

ВИМІРЮВАННЯ ВІДНОСНОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ СПЕКТРАЛЬНИХ ЛІНІЙ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИМ МЕТОДОМ

Теоретичні відомості

З теорії фотоефекту відомо, що фотострум у режимі насичення пропорційний світловому потоку, який падає на фотокатод:

$$N_e \sim \eta \cdot N_\phi \quad (10.1)$$

-де N_ϕ - число фотонів, що падають на катод за 1 с;

N_e - число фотоелектронів, що досягають анода за 1 с;

η - квантовий вихід, який характеризує чутливість фотокатоду.

В досить широких інтервалах освітленості коефіцієнт η від неї не залежить, але залежить від довжини хвилі спектральної лінії джерела світла λ і поляризації світла, спектральної чутливості фотокатода S_λ .

Для фотоелемента, який використовується в установці, η визначається співвідношенням:

$$\eta = \frac{12.4}{\lambda(A) S_\lambda} \left[\frac{mA}{Bm} \right] \quad (10.2)$$

На рис. 10.1. наведена залежність спектральної чутливості S_λ від довжини хвилі λ .

Потужність випромінювання одиниці об'єму джерела ($\hat{O}_{(\bar{\lambda})}$) в інтервалі довжин хвиль, що відповідає повній ширині даної спектральної лінії, визначається за допомогою співвідношення:

$$\hat{O}_{(\bar{\lambda})} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \phi(\lambda) d\lambda \quad (10.3)$$

$$\text{-де } \bar{\lambda} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2},$$

φ_λ - спектральна потужність випромінювання лінії з довжиною хвилі λ , що належить інтервалу $[\lambda_1, \lambda_2]$

Для ізотропного випромінювання за інтенсивність спектральної лінії $I(\bar{\lambda})$ приймається величина:

$$I(\bar{\lambda}) = \frac{\hat{O}(\bar{\lambda})}{S} \quad (10.4)$$

-де S - площа поверхні випромінюючого об'єму.

Інтенсивність спектральної лінії теплового випромінювання позначають літерою R .

Спектральною інтенсивністю теплового випромінювання називається величина:

$$R_\lambda = \frac{dR}{d\lambda} \quad (10.5)$$

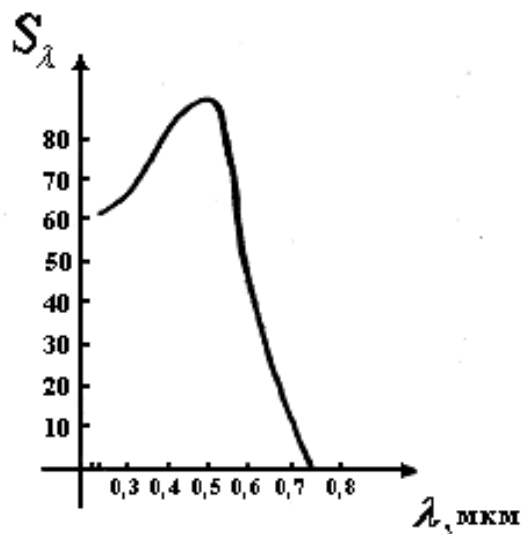


Рис. 10.1. Спектральна чутливість фотоелемента

На практиці, при визначенні інтенсивності спектральних ліній $I(\bar{\lambda})$, замість урахування спектральної чутливості фотоелемента S_λ (яка змінюється в процесі експлуатації) зручно користуватися деяким еталонним джерелом, спектральний склад випромінювання якого добре відомий. Таким джерелом у роботі є лампа розжарення суцільного спектру.

Спектральна інтенсивність випромінювання лампи розжарення суцільного спектру визначається на основі закону Кіргофа:

$$R_{\lambda, \dot{\lambda}} = \alpha_{\lambda, \dot{\lambda}} \cdot R_{\lambda, \dot{\lambda}}^{\text{аб}} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{см}^2} \right] \quad (10.6)$$

-де $R_{\lambda, \dot{\lambda}}^{\text{аб}}$ - спектральна інтенсивність випромінювання абсолютно чорного тіла,

$\alpha_{\lambda, \dot{\lambda}}$ - спектральна поглинаюча здатність, яка показує, яку частину монохроматичного потоку падаючої променистої енергії поглинає дане тіло.

Згідно формули Планка для $R_{\lambda, \dot{\lambda}}^{\text{аб}}$:

$$R_{\lambda, \dot{\lambda}}^{\text{аб}} = \frac{2\pi h \tilde{\nu}^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1} \quad (10.7)$$

Припустимо, що повна інтенсивність спектральної лінії з довжиною хвилі $\bar{\lambda} \cong \lambda$, є $I(\bar{\lambda})$. Тоді фотострум, який реєструється ($i(\lambda_1)$):

$$i(\lambda_1) = \hat{E}_0 \eta(\lambda_1) I(\lambda_1) \quad (10.8)$$

Коефіцієнт K_0 враховує характеристику приладу.

