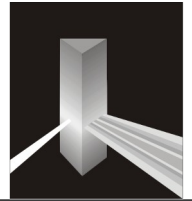


***KATEDRA FIZYKI***

***WYDZIAŁ INŻYNIERII PRODUKCJI  
I TECHNOLOGII MATERIAŁÓW  
POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA***



***PRACOWNIA OPTYKI***



**ĆWICZENIE NR 0-8**

***BADANIE WIDM OPTYCZNYCH  
PRZY POMOCY SPEKTROMETRU***

## **Zagadnienia do opracowania**

1. Przegląd widma fal elektromagnetycznych. Położenie fal świetlnych w tym widmie.
2. Zjawisko dyspersji światła. Rozszczepienie światła w pryzmacie.
3. Rodzaje widm optycznych. Mechanizm ich powstawania i metody otrzymywania.
4. Przyrządy do badań widm.
5. Istota, zastosowanie, czułość i dokładność analizy spektralnej.

## **II. Wprowadzenie teoretyczne**

Każde ciało wysyła promieniowanie. Promieniowanie to jest najczęściej niejednorodne, tzn. składa się z wiązek o różnych długościach fal (różnych częstotliwościach). W szczególności mogą to być fale świetlne, których długości fali zawierają się w granicach od 400 do około 790 nm ( $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$ ).

Jeśli wiązka światła pada na pryzmat, ulega ono rozszczepieniu, czyli dyspersji. Zespół barw otrzymanych w wyniku rozszczepienia nazywamy widmem albo spektrum. Stwierdzono, że różne substancje dają różne widma. Rozróżniamy przy tym widma emisyjne, powstające przy promieniowaniu substancji, oraz absorpcyjne (pochłaniania).

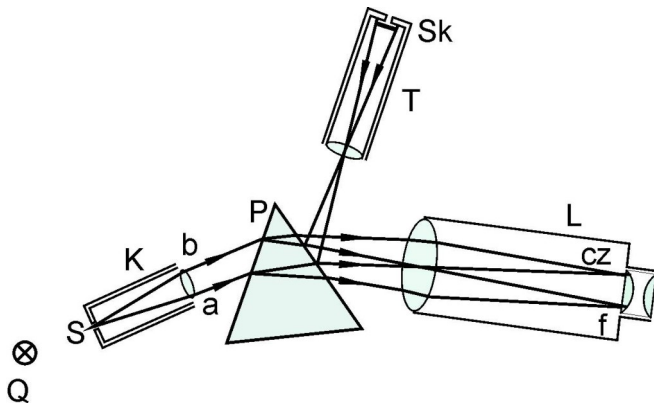
Ze względu na wygląd widma emisyjne można podzielić na ciągłe, liniowe i pasmowe. Widma ciągłe emitują nagrzane do wysokiej temperatury ciała stałe, ciecze i gazy pod wysokim ciśnieniem. Pobudzone do świecenia gazy i pary jednoatomowe wysyłają charakterystyczne dla każdego pierwiastka tzw. widma liniowe, składające się z wyraźnie od siebie oddzielonych linii (będących obrazami szczeliny przyrządu spektralnego), tzn. zawierające tylko pewne określone długości fal. Gazy i pary dwu- lub wieloatomowe (drobiny związków chemicznych) dają tzw. widma pasmowe, składające się z bardzo blisko siebie położonych linii tworzących jasne smugi (pasma) charakterystyczne dla drobin różnych pierwiastków.

Wykrycie tego faktu przez Kirchhoffa i Bunsena (1859r.) zapoczątkowało nową metodę analizy fizykochemicznej zwaną analizą widmową (spektralną), umożliwiającą ustalenie składu chemicznego danej substancji przez zbadanie jej widm. Metoda analizy spektralnej jest bardzo czuła i dokładna (pozwala ona wykryć charakterystyczne linie danego pierwiastka nawet dla ilości rzędu  $10^{-10}\text{g}$ ).

