

Ćwiczenie 8

WYZNACZANIE WSPÓLCZYNNIKA ZAŁAMANIA ŚWIATŁA

1. WIADOMOŚCI OGÓLNE

W ośrodku jednorodnym i izotropowym światło rozchodzi się po liniach prostych. Prędkość rozchodzenia się światła w danym ośrodku zależy od jego gęstości optycznej. Im gęstszy ośrodek tym wolniej porusza się promień światła. Jeśli na swojej drodze w pewnym ośrodku promień światła natrafi na ośrodek o innej gęstości optycznej, to na powierzchni granicznej część wiązki zostanie odbita, a część przejdzie do drugiego ośrodka. Przejście światła przez granicę ośrodków wiąże się ze zmianą kierunku biegu promieni – załamaniem (Rys.1). Podczas odbicia i załamania na granicy ośrodków obowiązują następujące zasady:

- promień padający, odbity, załamany oraz normalna do powierzchni granicznej ośrodków leżą w jednej płaszczyźnie,
- kąt padania jest równy kątowi odbicia

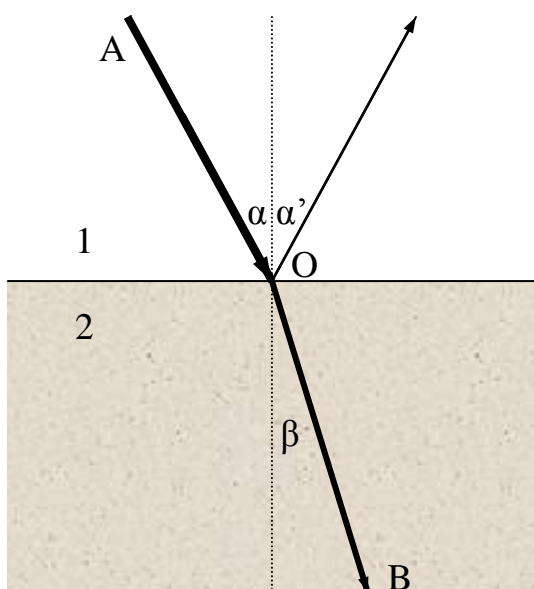
$$\alpha = \alpha', \quad (8.1)$$

c/ stosunek sinusa kąta padania do sinusa kąta załamania jest wielkością stałą i równą stosunkowi prędkości światła w odpowiednich ośrodkach

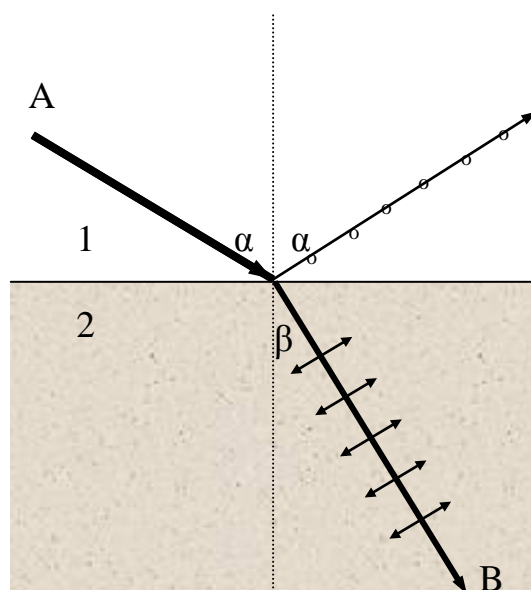
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = n_{21}. \quad (8.2)$$

Wielkość n_{21} nazywamy względnym współczynnikiem załamania światła drugiego ośrodka względem pierwszego. Współczynniki załamania światła względem próżni nazywamy współczynnikami bezwzględnymi

$$n_1 = \frac{c}{v_1} \quad \text{i} \quad n_2 = \frac{c}{v_2} \quad \Rightarrow \quad \frac{n_2}{n_1} = n_{21}. \quad (8.3)$$



Rys.1



Rys.2

Światło przechodząc z ośrodka optycznie rzadszego do gęstszego zmniejsza swoją prędkość i załamuje się do normalnej. Na rysunku 1 promień światła przechodząc z ośrodka rzadszego 1 do gęstszego 2 załamuje się, przy czym spełniona jest relacja: $\beta < \alpha$.

