

Pomiar współczynnika załamania światła

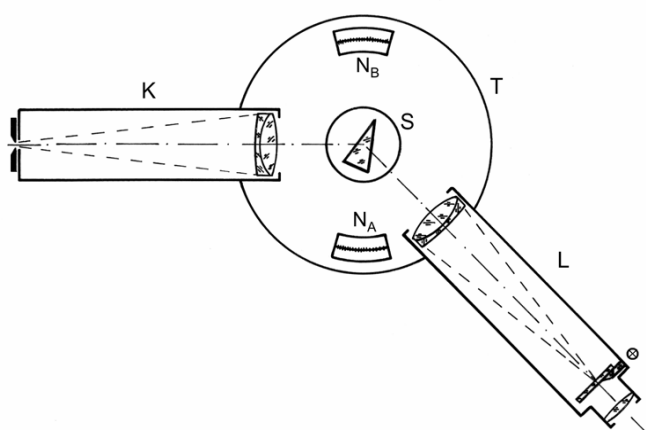
OG 1

I. Cel ćwiczenia:

1. Zapoznanie się z budową i zasadą działania goniometru.
2. Poznanie metody pomiaru kątów pryzmatu
3. Poznanie metody pomiaru współczynników załamania szkieł optycznych.
4. Wyznaczanie długości fali

II. Budowa i zasady działania goniometru optycznego

Jednym z najbardziej precyzyjnych instrumentów optycznych używanych w laboratoriach jest goniometr. W zależności od przeznaczenia goniometry różnią się konstrukcją i dokładnością pomiarową. Służą one do pomiaru kątów dwuściennych pryzmatów i klinów optycznych, do pomiarów kątowych odległości linii widmowych, kątów promieni ugiętych na siatce dyfrakcyjnej lub pryzmacie rozszczepiającym, oraz do wyznaczania współczynników załamania szkła w funkcji długości fali.



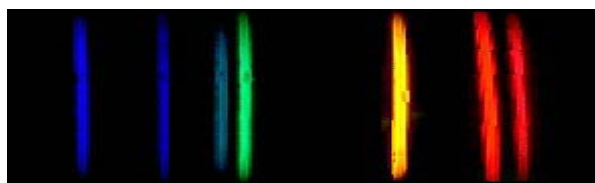
Rys.1. Schemat i zdjęcie goniometru

Na obwodzie kręgu podziałowego **T** jest naniesiona podziałka kątowa. Odczytu dokonuje się z dwóch noniusza poprzez mały okular sprzężony z lunetą **L**. W środku okręgu umieszczony jest stolik obrotowy **S**. Na stoliku goniometru umieszcza się badany pryzmat. Oś obrotu stolika **S** pokrywa się z osią obrotu kręgu **T**.

Nad kręgiem podziałowym jest umieszczona luneta **L** i kolimator **K** w taki sposób, że ich osie główne przechodzą ponad stolikiem. Kolimator i luneta mają obiektywy o jednakowej ogniskowej. W płaszczyźnie ogniskowej obiektywu kolimatora znajduje się szczelina **D** (ew. krzyż), której szerokość można regulować za pomocą śruby mikrometrycznej. Obraz szczeliny, oświetlonej źródłem światła, utworzony przez obiektyw kolimatora leży w nieskończoności. Kolimator goniometru jest najczęściej nieruchomy, zaś lunetę może obracać w płaszczyźnie poziomej dokoła osi obrotu kręgu podziałowego.

