

## Badanie optycznych widm emisyjnych

### Cele ćwiczenia

- Zidentyfikowanie pierwiastków na podstawie ich widm
- Zbadanie widm wybranych źródeł światła białego

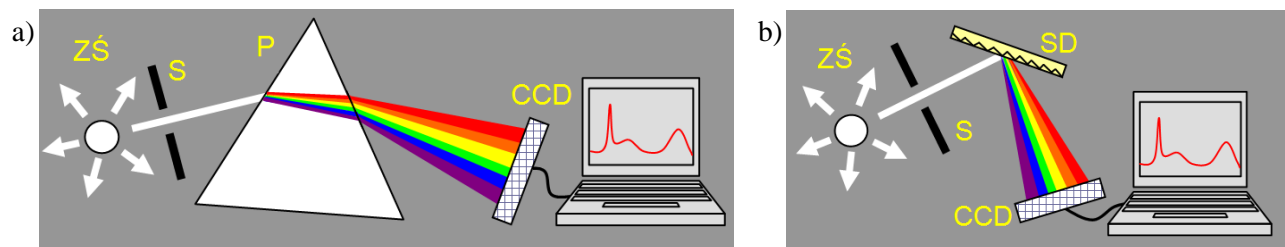
### Wprowadzenie

Widmo jest bardzo szerokim pojęciem w nauce i technice. W ogólnym znaczeniu jest to zależność natężenia sygnału od jego częstotliwości. Widmo może dotyczyć fal elektromagnetycznych (mikrofalowych, świetlnych, rentgenowskich itd.), fal akustycznych (infradźwiękowych, dźwiękowych, ultradźwiękowych) oraz innych sygnałów. Dział nauki zajmujący się badaniem widm to *spektroskopia* (*spectrum* - widmo w j. łac.). Dostarcza on bardzo wielu informacji na temat różnych zjawisk i właściwości materii. Ze względu na to, że spektroskopia jest bardzo szerokim działem nauki, w niniejszym ćwiczeniu skoncentrujemy się jedynie na niewielkim wycinku badań widm optycznych. *Widmem optycznym* nazywamy zależność natężenia światła od częstotliwości lub długości fali.

### Sposoby otrzymywania widm optycznych

Światłem powszechnie nazywamy fale elektromagnetyczne widzialne przez człowieka (długości fal z zakresu  $380 \div 780$  nm). W technice światło jest pojęciem szerszym: są to fale elektromagnetyczne, które spełniają zasady optyki geometrycznej. Do światła oprócz zakresu widzialnego (światła widzialnego) zalicza się również bliską podczerwień i bliski ultrafiolet.

Do obserwacji i rejestracji widm w zakresie widzialnym używa się *spektrometrów* wyposażonych w elementy rozszczepiające światło (pryzmaty lub siatki dyfrakcyjne). We współczesnych spektrometrach rozszczepione światło pada na matrycę światłoczułą CCD, a następnie widmo jest rejestrowane w komputerze. Na rys.1 przedstawiono schematycznie spektrometry wyposażone w pryzmat oraz odbiciową siatkę dyfrakcyjną. W rzeczywistości budowa spektrometru jest znacznie bardziej złożona, a zaawansowane technicznie urządzenia posiadają dwa lub trzy elementy rozszczepiające światło.



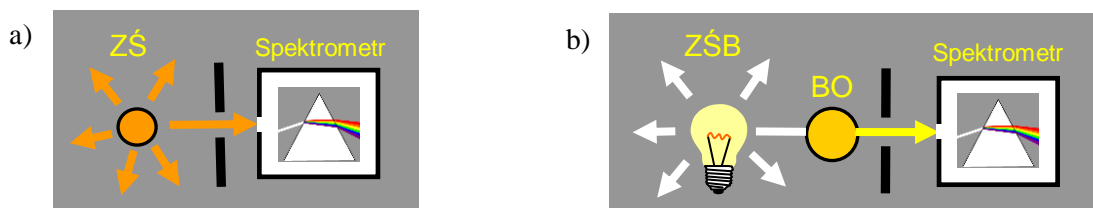
Rys. 1 Schematyczna budowa spektrometru optycznego a) wyposażonego w pryzmat, b) wyposażonego w odbiciową siatkę dyfrakcyjną. Oznaczenia: ZŚ - źródło światła, S - szczelina, P - pryzmat, CCD - matryca światłoczuła, SD - odbiciowa siatka dyfrakcyjna

### Rodzaje widm optycznych

Istnieje wiele kryteriów klasyfikacji widm. Poniżej podano dwa podstawowe sposoby ich podziału.