Światło jest to rozchodzące się w przestrzeni zmienne pole magnetyczne i elektryczne, inaczej mówiąc fale elektromagnetyczna. Wektory natężenia pola elektrycznego \vec{E} i indukcją pola magnetycznego \vec{B} tej samej fali są do siebie wzajemnie prostopadłe. Co więcej, oba wektory są prostopadłe do kierunku fali. Związek między \vec{E} i \vec{B} można wyrazić następującym wzorem

$$\vec{E} = \vec{B} \times \vec{V} \quad (8.4)$$

gdzie: \vec{V} jest wektorem prędkości fali.

Z odbiciem i załamaniem światła może wiązać się zjawisko polaryzacji fali świetlnej. Światło słoneczne (także żarówki) jest zbiorem fal, których wektory pola elektrycznego \vec{E} nie są uporządkowane, co znaczy, że ich kierunki są dowolne (ale zawsze prostopadłe do \vec{V}). O takiej fali mówimy, że nie jest spolaryzowana. Jeśli w ustawieniach wektorów \vec{E} jest wyróżniony pewien kierunek to taka fala jest częściowo lub całkowicie spolaryzowana. Wyróżniony kierunek pola elektrycznego i kierunek ruchu fali określają płaszczyznę zwaną płaszczyzną polaryzacji. Światło nie spolaryzowane przechodząc przez pewne materiały (polaryzatory) ulega polaryzacji. Także podczas odbicia i załamania światła następuje częściowa polaryzacja promienia załamanego i odbitego. Stopień polaryzacji zmienia się ze zmianą kąta padania. Dla pewnego kąta padania, gdy promień odbity jest prostopadły do promienia załamanego następuje całkowita polaryzacja światła odbitego (Rys.2). Dla tego kąta nazywanego kątem Brewstera α_B , drgania wektora \vec{E} światła odbitego zachodzą prostopadłe do płaszczyzny wyznaczonej przez promienie (płaszczyzny rysunku). Również promień załamany ulega częściowej polaryzacji, przy czym jego płaszczyzna polaryzacji jest płaszczyzną rysunku. Zgodnie z prawem załamania z rysunku 2 wynika, że

$$n_{21} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \quad \text{i} \quad \beta = 90^\circ - \alpha_B \quad \Rightarrow \quad n_{21} = \frac{\sin \alpha_B}{\sin (90^\circ - \alpha_B)} = \operatorname{tg} \alpha_B. \quad (8.5)$$

Polaryzację światła można zbadać za pomocą analizatora. Analizator to polaryzator ustawiony prostopadłe do kierunku badanego światła z możliwością obrotu wokół osi. Natężenie przechodzącego przez analizator światła zależy od wzajemnego ustawienia płaszczyzny polaryzacji światła i płaszczyzny polaryzacji analizatora i jest opisane przez prawo Malusa

$$I = I_0 \cos^2 \gamma \quad (8.6)$$

gdzie: γ – kąt między płaszczyznami polaryzacji fali i analizatora,

I_0 - natężenie światła wychodzącego z analizatora, gdy płaszczyzny polaryzacji fali i analizatora są do siebie równoległe ($\gamma=0$),

I - natężenie światła wychodzącego z analizatora dla dowolnego kąta γ .

Istnieje szereg metod wyznaczania wartości współczynnika załamania światła. Do takich należy m.in. metoda de Chaulnes'a oraz metoda oparta na analizie kąta Brewstera.

2.ZADANIA

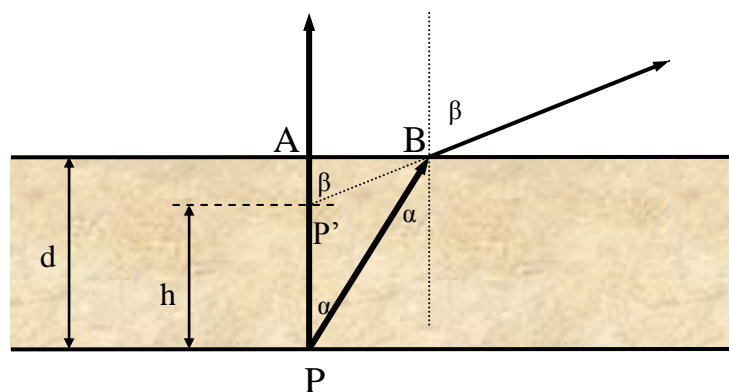
2.a. Zmierzyć współczynnik załamania światła kilku materiałów metodą de Chaulnes'a. Pomiar wykonać mierząc grubość badanej płytki d oraz pozorne podniesienie obrazu h . Obliczyć wartość współczynnika załamania oraz niepewność pomiaru.

2.b. Zmierzyć współczynnik załamania światła badanych materiałów metodą kąta Brewstera oraz niepewność pomiaru.