Widma absorpcyjne obserwujemy wtedy, gdy na drodze światła pochodzącego ze źródła o widmie ciągłym znajduje się warstwa gazu, pary lub innej substancji o temperaturze niższej niż temperatura źródła. Otrzymujemy wtedy, na jasnym tle widma ciągłego, w pewnych miejscach ciemne prążki i pasma, które powstają wskutek zaabsorbowania (pochłonięcia) przez tę substancję pewnych częstotliwości promieniowania i zajmują dokładnie takie położenia, jakie zajęłyby odpowiednie linie (pasma) emisyjne (reguła Kirchhoffa). Widma absorpcyjne, podobnie jak emisyjne mogą być ciągłe, liniowe i pasmowe. Widma liniowe odpowiadają pochłanianiu przez zjonizowane atomy, widma pasmowe – przez cząsteczki, zaś widma ciągłe – przez ciała stałe i ciekłe. W tym ostatnim przypadku widma absorpcyjne mogą się składać z kilku pasm, jednak każde z tych pasm ma praktycznie charakter ciągły.

## 2.1. Zasada działania i ogólna budowa spektrometru pryzmatycznego

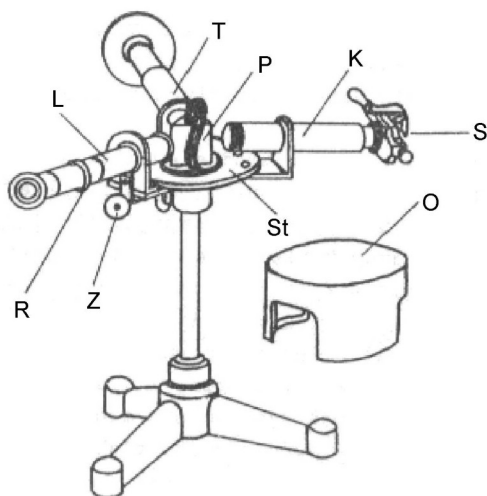
Do dokładnego badania widm służą specjalne przyrządy spektralne, pozwalające na wydzielenie całego widma poszczególnych barw promieni, wyznaczanie ich długości fali oraz energii promieniowania. Do badań jakościowych widzialnej części widma służy spektroskop, dostosowany do obserwacji wizualnej. Rys.1 przedstawia zasadę działania, a rys.2 schemat spektroskopu pryzmatycznego.



*Rys. 1. Zasada działania spektroskopu pryzmatycznego*

Podstawową częścią przyrządu jest pryzmat P, który dokonuje analizy badanego światła, rozszczepiając je na poszczególne barwy monochromatyczne. Źródło światła badanego Q umieszczamy przed regulowaną szczeliną S kolimatora K. Szczelina znajduje się w płaszczyźnie ogniskowej soczewki obiektywu umieszczonej na drugim końcu tubusu kolimatora tak, że wiązki światła wychodzące z poszczególnych punktów szczeliny stają się równoległe po przejściu przez obiektyw kolimatora. Wiązki te zostają załamane i rozszczepione na monochromatyczne wiązki promieni przez pryzmat P umieszczony na stoliku St (i unieruchomiony przy pomocy odpowiedniej sprężyny). Promienie o każdej określonej długości fali tworzą swoją wiązkę równoległą, poszczególne zaś wiązki równoległe odpowiadające różnym długościom fali  $\lambda$  są względem siebie rozbieżne. Te wiązki światła trafiają do lunety L, która skupia każdą w odpowiednim punkcie swojej płaszczyzny ogniskowej. Ponieważ dotyczy to każdego punktu szczeliny, w płaszczyźnie ogniskowej obiektywu lunety otrzymujemy szereg równoległych, różnie zabarwionych obrazów szczeliny (tzw. linii widma), które obserwujemy – jak przez lupę – przez okular lunety. Mogą się one ze sobą zlewać tworząc widmo ciągłe. Dzięki zastosowaniu dodatkowej lunetki pomocniczej T ze skalą Sk można obserwować badane widmo na tle tejże skali. Skala Sk spektroskopu składa się z 200 działek oznaczonych delikatnymi liniami na płycie przezroczystej i znajduje się w płaszczyźnie ogniskowej soczewki lunetki T. Tuba tej lunetki jest tak umieszczona, że wychodzące z soczewki wiązki odpowiadające poszczególnym punktom skali, odbijają się częściowo od powierzchni pryzmatu i wchodzą do lunety L. Obserwator widzi więc w lunecie linie widma na tle obrazu skali i może odczytać położenie każdej linii. Pryzmat P spektroskopu (wykonanego ze szkła flintowego

o znacznej dyspersji) ustawiony jest na minimum odchylenia, co w pewnym stopniu zmniejsza wpływ aberracji optycznych układu na jakość widma (ale niestety pogarsza dyspersję).