1. Ze względu na mechanizm powstawania widma możemy podzielić na:

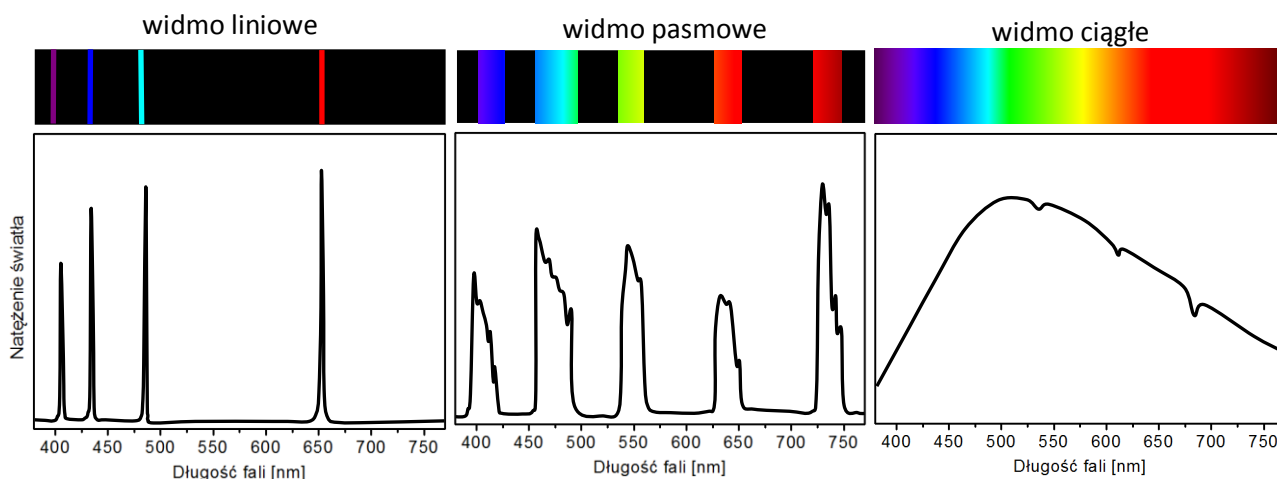
- a) *emisyjne* (promieniowania) - otrzymywane w wyniku promieniowania światła przez ośrodek (rys. 2a)
- b) *absorpcyjne* (pochłaniania) - otrzymywane po przejściu światła białego przez badany ośrodek (rys. 2b)



Rys. 2 Sposoby otrzymywania widm a) emisyjnego, b) absorpcyjnego. Oznaczenia: ZŚ - źródło światła, ZŚB - źródło światła białego, BO - badany ośrodek

2. Ze względu na charakter (obraz) widma rozróżniamy widma (rys. 3):

- a) *liniowe* - składają się z szeregu wąskich linii odpowiadających konkretnym długościom fal; źródłem tych widm są gazy jednoatomowe lub pary metali
- b) *pasmowe* - składają się z dużej ilości linii położonych blisko siebie, tworzących w rezultacie dosyć szerokie pasma; źródłem tych widm są gazy dwuatomowe lub cząsteczki
- c) *ciągłe* - w skład widm ciągłych wchodzi fale o wszystkich długościach; źródłem tych widm są ciała stałe lub ciecze



Rys. 3 Przykłady widm emisyjnych: liniowego, pasmowego i ciągłego. Na górze przedstawiono obrazy rozszczepionych wiązek światła a na dole zarejestrowane widma

### Dlaczego materia świeci?

Ażeby odpowiedzieć na powyższe pytanie, należy wniknąć w budowę atomu. Składa się on z niewielkiego, ciężkiego, dodatnio naładowanego jądra oraz krążących wokół niego ujemnie naładowanych, lekkich elektronów. Ruch elektronów odbywa się po tzw. dozwolonych orbitalach atomowych, a energia elektronu na każdym z orbitali jest ściśle określona. Innymi słowy: energia elektronu w atomie jest skwantowana (porcjowana). Elektron zmieniający orbital o wyższej energii (orbital położony dalej od jądra) na orbital o niższej energii, emituje kwant promieniowania elektromagnetycznego o energii

$$E = h\nu = E_n - E_m \quad (1)$$

gdzie  $h$  - stała Plancka,  $\nu$  - częstotliwość wyemitowanej fali elektromagnetycznej,  $E_n$  i  $E_m$  - energie elektronu odpowiednio na  $n$ -tym i  $m$ -tym orbitalu. Korzystając z zależności pomiędzy częstotliwością a długością fali  $\nu = c/\lambda$ , można przekształcić wzór (1) do następującej postaci

$$\lambda = \frac{hc}{E_n - E_m} \quad (2)$$

gdzie  $\lambda$  - długość wyemitowanej fali elektromagnetycznej,  $c$  - prędkość światła w próżni.

