

ĆWICZENIE 44

BADANIE DYSPERSJI

I. Wprowadzenie teoretyczne.

Światło białe przechodząc przez ośrodek o współczynniku załamania $n > 1$ na granicy ośrodka optycznie rzadszego i gęstszego ulega załamaniu. Jeżeli środowisko ograniczone jest ściankami jak w pryzmacie, wiązka promieni przechodzących przez pryzmat ulega odchyleniu o kąt ε . Wielkość tego kąta zależy od kąta padania promienia świetlnego na przednią ściankę pryzmatu (α), kąta łamiącego (φ) oraz współczynnika załamania (n) materiału pryzmatu, względem środowiska, w którym pryzmat się znajduje. Kąt odchylenia jest funkcją trzech zmiennych (α, φ, n)

$$\varepsilon = f(\alpha, \varphi, n) \quad . \quad (1)$$

Równoległa wiązka światła białego po przejściu przez pryzmat ulega rozszczepianiu. Kąt odchylenia ε zależy również od długości fali λ

$$\varepsilon_\lambda = f_1(\alpha, \varphi, n_\lambda) \quad . \quad (2)$$

Ponieważ $n_{\text{czerwona}} < n_{\text{fioletowa}}$, to $\varepsilon_{cz} < \varepsilon_f$. Najślabiej odchyła się promień czerwony a najbardziej promień fioletowy. Na ekranie otrzymujemy widmo, którego charakter zależy również od źródła światła. Rozżarzone ciała stałe, ciecze i gęste gazy dają widmo ciągłe. Rozrzedzone gazy (pary) dają widmo liniowe lub pasmowe. Prążkom widmowym odpowiadają określone długości fal. Każdy pierwiastek daje charakterystyczne dla siebie widmo liniowe.

Zależność kąta odchylenia od długości fali określa funkcja

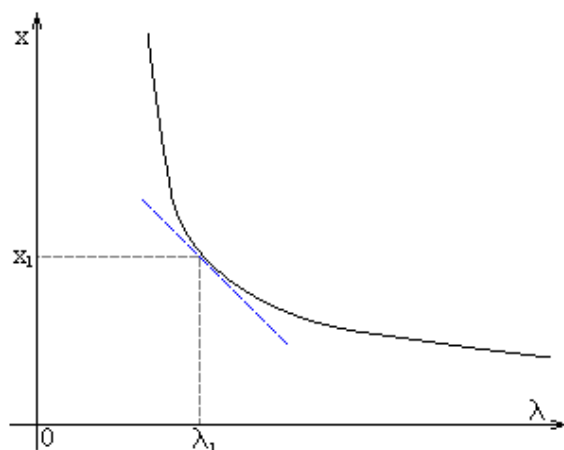
$$\varepsilon_\lambda = f(\lambda) \quad . \quad (3)$$

Jest to równanie krzywej dyspersji kątowej. Jeżeli zamiast skali kątowej użyjemy skali liniowej, wówczas zależność (3) przechodzi w związek

$$x = f(\lambda) \quad , \quad (4)$$

gdzie: x określa położenie prążka na skali liniowej.

Funkcja (3) pozwala na sporządzenie wykresu krzywej dyspersji liniowej.



Rys. 1

Miarą dyspersji liniowej dla długości fali λ_1 , jest wartość pochodnej odpowiadającej λ_1

$$D_1 = \frac{dx}{d\lambda(\lambda_1)} .$$

Znając zależność $x = f(\lambda)$, dyspersję liniową jako funkcje znajdujemy obliczając pochodną funkcji (4)

$$D = \frac{dx}{d\lambda} . \quad (5)$$

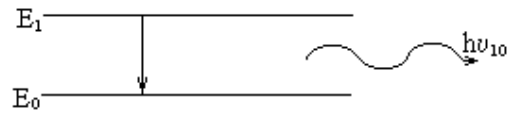
Wszystkie ciała, których temperatura jest wyższa od zera bezwzględnego są źródłami promieniowania temperaturowego. Rozkład energii w widmie takiego promieniowania dobrze odtwarza rozkład Plancka. Każde ciało potraktowano jako zbiór oscylatorów kwantowych wysyłających energię kwantami.

$$E = h\nu ,$$

gdzie: h - stała Plancka, a ν - częstotliwość wysyłanego promieniowania. Charakter kwantowy promieniowania ujawnia się szczególnie ze wzrostem częstotliwości ν .

Atom znajduje się w stanie podstawowym, jeżeli jego elektrony posiadają najniższą energię. Każdemu stanowi energetycznemu przypisujemy określony poziom energetyczny. W wyniku ogrzewania (zderzeń termicznych między atomami) lub poddaniu atomów wyładowaniom elektrycznym, elektrony w atomach przechodzą do wyższych stanów energetycznych zwanych wzbudzonymi.

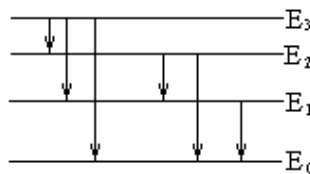
Istnieje pewne prawdopodobieństwo, że elektron znajdujący się na poziomie energetycznym wyższym niż podstawowy przejdzie na poziom niższy emitując kwant promieniowania



Rys. 2

$$h\nu_{10} = E_1 - E_0 .$$

Jest to zjawisko emisji spontanicznej.



