

## Ćwiczenie 12

### Pomiar współczynnika załamania refraktometrem Pulfricha

#### 1. Wprowadzenie

Bezwzględny współczynnik załamania światła określa, ile razy szybciej porusza się światło w próżni, w porównaniu do prędkości światła w badanym ośrodku  $n_b = \frac{v_{pr}}{v_{ośr}}$ . Światło jest falą elektromagnetyczną i przy przejściu z jednego ośrodka do drugiego częstotliwość drgania tej fali pozostaje stała  $f = v_{pr}/\lambda_{pr} = v_{ośr}/\lambda_{ośr}$ , lecz zmienia się długość fali światła ( $\lambda_{pr} \neq \lambda_{ośr}$ ). Podobnie, względny współczynnik załamania, określa stosunek prędkości światła w ośrodku odniesienia, względem którego ten stosunek jest definiowany np. powietrza, do prędkości światła w ośrodku badanym  $n = v_{odn}/v_{ośr}$ . Względny współczynnik załamania jest też, jak widać, stosunkiem bezwzględnych współczynników załamania ośrodków: badanego i odniesienia  $n = n_{ośr}/n_{odn} = (v_{pr}/v_{ośr})/(v_{pr}/v_{odn}) = v_{odn}/v_{ośr}$ . Zwykle, w praktyce, przez współczynnik załamania rozumiemy współczynnik załamania względny, **mierzony względem powietrza** (dlatego też bezwzględny współczynnik załamania badanego ośrodka jest większy od tak mierzonego o ok. 1.0003 raza). Jeżeli prędkość światła w danym ośrodku nie zależy od długości fali światła ( tzn. jest taka sama dla światła o różnych długościach fali,  $v(\lambda) = \text{const}$  i  $n(\lambda) = \text{const}$  ) oznacza to, że ośrodek nie jest dyspersyjny (próżnia, powietrze). Dla ośrodków dyspersyjnych prędkość światła w tych ośrodkach zależy od długości fali światła ( $v = v(\lambda)$ ,  $n = n(\lambda)$ ). To właśnie różna prędkość światła, w różnych ośrodkach, jest przyczyną znanego prawa załamania na granicy dwóch ośrodków:

$$n_{odn} \sin \alpha = n_{ośr} \sin \beta, \quad (1)$$

gdzie  $\alpha$  i  $\beta$  są kątami padania i załamania na granicy ośrodków.

Prawo to jest podstawą wszystkich pomiarów refraktometrycznych, które są pomiarami względnymi, ponieważ określają jeden współczynnik załamania względem innego współczynnika odniesienia. W pomiarach refraktometrycznych współczynnikiem odniesienia jest współczynnik załamania pryzmatu refraktometru, i w związku z tym musi być dokładnie znany i wyznaczony innymi metodami np. spektrometrem.

Własności różnych ośrodków mogą być różne. Gdy współczynnik załamania ośrodka w zakresie widzialnym rośnie, wraz ze zmniejszaniem długości fali, to dyspersję takiego ośrodka nazywamy normalną. W przypadku przeciwnym dyspersja ośrodka jest anomalna. Mierząc współczynniki

załamania dla różnych długości fal możemy zmierzyć dyspersję ośrodka, tzn.  $n=n(\lambda)$ . Szybkości zmian  $n$  wraz ze zmianą  $\lambda$  mogą być opisywane w różny sposób. Dyspersja cząstkowa  $\Delta n=n_{\lambda_2}-n_{\lambda_1}$  jest określana dla pewnego przedziału widma  $\Delta\lambda=\lambda_2-\lambda_1$ . Zaś dyspersja materiału to  $\Delta n/\Delta\lambda$ . Określa się też tzw. dyspersję średnią:

$$\Delta n_{FC}=n_F-n_C \quad \text{lub} \quad \Delta n_{F',C'}=n_{F'}-n_{C'} \quad (2)$$

gdzie wskaźniki literowe oznaczają odpowiednie symbole linii widmowych. Współczynniki dyspersji (liczby Abbego) opisane są jako:

$$v_s = \frac{n_s - 1}{n'_F - n'_C} \quad \text{lub} \quad v_d = \frac{n_d - 1}{n_F - n_C} . \quad (3)$$