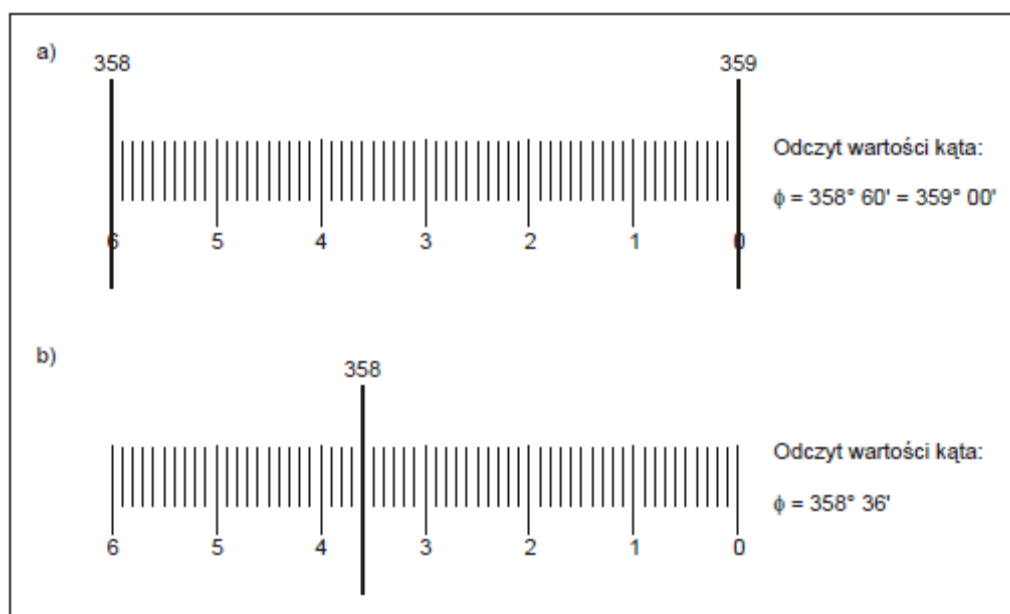
Jeśli na stoliku goniometru położymy pryzmat, a źródło światła oświetlające szczelinę kolimatora nie jest monochromatyczne, to w płaszczyźnie ogniskowej, ustawionej pod

odpowiednim kątem lunety utworzą się barwne obrazy szczeliny kolimatora (widmo ciągłe lub liniowe). Zmniejszamy szerokość szczeliny tak, aby obserwowane linie były jak najwęższe, a zarazem dostatecznie jasne, by je zobaczyć.



Rys.2. Widmo helu rozszczone przez pryzmat.

Lunetka wyposażona jest w krzyż wykonany z nici „pajęczych”. Pionową nić umieszczamy w środku obserwowanej linii widmowej. Dopiero wtedy, za pomocą dodatkowej lunetki (4), odczytujemy wartość kąta. Obie lunetki zamocowane są na tej samej osi i są sprzężone z osią kątomierza. Obserwowana skala składa się z dwóch części: ruchomej i nieruchomej. Nieruchoma składa się z 60 pionowych kresek. Każda z nich odpowiada 1 minucie kątowej, co dokładnie widać na rys 2a. Jest to szczególne ustawienie lunetki i pokazuje ono, że przyrząd jest dobrze wyskalowany. Za pomocą ruchomej części odczytujemy aktualną wartość kąta – kreski pionowe są odległe o wartość 1σ . Na rys 2a przedstawiono dwa przykładowe położenia lunetki. Dokładność pomiaru może wynosić około 1 – 0,5 minuty kątowej.



Rys. 2a. Odczyt kąta w spektrometrze.

III Justowanie goniometru

1. Wstępne ustawienie goniometru

Przed przystąpieniem do justowania goniometru, lunetę ustawia się naprzeciw kolimatora tak, aby ich osie były wzajemnie równoległe. Następnie należy goniometr wypoziomować. Dokonuje się tego pokręcając dwoma śrubami **N** (stopami) umieszczonymi pod podstawą przyrządu. Poprawne ustawienie wskaże poziomnica oczkowa **F** umieszczona na korpusie goniometru. W podobny sposób wstępnie poziomujemy stolik **S** goniometru, kładąc na nim dodatkową poziomnicę oczkową. Za pomocą trzech pokrętek poziomujących **P** ustalamy

poprawne położenie płaszczyzny stolika. Czynność tę wykonuje się w celu ułatwienia dalszej regulacji ustawień przyrządu.

