

ZADANIE 03 WYZNACZANIE WSPÓŁCZYNNIKÓW ZAŁAMANIA ŚWIATŁA W PRYZMACIE

I. Cel ćwiczenia

W ćwiczeniu będzie badane załamanie światła po przejściu przez pryzmat wykonany ze szkła oraz z kryształu dwójłomnego (kalcytu lub rutylu). Celem ćwiczenia jest pomiar współczynników załamania światła szkła oraz współczynników załamania promienia zwyczajnego i nadzwyczajnego w kalcycie lub rutylu. Metoda pomiaru wykorzystuje zjawisko najmniejszego kąta odchylenia światła w pryzmacie i relacji między tym kątem a współczynnikiem załamania.

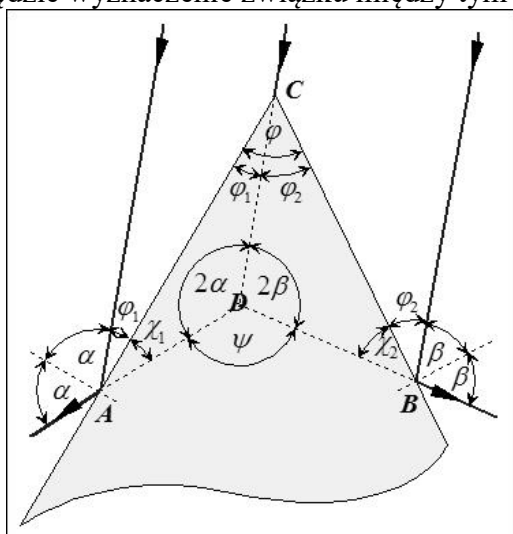
II. Podstawy teoretyczne

Zarówno rutyl jak i kalcyt należą do ciał dwójłomnych, w których wiązka światła przy padaniu na płaszczyznę takiego kryształu zostaje rozdzielona na dwie wiązki spolaryzowane w płaszczyznach wzajemnie prostopadłych. Wiązki te nazywamy promieniami zwyczajnymi i nadzwyczajnymi. Dlatego też przy przejściu wiązki światła z lampy widmowej przez pryzmat z kalcytu czy rutylu uzyskujemy dla każdej linii światła dwa prążki położone w pewnej odległości katowej od siebie. Stanowi to zasadniczą różnicę w porównaniu z obrazem uzyskanym za pomocą zwykłego pryzmatu, np. szklanego, dającego tylko jeden prążek.

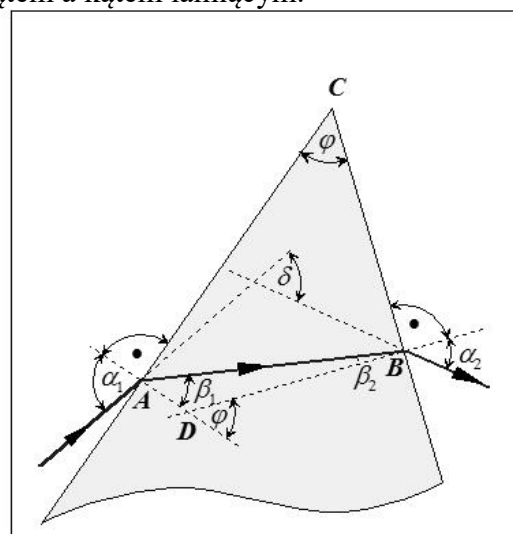
Kąt łamiący pryzmatu i kąt odchylenia promieni w pryzmacie

Goniometr jest przyrządem pozwalającym mierzyć kąty, a jeśli dodatkowo wyposażymy go w pryzmat, to otrzymamy spektrometr, czyli przyrząd do pomiaru długości fali światła. Niezbędne informacje dotyczące budowy goniometru i wykorzystania go w pomiarach znajdują się w **DODATKU – BUDOWA I OBSŁUGA GONIOMETRU OPTYCZNEGO**. W ćwiczeniu mierzony jest współczynnik załamania n wyznaczany z minimalnego kąta δ_{\min} odchylenia promienia w pryzmacie, oraz jego zależność od długości fali światła.

Związek między współczynnikiem załamania n a kątem δ_{\min} najmniejszego odchylenia wymaga znajomości kąta łamiącego φ pryzmatu, dlatego najpierw zajmiemy się wyznaczeniem tego kąta. Definicje kątów i rozmaite relacje między nimi przy padaniu wiązki na kąt łamiący i jednocześnie na obie sąsiednie ściany ukazuje Rysunek 1. W pomiarach za pomocą goniometru łatwo jest zmierzyć kąt ψ między promieniami odbitymi od obu powierzchni pryzmatu, więc naszym celem będzie wyznaczenie związku między tym kątem a kątem łamiącym.