Analityczne zmiany współczynnika załamania opisuje się różnymi zależnościami np. za pomocą wzoru Hartmanna:

$$n(\lambda) = n_0 + \frac{C}{(\lambda - \lambda_0)^\alpha} , \quad (4)$$

gdzie  $n_0$ ,  $\lambda_0$ ,  $C$  i  $\alpha$  są wielkościami charakteryzującymi ośrodek i wyznaczane są jeżeli znamy współczynniki załamania dla wielu długości fal. Funkcje opisujące krzywe dyspersji nie są ciągłe w całym zakresie widma. Nieciągłości występują dla obszarów pochłaniania! Dla zakresu widma wolnego od zakresów pochłaniania można dyspersję opisać jako:

$$n(\lambda)^2 = A_0 + \sum_m \frac{A_m}{\lambda^2 - \lambda_m^2} , \quad (5)$$

gdzie  $\lambda_m$  określa długości wielu linii absorpcyjnych, lub wzorem Cauchy'ego:

$$n(\lambda)^2 = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} , \quad (6)$$

gdzie  $A$ ,  $B$ ,  $C$  są stałymi doświadczalnymi, które wyznacza się mierząc  $n$  dla 3 lub większej liczby długości fali  $\lambda$ . Dla szkieł optycznych opisuje się zwykle dyspersję jako:

$$n(\lambda)^2 = A_0 + A_1\lambda^2 + A_2\lambda^{-2} + A_3\lambda^{-4} + A_4\lambda^{-6} + A_5\lambda^{-8} , \quad (7)$$

gdzie współczynniki  $A_i$  podawane są w katalogach szkieł obok wielu innych danych, lub wzorem Herzbergera:

$$n(\lambda) = a + b\lambda^2 + \frac{c}{\lambda^2 - 0.035} + \frac{d}{(\lambda^2 - 0.035)^2}, \quad (8)$$

gdzie  $a, b, c, d$  są stałymi charakteryzującymi materiał.

## 2. Zasada pomiaru - pomiar kąta odchylenia przez V-pryzmat

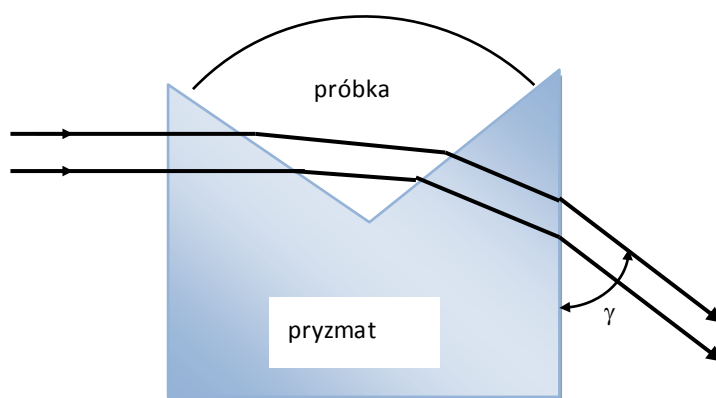
Rysunek 1 przedstawia schemat pomiaru przy użyciu pryzmatu V refraktometru. Pryzmat V refraktometru wykonany jest tak, że jego pionowe ściany tworzą płytkę płasko równoległą, a w górnej jego części wewnętrzne ścianki V tworzą kąt prosty. W ten kąt prosty można wstawiać badane próbki prostokątne, które są w kontakcie z powierzchniami pryzmatu przez ciecz immersyjną, lub wypełnić V-pryzmat badaną cieczą. Równoległa wiązka promieni odchyła swój bieg i występuje wtedy następująca zależność:

$$\cos \gamma = \frac{1}{\sqrt{2}} \left( \sqrt{1.5 \cdot N(\lambda)^2 - \sqrt{n(\lambda)^2 - 0.5 \cdot N(\lambda)^2}} \right). \quad (9)$$

Znając współczynniki załamania pryzmatu V i mierząc kąt  $\gamma$  można wyznaczyć współczynnik załamania próbki

$$n(\lambda) = \sqrt{N(\lambda)^2 - \cos \gamma \sqrt{N(\lambda)^2 - \cos^2 \gamma}}. \quad (10)$$

Tabele producenta z  $N_\lambda$  dla pryzmatu V przedstawiono w tabeli 1.