Jak widać z powyższej zależności, jeżeli energie elektronów w atomie mogą przybierać tylko ściśle określone wartości, to może on emitować tylko fale o konkretnych długościach. Długości te są charakterystyczne dla każdego pierwiastka. Na podstawie analizy widma możemy więc wiele dowiedzieć się na temat budowy atomu lub z drugiej strony zidentyfikować rodzaj pierwiastka emitującego fale. Fale emitowane przez atomy w wyżej opisany sposób mieszczą się w zakresach podczerwonym, widzialnym, nadfioletowym lub rentgenowskim. Jeżeli długość wyemitowanej fali mieści się w zakresie widzialnym, mówimy, że obiekt świeci.

Do tej pory mówiliśmy o powstawaniu emisyjnego widma liniowego. Dlaczego jednak widmo gazów złożonych oraz ciał stałych i cieczy różni się od widm pojedynczych atomów pobudzonych do świecenia? Dzieje się tak, ponieważ układ złożony z wielu atomów dodatkowo zwiększa liczbę możliwych poziomów energetycznych. Przykładowo: cząsteczka wodoru  $H_2$  składa się zaledwie z dwóch elektronów i dwóch protonów, ale jej widmo jest znacznie bardziej złożone od widma pojedynczego atomu wodoru. W skład

energii wewnętrznej cząsteczki wchodzi dodatkowo energia wzajemnych drgań atomów oraz energia jej ruchu obrotowego względem środka masy cząsteczki. W konsekwencji cząsteczka  $H_2$  ma liczne linie widmowe wobec zaledwie czterech linii obserwowanych w zakresie widzialnym dla atomu H. Im bardziej złożona jest cząsteczka i wchodzące w jej skład atomy, tym bogatsze jest widmo. Dla ciał stałych i cieczy liczba linii widmowych jest tak ogromna, że w konsekwencji obserwujemy widmo ciągłe.

*Przykłady zastosowania spektroskopii optycznej:*

1) Chcąc skontrolować jakość blachy w walcowni, wytwarza się łuk elektryczny, który powoduje parowanie świecących atomów z materiału. Badając widmo linowe takich par, można określić skład materiału (na podstawie charakterystycznych długości linii widmowych) oraz proporcje składników (na podstawie stosunku natężeń linii poszczególnych pierwiastków).

2) Na podstawie widma emitowanego przez gwiazdę astronomowie mogą poznać nie tylko jej skład ale również jej prędkość względem Ziemi. Badając subtelne zmiany w widmach gwiazd, stwierdzono, że wszechświat się rozszerza.

### **Co to jest światło białe?**

Powszechnie definiuje się światło białe jako efekt złożenia wszystkich barw (fal o wszystkich długościach z zakresu widzialnego). Obserwując rozszczerzone w kroplach deszczu białe światło słoneczne, widzimy wielokolorową tęczę. Jednak dla oka ludzkiego można stworzyć wrażenie światła białego na różne sposoby. Wynika to z faktu, że w oku znajdują się receptory światła (czopki) wrażliwe na trzy podstawowe barwy: czerwoną, zieloną i niebieską. Mieszając je w różnych proporcjach, możemy uzyskać wrażenie światła białego lub tworzyć nowe barwy. Czasami światło białe pochodzące z różnych źródeł, padające na białą kartkę jest niemal identyczne w odbiorze, jednak jego widmo może się znacznie różnić. Również inaczej będzie wyglądał barwny obraz oświetlony na przykład żarówką, świetlówką kompaktową lub lampą LED pomimo, że każde z nich teoretycznie emituje barwę białą. Wynika to z różnego sposobu otrzymywania światła białego w tych źródłach a tym samym innych ich widm.