Rys. 1. Wyznaczenie kąta łamiącego φ



Rys. 2. Wyznaczenie kąta odchylenia δ

Kąt $\sphericalangle ADC$ trójkąta ADC wynosi

$$\sphericalangle ADC = 180^\circ - \varphi_1 - \chi_1,$$

ale skoro

$$\chi_1 = 180^\circ - 2\alpha - \varphi,$$

więc

$$\sphericalangle ADC = 2\alpha,$$

jak zostało to zaznaczone na rysunku. Podobnie, dla kąta $\sphericalangle BDC$ znajdujemy $\sphericalangle BDC = 2\beta$, a z rysunku widzimy także, że

$$\psi = 360^\circ - 2\alpha - 2\beta$$

i jednocześnie:

$$\alpha = 90^\circ - \varphi_1$$

oraz

$$\beta = 90^\circ - \varphi_2,$$

więc:

$$\psi = 2\varphi_1 + 2\varphi_2 = 2\varphi,$$

a to prowadzi do poszukiwanego związku:

$$\varphi = \frac{1}{2}\psi.$$

Zakładając, że kąt łamiący φ pryzmatu jest znany, wyznaczmy współczynnik załamania szkła, z którego wykonany jest pryzmat. Definicje kątów i rozmaite między nimi relacje ukazane są na Rysunku 2. Ponieważ kąt zewnętrzny w trójkącie ABD jest równy kątowi łamiącemu pryzmatu φ (kąt ten ma ramiona prostopadłe do ścian pryzmatu) – otrzymujemy następujące zależności:

$$\varphi = \beta_1 + \beta_2$$

oraz:

$$\delta = \alpha_1 - \beta_1 + \alpha_2 - \beta_2 = \alpha_1 + \alpha_2 - \varphi.$$

O tym, pod jakim kątem α_2 promień opuści pryzmat decyduje kąt α_1 , pod jakim promień pada na pryzmat. Wyznamy teraz zależność między kątem α_2 a kątem α_1 . Z prawa Snella $\sin\alpha_1 = n\sin\beta_1$ dla płaszczyzny, przez którą promień wchodzi do pryzmatu, znajdujemy

$$\beta_1 = \arcsin\left(\frac{1}{n}\sin\alpha_1\right),$$

a z prawa Snella $\sin\alpha_2 = n\sin\beta_2$ dla płaszczyzny, przez którą promień wychodzi, otrzymujemy:

$$\alpha_2 = \arcsin(n\sin\beta_2).$$

Ponieważ

$$\beta_2 = \varphi - \beta_1 = \varphi - \arcsin\left(\frac{1}{n}\sin\alpha_1\right),$$

więc

$$\alpha_2 = \arcsin\left(n\sin\left(\varphi - \arcsin\left(\frac{1}{n}\sin\alpha_1\right)\right)\right),$$

a to prowadzi do kąta odchylenia δ jako funkcji kąta padania α_1 :

$$\delta = \alpha_1 + \arcsin\left(n\sin\left(\varphi - \arcsin\left(\frac{1}{n}\sin\alpha_1\right)\right)\right) - \varphi.$$

Przykładowy przebieg tej zależności, dla $n = 1,4$ oraz $\varphi = 45^\circ$, przedstawia Rysunek 3, na którym widać minimum w zależności kąta odchylenia δ od kąta padania α_1 . Wyznaczenie, standardowymi metodami, wartości kąta δ_{\min} minimalnego odchylenia prowadzi do wniosku, że pojawia się on wtedy, gdy bieg promienia w pryzmacie jest symetryczny względem dwusiecznej kąta łamiącego pryzmatu, tzn. gdy $\alpha_1 = \alpha_2$ oraz $\beta_1 = \beta_2$, co pociąga:

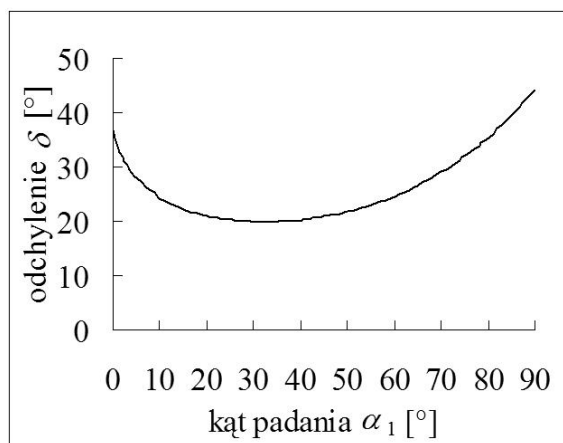
$$\beta_1 = \frac{1}{2}\varphi$$

oraz:

$$\alpha_1 = \frac{1}{2}(\delta_{\min} + \varphi).$$

Prowadzi to do następującego wyrażenia na współczynnik załamania:

$$n = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \beta_1} = \frac{\sin\left(\frac{1}{2}(\delta_{min} + \varphi)\right)}{\sin\left(\frac{1}{2}\varphi\right)}.$$



Rys. 3. Minimalny kąt odchylenia

Czytelnikowi pozostawiamy dowód, że faktycznie warunki $\beta_1 = \beta_2$ oraz $\alpha_1 = \alpha_2$ wyznaczają minimum kąta odchylenia.