3.ZASADA I PRZEBIEG POMIARU

3a. Metoda de Chaulnes'a.

Załamanie światła na granicy przejścia światła do ośrodka optycznie gęstszego sprawia wrażenie, że przedmioty umieszczone w tym ośrodku wydają się bliższe niż w rzeczywistości (stojąc po kolana w wodzie widzimy swoje nogi pozornie krótsze). Można wykorzystać to zjawisko do zmierzenia wartości współczynnika załamania tego ośrodka. Obserwując punkt P poprzez płytkę płasko-równoległą widzimy go w położeniu P' , czyli otrzymujemy podniesienie obrazu na wysokość h (Rys.3).



Rys.3

Analizując trójkąt ABP oraz ABP' , po podstawieniu $AB=e$, $AP=d$ oraz $AP'=d-h$, otrzymujemy:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{e}{d} \approx \sin \alpha \quad \text{gdy} \quad \alpha \rightarrow 0 \quad (8.7)$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{e}{d-h} \approx \sin \beta \quad \text{gdy} \quad \beta \rightarrow 0, \quad (8.8)$$

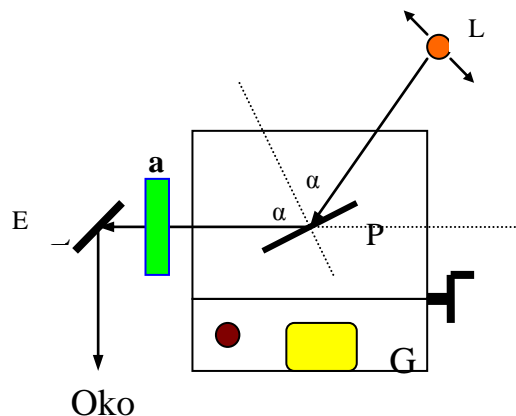
$$\text{czyli} \quad n = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} = \frac{d}{d-h} \quad (8.9)$$

Wielkości h i d wyznaczamy za pomocą mikroskopu. Na stoliku mikroskopu umieszczamy zarysowaną płytkę-bazę i tak regulujemy wysokością stolika, aby uzyskać ostry obraz rysy. Następnie „na rysę nakładamy” badaną płytkę o nieznanym współczynniku n . Ponownie regulujemy wysokość stolika szukając ostrego obrazu rysy (do określenia liczby obrotów śrubą regulacyjną warto wykorzystać licznik). Przesunięcie stolika jest podniesieniem h . Grubość płytki d mierzymy dostępnymi przyrządami.

3b. Metoda pomiaru kąta Brewstera.

Do wyznaczenia kąta Brewstera służy układ pokazany na Rys.4. Źródłem światła jest laser **L**. Promień po odbiciu od badanej płytki **P** trafia poprzez analizator **a** i pomocniczy ekran **E** do oka obserwatora. Do płynnej i dokładnej zmiany kąta padania służy goniometr **G**. Budowa goniometru umożliwia jednoczesny obrót źródła światła i badanej płytki, przy czym obrotowi badanej płytki o pewien kąt Θ towarzyszy obrót źródła światła wokół osi układu o kąt 2Θ . Powoduje to, że obraz źródła światła jest widoczny przez obserwatora zawsze w tym samym miejscu niezależnie od kąta padania α . Kąt Θ jest kątem między płaszczyzną badanej płytki, a kierunkiem promienia padającego na płytkę.

O całkowitej polaryzacji światła będzie świadczyć możliwość takiego ustawienia analizatora, aby nastąpiło całkowite lub prawie całkowite wygaszenie widzianego w lusterku obrazu źródła światła ($\cos\gamma=0$ we wzorze 8.6). W celu dokładniejszego wykonania badań należy zastosować jako detektor światła fotowzmacniacz - patrz: uwagi dodatkowe.



4. ANALIZA NIEPEWNOŚCI POMIARU

Metoda de Chaulnes'a.

Przy ocenie niepewności maksymalnej wartości **h** oprócz niepewności wzorcowania $\Delta_d h$ równej najmniejszej działce pokrętła stolika, uwzględniamy także niepewność eksperymentatora $\Delta_e h$. W tym przypadku niepewność eksperymentatora określamy jako zakres zmian podniesienia stolika mikroskopu, przy którym jeszcze nie zauważa się zmiany ostrości obserwowanej rysy lub powierzchni płytki. Wtedy $\Delta h = \Delta_e h + \Delta_d h$.

Następnie oszacować wartość Δd i metodą różniczki zupełnej obliczyć niepewność maksymalną Δn pomiaru **n**.

