Nazwisko .... Data .... Nr na liście ....

Imię ....

Wydział ....

Dzień tyg. ....

Godzina ....

Ćwiczenie 366

Wyznaczanie współczynnika załamania światła metodą pomiaru kąta najmniejszego odchylenia

I. Wyznaczanie kąta łamiącego pryzmatu

Położenie I ściany		Położenie II ściany		Różnica położeń, Ψ_i		$\varphi_i = \lvert 180° - \Psi_i \rvert$		Kąt łamiący
A	B	A	B	A	B	A	B	$\varphi = \overline{\varphi}$

II. Wyznaczanie kąta najmniejszego odchylenia

Położenie lunety				Różnica położeń		Kąt najmniejszego odchylenia
przy najmniejszym odchyleniu, α_i		na wprost kolimatora, c_i		$\delta_i = \lvert \alpha_i - c_i \rvert$		
A	B	A	B	A	B	$\delta = \overline{\delta}$
Współczynnik załamania szkła dla ____________ linii neonu						$n =$

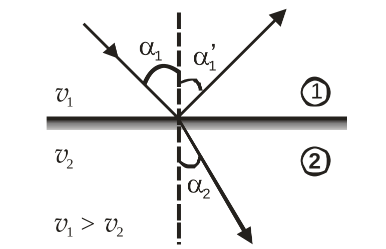
Ćwiczenie 366. Wyznaczanie współczynnika załamania światła metodą pomiaru kąta najmniejszego odchylenia

Odbicie i załamanie światła

Opisując oddziaływanie światła z obiektami makroskopowymi, w wielu wypadkach można stosować przybliżenie, w którym pomija się korpuskularno–falową naturę światła. Posługujemy się wówczas pojęciem *promienia świetlnego*, przez który rozumiemy bardzo wąską wiązkę światła, której oś wyznacza kierunek rozchodzenia się energii świetlnej. Bieg promieni świetlnych w ośrodku przezroczystym można określić opierając się na podstawowym założeniu optyki geometrycznej, że światło w ośrodku jednorodnym i izotropowym rozchodzi się wzdłuż linii prostych, a przecinające się wiązki światła nie oddziałują ze sobą.

Zachowanie się promieni świetlnych na granicy dwóch ośrodków opisują *prawa odbicia i załamania światła.* Prawa te, sformułowane początkowo jako prawa doświadczalne, można uzasadnić również teoretycznie wykorzystując falową lub korpuskularną teorię światła. Gdy wiązka światła trafia na swej drodze na inne środowisko, to na powierzchni granicznej część promieniowania zostaje odbita, rozproszona lub pochłonięta, a reszta przechodzi dalej ulegając załamaniu. Przejście światła z ośrodka **1** do **2** pokazuje rys.1.

Prawa dotyczące odbicia i załamania światła są następujące:



Rys. 1. Odbicie i załamanie światła

1. Promień padający, odbity i załamany oraz normalna do powierzchni granicznej leżą w jednej płaszczyźnie.
2. Kąt padania α_1 jest równy kątowi odbicia α_1':
$$\alpha_1 = \alpha_1'.$$
3. Stosunek sinusa kąta padania α_1 do sinusa kąta załamania α_2 jest wielkością stałą:
$$\frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_2} = n_{2,1}, \tag{1}$$

gdzie $n_{2,1}$ jest współczynnikiem załamania światła ośrodka **2**, do którego promień wchodzi, względem ośrodka **1**, z którego wychodzi.

Można wykazać, że współczynnik załamania zależy od prędkości światła w obu ośrodkach:
$$n_{2,1} = v_1/v_2, \tag{2}$$
v_1 — prędkość światła w ośrodku **1**, v_2 — prędkość światła w ośrodku **2**. Współczynnik załamania ośrodka względem próżni nosi nazwę *bezwzględnego współczynnika załamania n*,
$$n = c/v, \tag{3}$$
c — prędkość światła w próżni, v — w danym ośrodku. Bezwzględny współczynnik załamania ośrodka różni się bardzo mało od współczynnika załamania względem powietrza ze względu na to, że prędkość światła w powietrzu v_p jest w dużym przybliżeniu równa prędkości światła w próżni c.

