

## Ćwiczenie O<sub>9</sub> – O<sub>12</sub>

### BADANIE WIDM OPTYCZNYCH ZA POMOCĄ SPEKTROMETRU

#### Instrukcja dla studenta

## I. WSTĘP

### I.1 Światło

Z punktu widzenia fizyki światło widzialne jest falą elektromagnetyczną a jednocześnie zbiorem porcji (kwantów) energii, biegnących w kierunku rozchodzenia się fali. Kwanty światła nazywamy fotonami. Wielkości charakteryzujące promieniowanie elektromagnetyczne to długość fali  $\lambda$ , częstość fali  $\nu$  oraz jej energia  $E$ . Wielkości te wiążą się ze sobą następującymi zależnościami:

$$\lambda = \frac{c}{\nu}, \quad E = h\nu,$$

gdzie  $c$  to prędkość rozchodzenia się światła w próżni, a  $h$  stała Plancka.

W ośrodku materialnym prędkość rozchodzenia się światła  $v$  jest mniejsza niż w próżni. Stosunek prędkości w próżni do prędkości w ośrodku materialnym równy jest współczynnikowi załamania  $n$  ośrodka

$$n = \frac{c}{v}.$$

W ośrodku materialnym, w przeciwieństwie do próżni, fale o różnych częstościach (energiach) rozchodzą się z różnymi prędkościami – im większa częstość  $\nu$ , tym mniejsza prędkość  $v$ , a zarazem większy współczynnik załamania  $n$ . Zjawisko to nosi nazwę dyspersji.

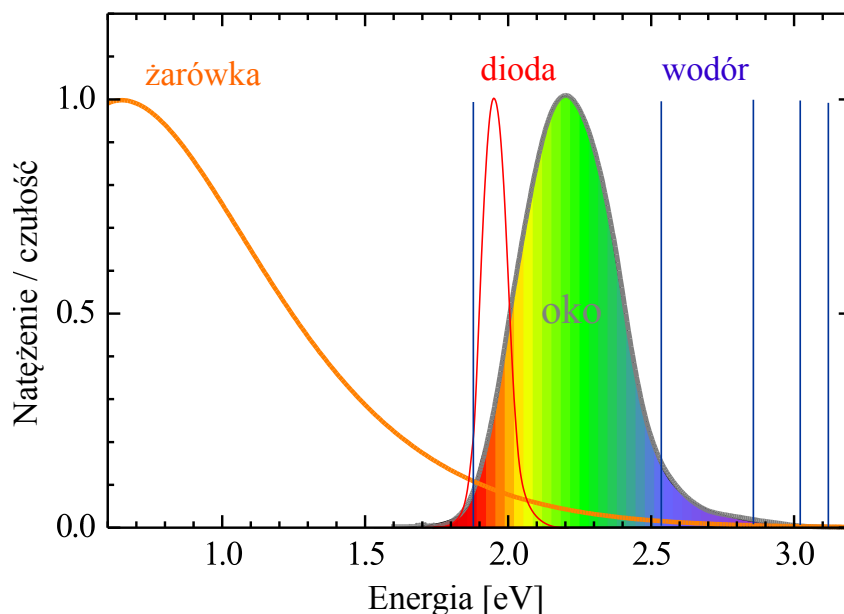
Światło na ogół jest mieszaniną fal o różnych barwach, czyli o różnych długościach fali. Informację o tym, jaka jest zawartość w świetle składowych o poszczególnych długościach fali nazywamy widmem światła.

Wrażliwa na światło warstwa oka, siatkówka, składa się z dwóch rodzajów komórek: pręcików i czopków. Pręciki pracują dobrze przy słabym świetle, ale rozróżniają jedynie odcienie szarości. Natomiast czopki, które widzą kolory, potrzebują silnego światła. W oku znajdują się trzy rodzaje czopków, wrażliwych na trzy zakresy światła odpowiadające barwom czerwonej, zielonej i niebieskiej. Z tych trzech barw nasz mózg odtwarza wszystkie pozostałe kolory. Zależność czułości oka od energii światła przedstawiona jest na Rysunku 1.