III. Wykonanie pomiarów

III.1. Wyposażenie

Masz do dyspozycji:

- goniometr;
- pryzmat ze szkła;
- pryzmat z kalcytu lub rutyłu;
- lampę widmową helową.

III.2. Planowanie pomiarów

Zapoznaj się z budową i obsługą goniometru opisaną w dodatku. Goniometr używany w ćwiczeniu jest zbudowany tak, że nie wymaga wielu wstępnych operacji przygotowujących go do pracy. Niezbędne są tylko trzy, z których dwie są elementarne: wymagają ustawienia ostrości obrazu w lunecie i w mikroskopie pomiarowym. Trzecia, polegająca na poziomowaniu stolika, jest nieco bardziej wymagająca i zazwyczaj niepotrzebna, dlatego wszelkie Twoje działania w tym względzie skonsultuj uprzednio z prowadzącym ćwiczenie. Przed wykonaniem pomiarów z pryzmatem, dobrze jest również pryzmat wytrzeć ręcznikiem papierowym lub chusteczką, aby usunąć odciski palców i inne zabrudzenia.

Uwagi dotyczące eksploatacji goniometru

- przy pracy z goniometrem należy zachować dużą ostrożność;
- obracając lunetę **nie wolno** używać siły;
- goniometr należy chronić przed gwałtownymi wstrząsami i uderzeniami;
- nie wolno dotykać części szklanych dostępnych z zewnątrz.

III.3. Pomiary

Pomiary linii widmowych lampy helowej

Włącz lampę helową. Oświetl lampą szczelinę kolimatora i ustaw pryzmat na stoliku w konfiguracji ukazanej linią ciągłą na Rysunku 4. Promień z kolimatora po przejściu przez pryzmat ulega odchyleniu i rozszczepieniu. Wyszukaj lunetą obraz powstały po rozszczepieniu światła po przejściu przez pryzmat. Za pomocą dostępnych tablic zidentyfikuj obserwowane linie widmowe.

Pomiar kąta najmniejszego odchylenia pryzmatu szklanego

Dla danej linii widmowej, delikatnie obracamy stolik, obserwując w lunecie przesuwanie się obrazu. Jeśli obraz ucieknie z pola widzenia lunety, obracamy lunetę tak, aby ponownie uzyskać obraz w jej polu widzenia i kontynuujemy obrót stolika. W pewnym momencie zauważymy, że kierunek ruchu obrazu szczeliny zmienia się na przeciwny. Obracając delikatnie i kilkakrotnie stolik w jedną i drugą stronę należy upewnić się, że uchwyciło się poprawnie ten moment. Po ustawieniu krzyża nici pajęczej lunety na środku obserwowanej linii widmowej, odczytujemy kąt δ_L najmniejszego odchylenia promienia. Następnie obracamy stolik tak, aby promień z lunety padał na drugą ścianę tworzącą kąt łamiący pryzmatu, powtarzamy procedurę wyznaczenia kąta najmniejszego odchylenia i odczytujemy kąt δ_P . Jeśli promienie lewy i prawy nie są rozdzielone zerem skali (jak na Rys. 4), to kąt δ_{min} najmniejszego odchylenia wynosi:

$$\delta_{min} = \frac{1}{2}((\delta_L - 180^\circ) + (180^\circ - \delta_P)) = \frac{1}{2}(\delta_L - \delta_P).$$

W przeciwnym przypadku kąt ten wyznaczamy ze związku:

$$\delta_{min} = \frac{1}{2}(360^\circ - \delta_P + \delta_L).$$

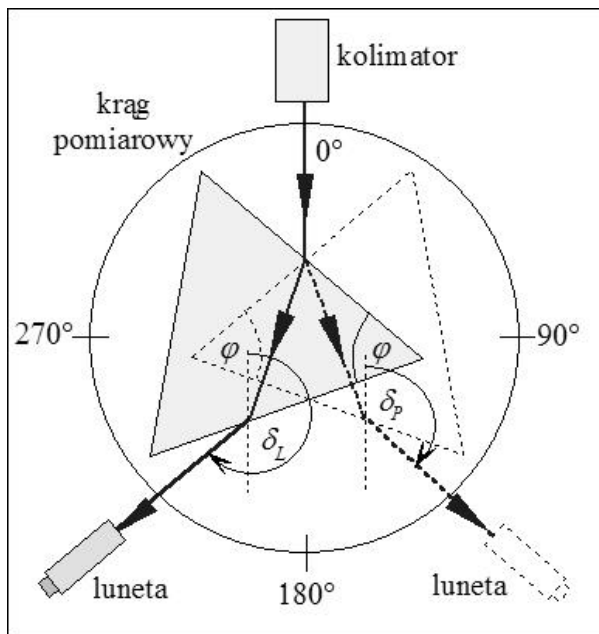
Pojedynczy pomiar kąta najmniejszego odchylenia obarczony jest większym błędem niż pojedynczy pomiar kąta łamiącego pryzmatu. Spowodowane jest to trudnością uchwycenia momentu, w którym obraz szczeliny zaczyna się cofać przy obrocie stolika. Dlatego pomiary dla każdej linii należy powtórzyć kilkakrotnie, przekręcając stolik lub pryzmat o niewielki kąt i ponownie poszukując punktu zwrotnego.