Rys. 3

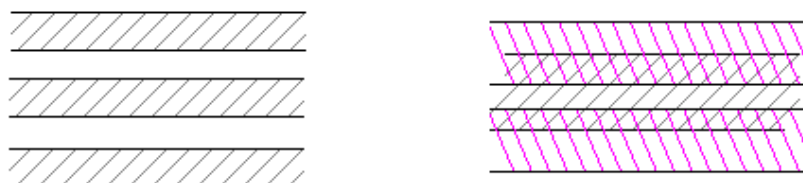
Jeżeli elektrony w atomie znajdują się w różnych stanach energetycznych E₀, E₁, E₂, E₃, to zawsze istnieje prawdopodobieństwo przejścia na niższe poziomy energetyczne, któremu towarzyszy emisja fotonów. W naszym przykładzie mogłaby wystąpić emisja sześciu kwantów odpowiadających sześciu różnym częstotliwościom. Każdej częstotliwości odpowiada ściśle określona długość fali, bowiem

$$\nu = \frac{c}{\lambda} ,$$

gdzie: c - prędkość rozchodzenia się promieniowania.

Próbka wysyła promieniowanie będące mieszaniną sześciu częstotliwości. Po rozszczepieniu otrzymalibyśmy widmo liniowe zawierające sześć prążków.

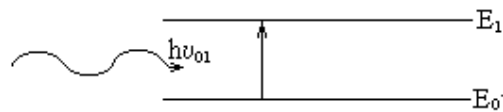
W atomach wieloelektronowych, w cząsteczkach, w strukturach gęściej upakowanych elektrony oddziałują ze sobą i poziomy energetyczne ulegają rozmyciu, zaczynają na siebie zachodzić.



Rys. 4

Rozmycie poziomów energetycznych wywołane jest również rotacjami, oscylacjami, wibracjami atomów, cząsteczek, węzłów sieci krystalicznych. W procesach tych w znacznej mierze zanikają zjawiska kwantowe. Każde przejście staje się możliwe. Widmo częstotliwości tworzy continuum. Widmo promieniowania staje się ciągłe. Prążki zachodzą na siebie. Mechanizm powstawania widm emisyjnych związany jest głównie z emisją spontaniczną.

W przyrodzie obserwujemy również procesy pochłaniania. W gazach rozrzedzonych pochłanianie ma charakter kwantowy. Dany układ kwantowy może pochłaniać ściśle określony kwant promieniowania (foton) równy różnicy poziomów energetycznych E_0 i E_1 .



Rys. 5

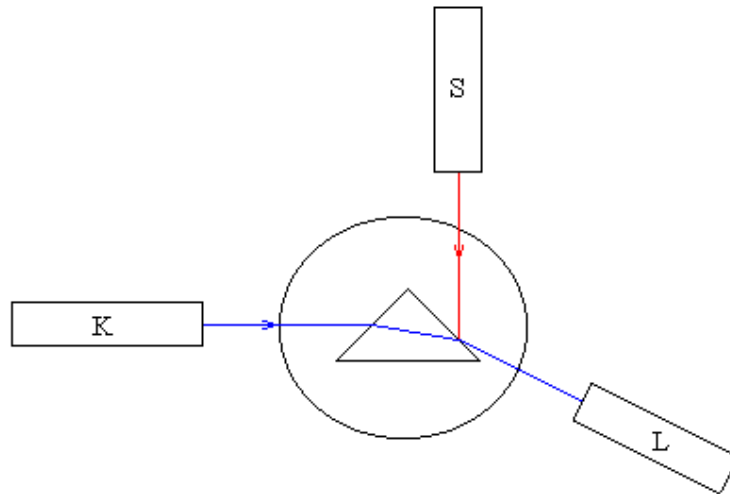
Foton o energii $E_1 - E_0 = h\nu_{01}$, zostaje pochłonięty dzięki czemu elektron jest przeniesiony z poziomu E_0 na E_1 .

Atom przechodzi w stan wzbudzony. Zjawisko nosi nazwę absorpcji. Widma absorpcyjne charakteryzują się brakiem pewnych linii. Odpowiadające im kwanty promieniowania o jednakowych częstotliwościach zostały pochłonięte. Ponieważ emisja spontaniczna w tych częstotliwościach jest dużo mniej prawdopodobna, na tle widma ciągłego pojawiają się prążki ciemne. Jest to widmo absorpcyjne. Przykładem linii absorpcyjnych są linie Fraunhoffera w widmie ciągłym promieniowania słonecznego.

II. Spektroskop.

Na trójnogu znajduje się stolik, na którym ustawia się pryzmat lub siatkę dyfrakcyjną. W specjalnych uchwytach mogących się przemieszczać o pewien kąt względem stolika umieszczono kolimator (K) z regulowaną szczeliną, skalę (S) oraz lunetę (L).