**Rys. 2. Schemat spektroskopu pryzmatycznego szkolnego typu SPS**

Luneta L składa się z trzech przesuwalnych części umożliwiających uzyskanie ostrości widzenia linii widma (w zależności od właściwości oka eksperymentatora). Jest ona osadzona na gwincie we wsporniku, z którego można ją wykręcić. Dla ułatwienia ustawiania „na ostrość” linii luneta ta zaopatrzona jest w dodatkową śrubę regulacyjną R. Dzięki dużej dyspersji szkła pryzmatu całe widmo widzialne nie mieści w polu widzenia lunety, stąd można ją obracać wokół pionowej osi stolika (po uprzednim poluzowaniu śruby zaciskowej Z). Osłona O pryzmatu eliminuje wpływ światła pryzmatu i umożliwia wykonywanie pomiarów nawet przy świetle dziennym.

Wyrazistość widma zależy również od szerokości szczeliny S. Powinna ona być tak dobrana, by przy maksymalnym natężeniu prążki nie zachodziły na siebie (w przypadku widm zawierających oddzielne linie). Wzrost jasności prążka obserwuje się tylko do chwili, w której szerokość szczeliny wiązki do około 0,01 mm. Przy dalszym zmniejszaniu szerokości szczeliny wiązki przechodzące przez nią ulegną silnemu ugięciu.

### **III. Zasada pomiaru**

Przed rozpoczęciem pomiarów każdy spektroskop należy w jakiś sposób wyskalować. W tym celu wykreślamy tzw. krzywą dyspersji. Jest to wykres zależności położenia względnego  $x$  linii widmowych na tle skali spektroskopu od długości fali  $\lambda$  tj.  $x = f(\lambda)$ . Do wyznaczenia krzywej dyspersji używamy lamp (źródeł) wzorcowych, których widma są proste i dobrze znane.

Mając krzywą dyspersji można wyznaczyć długość fali linii w widmie badanym, znając ich położenie na tle skali spektroskopu.

#### **IV. Zestaw pomiarowy**

Spektrometr, skrzynka z rurkami Plückerera podłączona do sieci poprzez transformator, autotransformator, dwa oświetlacze, zestaw cieczy.

#### **V. Przebieg ćwiczenia**

##### **Uwaga:**

Aby możliwie najdokładniej sporządzić krzywą dyspersji (i ocenić badane długości fal), należy:

1. Ustawić szczelinę tak, aby prążki były możliwie najwęższe, jednak dobrze widoczne.
2. Ustawić obraz skali na maksymalną ostrość.
3. Odczytać położenie prążków na skali z możliwie dużą dokładnością.

##### **1. Wykreślenie krzywej dyspersji.**

Do wykreślenia krzywej dyspersji jako źródło wzorcowe stosujemy wyładowanie w tzw. rurce Plückerera wypełnionej helem pod zmniejszonym ciśnieniem.

- a) Włączyć do obwodu helową rurkę Plückerera. (tylko na czas pomiaru). Transformator włączyć w obecności asystenta.
- b) Ustawić spektroskop tak, aby poszczególne prążki były dostatecznie wąskie i wyraźnie widoczne (jasne).
- c) Włączyć pomocnicze źródło światła (przez autotransformator do sieci 230 V). Oświetlić skalę Sk tak, by uzyskać jasny jej obraz na tle widma. Ostrość obrazu skali można poprawić zmieniając położenie źródła względem lunetki T.
- d) Obserwując linie widmowe na tle skali odczytać ich położenia.
- e) Dla każdej linii wypisać z tabeli widm odpowiednie długości fal i wykreślić krzywą dyspersji (odkładając na osi rzędnych długości fal linii, a na osi odciętych – ich położenie na skali).
- f) Wyniki zapisujemy w tabeli 1.