Kąt najmniejszego odchylenia możemy wyznaczyć z pomiaru jedynie np. kąta δ_L (lub δ_P) odchylenia promienia po jednej stronie pryzmatu. W tym celu wystarczy, że zmierzmy kąt δ_0 pod jakim obserwujemy obraz szczeliny przy obserwacji na wprost (bez pryzmatu na stoliku), a wtedy:

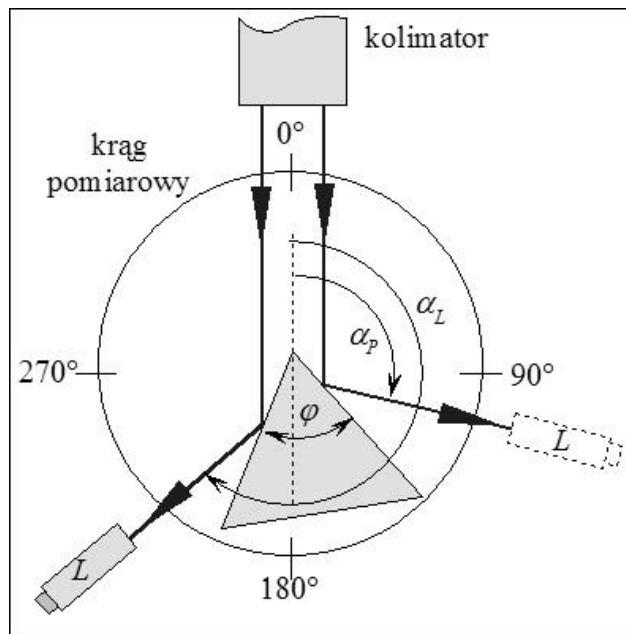
$$\delta_{min} = \begin{cases} \delta_L + \delta_0, & \delta_0 < 180^\circ \\ 360^\circ - \delta_0 + \delta_L, & \delta_0 > 180^\circ \end{cases}$$

Nie jest to zalecana metoda, jako że przy jej stosowaniu nie kasują się rozmaite błędy związane z ewentualnym brakiem symetrii w układzie pomiarowym.

Wykonaj pomiary kątów najmniejszego odchylenia dla różnych linii widma.



Rys. 4. Pomiar kąta najmniejszego odchylenia



Rys. 5. Wyznaczenie kąta łamiącego pryzmatu

Pomiar kąta łamiącego pryzmatu szklanego

Oświetlamy szczelinę kolimatora, przy czym sama szczelina powinna być stosunkowo szeroka. Pryzmat ustawiamy na stoliku w taki sposób, aby światło ze szczeliny padając na kąt łamiący oświetlało obie ściany pryzmatu, jak ilustruje to Rysunek 5. Wyszukujemy lunetą obraz szczeliny powstały z odbicia od lewej ściany pryzmatu i odczytujemy wartość kąta α_L , następnie obracamy lunetę na prawą stronę pryzmatu, odszukujemy obraz szczeliny i odczytujemy wartość kąta α_P . Jeśli oba odczyty nie są rozdzielone zerem skali, to z obu wartości otrzymujemy:

$$\varphi = \frac{1}{2}(\alpha_L - \alpha_P).$$

Jeśli promień lewy i prawy oddzielone są od siebie zerem skali, wtedy:

$$\varphi = \frac{1}{2}(\alpha_L + 360^\circ - \alpha_P).$$

Pomiar należy powtórzyć kilkakrotnie, obracając delikatnie pryzmat o niewielki kąt (aby nie utracić możliwości oświetlania obu ścian pryzmatu) wokół osi zadanej krawędzią łamiącą pryzmatu.

Pomiary dla pryzmatu z kryształu dwójłomnego

Analogicznie jak to wcześniej wykonałeś dla pryzmatu szklanego wykonaj pomiary dla pryzmatu z kalcytu lub rutylu. W obserwowanym widmie lampy zidentyfikuj promienie zwyczajne i nadzwyczajne różnych linii widmowych i upewnij się, że istotnie masz do czynienia z promieniami zwyczajnymi i nadzwyczajnymi sprawdzając ich polaryzację za pomocą nasadki z polaryzatorem umieszczonym na lunecie. Powtórz pomiary kąta najmniejszego odchylenia dla obu promieni dla różnych linii widma oraz wykonaj pomiar kąta łamiącego pryzmatu z kalcytu lub rutylu.

