

Ćwiczenie O3

Wyznaczanie zależności współczynnika załamania światła od długości fali światła

O3.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zbadanie zależności współczynnika załamania światła od długości fali światła.

O3.2. Zagadnienia związane z tematyką ćwiczenia

- Falowa natura światła,
- światło jako część promieniowania elektromagnetycznego,
- światło białe,
- zjawisko załamania światła,
- prawo załamania światła,
- współczynnik załamania światła,
- wzór Cauchy'ego dla współczynnika załamania,
- dyspersja,
- zasada Huygensa,
- kąt łamiący pryzmatu,
- bieg promieni świetlnych w pryzmacie,
- metoda najmniejszych kwadratów.

O3.3. Literatura

- [1] Halliday D., Resnick R., Walker J.: *Podstawy fizyki, cz. 2 i cz. 4*, PWN, Warszawa.
- [2] Szczeniowski S., *Fizyka doświadczalna, cz. 4*, PWN, Warszawa.
- [3] *Metody wykonywania pomiarów i szacowania niepewności pomiarowych*, <http://ftims.pg.edu.pl/documents/10673/20436990/wstep.pdf>

O3.4. Przebieg ćwiczenia i zadania do wykonania

Układ doświadczalny

Rysunek O3.1 przedstawia zdjęcie układu pomiarowego, który składa się ze źródła światła **1**, kolimatora **2**, obrotowego stolika **3**, na którym umieszczony jest pryzmat **4** i obrotowej lunety **5**.



Rysunek O3.1. Zdjęcie układu pomiarowego

Przebieg doświadczenia – wyznaczenie kąta łamiącego pryzmatu

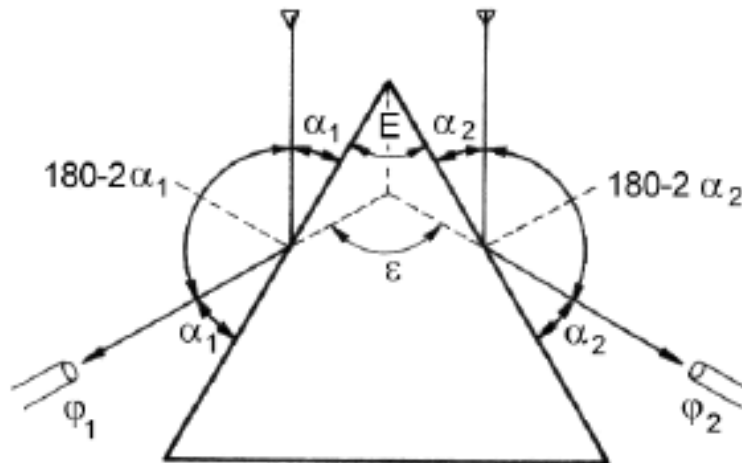
Ustawiamy pryzmat krawędzią łamiącą w kierunku oświetlonej szczeliny kolimatora. Znajdujemy obrazy szczeliny utworzonej przez wiązkę odbitą od ścian tworzących krawędź łamiącą. Odczytujemy na skali kątowej położenia lunety φ_1 i φ_2 (rysunek O3.2):

$$E = \alpha_1 + \alpha_2, \quad (\text{O3.1})$$

$$\varepsilon = 360 - (180 - 2\alpha_1 + 180 - 2\alpha_2) = 2E, \quad (\text{O3.2})$$

$$\varepsilon = |\varphi_1 - \varphi_2|, \quad (\text{O3.3})$$

$$E = \frac{1}{2} |\varphi_1 - \varphi_2|. \quad (\text{O3.4})$$



Rysunek O3.2. Wyznaczenie kąta łamiącego pryzmatu

Przebieg doświadczenia – wyznaczenie zależności $n(\alpha)$

Ustawiamy lunetę bezpośrednio na szczelinę kolimatora **K** (bez pryzmatu) i odczytujemy kąt położenia lunety. Ustawiając następnie pryzmat w stosunku do osi kolimatora, jak pokazano na rysunku O3.3, otrzymamy rozszczepienie światła na barwne prążki. Obracając powoli stolikiem wraz z pryzmatem wokół jego osi pionowej, zauważymy przesuwanie się widma w polu widzenia lunety w kierunku kolimatora. W pewnym położeniu lunety widmo zatrzymuje się i zawraca, mimo że kierunek obrotu stolika pozostaje niezmienny – jest to położenie minimalnego odchylenia. Stabilizujemy stolik w tym położeniu i odczytujemy kąt położenia lunety dla poszczególnych prążków barwnych. Pomiar wykonujemy dla długości fal odpowiadających prążkom o określonej barwie, które zostały przedstawione w tabeli O3.4.

Zadania do wykonania

- O3.1. Wyznaczyć na podstawie wzoru (O3.4) wartość kąta łamiącego pryzmatu E (pomiar wykonać pięciokrotnie).
- O3.2. Wyznaczyć współczynnik załamania światła n w zależności od długości fali λ .
- O3.3. Sporządzić wykres zależności $n^2 = f(1/\lambda^2)$. Na wykresie zaznaczyć niepewności $\Delta(n^2)$.