W praktyce posługujemy się współczynnikiem załamania danego ośrodka względem powietrza. Jest on zależny od barwy światła, a więc od jego długości fali. Przekształcając wzór (2) otrzymamy
$$n_{2,1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{c/v_2}{c/v_1} = \frac{n_2}{n_1}, \tag{4}$$
skąd wynika, że względny współczynnik załamania $n_{2,1}$ dwóch sąsiadujących ze sobą ośrodków równy jest stosunkowi bezwzględnych współczynników załamania tych ośrodków.

Częstotliwość f fali świetlnej określona jest przez źródło światła i nie zależy od ośrodka, w którym światło przemieszcza się. Natomiast prędkość światła w ośrodku dielektrycznym zależy od jego przenikalności dielektrycznej i magnetycznej.

Ponieważ iloczyn częstotliwości *f* i długości λ fali równy jest jej prędkości *v*,

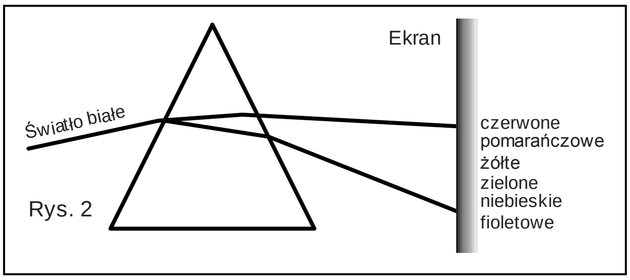
$$\lambda \cdot f = v,$$

to wykorzystując zależność (3) otrzymamy wzór

$$\lambda = \frac{c}{n \cdot f},$$

z którego wynika, że przy przejściu promienia do ośrodka optycznie gęstszego (o większym współczynniku *n*) długość fali zmniejsza się.

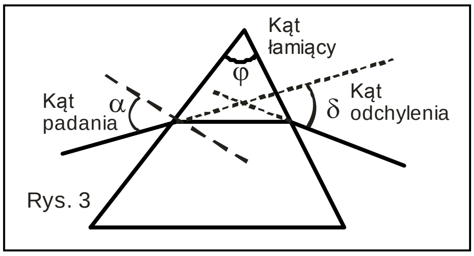
Zjawisko zależności prędkości światła w danym ośrodku materialnym, a więc i współczynnika załamania *n* tego ośrodka od długości fali padającego światła nazywamy *dyspersją światła*. W odniesieniu do światła widzialnego ośrodki przezroczyste wykazują na ogół *dyspersję normalną*, tzn. *n* maleje ze wzrostem długości fali λ, $(dn/d\lambda < 0)$ — światło czerwone jest załamywane słabiej niż światło niebieskie (prędkość światła czerwonego jest większa niż niebieskiego). Dyspersja w powietrzu jest bardzo słaba, a w próżni nie występuje (prędkość światła w próżni jest jednakowa dla każdej fali elektromagnetycznej).



Rys. 2

Białe światło, np. żarówki, jest mieszaniną fal świetlnych o różnych długościach fal z całego zakresu widzialnego i przy załamywaniu na granicy dwóch ośrodków, w wyniku dyspersji, barwy są rozdzielane. Zjawisko to zachodzi dwukrotnie w szklanym pryzmacie, wytwarzając rozbieżną wiązkę światła i przy padaniu tej wiązki na ekran obserwujemy kolorowy obraz — *widmo światła*, rys.2.

Wyznaczanie współczynnika załamania na podstawie odchylenia promienia światła przechodzącego przez pryzmat

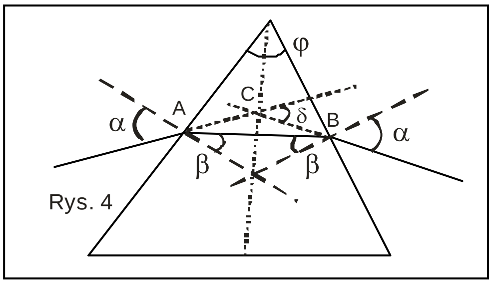


Rys. 3

Pryzmatem optycznym nazywamy ośrodek załamujący światło, ograniczony dwiema płaszczyznami tworzącymi ze sobą *kąt łamiący* φ. Kierunek promienia świetlnego wychodzącego z pryzmatu jest odchylony od kierunku promienia padającego o pewien kąt δ, zwany *kątem odchylenia*, rys. 3. Wartość tego kąta zależy od kąta padania α, kąta łamiącego φ i współczynnika załamania *n* pryzmatu.