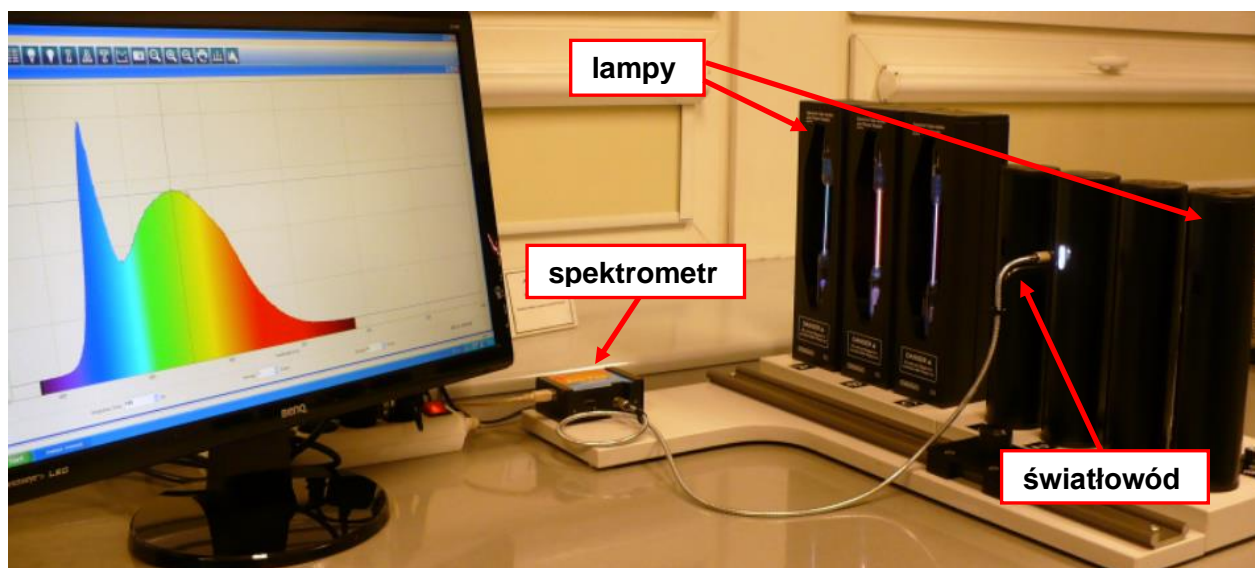
Rozważmy w jaki sposób można uzyskać światło białe. Jak już wspomniano, żeby doszło do świecenia atomu, jego elektron musi na początek uzyskać energię potrzebną do "przeskoku" na wyższy orbital, aby potem móc ją utracić w procesie emisji fali elektromagnetycznej. Energię tę można dostarczyć na różne sposoby. Najprościej jest ogrzać ciało do wysokiej temperatury. Przykładowo, rozgrzana do temperatury 5800 K powierzchnia Słońca emituje intensywne białobłękitne światło. Zjawisko powstawania światła w wyniku żarzenia wykorzystuje się w klasycznych *żarówkach*. Ich wolframowe włókno rozgrzane do temperatury około 2700 K świeci białozółtym światłem. Ta metoda jest jednak mało wydajna. Żarówka wypromieniowuje zaledwie 3-5% światła w zakresie widzialnym, natomiast reszta to niewidzialne dla człowieka promieniowanie podczerwone. Wydajniejszym źródłem światła białego jest *świetlówka kompaktowa* (kompaktowa lampa fluorescencyjna), w której źródłem światła są głównie pary rtęci pobudzone do świecenia przez wyładowanie elektryczne. Światło emitowane przez atomy rtęci pada na luminofor, którym pokryta jest powierzchnia świetlówki, i pobudza go do świecenia (zjawisko fluorescencji). Widmo takiej lampy różni się znacznie od widma słonecznego, przez co barwy np. obrazu wyglądają inaczej niż w oświetleniu dziennym. Innym źródłem światła białego jest *lampa LED*. Jest to najczęściej zbiór diod elektroluminescencyjnych pokrytych luminoforem, umieszczonych w oprawie przeznaczonej dla żarówek. Diody w wyniku zjawiska elektroluminescencji emitują światło niebieskie, które wzbudza do świecenia luminofor. Żółto-zielono-czerwone światło emitowane przez luminofor po zmieszaniu z niebieskim światłem diody daje barwę białą. Jeżeli w widmie światła białego znajduje się dużo światła niebieskiego, mówimy o barwie *zimnej* światła, natomiast jeżeli światła niebieskiego jest mało, otrzymujemy tzw. *ciepłe* światło białe (biało-żółte).