### I.2. Emisja światła

Ponieważ światło przenosi energię, wytworzone może być tylko przez układy, w których jest dostępna odpowiednia energia. Najpowszechniej spotykanymi źródłami światła są ciała rozgrzane do wysokiej temperatury (np. Słońce, włókno żarówki). W gorącym ośrodku jony i elektrony poruszają się z prędkościami tysięcy metrów na sekundę a jeśli są związane – drgają z ogromnymi częstościami. Zgodnie z prawami elektrodynamiki, hamujące lub przyspieszające ładunki emitują fale elektromagnetyczne. W miarę wzrostu temperatury rośnie energia kinetyczna naładowanych cząstek i energia emitowanych kwantów światła. Fale elektromagnetyczne emitowane są przez wszystkie ciała. Obiekty o temperaturze pokojowej emitują światło podczerwone. Ciała rozgrzane do temperatury kilkuset stopni Celsjusza też emitują podczerwień, ale ponadto zaczynają świecić na czerwono. Powyżej 1000 °C emitowane światło ma barwę żółtą, ale oczywiście składa się zarówno z fotonów podczerwonych jak i odpowiadających barwie czerwonej, żółtej oraz zielonej. Białe światło słoneczne odpowiada temperaturze 5500 °C, i jak wiemy, zawiera wszystkie barwy światła widzialnego, jak również podczerwień i nadfiolet. Tego typu emisję nazywamy emisją

termiczną. Ponieważ emitowane jest światło o wszystkich długościach fali mówimy, że promieniowanie termiczne ma widmo ciągłe. Kształt takiego widma, dla ciała o temperaturze 2700 K (żarówka halogenowa) przedstawiony jest na Rysunku 1.



Rysunek 1. Widmo czułości oka oraz widma emisji różnych ciał: widmo ciągłe żarówki o temperaturze 2700 K, pasmo luminescencji diody świecącej mającej przerwę energetyczną 2 eV i linie luminescencji atomowego wodoru.

Inny charakter ma luminescencja, czyli emisja pochodząca ze struktur kwantowych, takich jak atomy, cząsteczki chemiczne lub kryształy. W strukturach tych elektrony zajmować mogą jedynie pewne stany energetyczne. Przeskok z jednego stanu na drugi związany jest z pochłonięciem lub oddaniem pewnej ilości energii. Często energia ta emitowana jest w postaci kwantu promieniowania elektromagnetycznego, w tym światła widzialnego. Powstające w ten sposób światło ma z góry określoną energię. Przykład luminescencji wodoru w postaci wąskich, oddzielonych od siebie linii, przedstawiony jest na Rysunku 1. Taki typ widma nazywamy widmem dyskretnym lub liniowym.

Widma światła emitowanego przez atomy i cząsteczki są dla nich charakterystyczne, dlatego badanie tych widm pozwala na identyfikację świecących atomów i cząsteczek. Oparta na tym fakcie metoda badania składu chemicznego substancji nosi nazwę analizy spektroskopowej.

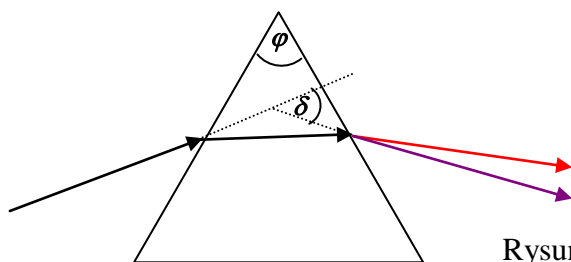
Ze względu na sposób wywołania luminescencji wyróżniamy m. in. chemiluminescencję (wywołaną reakcjami chemicznymi), elektroluminescencję (zachodzącą pod wpływem stałego lub zmiennego pola elektrycznego) czy fotoluminescencję (wywołaną przez pochłonięcie promieniowania elektromagnetycznego).