##### **2. Wyznaczanie długości fal widma emitowanego przez badane źródła światła. Rurka wypełniona nieznanym gazem.**

- a) Rurkę Plückerera, której zawartość mamy zbadać, włączyć do obwodu zasilającego, po wyłączeniu rurki wzorcowej i ustawić przed szczeliną kolimatora nie zmieniając przy tym wzajemnego położenia pryzmatu, kolimatora i lunetki ze skalą. Przesuwając statywem rurek znaleźć wyrazisty obraz widma.
- b) Odczytać położenie linii widma badanego na skali.
- c) Z krzywej dyspersji odczytać długości fal badanego widma.
- d) Powtórzyć czynności z punktów a, b i c dla innej rurki Plückerera lub Geisslera.

- e) W oparciu o odczytane z krzywej dyspersji długości fal i tablice dokonać próby identyfikacji zawartości rurek.
- f) Wyniki zapisujemy w tabeli 2.

### **3. Badanie widm absorpcyjnych cieczy.**

- a) Oświetlić szczelinę kolimatora spektroskopu światłem białym (wykorzystać lampę żarową włączoną przez autotransformator do sieci). Wykorzystując odpowiedni statyw umieścić na drodze wiązki – przed szczeliną – puste naczynie płaskorównoległe (kuwetę). Wyregulować jasność widma ciągłego i oświetlenia skali.
- b) Wymienić pustą kuwetę na analogiczne naczynie wypełnione badaną cieczą. Zaobserwować otrzymane pasma absorpcji i odczytać na skali przedziały, w których światło przechodzące jest silnie osłabiane (ciemne pasy), a także (w przybliżeniu na oko) stopień osłabienia (absorpcji) w danym paśmie. Z krzywej dyspersji odczytać długości fal odpowiadające granicom pasm osłabienia.
- c) Postępowanie z punktu b) powtórzyć dla trzech innych cieczy.
- d) Wyniki zapisujemy w tabeli 3.

## **VI. Tabele pomiarowe**

**Tabela 1.** Sporządzanie krzywej dyspersji (skalowanie spektroskopu)

Nazwa gazu	Barwa linii widma	Położenie linii na skali x [działki]	Natężenie linii (silna, słabo widoczna, itp.)	Długość fali odczytana z tablic $\lambda$ [nm]
hel				

**Tabela 2.** Widma emisyjne

Nr rurki z gazem	Barwa linii widmowej	Położenie linii na skali x [działki]	Natężenie linii	Długość fali odczytywana z wykresu $\lambda$ [nm]	Nazwa gazu wypełniającego rurkę

**Tabela 3.** Widma absorpcyjne

Nazwa substancji absorbującej	Granice pasma				Barwa pasma pochłoniętego	Stopień osłabienia (absorpcji)
	Na skali		W długościach fal			
	Dolna $x_1$ [działki]	Górna $x_2$ [działki]	Dolna $x_1$ [nm]	Górna $x_2$ [nm]		

**VII. Opracowanie ćwiczenia**

1. Wykreślić krzywą dyspersji na papierze milimetrowym w odpowiedniej skali. Np. jeśli się przyjmie wartość każdej działki skali równą 1 mm, będzie można zaznaczyć części podziałki skali na wykresie z taką samą dokładnością, z jaką oceniliśmy ją przy odczycie. Przy ustaleniu skali na osi rzędnych należy pamiętać, że widzialna część widma rozciąga się od 400 do 790 nm (można np. przyjąć, że 1 mm skali jest równy 2 nm). Liczbową ocenę przeciętnego błędu przy wyznaczaniu szacuje graficznie (z wykresu).
2. Na podstawie odczytanych z krzywej dyspersji długości fal określić jaki gaz znajduje się w drugiej rurce.
3. W oparciu o krzywą dyspersji określić jakie długości fal pochłaniają poszczególne substancje badane w ćwiczeniu.

**VIII. Rachunek błędu**

1. Na błąd popełniony przy wyznaczaniu długości fali wpływa niezbyt duża zdolność rozdzielcza pryzmatu, mała dokładność odczytu położenia prążków na skali oraz błędy natury graficznej, powstałe przy sporządzaniu krzywej dyspersji.