Kolimator przekształca wiązkę rozbieżną w równoległą. Na wiązkę promieni wybiegających z kolimatora po przejściu przez pryzmat nakłada się wiązka promieni wybiegających z tubusa za skalą. W polu widzenia lunety na obraz szczeliny nakłada się obraz skali z tubusa.



Rys. 6

III. Regulowanie spektroskopu.

1. Ustawić lunetę na nieskończoność.
2. Oświetlić szczelinę kolimatora światłem sodowym.
3. Pryzmat ustawić w położeniu najmniejszego odchylenia dla promieniowania żółtego (sodu).
4. Oświetlić skalę, a tubus ustawić tak, aby światło po odbiciu od ścianki pryzmatu (Rys.6) znalazło się w polu widzenia okulara lunety. Wyregulować ostrość obrazu skali (przesuwając oprawkę skali w tubusie). Następnie wyregulować jej położenie tak, aby prążek żółty znalazł się w $1/3$ odległości od 0 skali.

UWAGA! Regulację spektroskopu można wykonać posługując się żółtą linią He.

IV. Skalowanie spektroskopu.

Aby wyskalować spektroskop posługujemy się widmem liniowym pierwiastka o stosunkowo niewielkiej liczbie prążków rozłożonych wzdłuż całego obszaru widzialnego widma. Wygodnie jest posłużyć się widmem liniowym rozrzedzonego helu. W obszarze widzialnym obserwujemy siedem jasnych linii, łatwych do zidentyfikowania (patrz tabela).

BARWA	DŁUGOŚĆ FALI λ	POŁOŻENIE NA SKALI
czerwona	0,668 μm	
czerwona	0,656 μm	
żółta	0,586 μm	
jasno zielona	0,502 μm	
zielona	0,468 μm	
niebieska	0,447 μm	
fioletowa	0,389 μm	

Dodatkowo możemy posłużyć się żółtą linią sodu $\lambda=0,590 \mu\text{m}$ (ściślej 0,5896 i 0,5890- najczęściej obserwowaną jako jedna linia żółta).

Aby wyskalować spektroskop wykonujemy następujące czynności:

1. Wyregulować spektroskop zgodnie z czynnościami opisanymi w punkcie III 1-4.
2. Naprzeciw szczeliny umieścić rurkę Plücker'a napełnioną helem i włączyć jej zasilanie. (W polu widzenia lunety powinniśmy otrzymać widmo liniowe helu).

UWAGA! Wszelkie mocowanie rurki w uchwycie wykonujemy przy WYŁĄCZONYM NAPIĘCIU.!

3. Odczytać położenie prążków na tle skali. Położenie prążka fioletowego należy oszacować przez ekstrapolację (Uzupełniając powyższą tabelę).
4. Sporządzić wykres zależności $x=f(\lambda)$ na papierze milimetrowym.

A. Wyznaczanie długości fali w widmach pierwiastków i światła białego.

1. Wyregulować spektroskop zgodnie z czynnościami opisanymi w punktach III (1-4).
2. Wyskalować spektroskop zgodnie z czynnościami opisanymi w punktach IV (1-4).

UWAGA! Po wyskalowaniu nie można przesuwając przyrządu, w przypadku jego przesunięcia należy skalowanie powtórzyć.

3. Ustawić naprzeciw szczeliny rurkę Plücker'a z Ne (patrz p.IV.2).
4. Odczytać położenie 10 prążków na skali.
5. Odczytać długość fali odpowiadającej poszczególnym prążkom z krzywej dyspersji (IV.4).
6. Powtórzyć czynności 3-5 dla innych par i gazów.

7. Oświetlić szczelinę kolimatora światłem białym.
8. Zmierzyć szerokość widma ciągłego dla sześciu barw.
9. Przeprowadzić dyskusję wyników i oszacować popełnione błędy.

B. Wyznaczanie krzywej dyspersji dla neonu.

Obliczanie dyspersji liniowej dla Ne i He.

1. Wyregulować spektroskop zgodnie z czynnościami opisanymi w punktach III (1-4).
2. Wyskalować spektroskop zgodnie z czynnościami opisanymi w punktach IV (1-4).

UWAGA! Po wyskalowaniu nie można przesuwać przyrządu, w przypadku jego przesunięcia należy skalowanie powtórzyć.

3. Wyznaczyć długość fal odpowiadających prążkom w widmie Neonu.
4. Sporządzić wykres krzywej dyspersji dla Ne.
5. Obliczyć dyspersję liniową dla każdego prążka w widmie Ne. (Graficznie obliczyć pochodną - patrz wzór (3)).
6. Sporządzić wykres zależności $D = f_1(\lambda)$.
7. Przeprowadzić dyskusję błędów i wyników.
8. Powtórzyć czynności z punktów 5-7 dla He.

Literatura:

1. S. Szczeniowki - Fizyka doświadczalna t.IV, Optyka.
2. J.R.Meyer-Arendt - Wstęp do optyki.
3. J. Norwood - Fizyka współczesna.
4. J.Orear - Fizyka t.II.
5. T.Dryński - Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki.
6. A.Zawadzki, H.Hofmokl - Laboratorium fizyczne.