IV. Analiza wyników pomiarów

Analiza danych powinna zawierać następujące elementy:

- ustalenie realistycznych, dopuszczalnych błędów granicznych wielkości bezpośrednio mierzonych i wyznaczenie odpowiadających im niepewności standardowych – pamiętaj, że zdolność rozdzielcza przyrządu nie musi gwarantować sensownych błędów granicznych (oczywiście, możesz też od razu oszacować niepewności standardowe, bez przechodzenia przez etap błędów granicznych);
- prezentację ocen wszelkich wielkości wraz z niepewnościami standardowymi uwzględniającymi niepewności statystyczne i niepewności wynikające z dokładności przyrządów;
- opis widma lampy helowej, wraz z oznaczeniem linii wykorzystywanych w trakcie ćwiczenia;
- wyznaczenie współczynników załamania światła w szkle oraz współczynników załamania promieni zwyczajnych i nadzwyczajnych kalcytu lub rutylu dla różnych linii widmowych;
- wykresem prezentującym zależność współczynnika załamania n od długości fali λ dla szkła oraz promienia zwyczajnego i nadzwyczajnego kalcytu lub rutylu;
- wyznaczenie dla każdego z promieni niezależnie, ocen nieznanych stałych wraz z ich niepewnościami, w związku dyspersyjnym przedstawiającym zależność współczynnika załamania n od długości fali λ w fenomenologicznych modelach – Cauchy'ego:

$$n = A_0 + \frac{A_1}{\lambda^2} \left(+ \frac{A_2}{\lambda^4} \right)$$

oraz Sellmeiera:

$$n^2 = 1 + \frac{B_1\lambda^2}{\lambda^2 - C_1} \left(+ \frac{B_2\lambda^2}{\lambda^2 - C_2} \right);$$

w przypadku gdy uznasz, że model dobrze oddaje dane doświadczalne możesz ograniczyć się do pierwszych dwóch wyrazów (bez wyrazów podanych w nawiasach);

- wybór modelu lepiej odtwarzającego dane doświadczalne;
- porównanie uzyskanych wartości z danymi literaturowymi.

Jeśli na którymś z etapów analizy danych prowadzisz dopasowanie zależności modelowej metodą najmniejszych kwadratów, **obowiązkowo** podaj postać dopasowywanej funkcji oraz określ przyjęte niepewności. Podaj uzasadnienie wyboru zmiennej niezależnej, za wyjątkiem sytuacji, w których ona jest z góry narzucona. Przeprowadź walidację modelu uwzględniającą zasadność przyjętych niepewności pomiarowych. Jako wynik dopasowania podaj estymaty dopasowywanych parametrów wraz z ich niepewnościami. W uzasadnionych przypadkach przedyskutuj istotność dopasowywanych parametrów. Do dobrej praktyki należy również w przypadku dopasowania funkcji opisanej więcej niż jednym parametrem podanie kowariancji i współczynników korelacji parametrów a także wykresu reszt z tego dopasowania oraz jego dyskusja.

Pamiętaj też, że najczęściej używana metoda najmniejszych kwadratów wymaga wyników pomiarowych, z których każdy uzyskany jest w niezależnym akcie pomiarowym. **Nie mają takiego charakteru wielkości uzyskane np. w wyniku odejmowania jednej ustalonej wartości od wszystkich wyników pomiarów, jeśli wartość odejmowana pochodzi z pomiaru.**

V. Dodatkowe uwagi odnośnie do raportu

Nim przygotujesz raport, zaznajom się z uwagami zawartymi w [wymaganiach dotyczących raportu](#) zamieszczonymi na stronie pracowni. Absolutnie zalecane jest także świadome przyjrzenie się redakcji tekstu, a także tabel, rysunków i wzorów, sposobów ich numerowania, tytułowania i opisywania w dowolnym, ale wydanym przez uznane wydawnictwo, akademickim podręczniku do fizyki, jak również zajrzenie do kilku publikacji w różnych czasopismach naukowych, co może ułatwić podjęcie decyzji co do podziału Twojego raportu na części.

W raporcie zamieść wszystkie surowe wyniki pomiarów tak, aby sięgając jedynie do raportu i bez potrzeby odwoływania się do protokołu z doświadczenia można było wykonać pełną i niezależną analizę Twoich danych. Pamiętaj, że w niektórych przypadkach uzasadnione jest przeniesienie tych danych do Suplementu. W przypadku dużej liczby danych pomiarowych (np. zebranych komputerowo) dopuszczalne jest umieszczenie danych nie w formie tabel, ale w formie wykresów. Wówczas oryginalne dane należy dołączyć do raportu w formie cyfrowej (np. w wiadomości email do prowadzącego).

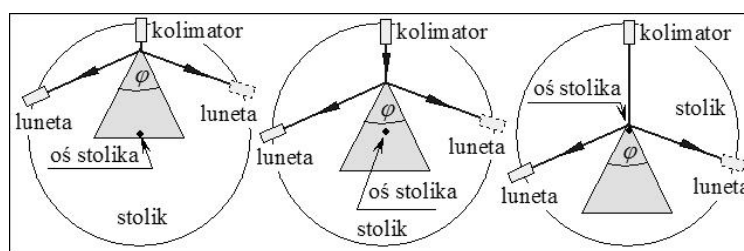
VI. Literatura uzupełniająca

- Sz. Szczeniowski, *Fizyka doświadczalna* Część IV – Optyka, Warszawa, 1983;
- J. Ginter, *Fizyka fal, Fale w ośrodkach jednorodnych, Fale w ośrodkach niejednorodnych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1993;
- D. Halliday, R. Resnick, *Fizyka t. I, II*, Warszawa 2001, §46.1 - 46.5;
- H. Szydłowski, *Pracownia fizyczna wspomagana komputerem*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, szereg wydań w latach 2003 ÷ 2012;
- A. Zięba, *Analiza danych w naukach ścisłych i technice*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2013.