Rys 1. Zasada pomiaru przy użyciu V pryzmatu.

Tabela 1. Współczynniki załamania  $V$  pryzmatu.

$\lambda$ [nm]	N	$\lambda$ [nm]	N
365.0	1.824274	501.6	1.757175
397.0	1.796856	504.8	1.756552
404.7	1.792219	508.6	1.755565
407.8	1.790491	546.1	1.748218
410.8	1.788886	576.9	1.743364
434.0	1.778210	579.1	1.743047
435.8	1.777484	587.6	1.741856
447.1	1.773187	589.3	1.741624
467.8	1.766292	623.4	1.737415
471.3	1.765234	643.8	1.735296
480.0	1.762724	656.3	1.734088
486.1	1.761062	667.8	1.732942
491.6	1.759629	690.7	1.729892
492.2	1.759476	706.5	1.730021

Tabela 2. Wybrane linie widmowe dostępnych w laboratorium lamp spektralnych.

Lampa	Barwa	Intensywność	Oznaczenie	Długość fali (nm)
He	czerwona	słaba	r	706.5
	czerwona	średnia		667.8
	żółta	b. silna	d	587.6
	zielona	b. słaba		504.8
	zielona	średnia		501.6
	niebiesko-zielona	średnia		492.2
	niebieska	słaba		471.3
	fioletowa	słaba		447.1
Hg	żółta	b. silna dublet		579.1
	żółta	b. silna dublet		576.9
	zielona	b. silna	e	546.1
	niebiesko-zielona	b. słaba		491.6
	fioletowa	średnia	g	435.8
Cd	czerwona	b. silna	C'	643.8
	zielona	b. silna		508.6
	niebieska	b. silna	F'	480.0
	niebieska	b. silna		467.8
H <sub>2</sub>	czerwona	silna	C	656.3
	niebiesko-zielona	średnia	F	486.1

Refraktometr fabrycznie wyposażony jest w 3 lampy wewnętrzne: wodorową, helową (He) i rtęciową (Hg). Możliwe jest także wyposażenie go w lampy zewnętrzne np. kadmową i sodową. Długości linii widmowych wielu fal (i tych zalecanych, z oznaczeniem jednoliterowym), przedstawiono w tabeli 2.

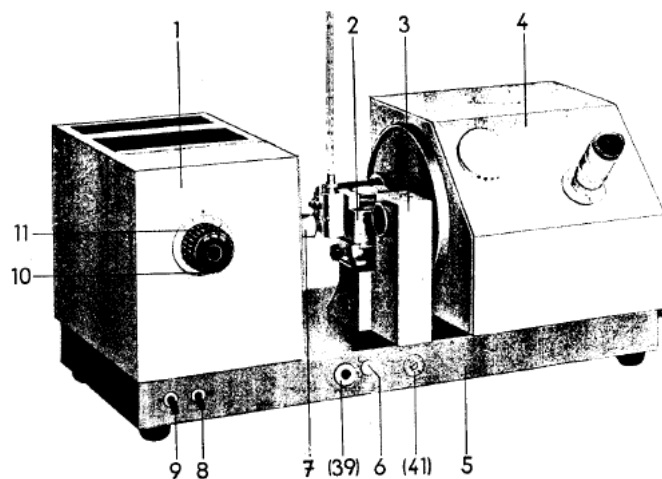
Zakres pomiarowy przy użyciu pryzmatu V przedstawiony jest w poniższej tabeli

Tabela 3 – zakres pomiarowy przy wykorzystaniu pryzmatu V.

$n_c$	$n_e$	$n_g$	Mierzony kąt
1.28-1.81	1.29-1.83	1.32-1.89	15°-100°

### 3. Budowa i obsługa refraktometru

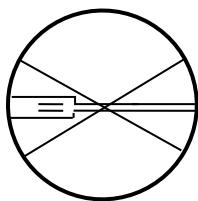
Na płycie refraktometru umieszczone są cztery odrębne zespoły (rys.2). W pierwszym od lewej [1] umieszczone są wewnętrzne źródła światła tj. lampy: wodorowa (nieczynna), helowa i rtęciowa. W środkowej części znajdują się pryzmat refraktometru [2] i przystawka oświetleniowa [3] (kolimator). Zespół pomiarowy [4] zawiera lunetkę obserwacyjną, precyzyjnie odchylaną z odczytem kąta  $\gamma$ .



