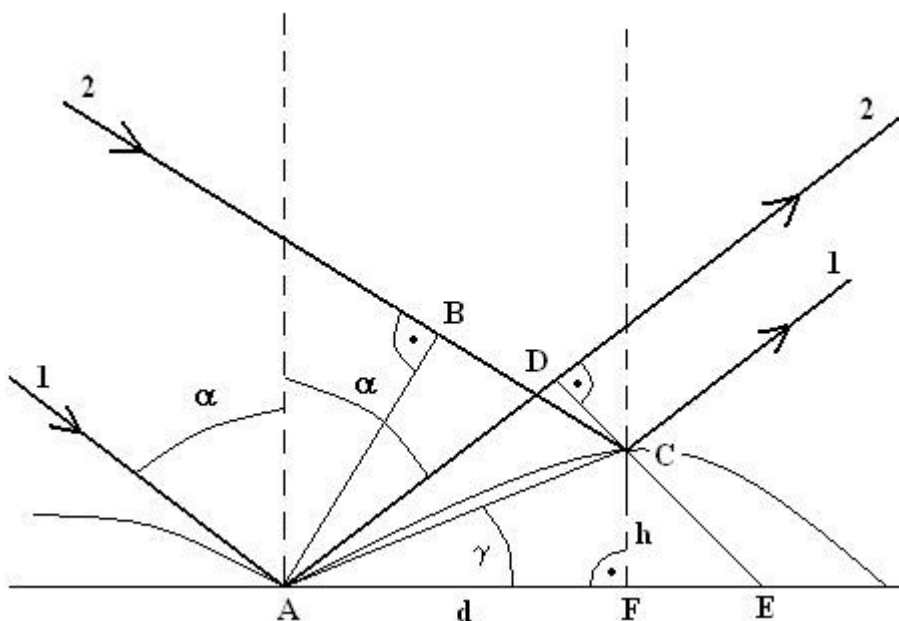
Rozpatrzmy dwa promienie wiązki, odbite od najniższego i najwyższego elementu badanej powierzchni, leżących obok siebie. Przyjmijmy oznaczenia jak na rysunku 3.

Różnica dróg optycznych dla rozpatrywanych promieni wynosi:

$$\Delta = AD - BC \quad (1)$$

Z prostych rozważań geometrycznych mamy:

W  $\triangle ADE$  kąt  $ADE = 90^\circ$ , kąt  $DEA = \alpha$ .



Rys. 3.

$$AD = (d + FE) \sin \alpha + FE \sin \alpha$$

Ponieważ z  $\triangle ADE$   $FE = h \operatorname{ctg} \alpha$  to

$$AD = d \sin \alpha + h \cos \alpha \quad (2)$$

W  $\triangle ABC$  kąt  $ABC = 90^\circ$ , kąt  $BCA = (90^\circ - \alpha + \gamma)$ .

$$BC = AC \cos(90^\circ - \alpha + \gamma) = AC \sin(\alpha - \gamma) = AC (\sin \alpha \cdot \cos \gamma - \cos \alpha \cdot \sin \gamma).$$

Ponieważ z  $\triangle AFC$ :

$$AC = \frac{d}{\cos \gamma} - \frac{h}{\sin \gamma}$$

to:

$$BC = d \sin \alpha - h \cos \alpha \quad (3)$$

a ostatecznie różnica dróg optycznych  $\Delta$  na podstawie (1), (2), (3) wynosi:

$$\Delta = 2h \cos \alpha \quad (4)$$

gdzie:  $h$  – głębokość chropowatości,  $\alpha$  – kąt padania.

Zauważmy, że różnica dróg optycznych zależy jedynie od kąta padania oraz głębokości chropowatości  $h$ , a nie zależy  $d$ .

W zależności od różnicy dróg optycznych mamy:

1) Jeżeli  $\Delta \ll \lambda$ , tzn. różnica dróg optycznych  $\Delta$  będzie dużo mniejsza od długości fali światła padającego  $\lambda$ , to interferencja będzie zawsze konstruktywna, i uzyskamy odbicie zwierciadlane od płytki.

Wtedy:

$$2h \cos \alpha \ll \lambda$$

a

$$\cos \alpha \ll \frac{\lambda}{2h}$$

Ostatnie równanie pokazuje, że nawet dla dużych  $h$  zawsze można tak zwiększyć kąt  $\alpha$ , aby spełniony był warunek  $\Delta < \lambda$

2) Jeżeli  $\Delta \approx \lambda$ , tzn. różnica dróg optycznych stanie się rzędu długości fali, wówczas obraz plamki zacznie znikać, co odpowiada kątowi granicznemu  $\alpha_0$ .

Wtedy:

$$2h \cos \alpha_0 \approx \lambda$$

Skąd

$$\cos \alpha_0 \approx \frac{\lambda}{2h}$$

Otrzymujemy zatem oszacowanie:

$$h < \frac{\lambda}{2 \cos \alpha_0} \quad (5)$$

Jeżeli założymy, tworząc nasz model zjawiska, że większość chropowatości płytki ma zbliżoną głębokość, to możemy powiedzieć, że obraz interferencyjny zacznie znikać dla  $\Delta = \frac{\lambda}{2}$

(interferencja destruktywna). Otrzymamy stąd oszacowanie:

$$h \approx \frac{\lambda}{4 \cos \alpha_0}$$

Oba powyższe rozumowania w pracach były uznawane za poprawne.

Błędne było natomiast założenie, że wyraźny obraz wiązki związany jest z pierwszym maksimum interferencyjnym  $\Delta \approx \lambda$ . Musielibyśmy bowiem w takim przypadku obserwować dla kąta większego pierwsze minimum interferencyjne ( dla  $\Delta = \lambda/2$ .), co nie było zgodne z obserwacjami.

Wyznaczona tą metodą przybliżona głębokość chropowatości wynosiła około 0,2 – 0,3  $\mu\text{m}$ .

### **Uwagi**

Ogólnie zadanie wypadło słabo. Do najczęstszych błędów należało traktowanie płytki jako płaskiej siatki dyfrakcyjnej o odległościach „szczelin”  $d$ . Zawodnicy mieli duże kłopoty z obliczeniem różnicy dróg optycznych.

Należy podkreślić, że zawodnicy nie radzili sobie ze stworzeniem odpowiedniego modelu zjawiska. Być może w programie szkolnym nie dość duży nacisk kładzie się na podkreślenie faktu, że dokładny matematyczny opis zjawisk fizycznych możliwy jest jedynie na podstawie uproszczonych wyidealizowanych modeli rzeczywistych układów spotykanych w przyrodzie.