Pytania i zadania definiujące wymagania do ćwiczenia

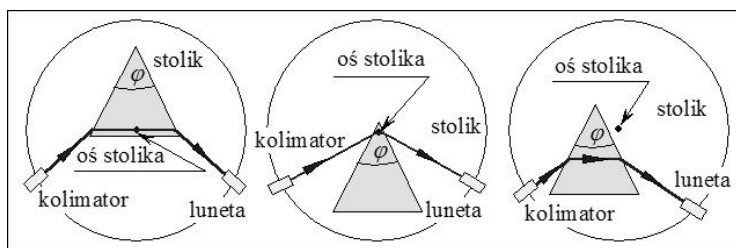
Problem 1. Przy pomiarze kąta łamiącego pryzmatu, pryzmat umieszczamy na stoliku tak,

że krawędź kąta łamiącego znajduje się na osi kolimatora, aby wiązkę światła z kolimatora rozdzielić na dwie. Możemy jednak pryzmat dowolnie przesuwać równoległe do siebie na stoliku, jak na Rysunku 6, umieszczając go bliżej lub dalej od kolimatora. Czy dla pomiarów goniometrem ma znaczenie, jakie to będzie miejsce?



Rys. 6. Pomiar kąta łamiącego – przykłady ustawień pryzmatu na stoliku

Problem 2. Przy pomiarze kąta najmniejszego odchylenia na stoliku pryzmat możemy położyć w dowolnym miejscu, w wyniku czego wiązka światła z kolimatora może padać bliżej kąta łamiącego lub dalej od niego. Możemy też pryzmat położyć na boku stolika. Przykłady takich ustawień ukazuje Rysunek 7. Czy miejsce pryzmatu na stoliku ma znaczenie dla pomiarów goniometrem?



Rys. 7. Pomiar kąta odchylenia – przykłady ustawień pryzmatu na stoliku

Problem 3. Co oznacza termin *widmo liniowe*?

Problem 4. Na czym polega zjawisko dyspersji światła?

Problem 5. Gdy na pryzmat pada wiązka światła złożona z fal o dwóch różnych długościach, to po przejściu przez pryzmat wiązka ta ulega rozszczepieniu na dwie wychodzące pod różnymi kątami. Czy kąt między wiązkami zależy od długości drogi jaką światło pokonuje w pryzmacie, a więc tego czy wiązka światła pada na pryzmat bliżej wierzchołka kąta łamiącego, czy też bliżej podstawy?

Problem 6. Dlaczego pomiar współczynnika załamania odbywa się przez pomiar kąta najmniejszego odchylenia, a nie przez pomiar, po prostu, kąta odchylenia, kiedy to rzucamy promień światła na pryzmat pod dowolnym kątem, a nie jedynie tym, który gwarantuje najmniejsze odchylenie?

Pytania i zadania przybliżające, uzupełniające lub poszerzające treść ćwiczenia

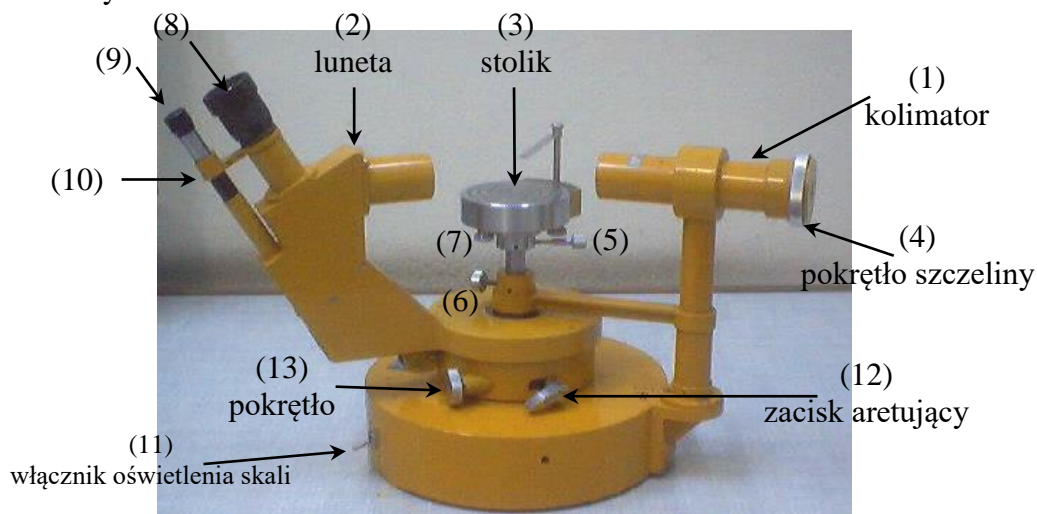
Problem 7. Pokaż, że istotnie, symetryczny bieg promienia w pryzmacie gwarantuje minimalny kąt odchylenia promienia od kierunku pierwotnego. Jak kąt odchylenia zależy od kąta łamiącego?