Kąt odchylenia osiąga *minimum*, gdy wewnątrz pryzmatu promień jest prostopadły do dwu siecznej kąta łamiącego φ, rys. 4. W tym przypadku, kąt $\delta = \delta_{\min}$ stanowi sumę kątów nieprzyległych w trójkącie ABC, czyli $\delta = 2(\alpha - \beta)$. Kąty β i $\varphi/2$ są sobie równe ponieważ mają ramiona wzajemnie prostopadłe.. Po podstawieniu $\beta = \varphi/2$ do wyrażenia na δ możemy wyrazić kąt α poprzez φ i δ:

$$\alpha = (\delta + \varphi)/2. \quad (5)$$



Rys. 4

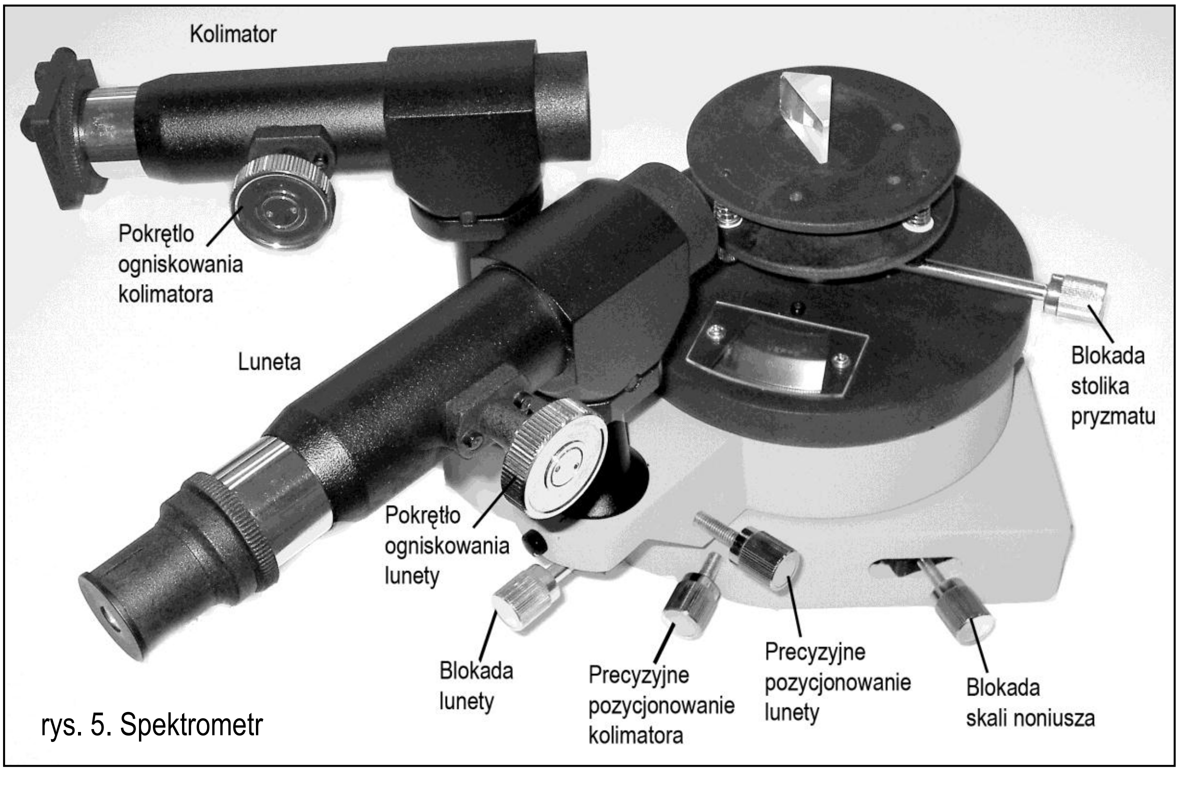
Wprowadzając wyrażenia na kąt padania α i załamania β do wzoru (1), otrzymamy:

$$n = \frac{\sin\left[(\delta + \varphi)/2\right]}{\sin\left[\varphi/2\right]}. \quad (6)$$

Z zależności (6) możemy obliczyć współczynnik załamania *n* materiału, z którego wykonano pryzmat, jeżeli wyznaczymy kąt łamiący i kąt najmniejszego odchylenia δ. Kąty te wyznaczamy za pomocą *spektrometru*.