W praktyce coraz częściej wykorzystuje się elektroluminescencję. Powstaje ona w kryształach półprzewodników, gdy na skutek przepływu prądu elektrycznego, elektrony zmuszone zostają do rekombinacji, a więc do skoku z pasma przewodnictwa w dół, do pasma walencyjnego. Wytworzona w ten sposób energia z dużym prawdopodobieństwem emitowana jest w postaci światła. Nic dziwnego zatem, że elektroluminescencja jest procesem znacznie bardziej energooszczędnym niż emisja termiczna z klasycznych żarówek. Z tej przyczyny ekonomiści przewidują, że w przypadku dalszego obniżania ceny półprzewodników i wzrostu cen energii, żarówki będą powszechnie zastępowane przez diody świecące.

Widmo luminescencji emitowanej przez duże cząstki lub kryształy ma charakter pasm luminescencyjnych znacznie szerszych niż linie świecenia gazów. Przykład takiego pasma luminescencji (diody świecącej) przedstawiony jest na Rys 1.

### 1.3 Zasada działania prostego spektrometru.

Do analizy światła służą przyrządy zwane spektrometrami. Najważniejszym elementem spektrometru jest element dyspersyjny, który rozdziela światło na składowe. Może nim być siatka dyfrakcyjna lub pryzmat. W tym ćwiczeniu wykorzystujemy pryzmat. Wiązka światła przechodząca przez pryzmat jest odchylana o kąt  $\delta$ , który zależy od współczynnika załamania światła w pryzmacie (Rys. 2). Ponieważ współczynnik ten zależy od energii światła, światło o różnych energiach (częstościach, długościach fali) odchylane jest pod różnymi kątami. Najsilniej odchyła się promieniowanie fioletowe, najmniej czerwone. Spektrometr umożliwia precyzyjny pomiar kątów odchylenia.



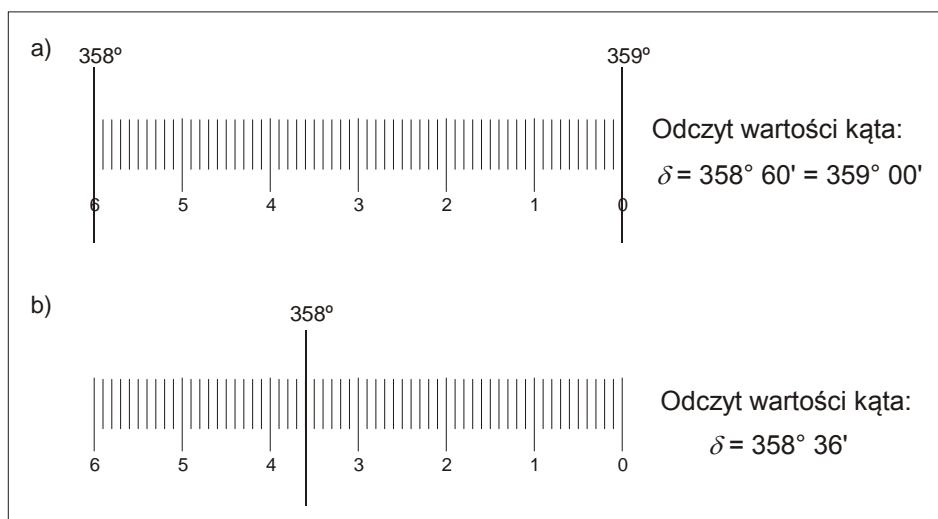
Rysunek 2 Odchylenie wiązki w pryzmacie

Prosty spektrometr pryzmatyczny przedstawiony jest na Rysunku 3. Analizowane światło pada na szczelinę kolimatora (1). Szczelina znajduje się w ognisku soczewki kolimatora, a więc soczewka formuje równoległą wiązkę światła. Wiązka ta przechodzi przez leżący na stoliku (2) pryzmat ulegając przy tym odchyleniu i rozszczepieniu na poszczególne barwy. Rozszczepioną wiązkę (a więc widmo) obserwujemy za pomocą lunetki (3).



Rysunek 3. Prosty spektrometr pryzmatyczny.