Problem 8. Wiązka światła padająca na pryzmat pod kątem α składa się z fal o dwóch mało różniących się długościach λ_1 i λ_2 . Wyznacz różnicę $\Delta\delta$ kątów między wiązkami wychodzącymi z pryzmatu, jeśli współczynnik załamania fali o długości λ_1 wynosi n_1 , a fali o długości λ_2 wynosi n_2 i wartości współczynników załamania niewiele się różnią. Kąt łamiący pryzmatu wynosi φ . Dla jakiego kąta padania α różnica $\Delta\delta$ jest największa (promienie odpowiadające dwóm długościom fali będą najsilniej rozbieżne)?

Problem 9. Wiązka światła składającego się z fal o długości odpowiednio λ_1 i λ_2 , pada prostopadle na jedną ze ścian pryzmatu o kącie łamiącym φ . Przedyskutuj, dla jakiego zakresu wartości kąta łamiącego i jakich wartości współczynników załamania obu fal, z pryzmatu wyjdzie wiązka światła zawierająca tylko jedną barwę.

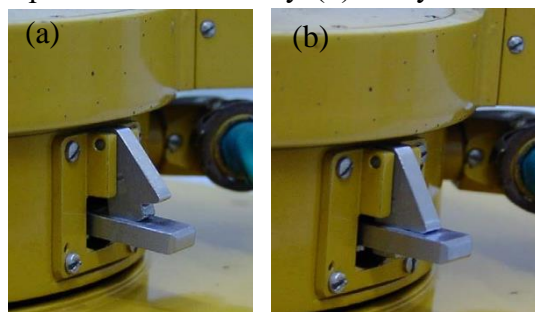
DODATEK – BUDOWA I OBSŁUGA GONIOMETRU OPTYCZNEGO

Goniometr służy do pomiarów kątów, a więc kąta łamiącego pryzmatu, kątów odchylenia promieni przechodzących przez pryzmat lub ugiętych przez siatkę dyfrakcyjną. Typowy goniometr ukazany jest na Rysunku D1.



Rys. D1. Budowa goniometru (fot. T. Nowak)

Goniometr składa się z kolimatora (1), lunety (2) i stolika (3). Kolimator jest przytwierdzony do goniometru na stałe, ale lunetę i stolik możemy obracać niezależnie wokół wspólnej pionowej osi, w którą celuje oś kolimatora i lunety. Kolimator zaopatrzony jest w regulowaną szczelinę, przed którą umieszcza się źródło światła. Szerokość szczeliny zmienia się pokręcając pierścieniem (4). Stolik, na którym umieszczamy pryzmat lub siatkę dyfrakcyjną, można obracać wokół pionowej osi po zwolnieniu śruby (5) oraz podnosić lub opuszczać po zwolnieniu śruby (6). Przy zwalnianiu śruby blokującej (6) stolik należy podtrzymywać ręką. Pochylenie stolika uzyskuje się przez obrót pokręteł trzech śrub elewacyjnych (7). Luneta wyposażona jest w okular (8) z krzyżem z nitek pajęczych. W luncie obserwujemy obraz szczeliny kolimatora, a wartość kąta między osią kolimatora a osią lunety odczytujemy w okularze (9) mikroskopu odczytowego (10). Ostrość obrazu w luncie możemy uzyskać kręcąc okulariem lunety. Podobnie, wykorzystując okular mikroskopu odczytowego, nastawiamy ostrość obrazu podziałki kątovej. Oświetlenie skali kręgu pomiarowego włączamy włącznikiem (11). Zatrzask aretujący (12) służy do sprzęgania obrotu kręgu pomiarowego ze skalą z obrotem lunety. Rysunek D2 ukazuje dwa położenia zatrzasku. Przy położeniu zatrzasku jak na Rysunku D2a, przy obrocie lunety krąg pomiarowy pozostaje w miejscu, podczas gdy przy położeniu zacisku ukazanym na Rysunku D2b, krąg obraca się razem z lunetą. Obrótu zgrubnego lunety dookoła osi pionowej goniometru można dokonać ręką przy zwolnionym zatrzasku aretującym (12). Precyzyjny obrót wykonuje się pokrętłem (13) po uprzednim zaciśnięciu zacisku aretującego.



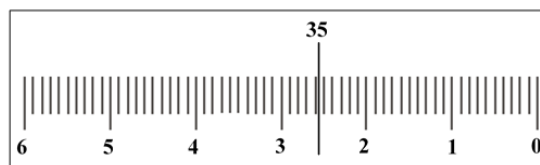
Rys. D2. Zatrzask aretujący (12) - obroty kręgu i lunety rozprężone (a) i sprzężone (b) (fot. T. Nowak)

UWAGA! Nie wolno obracać lunety ręcznie bez sprawdzenia, czy zacisk aretujący jest zwolniony. W żadnym wypadku nie stosuj siły przy obracaniu lunety! W trakcie pomiaru zatrzask musi pozostawać w położeniu unieruchamiającym krąg pomiarowy (pozycja jak na Rys. D2a).