2. Ustawienie lunety na nieskończoność

Jak dla większości przyrządów optycznych, na początku za pomocą regulacji dioptryjnej okularu R_D , ustawiamy ostre widzenie skali płytki ogniskowej P_K . Następnie wyciągiem okularowym W_O ustawiamy lunetę na nieskończoność. Jeżeli kolimator był już wyjustowany, to luneta będzie ustawiona na nieskończoność wtedy, gdy obraz oświetlonej szczeliny kolimatora będzie widoczny bez paralaksy na tle krzyża płytki ogniskowej. Można dodatkowo posłużyć się autokolimacją opisaną w następnym punkcie i ustawić bez paralaksy obraz krzyża autokolimacyjnego na tle skali płytki ogniskowej, korygując ostrość za pomocą regulacji wyciągu okularowego. Jeżeli kolimator nie był wyjustowany, to jest to jedyny sposób ustawienia lunety na nieskończoność.

3. Prostopadle ustawienie osi lunety do głównej osi goniometru

Na stoliku ustawia się płytkę płasko-równoległą w taki sposób, aby jej wypolerowane powierzchnie były równoległe do linii łączącej dwie z trzech pokrętek poziomujących P stolika. Stolik wraz z płytką należy następnie tak obrócić, aby w polu widzenia ukazał się obraz krzyża autokolimacyjnego (obrót wg III.5a). Poziome ramię krzyża należy doprowadzić do pokrycia z zerową kreską podziałki pionowej na płytce ogniskowej (rys.6). Uzyskać to można przez odpowiednie pochylanie płaszczyzny stolika wraz z płytką, pokręcając przeciwną (do dwóch poprzednich) pokrętką poziomującą. Jeżeli oś lunety jest prostopadła do osi obrotu stolika, wtedy po obrocie stolika o 180 obraz krzyża powinien być na tej samej wysokości podziałki. Na ogół jednak tak nie będzie, wystąpi obniżenie lub podwyższenie położenia obrazu krzyża autokolimacyjnego. Jego położenie koryguje się w sposób następujący: połowę odchyłki kompensuje się pochylaniem stolika pokrętką poziomującą, pozostałą zaś połowę śrubą elewacyjną C_L lunety, zmieniając pochylenie jej osi. Następnie, ponownie obraca się stolik o 180 i w podobny sposób kompensuje się odchyłkę położenia krzyża. Czynność tę należy powtarzać na przemian dla jednej i drugiej strony płytki, aż uzyska się żądane pokrycie poziomego ramienia obrazu krzyża autokolimacyjnego z zerową kreską podziałki dla obu stron płytki płasko-równoległej. Gdy to wystąpi - **oś celowa lunety jest prostopadła do osi obrotu stolika. Warunek ten jest niezbędny dla wykonania dalszych poprawnych pomiarów!**

4. Prostopadle ustawienie osi kolimatora do głównej osi spektrometru

Po regulacji wg punktu 3 lunetę ustawia się naprzeciw kolimatora tak, aby ich osie były wzajemnie równoległe (obrót wg III.5c). Szczelinę kolimatora oświetla się dowolnym źródłem światła. Następnie na stałe ustala się położenie szczeliny w płaszczyźnie ogniskowej obiektywu kolimatora za pomocą wkrętu. **Po tym ustawieniu nie wolno go wykręcać!** Obraz szczeliny obserwowany poprzez okular lunety musi być równoległy do pionowej podziałki i odwzorowany bez paralaksy na tle płytki ogniskowej. Wsuwając przysłonę, ogranicza się wysokość szczeliny do ok. 2 mm. Obserwowany obraz szczeliny naprowadza się poprzez pochylanie kolimatora śrubą elewacyjną C_K na wysokość podwójnego krzyża K_K na płytce ogniskowej okularu (rys.4). Następnie drobnym obrotem ramienia lunety X (wg III.5b) obraz szczeliny wprowadza się symetrycznie pomiędzy pionowe kreski krzyża. Regulację kończy korekcja pochylenia kolimatora. **Po tym ustawieniu nie należy już ruszać śruby elewacyjnej kolimatora!**