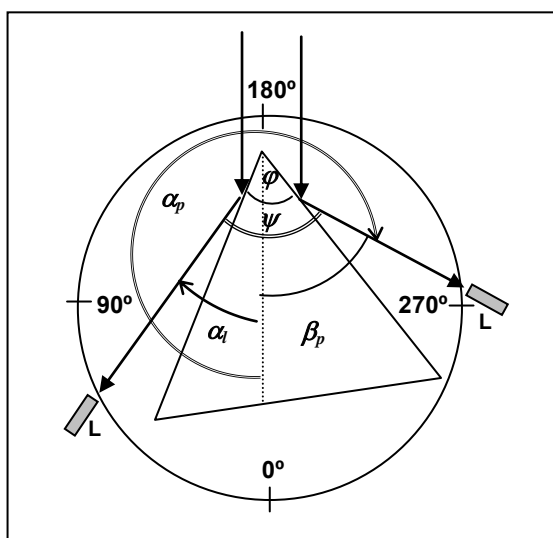
Lunetka wyposażona jest w krzyż wykonany z nici „pajęcznych”. Pionową nić umieszczamy w środku obserwowanej linii widmowej. Dopiero wtedy, za pomocą dodatkowej lunetki (4), odczytujemy wartość kąta. Obie lunetki zamocowane są na tej samej osi i są sprzężone z osią kątomierza. Obserwowana skala składa się z dwóch części: ruchomej i nieruchomej. Nieruchoma składa się z 60 pionowych kresek (Rys 4). Każda z nich odpowiada 1 minucie kątowej. Za pomocą ruchomej części odczytujemy aktualną wartość kąta – długie kreski pionowe są odległe o wartość  $1^\circ$  (Rys. 4a). Na Rys. 4 przedstawiono dwa przykładowe położenia lunetki.



Rysunek 4 Odczyt kąta w spektrometrze.

#### I.4 Wyznaczanie kąta łamiącego pryzmatu za pomocą spektrometru

Kąt pomiędzy dwiema ścianami pryzmatu nazywamy kątem łamiącym ( $\varphi$ ). Kąt ten można precyzyjnie wyznaczyć posługując się spektrometrem. Pryzmat należy ustawić w taki sposób, by padająca nań wiązka odbijała się jednocześnie od dwóch ścianek pryzmatu (Rys.5). Kąt  $\psi$  pomiędzy wiązkami odbitymi jest dwukrotnie większy od kąta łamiącego  $\varphi$ .



Rysunek 5. Wyznaczanie kąta łamiącego pryzmatu za pomocą spektrometru. Symbolem  $L$  oznaczono lunetę.

Mierząc położenia wiązek odbitych  $\alpha_l$  i  $\alpha_p$ , kąt łamiący wyznaczamy z zależności:

$$\varphi = \frac{\psi}{2} = \frac{\alpha_l + \beta_p}{2} = \frac{\alpha_l + (2\pi - \alpha_p)}{2}$$

## II. CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

### Masz do dyspozycji:

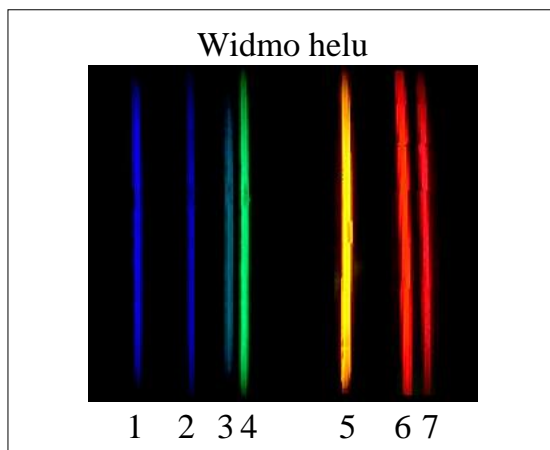
- szklany pryzmat
- spektrometr
- lampy widmowe\* wypełnione helem, wodorem i neonem
- zasilacz wysokiego napięcia
- oświetlacz z żarówką

### Wykonanie pomiarów

Zapoznaj się z budową i działaniem spektrometru, za pomocą którego będziesz obserwować zarówno przechodzenie światła przez pryzmat, jak również odbijanie się światła od jego ścianek. Szczegółową instrukcję znajdziesz przy stanowisku pomiarowym. Zaczynaj od wykalibrowania skali kątowej spektrometru, tak by położenie wiązki padającej bezpośrednio z kolimatora do lunetki (bez umieszczania pryzmatu na stoliczku) było równe  $0^\circ 0'$ . Jako źródła światła użyj lampy widmowej wypełnionej helem. Pamiętaj o regulacji szerokości szczeliny – szczelina powinna być bardzo wąska oraz o ustawieniu ostrości lunety.