Uwagi dotyczące eksploatacji goniometru

- przy pracy z goniometrem należy zachować dużą ostrożność;
- obracając lunetę **nie wolno** używać siły;
- goniometr należy chronić przed gwałtownymi wstrząsami i uderzeniami;
- nie wolno dotykać części szklanych dostępnych z zewnątrz.

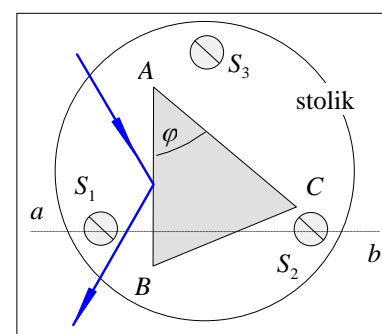
Skala, jaką widzimy w okularze mikroskopu pomiarowego, jest skalą kątową od 0° do 360° , przy czym wartość najmniejszej działki to $1'$ (minuta). Przykładowy obraz pola widzenia mikroskopu odczytowego jest pokazany na Rysunku D3 i ukazuje wskazanie (około) $35^\circ 25' 30''$. Pozycja zera na kręgu pomiarowym względem osi kolimatora lub lunety może być dowolna i jej ustalenie nie jest niezbędne, ale ze względów estetycznych cz porządkowych, można to wykonać w następujący sposób. Zatrzask aretujący (12) ustawiamy w położeniu rozprzegającym obroty kręgu i lunety (Rys. D2a) i obracamy tak lunetę, aby wskazania w mikroskopie pomiarowym pokrywały się z działką 180° koła pomiarowego – niezależnie od obrazu szczeliny, której może nie być widać w ogóle. Sprzegamy teraz ruch lunety z kołem pomiarowym (jak na Rys. D2b) i szczelinę oświetlamy. Obracając lunetę ustawiamy ją naprzeciw kolimatora tak, aby pionowa nitka pajęczka znalazła się w środku obrazu szczeliny – na stoliku nie powinno nic stać, co zakłócałoby bieg promieni z kolimatora. Wracamy z zatrzaskiem aretującym do pozycji z Rys. D2a.



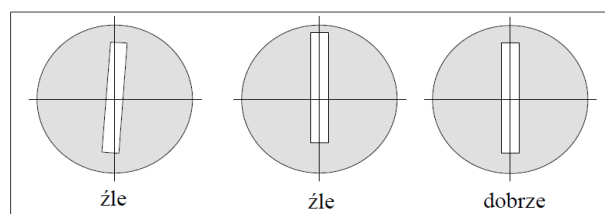
Rys. D3. Widok skali w okularze mikroskopu odczytowego

Ustawianie płaszczyzny stolika prostopadle do jego osi

Położenie płaszczyzny stolika w stosunku do jego osi obrotu regulują trzy śruby elewacyjne (7) S_1 , S_2 i S_3 pod stolikiem. Ustawiamy oś lunety w stosunku do osi kolimatora pod kątem $60^\circ \div 90^\circ$ i ustawienia tego nie zmieniamy w trakcie całej dalszej procedury. Kładziemy pryzmat ABC na stoliku – Rysunek D4 – w taki sposób, aby jedna z jego ścian tworzących kąt łamiący φ , nazwijmy ją ścianą AB , była prostopadła do linii ab łączącej dwie wybrane śruby elewacyjne – S_1 i S_2 . Szczelinę kolimatora oświetlamy, a stolikiem z pryzmatem obracamy tak, abyśmy w lunecie zobaczyli obraz szczeliny powstały przez odbicie od wybranej ściany pryzmatu. Szczelina powinna być stosunkowo wąska. Jeśli obraz szczeliny nie jest symetryczny, np. obrócony lub przesunięty w górę lub w dół względem nici pajęczych – jak na Rysunku D5 – to połowę deformacji usuwamy kręcąc śrubą S_1 , a drugą połowę śrubą S_2 . Po uzyskaniu obrazu szczeliny o krawędziach równoległych do nici pajęczych, obracamy stolik tak, aby w lunecie zobaczyć obraz szczeliny uzyskany przez odbicie promieni od ściany AC pryzmatu. Tym razem do uzyskania poprawnego obrazu szczeliny kręcimy tylko śrubą S_3 . Czynności te, tzn. korekcję obrazu powstałego przy odbiciu do ściany AB , a następnie od ściany AC należy powtórzyć kilkakrotnie – do pełnego wyrównania obrazu szczeliny.



Rys. D4. Regulacja płaszczyzny stolika



Rys. D5. Widok szczeliny w lunecie - przykłady złego i poprawnego ustawienia obrazu

Opracował: NN.

Uzupełnił: Roman J. Nowak, 27 listopada 2015,

Modyfikacja: Aneta Drabińska, lipiec 2021.