Uwaga: Ćwiczenie jest trywialne gdy:

A/ Wykorzysta się licznik obrotów do pomiaru przesunięcia stolika. Koniecznym jest jednak jednoznaczne określenie o ile przesuwa się stół podczas jednego obrotu „małym” pokrętłem.

B/ W ocena ostrości obrazu oparta będzie na obserwacji jednego szczegółu rysy.

Metoda pomiaru kąta Brewstera

Uwaga: mimo osiągnięcia warunków kąta Brewstera natężenie promienia przechodzącego przez odpowiednio ustawiony polaryzator nie jest równe zero. Dlaczego tak jest ?...

Podczas pomiaru wartości kąta Brewstera największy błąd popełnia się z powodu konieczności znalezienia minimum natężenia oświetlenia (czyli minimum wskazań woltomierza). Dlatego po znalezieniu kąta Brewstera bardzo uważnie należy określić zakres zmian kąta $\Delta\Theta$, przy którym zmiany natężenia światła są jeszcze niezauważalne. Za wartość

zmierzoną można przyjąć kąt w środku przedziału $\Delta\Theta$, a za niepewność jego wyznaczenia przyjąć $\Delta\epsilon_{\alpha_B} = \Delta\Theta/2$. Wiedząc, że producent zapewnia, że $\Delta_d\alpha_B = 0.005^\circ$ wyznaczyć $\Delta\alpha_B$ wyrażając kąt w mierze łukowej (w radianach), a następnie metodą różniczki zupełnej wartość niepewności Δn .



Wyznaczanie współczynnika załamania – *uwagi dodatkowe*

Zasilanie:

Jeden zasilacz służy do oświetlenia preparatu w mikroskopie (AC=6V) i do zasilania układu w metodzie z „kątem Brewstera” (DC 12 V).

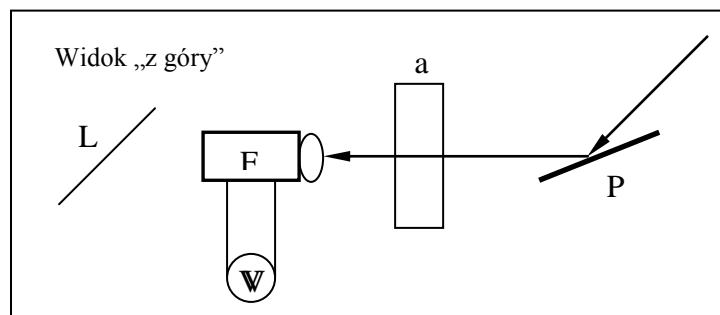
Włączanie układu:

1. Upewnij się, że w zasilaczu gałki regulujące napięcie 0-24V i AC 0-12V są skręcone na „zero” (maks. w lewo).
2. W przypadku pracy z mikroskopem podłącz do gniazd zasilacza AC żarówkę mikroskopu i ustaw napięcie AC=6V.
3. W przypadku pracy z „kątem Brewstera” ustaw napięcie stałe $U_z = 12V$!.

Praca z goniometrem:

1. Próbkę **P** umieścić w uchwycie (odciągnąć sprężynujący przycisk, włożyć próbkę i uwolnić przycisk).
2. Za pomocą korbki zmieniać kąt Θ ustawienia próbki względem padającego promienia badając jednocześnie polaryzację odbitego promienia. Znaleźć kąt Θ_{\min} przy, którym natężenie światła przechodzącego przez polaryzator **a** osiąga minimum. Powyższe zadanie wykonać obserwując natężenie światła diody w lusterku **L** (pomiar „na oko”).
3. Celem dokładniejszego określenia kąta Θ_{\min} w tor biegu analizowanego promienia wstawić fotodetektor **F** (patrz rys.). Zmierzyć napięcie wyjściowe z fotodetektora U_f jako funkcję kąta Θ w zakresie ok. $\pm 2^\circ$ wokół Θ_{\min} . Narysować wykres funkcji $U_f(\Theta)$, wyznaczyć wartość kąta Θ_{\min} oraz oszacować niepewność pomiaru tego kąta.

4. Obliczyć kąt Brewstera.



Uwaga:

1. Promień światła jest równoległy do powierzchni badanej płytki, gdy na skali jest ustawiona wartość $\Theta_0 = 255.65^\circ$. Pamiętać, że różnica kątów między

wartością zmierzona i Θ_0 jest kątem między padającym promieniem a powierzchnią próbki.

Pomoc dla pracujących z mikroskopem

I etap pomiaru

II etap pomiaru