1) Pomiar widma helu i kalibracja spektrometru.

Zaobserwuj widmo helu. Ustaw pryzmat na stoliku i obracaj go, przesuując jednocześnie lunetkę tak, aby uzyskać obraz jak na rysunku poniżej. Posługując się Rysunkiem 6 i Tabelą 1 zidentyfikuj obserwowane linie.



Rysunek 6. Widmo helu widziane przez lunetkę spektrometru

---

\* Lampy widmowe w postaci rurek z gazem pod obniżonym ciśnieniem zostały opracowane w połowie XIX wieku przez niemieckich fizyków Heinricha Geisslera i Juliusza Plückera. Nazywamy je rurkami Plückera bądź rurkami Geisslera.

Tabela 1. Linie helu widoczne przy pomocy spektrometru. Linia nr 0 jest już na granicy widzialności ludzkiego oka, są jednak osoby, które są w stanie ją zaobserwować.

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

Nie zmieniając ustawienia pryzmatu, określ położenie kątowe dla każdej linii, posługując się skalą kątową spektrometru. Dane umieść w tabeli jak poniżej. Na ich podstawie sporządzisz wykres kalibracji spektrometru czyli zależność kąta odchylenia od długości fali światła. W ten sposób układ pomiarowy został wyskalowany i posługując się nim możesz zmierzyć długość fali światła linii widmowych pozostałych pierwiastków (**pod warunkiem, że pryzmat pozostanie w tym samym położeniu do końca pomiarów**).

Tabela 2. Przykład tabeli kalibracyjnej

Nr linii	Barwa linii	Położenie kątowe [stopnie:minuty]	Niepewność [minuty]	Tablicowa długość fali [nm]
1.				
2.				
3.				
.		.	.	.
.		.	.	.
.		.	.	.

## 2) Pomiar widma wodoru i neonu

Naprzeciwko szczeliny spektrometru ustaw lampy widmowe zawierające kolejno wodór i neon. Dla każdej serii pomiarowej utwórz tabelę wyników jak niżej. W przypadku neonu, którego widmo zawiera bardzo wiele linii, wybierz dwie lub trzy i zanotuj ich położenia.

Nr linii	Barwa linii	Położenie kątowe [stopnie:minuty]	Niepewność [minuty]	Tablicowa długość fali [nm]*
1.				
2.				
3.				

\*Długości fal linii widmowych niektórych pierwiastków są zamieszczone w tabeli znajdującej się przy stanowisku pomiarowym

## 3) Badanie widma żarówki

Naprzeciwko szczeliny spektrometru ustaw oświetlacz z żarówką, dbając o to, aby obraz był jak najjaśniejszy. Zaobserwuj widmo ciągłe. Zanotuj położenia kątowe granic tego widma.