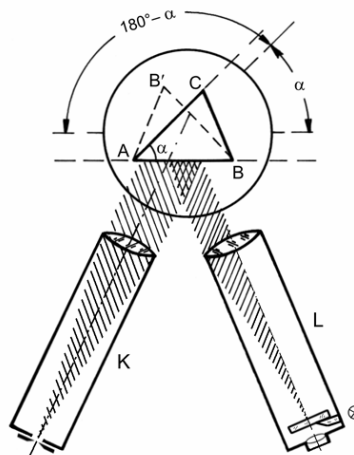
III. Pomiary kąta łamiącego pryzmatu

Pryzmat ustawia się centralnie na stoliku w taki sposób, by dwusieczna kąta łamiącego pryzmatu była prostopadła do linii łączącej dwie pokrętki poziomujące P i wierzchołek tego kąta był zwrócony w kierunku tej linii. Należy przy tym zwrócić uwagę, by środki powierzchni pryzmatu były centryczne względem wiązki świetlnej. W razie potrzeby, należy dobrać właściwą wysokość stolika po poluzowaniu nakrętki zaciskowej G . Przy małych przedmiotach na lunetę należy

nasadzić odpowiednią przysłonę ograniczającą przekrój wiązki. Obracając stolikiem (obrót jak w III.5a lub III.5b) oraz trzecią pokrętką poziomującą, powierzchnię pryzmatu ustawia się autokolimacyjnie prostopadle do osi lunety. Poziome ramię krzyża autokolimacyjnego powinno się pokrywać z zerową kreską podziałki pionowej w lunecie. Następnie, również drugą powierzchnię pryzmatu ustawia się prostopadle do osi lunety. Odpowiednie pochylenie tej powierzchni przeprowadza się w połowie jedną z dwóch pozostałych pokrętek, zaś w drugiej połowie – drugą tak, aby znów obraz poziomego ramienia krzyża autokolimacyjnego pokrywał się z zerową kreską podziałki pionowej na płytce ogniskowej. W razie potrzeby czynności te należy powtarzać, aż uzyska się jednakową wysokość położenia obrazu krzyża autokolimacyjnego dla obu ustawień pryzmatu względem lunety. Wtedy krawędź utworzona przez te powierzchnie będzie równoległa do osi głównej przyrządu (lunetę wcześniej ustawiono prostopadle do tej osi, w sposób opisany w IV.3). **Dopiero teraz można przystąpić do pomiaru kąta łamiącego pryzmatu, gdyż mierzony on będzie w przekroju głównym kąta dwuściennego.**

Za pomocą lunety i kolimatora(rys. 3)

Lunetę i kolimator należy wzajemnie ustawić pod możliwie ostrym kątem. Koło podziałowe wraz ze znajdującym się na stoliku pryzmatem należy tak obracać (obrót jak w III.5b), aby uzyskać dwa takie położenia, przy których obie powierzchnie pryzmatu umożliwią powstanie obrazu szczeliny na środku krzyża płytki ogniskowej okularu.



Rys. 3

Oblicza się różnicę obu odczytów osobno dla mikroskopu A i B (indeksy I i II odnoszą się do odpowiednich powierzchni pryzmatu):

$$d_A = a_I - a_{II} \quad d_B = b_I - b_{II}$$

Dla wyeliminowania błędu mimośrodowości kręgu przyjmujemy, że

$$d = (d_A + d_B)/2$$

Kąt pryzmatu wynosi:

$$\alpha = 180^\circ - d$$

Uwaga: Obliczając kąt należy zwrócić uwagę, czy podczas obrotu nie przekracza się działki oznaczonej 0° . Gdy to ma miejsce do takiego odczytu należy dodać 360° . Warunek ten dotyczy wszystkich następujących opisanych metod.