Budowa spektrometru

Spektrometr, rys. 5, jest przyrządem umożliwiającym dokładny pomiar kąta odchylenia promienia przez pryzmat. Światło wychodzące ze źródła trafia do kolimatora przez szczelinę o regulowanej szerokości. Po przejściu przez kolimator wiązka światła staje się w przybliżeniu równoległa (długość kolimatora jest tak dobrana, że szczelina leży w płaszczyźnie ogniskowej soczewki umieszczonej na drugim końcu kolimatora).Wiązka ta może wchodzić do lunetki bezpośrednio lub po odchyleniu przez pryzmat ustawiony na stoliku spektrometru. Kolimator jest nieruchomo związany z podstawą, a podstawa stolika i luneta mogą obracać się dookoła tej samej osi niezależnie od siebie. Luneta połączona jest na stałe z podziałką kątową widoczną w okienku podstawy stolika, która przylega do dwóch noniuszy dziesiętnych, przesuniętych o 180° (**noniusze złączone są z podstawą stolika**). U podstawy spektrometru znajdują się śruby blokujące przypadkowe poruszenie stolika i lunety podczas odczytu wartości kątów. Po przykręceniu śrub blokujących, precyzyjne ustawienie podstawy stolika i lunety uzyskuje się za pomocą śrub pokazanych na rysunku poniżej.



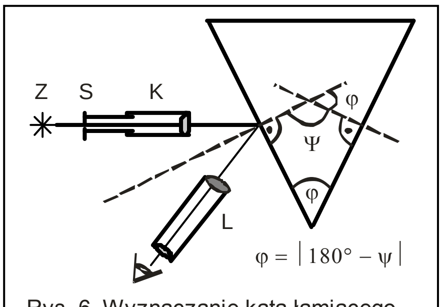
rys. 5. Spektrometr

Wykonanie ćwiczenia

Przygotowanie spektrometru do pracy

Uwaga. Przed rozpoczęciem pomiarów spektrometr może wymagać regulacji.

Ustawianie kolimatora. Przed szczelinę kolimatora S stawiamy świecące źródło światła Z. Poprzez lunetę obserwujemy obraz oświetlonej szczeliny i ustawiamy ostrość widzenia jej brzegów za pomocą pokrętła ogniskowania kolimatora.



Rys. 6. Wyznaczanie kąta łamiącego

Wyznaczanie kąta łamiącego pryzmatu

1. Szczelinę S kolimatora oświetlamy źródłem Z światła białego i ustawiamy lunetkę pod kątem ostrym względem kolimatora, rys. 6.
2. Stawiamy na środku stolika pryzmat i sprawdzamy czy do

lunetki dochodzą odbicia kolejno od każdej ściany pryzmatu i czy obraz jest symetryczny względem średnicy poziomej. W razie potrzeby poprawiamy poziomowanie stolika śrubami widocznymi pod blatem.

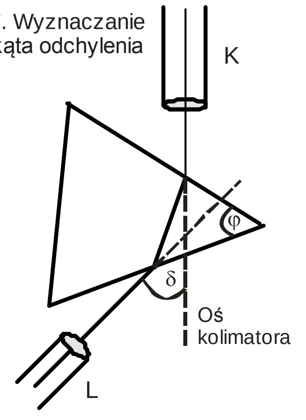
Uwaga: Stolik należy obracać trzymając podstawę stolika.

3. Stolik z podstawą obracamy do pozycji, przy której jedna ściana kąta łamiącego pryzmatu odbija wiązkę promieni wychodzących z kolimatora tak, aby obraz szczeliny w lunetce znalazł się dokładnie na środku krzyża z nitek pajęczych — ściana odbijająca jest wówczas prostopadła do dwusiecznej kąta między kolimatorem i lunetką.
4. Notujemy wskazania obu noniuszy (A i B) określające położenie pierwszej ściany.
5. Obracamy podstawę stolika (tak, aby nie poruszyć pryzmatu) w celu uzyskania w lunetce odbicia od drugiej ściany kąta łamiącego pryzmatu. Notujemy wskazania noniuszy A i B. Znajdujemy różnicę Ψ położeń pierwszej i drugiej ściany.
6. Znajdujemy kąt łamiący φ. Jak wynika z rysunku 6: $\varphi = |180° - \Psi|$.
7. Kąt łamiący wyznaczamy trzykrotnie, zmieniając nieznacznie położenie pryzmatu na stoliku.
8. Obliczamy średnią wartość kąta łamiącego: $\bar{\varphi} = \frac{1}{6}\sum_{i=1}^{6}\varphi_i$, (po 3 wartości dla noniusza A i B).