#### 4) Pomiar kąta łamiącego pryzmatu

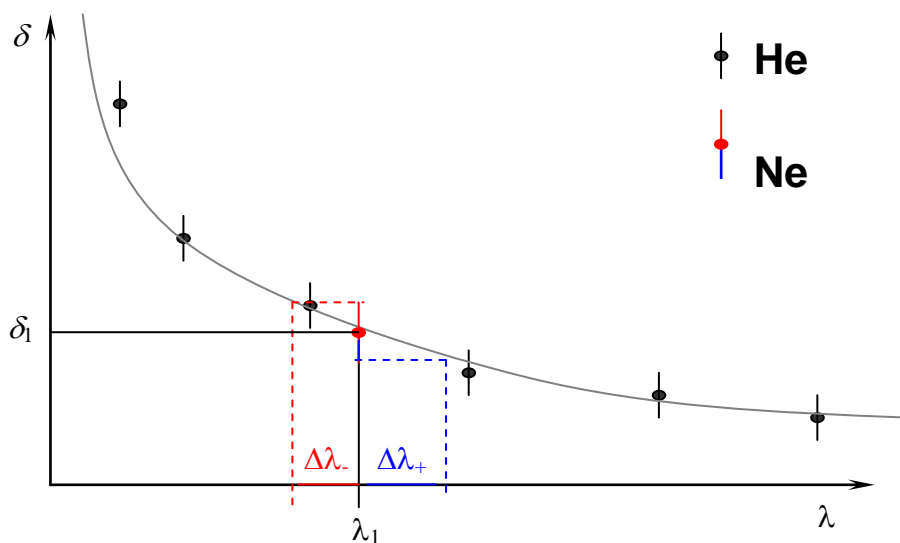
Umieść pryzmat na stoliku w położeniu pokazanym na Rysunku 5. Zaobserwuj odbijanie się padającej wiązki światła jednocześnie od dwóch ścianek pryzmatu. W tym wypadku, na początku, szczelina powinna być szeroka. Jeśli udało Ci się zobaczyć w lunecie promienie odbite, odczytaj ich położenie na skali kątowej. Pamiętaj o przyknięciu szczeliny do pomiaru. Powtórz pomiar co najmniej 6-krotnie, dla różnych ustawień pryzmatu na stoliku. Pamiętaj, że pryzmat musi być zawsze ustawiony tak, by wiązka padająca oświetlała jednocześnie obie jego ścianki. Wyniki zanotuj w tabeli jak niżej.

Tabela 3. Wyznaczanie kąta łamiącego

	$\alpha_i$ [stopnie:minuty]	$\alpha_p$ [stopnie:minuty]	$\beta_p = 2\pi - \alpha_p$ [stopnie:minuty]	$\psi$	$\varphi$
1.					
2.					
3.					
.					
.					
6					

### III. OPRACOWANIE WYNIKÓW

Wykonaj wykres kalibracji spektrometru czyli zależności kąta odchylenia od długości fali linii helu. Do punktów doświadczalnych dopasuj krzywą. Wykres możesz wykonać ręcznie, na papierze milimetrowym, lub posłużyć się odpowiednim programem komputerowym. Z wykresu odczytaj długości fali dla linii w widmie wodoru i neonu, a także zakres falowy światła białego (na podstawie pomiarów widma ciągłego żarówki). Porównaj otrzymane na podstawie krzywej skalowania wartości długości fali z danymi tablicowymi. Przykładowa krzywa kalibracyjna pokazana jest na Rys. 7. Na wykresie przedstawiono punkty pomiarowe dla widma helu (przy każdym punkcie zaznaczono wartość błędu zmierzonego kąta) i poprowadzono przez nie krzywą. Na rysunku tym naniesiono przykładowo jeden punkt dla neonu. Jak widać można odczytać dla niego zarówno wartość długości fali  $\lambda$  jak i dokładności jej wyznaczenia  $\Delta\lambda_-$  i  $\Delta\lambda_+$ .



Rysunek 7. Przykład krzywej skalowania i sposób wyznaczenia długości fali badanego pierwiastka wraz z dokładnościami jej wyznaczenia.

Na podstawie pomiarów zamieszczonych w Tabeli 3 (pomiar dotyczące kąta łamiącego), wyznacz średnią wartość kąta łamiącego i jej niepewność. W trakcie obliczeń wygodniej będzie zamienić minuty kątowe na ułamek stopni kątowych. Pamiętaj, że  $1^\circ = 60'$ .

**Raport końcowy powinien zawierać:**

- streszczenie (2-3 zdania informujące o tym, co zostało zbadane podczas eksperymentu i jakie otrzymano wyniki),
- część teoretyczną przedstawiającą zwięźle badane zjawisko,
- krótki opis układu doświadczalnego,
- uzyskane wyniki pomiarów oraz ich analizę przeprowadzoną według podanej powyżej instrukcji. Wyniki z niepewnościami należy zamieścić w przejrzystych tabelach. Wszystkie tabele i wykresy muszą być opisane.
- dyskusję wyników i niepewności pomiarów,
- literaturę.

**IV. LITERATURA**

1. H. Szydłowski, „Pracownia fizyczna”, PWN, Warszawa 19945
2. Z. Kęcki „Podstawy spektroskopii molekularnej”, PWN, Warszawa 1998