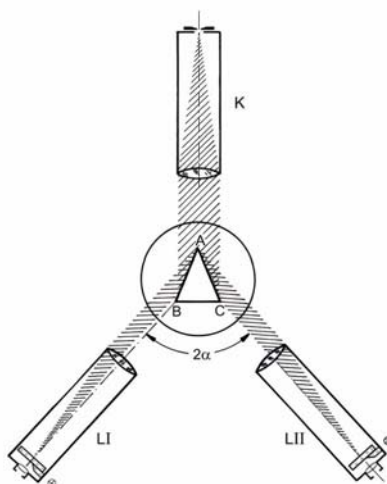
Pomiar z wykorzystaniem rozdzielenia wiązki (rys. 4)

Pryzmat na stoliku należy położyć tak, aby dwusieczna mierzonego kąta α była w przybliżeniu równoległa do osi kolimatora (obrót jak w III.5c). Odczyty z obu mikroskopów i obliczenie wartości d wykonuje się jak w V.1.1.

W tej metodzie różnica odczytów dla obu położań lunety wynosi 2α . Zatem:

$$\alpha = d/2$$

Stosownie do rodzaju i wielkości pryzmatu, oraz żądanej dokładności wybierać należy jedną z podanych metod. W metodzie V.1.4. z uwagi na ukośne padanie wiązki wymagane jest, aby powierzchnie pryzmatu były dostatecznie płaskie. Metoda V.1.3 stosowana jest raczej przy pomiarze dużych pryzmatów, o dużych powierzchniach. Wtedy, bowiem niewielkie odchyłki od płaskości powierzchni najmniej wpływają na dokładność pomiaru.

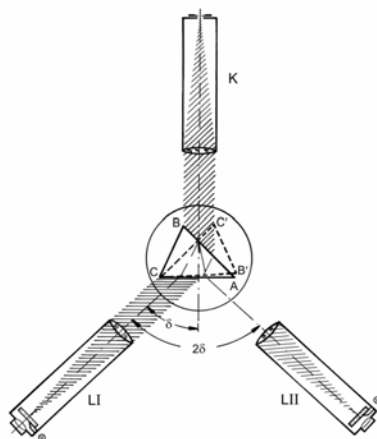


Rys. 4.

Pomiar kąta odchylenia δ i określenie współczynnika załamania n

2.1. Metoda Fraunchofera (rys. 5)

Odchylenie biegu promieni jest najmniejsze przy symetrycznym biegu promieni poprzez pryzmat o kącie łamiącym α . Aby spełnić ten warunek należy obracać stolik wraz z pryzmatem, śledząc równocześnie w okularze lunety przemieszczanie się obrazu szczeliny (obrót jak w III.5c, z odkręconą śrubą **Z**) w świetle monochromatycznym. W położeniu stolika, w którym stwierdza się, że obraz szczeliny zawraca, niezależnie od kierunku obrotu stolika, należy zablokować obrót stolika śrubą **Z**, oraz obrót ramienia lunety śrubą **H**. Pokrętką drobnego obrotu lunety X_D (dolna boczna na ramieniu lunety) naprowadza się podwójny krzyż płytki ogniskowej dokładnie na obraz szczeliny kolimatora. Następnie sprawdza się, czy położenie to istotnie odpowiada kątowi δ_{\min} . W tym celu odblokowuje się stolik śrubą **Z** i delikatnie przekręca się go w obie strony. Warunek ten jest spełniony, gdy położenie podwójnego krzyża w luncie jest skrajnym odchyleniem biegu promieni. Po wykonaniu tych czynności należy dokonać odczytów z obu mikroskopów. Następnie pomiar ten powtarza się po drugiej stronie osi kolimatora. Wartość średnia d obu odczytów z mikroskopów **A** i **B** (jak w V.1.1) dla położań lunety **LI** i **LII** wynosi $2\delta_{\min}$.