Rys.2. Refraktometr Pulfricha widok z lewej strony.

Wyłącznikiem głównym jest wyłącznik [9]. Wyłącznik [8] umożliwia włączenie tylko lampy rtęciowej. Do włączenia lamp wodorowej i helowej służy przełącznik [10]. Zapalana jest wtedy tylko ta lampa, której oznaczenie znajduje się nad przełącznikiem tj.  $H_2$  lub He, (dla Hg nie palą się lampy  $H_2$  lub He). Gałka obrotowa [11] umożliwia wymianę filtrów, które ułatwiają wybór z wielu emitowanych linii widmowych tej wybranej. Tak więc można wybrać długości fal oznaczonych jako C, d, e, g, i h. Linie emitowane przez Hg oznaczono jednym punktem, przez  $H_2$  dwoma punktami i przez He trzema punktami. Filtr h przepuszcza także częściowo linię g. Oznaczenie dla linii F, oznacza także, że żaden filtr nie jest wtedy włączony. Z oświetlacza światło przechodzi do przystawki oświetleniowej i pada odpowiednio na pryzmat refraktometru. Na wyjściu oświetlacza znajduje się niebieski filtr [7], którym można stłumić zbyt jasne linie widmowe. Zewnętrzne lampy spektralne można mocować do gwintu

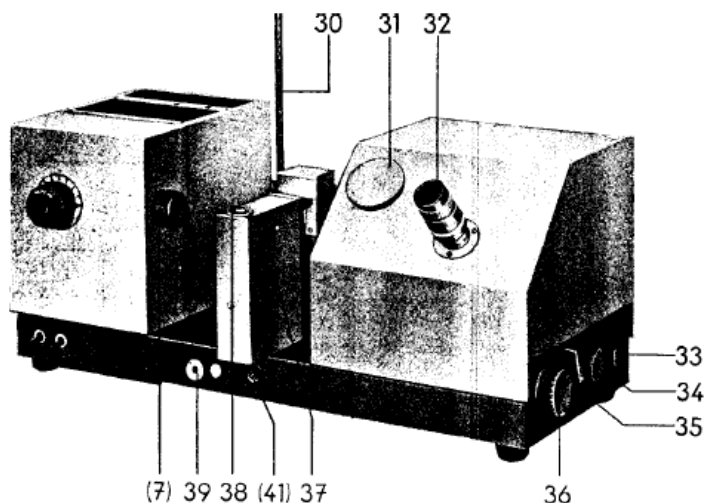
[39]. W pracowni zamocowana jest lampa kadmowa. Obudowa tej lampy zaopatrzona jest w odchylane zwierciadło, które umożliwia kierowanie światła do przystawki oświetleniowej. Na mocowaniu tego zwierciadła (w pobliżu osi obrotu) znajduje się śruba regulująca maksymalny kąt wychylenia, który daje optymalne oświetlenie i ułatwia obsługę lampy. Zamknięcie zwierciadła daje możliwość pracy z lampami wewnętrznymi bez demontażu lampy zewnętrznej; otwarcie - pracę z lampą zewnętrzną. Na obudowie lampy znajdują się dwa kołki przesuwane w pionie. Kołek [trzy pozycyjny - górny] zmienia filtry. W najniższym położeniu światło swobodnie wydostaje się z lampy. W położeniu środkowym wstawiany jest filtr dla wyboru linii widmowej C', a w położeniu górnym wstawiany jest filtr dla wyboru linii F'.



Rys.3. Widok w lunecie systemu pomiarowego: obraz szczeliny na tle krzyża pomiarowego.

### Zespół pomiarowy

Dźwignia [35] (rys. 4) służy do przełączania obrazu widocznego w okularze [32]. Gdy jest odsunięta od mierzącego widoczna jest skala (rys. 5) umożliwiająca pomiar kąta  $\gamma$ . Gdy jest przyciągnięta do mierzącego umożliwia nastawienie krzyża lunety na środek szczeliny. Regulacji obrotu lunety wokół poziomej osi (dla pomiaru kąta  $\gamma$ ), dokonuje się pokrętką [36] (rys. 4).