### **Układ pomiarowy**

Układ pomiarowy (rys. 4) składa się ze spektrometru (zakres pomiarowy 300 - 1000 nm) połączanego z komputerem. Za pomocą światłowodu do spektrometru może docierać światło z siedmiu różnych źródeł oznaczonych A, B, C oraz 1, 2, 3, 4. Obsługę spektrometru umożliwia program *Overture*, który należy uruchomić po włączeniu komputera. Oznaczenia wybranych funkcji programu znajdują się na stanowisku pomiarowym.

Ćwiczenie składa się z dwóch etapów. Pierwszy z nich polega na identyfikacji pierwiastków zawartych w rurkach spektralnych (lampy A, B i C). Znajdujące się na stanowisku lampy zawierają: A – mieszaninę par metalu i gazu jednoatomowego; B - gaz jednoatomowy; C - prosty gaz dwuatomowy. W

trakcie identyfikacji gazów należy wziąć pod uwagę, że rozdzielczość wykorzystywanego w ćwiczeniu spektrometru edukacyjnego jest niezbyt duża. W związku z tym, jeżeli odległość między liniami spektralnymi jest mniejsza niż 3 nm, mogą się one "zlewać" w jedną szerszą linię (pasmo). Etap drugi polega na obserwacji widm światła białego pochodzących różnych źródeł: 1 - świetlówka kompaktowa, 2 - lampa LED, 3 - lampa LED RGB, 4 - żarówka.



Rys. 4 Układ eksperymentalny do badania optycznych widm emisyjnych

## Przebieg ćwiczenia

### A. Identyfikacja gazów zawartych w rurkach spektralnych

1. Włącz lampę A, a następnie ustaw koniec światłowodu naprzeciwko niej.
2. Doreguluj położenie wózka ze światłowodem oraz "czas integracji pomiaru" tak, aby widmo w całości mieściło się w zakresie pomiarowym detektora (maksymalna intensywność powinna wynosić ok. 3500-4000).
3. Włącz ikonę "kolor", aby przybliżyć sobie rzeczywiste barwy widma.
4. Za pomocą myszki komputerowej ustaw kursor kolejno na maksimum każdej z linii. Zapisz ich długości fal oraz intensywność. W przypadku "poszerzonej" linii zaznacz w notatkach, że mogą to być blisko położone dwie lub trzy linie spektralne.
5. Pomiary powtórz dla lamp B i C.
6. Porównaj uzyskane linie widmowe do widm zawartych w dołączonych do opisu ćwiczenia "Tablicach spektralnych" lub do widm w programie Spektruś (link dostępny na stronie I PF).
7. Określ pierwiastki zawarte w lampach A, B, C oraz zapisz wnioski.

### B. Obserwacja widm wybranych źródeł światła białego

1. Włącz lampę 1 (świetlówka kompaktowa) i zarejestruj widmo.
2. Zapisz położenia pasm oraz ich intensywność, a następnie porównaj je z liniami emitowanymi przez rtęć.
3. Włącz lampę 2 (lampa LED). Zapisz położenia występujących w widmie maksimum. Zapisz wnioski.
4. Włącz lampę 3 (diody LED - RGB) i za pomocą załączonego pilota ustaw światło białe (pilota należy kierować na otwór znajdujący się w tylnej części obudowy lampy). Zapisz długości fal, dla których obserwuje się maksymalne wartości pasm spektralnych.
5. Za pomocą pilota zmień barwę lampy na np: żółtą, fioletową, pomarańczową. Przeanalizuj widma
6. Włącz lampę 4 (żarówka). Za pomocą potencjometru ustaw maksymalne napięcie na żarówce, odpowiadające maksymalnej temperaturze jej włókna. Zarejestruj widmo, klikając na ikonę "migawka".
7. Zarejestruj w ten sposób jeszcze kolejne 3-4 widma przy coraz niższych napięciach.
8. Powtórz pomiary widma żarówki przy różnych napięciach zasilania ustawiając położenie światłowodu tak, aby dla każdego napięcia zasilania widmo miało zbliżoną intensywność maksymalną. Przed zmianą napięcia kliknij ikonę „migawka”. Porównaj widma uzyskane dla różnych temperatur włókna żarówki. Zwróć uwagę na minimalne długości fal emitowane przez żarówkę dla różnych temperatur jej włókna. Zapisz wnioski.