**IX. Literatura**

1. J. Massalski, M. Massalska – Fizyka dla inżynierów, cz.I, Wydawnictwa Naukowo – Techniczne WNT, Warszawa 2005r.
2. B. Jaworski, A. Dietlaf – Kurs fizyki t. 3 (R. VII; § 13.3; 13.4; 14.3-14.7; 15.5; 15.6), Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1969
3. H. Szydłowski – Pracownia fizyczna wspomagana komputerem, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003r.
4. Pod red. K. Fulińskiej – Opisy i instrukcje do ćwiczeń laboratoryjnych z fizyki cz. II (str. 253-265) PWN, Wrocław, Warszawa 1972
5. T. Dryński – Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1976r.
6. Pod red. T. Rewaja – Ćwiczenia laboratoryjne w politechnice (§40) Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1978r.

## Długość fali linii widm emisyjnych niektórych pierwiastków

Pierwiastek	Długość fali <i>nm</i>	Barwa linii
Ca	396,8	fioletowa
	422,7	fioletowa
	428,3	niebieska
	430,8	niebieska
	445,5	niebieska
	487,8	niebieska
	527,0	zielona
	534,9	zielona
	559,0	zielona
	585,7	żółta
	612,2	pomarańczowa
	616,2	pomarańczowa
	643,9	pomarańczowa
H	397,0	fioletowa
	410,8	fioletowa
	434,1	fioletowa
	486,1	niebiesko-zielona
	656,3	czerwona
He	447,2	fioletowa
	471,3	niebieska
	492,2	niebiesko-zielona
	501,6	zielona
	504,8	zielona
	587,6	żółta
	667,8	czerwona
	706,5	ciemnoczerwona
Hg	407,8	fioletowa
	435,8	niebieska
	491,6	niebiesko-zielona
	496,0	niebiesko-zielona
	546,1	zielona
	577,0	żółta
	579,1	żółta



<b>Hg</b>	615,2	czerwona
	623,4	czerwona
	690,7	czerwona
<b>Li</b>	460,3	niebieska
	610,4	pomarańczowa
	670,8	czerwona
<b>Na</b>	589,0	żółta
	589,6	żółta
<b>Ne</b>	534,1	zielona
	540,0	zielona
	582,2	żółta
	588,2	żółta
	594,5	żółta
	603,0	pomarańczowa
	609,6	pomarańczowa
	614,3	pomarańczowa
	621,7	pomarańczowa
	626,6	pomarańczowa
	630,5	pomarańczowa
	633,4	pomarańczowa
	640,2	pomarańczowa
	650,6	czerwona
	653,3	czerwona
	659,9	czerwona
	667,8	czerwona
	692,9	czerwona
	703,2	czerwona
717,4	ciemnoczerwona	
<b>Ar</b>	415,8	fioletowa
	470,2	niebieska
	549,5	zielona
	565,0	zielona
	591,2	żółta
	641,6	czerwona
	696,5	czerwona
<b>Kr</b>	427,4	fioletowa
	431,8	fioletowa

<b>Kr</b>	431,9	fioletowa
	435,1	niebieska
	436,2	niebieska
	437,6	niebieska
	445,4	niebieska
	446,4	niebieska
	450,2	niebieska
	549,1	zielona
	550,1	zielona
	557,03	zielona
	564,9	żółta
	567,2	żółta
	587,1	żółta
	599,4	żółta
	601,2	pomarańczowa
	605,6	pomarańczowa
	642,1	czerwona
	645,6	czerwona
<b>Xe</b>	450,1	niebieska
	452,4	niebieska
	461,2	niebieska
	462,4	niebieska
	467,1	niebieska
	469,1	niebiesko-zielona
	469,7	niebiesko-zielona
	473,4	niebiesko-zielona
	482,9	niebiesko-zielona
	484,3	niebiesko-zielona
	492,3	niebiesko-zielona
	502,8	zielona
	556,7	żółta
	582,4	żółta
	587,5	żółta
590,5	pomarańczowa	
618,2	pomarańczowa	
631,8	czerwona	