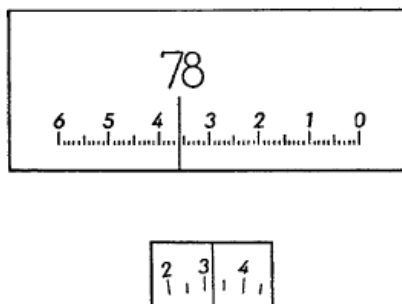


Rys. 4. Refraktometr Pulfricha, widok z prawej strony.

Pokrętko to posiada ruch zgrubny (z większym oporem) i ruch mikro (z mniejszym oporem), pozwalający na precyzyjne nastawienie lunety, w celu dokonania pomiaru kąta  $\gamma$  (pomiaru dokonujemy

w gdy obraz szczeliny znajduje się na przecięciu krzyża, rys 3). Pokrętko [34] wraz z małą skalą (dolną, rys. 5) spełnia rolę pomiarową ułamkowych części minut kątowych. Aby jednak spełniało swoją rolę musi być właściwie ustawione podczas wstępnego justowania lunety na  $90^\circ$ !

Odczytanie kąta wygląda następująco. Na skali noniusza (górna skala, rys. 5) znajduje się pionowa kreska nad którą widać wartość kąta w stopniach. Całkowite wartości minut pokazuje ta pionowa kreska na skali noniusza (od 0' do 60'). Jeżeli pokrętkiem [34] pokryjemy pionową kreskę stopni dokładnie z kreską minut noniusza, to ułamkowe części minut odczytuje się na niższej skali (rys. 5). Kreski z dziesiątymi częściami minut są opisane, a setne minut szacujemy już tylko okiem. **Należy zwrócić uwagę na fakt, że działka skali minutowej ustawiona jest w przeciwną stronę w stosunku do skali stopniowej i sekundowej. Zatem dla uzyskania dokładnego odczytu kąta należy ułamkowe części minuty odjąć od minut odczytanych na tej skali.** Poniżej znajduje się przykładowy odczyt. Gdybyśmy odczytali wprost wskazanie na skali – otrzymalibyśmy kąt:  $78^\circ 36,32'$ . Nie jest to jednak prawidłowy odczyt. Ułamkowe części minuty  $0,32'$  należy odjąć od  $36'$ . Uzyskuje się wówczas 35minut i  $0,68'$ , a końcowy odczyt wynosi  $78^\circ 35,68'$ .



Rys. 5 Skale pomiaru kąta  $\gamma$ . Górna: stopnie z noniuszem minut, dolna ułamkowe części minut. Odczyt  $78^\circ 35,68'$ .

### Przebieg pomiarów

1. Włączyć refraktometr przełącznikiem 9, włączyć zasilanie oświetlenia okularu [32] (osobny zasilacz), jeśli potrzeba włączyć lampę rtęciową i zewnętrzną kadmową.
2. W pryzmacie V umieścić wskazaną przez prowadzącego próbkę szklaną lub badaną ciecz. Przed umieszczeniem próbki w pryzmacie pryzmat należy wyczyścić (przy pomocy miękkiej szmatki i alkoholu) i wysuszyć oraz wlać niewielką ilość cieczy immersyjnej (w przypadku próbek szklanych).
3. Wybrać linię emisyjną do pomiaru. Ustawić lunetę tak, aby obraz szczeliny znajdował się na środku krzyża. Odczytać i zapisać kąt  $\gamma$  w okularze a następnie ze wzoru (10) wyliczyć współczynnik załamania .
4. Pomiarów powtórzyć dla wszystkich dostępnych lamp i wszystkich widocznych linii widmowych.
5. Na wykresie przedstawić krzywą dyspersji  $n(\lambda)$ , wyliczyć dyspersję średnią i liczbę Abbego  $v_e$ . Omówić otrzymane wyniki. Omówić dokładność pomiarów.
6. **Porównać wyniki z wynikami otrzymanymi na refraktometrze Abbego i z wartościami literaturowymi.**