Rys. 5

Współczynnik załamania szkła n_λ , z którego wykonany jest pryzmat dla użytej długości fali światła wynosi:

$$n_\lambda = \frac{\sin \frac{\alpha + \delta_{\min}}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}}$$

Uwaga: Zależnie od użytego źródła światła oświetlającego szczelinę kolimatora otrzymuje się w obrazie różne widma liniowe. Identyfikację zadanych do pomiaru linii przeprowadza się w oparciu o załączoną do źródła światła tabelę widma.

IV. Przebieg ćwiczenia:

Po zapoznaniu się z przyrządami (lampa, zasilacze, goniometr), ćwiczenie wykonujemy w następujących etapach:

Pomiar kąta pryzmatu

1. Ustawić krawędź mierzonego kąta prostopadle do osi lunety (wg V.1). 22
2. Dwoma metodami o dokonać pomiaru kąta.
3. Obliczyć kąt i przeprowadzić ocenę niepewności względnej i bezwzględnej pomiaru.

Wyznaczenie współczynnika załamania i krzywej dyspersji

1. Przed szczeliną kolimatora ustawić lampę spektralną tak, by jej obraz obserwowany przez lunetę był maksymalnie jasny.
2. Krawędź klina ustawić jak w A.1.
3. Wykonać pomiary wg V.2 dla poszczególnych linii metodą wskazaną przez prowadzącego.
4. Zmierzyć kąt łamiący wg V.1.2.
5. Obliczyć n_λ . Wykreślić krzywą dyspersji i przeprowadzić dyskusję niepewności pomiarowych.

Wyznaczenie widma wodoru i helu, diod LED

1. Wyznaczyć zależność katową dla lampy neonowej

Nr	Długość fali [nm]
0.	438.8
1.	447.1
2.	471.3
3.	492.2
4.A	501.6
4.B	504.8
5.	587.6
6.	667.8
7.	706.5

Tab1. Tabela 1. Linie helu widoczne przy pomocy spektrometru. Linia 4. jest podwójna, składa się z silnej linii 4.A i słabej 4.B. Linie te można rozdzielić po ustawieniu wąskiej szczeliny.

Posługując się rysunkiem 3. i tabelą 1. należy zidentyfikować obserwowane linie. Dla każdej linii określamy jej położenie kątowe posługując się skalą kątową goniometru. Wypełniamy przy tym tabelę kalibracyjną (patrz tabela 2).

Nr linii	Położenie kątowe [stopnie:minuty]	Niepewność [minuty]	Długość fali [nm]
1.	39:40	2	438.8
2.	39:28	1	447.1
3.	39:01	3	471.3
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.

Tabela 2. Przykład tabeli kalibracyjnej

Naprzeciwno szczeliny spektrometru ustawiamy lampy widmowe zawierające kolejno wodór i neon. Dla każdej serii pomiarowej tworzymy tabelę wyników jak niżej:

Nr linii	Barwa linii	Położenie kątowe [stopnie:minuty]	Niepewność [minuty]	Odczytana długość fali [nm]
1.		39:40	2	438.8
2.		39:28	1	447.1
3.		39:01	3	471.3
.		.	.	.
.		.	.	.
.		.	.	.

Tab. 3. Przykład tabeli wyników

Następnie naprzeciwko szczeliny spektrometru ustawiamy diody świecące. Dla każdej diody określamy położenie maksimum oraz zakres obserwowanej luminescencji. W trakcie ćwiczenia wyniki zapisujemy w jednostkach kątowych. Następnie na podstawie wykonanej w punkcie 1. kalibracji przeliczamy kąty na długości fali i w takiej postaci przedstawiamy w opisie. Przykład przedstawiony jest w tab. 4.

Nr diody	Położenie maks. [nm]	Zakres [nm]	
1. – czerwona	630	600	660
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.

Tab. 4. Przykład tabeli wyników

Literatura:

1. H. Szydłowski, „Pracownia fizyczna”
2. P. G. Hewitt, „Fizyka wokół nas”, rozdz. 6.
3. E. Boeker, R. van Grondelle, „Fizyka środowiska”, rozdz. 2. i 7.
4. "Encyklopedia Fizyki PWN", hasła: spektrometr, monochromator