Wyznaczanie kąta najmniejszego odchylenia δ

1. Przed szczeliną kolimatora ustawiamy lampę neonową.
2. Ustawiamy wstępnie pryzmat i lunetkę według rys. 7.
3. Patrząc w okular lunetki przemieszczamy ją wzdłuż obwodu stolika i szukamy rozszczepionego, barwnego obrazu szczeliny. Zwężamy szczelinę tak, aby jej obraz składał się z wyraźnie rozdzielonych wąskich prążków.
4. Obracamy nieco stolik w jedną i w drugą stronę i obserwujemy kierunek przesuwania się obrazu szczeliny — wybieramy kierunek obrotu, przy którym odchylenie promieni załamanych zmniejsza się (obraz szczeliny powinien zbliżać się do osi kolimatora, rys. 7). Jeżeli podczas obrotu stolika obraz szczeliny wychodzi poza pole widzenia, przesuwamy lunetkę w kierunku ruchu obrazu. Dochodzimy do sytuacji, w której przy dalszym obrocie stolika obraz szczeliny w lunecie zatrzymuje się i zmienia kierunek ruchu. Ustalamy położenie stolika dokładnie w punkcie zwrotnym — kąt odchylenia osiąga wówczas minimum.

Rys. 7. Wyznaczanie kąta odchylenia



5. Gdy stolik znajduje się w punkcie zwrotnym, ustawiamy lunetkę tak, aby krzyż z nici znalazł się dokładnie na żółtym prążku widma neonu. Można też badać prążki o innej barwie.
6. Delikatnie obracamy nieznacznie podstawą stolika i sprawdzamy, czy rzeczywiście badany prążek pokrywa się z krzyżem w punkcie zwrotu.
7. Notujemy w tabeli II wskazania α_i obu noniuszy, odpowiadające minimum odchylenia.
8. Zdejmujemy pryzmat nie poruszając stolika i przemieszczamy lunetkę na wprost kolimatora — ustawiamy ją tak, aby obraz szczeliny (o barwie neonowej) znalazł się na środku krzyża. Wskazania c_i noniuszy odpowiadają położeniu lunetki dla promienia nieodchylonego.
9. Obliczamy kąt minimalnego odchylenia δ_i — jest on równy różnicy położeń lunetki dla promienia odchylonego i nieodchylonego: $\delta_i = |\alpha_i - c_i|$.
10. Pomiar kąta najmniejszego odchylenia δ powtarzamy trzykrotnie.

11. Obliczamy średnią wartość δ: $\bar{\delta} = \frac{1}{6}\sum_{i=1}^{6}\delta_i$, (po trzy wartości dla noniusza A i B).

12. Ze wzoru (6) obliczamy współczynnik załamania.

Rachunek błędów

Błąd pomiaru $\Delta\varphi$ obliczamy jako maksymalną wartość różnicy pomiędzy wartością średnią $\bar{\varphi}$, a każdą z wartości φ_i: $\Delta\varphi = \max\left|\bar{\varphi} - \varphi_i\right|$.

Podobnie obliczamy Δδ: $\Delta\delta = \max\left|\delta - \delta_i\right|$.

Jeżeli któryś z tych błędów jest mniejszy od podwojonej dokładności odczytu kąta, należy przyjąć jako błąd podwojoną dokładność odczytu. Dokładność odczytu wynosi $0{,}1° = 6$ minut.

Błędy $\Delta\varphi$ i Δδ należy wyrazić w radianach.

Błąd pomiaru Δn obliczamy metodą różniczki zupełnej: $\Delta n = \left|\frac{\partial n}{\partial\varphi}\right|\Delta\varphi + \left|\frac{\partial n}{\partial\delta}\right|\Delta\delta$.

Po wykonaniu działań otrzymujemy: $\Delta n = \frac{\sin[\delta/2]}{2\sin^2[\varphi/2]}\Delta\varphi + \frac{\cos[(\varphi+\delta)/2]}{2\sin[\varphi/2]}\Delta\delta$.

Obliczamy także błąd względny procentowy: $B_p = (\Delta n/n)\cdot 100\%$.