Barwa prążka	Długość fali [μm]
fioletowy	0,45
niebieski	0,47
jasnoniebieski	0,50
zielony	0,53
żółty	0,59
pomarańczowy	0,61
czerwony	0,63

Tabela O3.1. Barwy prążków w obserwowanym widmie i odpowiadające im długości fali światła

O3.4. Sprawdzić, czy dyspersja ośrodka, z którego wykonany jest pryzmat, może być opisana wzorem Cauchy'ego w całym zakresie stosowanych w ćwiczeniu długości fal światła. Określić czy jest to dyspersja normalna, czy anomalna.

O3.5. Wyznaczyć na podstawie sporządzonego wykresu (lub w oparciu o metodę najmniejszych kwadratów) wartości stałych A i B we wzorze Cauchy'ego dla materiału, z którego wykonany jest pryzmat.

Uzupełnienie do zadania O3.2

Po przejściu przez pryzmat o kącie łamiącym E , promień światła ulega odchyleniu od kierunku padania o kąt δ (rysunek O3.4).

$$\delta = \alpha_1 - \beta_1 + \alpha_2 - \beta_2, \quad (\text{O3.5})$$

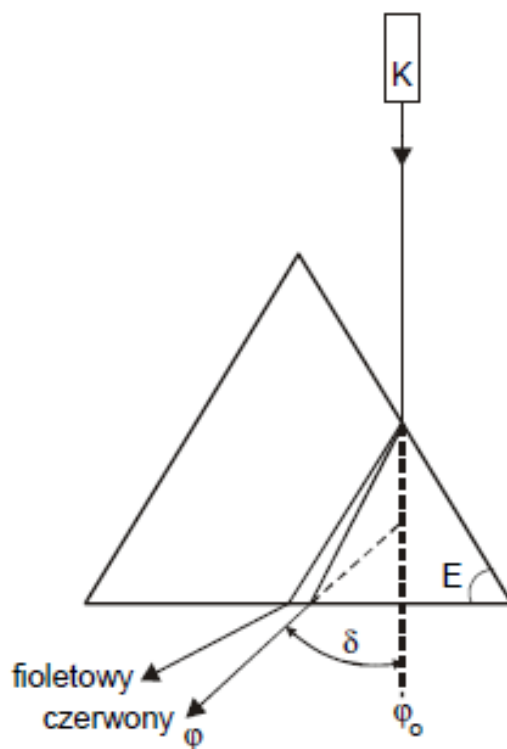
$$E = \beta_1 + \beta_2, \quad (\text{O3.6})$$

$$\delta = \alpha_1 + \alpha_2 - E \quad (\text{O3.7})$$

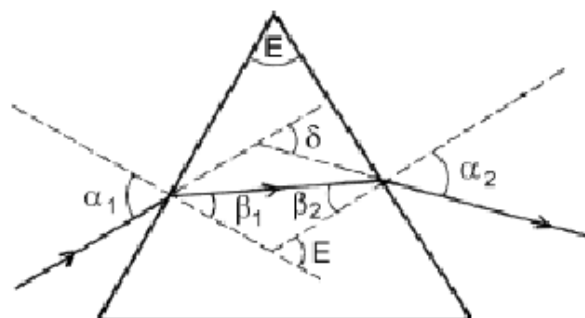
Wartość kąta odchylenia osiąga minimum, gdy promień przechodzi przez pryzmat symetrycznie, tj. gdy w pryzmacie biegnie prostopadle do dwusiecznej kąta łamiącego. Wówczas dla $\delta = \delta_{min}$ zachodzą relacje:

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha, \quad \beta_1 = \beta_2 = \beta, \quad (\text{O3.8})$$

$$\alpha = \frac{\delta_{min} + E}{2}, \quad \beta = \frac{E}{2}. \quad (\text{O3.9})$$



Rysunek O3.3. Wyznaczenie współczynnika załamania światła



Rysunek O3.4. Odchylenie biegu promienia światła w pryzmacie

Stąd, dla $n_1 = 1$ i $n_2 = n$ możemy napisać:

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\sin \frac{\delta_{min} + E}{2}}{\sin \frac{E}{2}}. \quad (\text{O3.10})$$

Mierząc kąt łamiący pryzmatu oraz kąt minimalnego odchylenia można więc wyznaczyć współczynnik załamania światła dla materiału, z którego wykonany jest pryzmat.

Uzupełnienie do zadań O3.4 i O3.5

W zakresie długości fal, dla których pochłanianie światła jest niewielkie (ośrodek jest przezroczysty), zależność współczynnika załamania światła od długości fali może być opisana przybliżonym wzorem Cauchy'ego:

$$n^2 = A + \frac{B}{\lambda^2}, \quad (\text{O3.11})$$

gdzie stałe A i B są wielkościami charakterystycznymi dla danego ośrodka.

O3.5. Rachunek niepewności

Niepewność wartości kąta łamiącego pryzmatu E oraz współczynnika załamania światła n obliczamy jako niepewność standardową wielkości złożonej. Niepewność pomiarów kątów φ jest równa odchyleniu standardowemu wyznaczonemu na podstawie serii pomiarów.