Якщо на тій же довжині хвилі на фотоелемент спрямувати випромінювання лампи суцільного спектру в інтервалі довжин хвиль $\Delta\lambda_1$, то струм $i_{\text{аб}}(\lambda_1)$, який при цьому реєструється:

$$i_{\text{аб}}(\lambda_1) = \hat{E}_0 \eta(\lambda_1) R_{\lambda, \dot{\lambda}} \cdot \Delta\lambda_1 \quad (10.9)$$

При фіксованій величині вихідної щільності монохроматора величина спектрального інтервала залежить від дисперсії приладу:

$$S_{\text{аб}} = \frac{dl}{d\lambda} \cdot \Delta\lambda \quad (10.10)$$

Введемо спеціальну величину $\chi(\lambda_1)$, яка чисельно дорівнює відношенню сили струму $i(\lambda_1)$ до сили струму $i_{\text{ем}}(\lambda_1)$:

$$\chi(\lambda_1) = \frac{\lambda_1^3}{\lambda_1^3} = \frac{I(\lambda_1)}{R_{\lambda,0} \Delta \lambda_1}$$

(10.11)

Тоді відносна інтенсивність спектральних ліній з різною довжиною хвилі (λ_1 та λ_2) може бути записана у вигляді:

$$\frac{I(\lambda_1)}{I(\lambda_2)} = \frac{\chi(\lambda_1) R_{\lambda_1, T} \left(\frac{d\lambda}{dl} \right)_1}{\chi(\lambda_2) R_{\lambda_2, T} \left(\frac{d\lambda}{dl} \right)_2}$$

(10.12)

Величина $\frac{d\lambda}{dl}$ є оберненою до лінійної дисперсії і визначається з графіка, побудованого на основі паспортних даних монохроматора (табл. 10.1). А величина $R_{\lambda, T}$ для $T = 1800^\circ K$ - з графіка, побудованого на основі табл. 10.2.

Таблиця 10.1. Значення величини $\frac{d\lambda}{dl}$ в залежності від довжини хвилі λ

$\lambda, \text{Å}$	7865	5461	4861	4358	4046
$\frac{d\lambda}{dl}, \frac{\text{Å}}{\text{мм}}$	167	57	40	23	16

Таблиця 10.2. Значення величини $R_{\lambda, T}$ в залежності від довжини хвилі λ

$\lambda, \text{Å}$	6670	6250	5560	5260	5000	4545	4350	4170	4000
$R_{\lambda, T}, \frac{\text{Вт}}{\text{см}^3}$	176,5	109,5	39,9	24,8	13,7	8,60	2,40	1,39	0,76

Робота монохроматора

Принципова схема монохроматора подана на рис. 10.2.

Випромінювання від лампи 1 через конденсор 2 попадає на вхідну щілину 3 і за допомогою джерела 4 заповнює вгнуту дифракційну ґратку 5, яка виконує роль фокусуєчого і диспергуючого елемента. У приладі використана ґратка із змінним кроком нарізки і криволінійними штрихами, що дає можливість значно скомпенсувати розфокусування в іншій аберації.

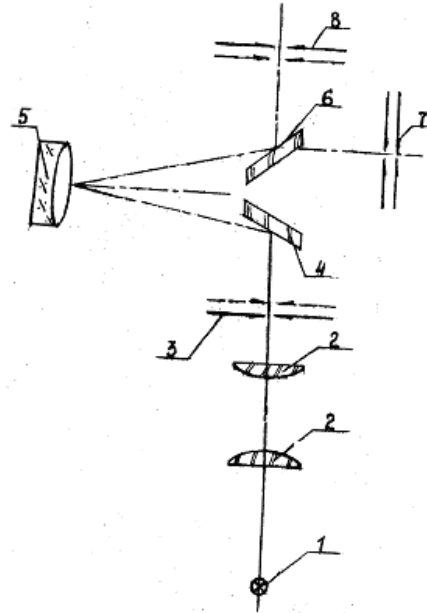


Рис. 10.2. Оптична схема монохроматора

Закон зміни кроку дифракційної ґратки можна представити за допомогою аналітичного виразу:

$$\sigma(y) = \sigma_0 \left(1 + \mu y - \frac{\mu^2}{2} y^2 + \dots \right) \quad (10.13)$$

-де σ_0 - постійна ґратки у її вершині;

$$\mu = 0.001048 \text{ І/мм.}$$

Дифраговане ґраткою випромінювання спрямовується у вихідну щілину 7 (при виведеному плоскому дзеркалі 6) або у вихідну щілину 8 (при введеному плоскому дзеркалі 6). Одна з щілин служить для візуального спостереження спектру, а друга – для спрямування світла на фотоелемент.

Зміна положення дзеркала 6 здійснюється переміщенням від себе (до себе) рукоятки, розташованої на бічній стінці корпусу монохроматора з боку вихідної щілини до фотоелементу.

Зміщення спектру здійснюється поворотом ґратки 5 навколо осі "0" на кут φ у межах від $\varphi_0 = 6^\circ 54'$ до $\varphi_0 = 28^\circ 44'$. Закон руху ґратки забезпечується

синусним механізмом, у якому для переміщення опорної поверхні використовується гвинт.

Системою зубчастих передач синусний механізм зв'язаний з граткою 5 ручкою, розташованою на торцевій стінці монохроматора, і цифровим механічним лічильником, вмонтованим у корпус монохроматора, за допомогою якого здійснюється безпосередній відлік довжин хвиль з точністю $\pm 0,2$ нм.

У монохроматорі є гнізда для встановлення щілин. Щілини змінні постійної ширини: 0,05; 0,25; 1,0; 3,0 мм. Для одержання великої спектральної чистоти при роботі в інтервалі спектру 290-710 нм вхідна і вихідна щілина встановлюються у положення I, а при роботі в інтервалі спектру 200-290 і 710-800 нм щілини встановлюються у положення II.

Блок-схема лабораторної установки показана на рис. 10.3.

Основні елементи блок-схеми:

М – монохроматор універсальний малогабаритний (МУМ):

1 – ручка сканування спектру;

2 – вхідна щілина;

3 – цифровий механічний лічильник для відліку довжин хвиль;

4 – ручка зміни напрямку випромінювання. При витягнутому положенні ручки випромінювання спрямовується у вихідну щілину 6, а при втопленому положенні – вихідну щілину 7;

5 – монокуляр;

6 – вихідна щілина для візуального спостереження спектру;

7 – вихідна щілина для спрямування випромінювання спектральних ліній у блок приймача випромінювання.

Б – блок приймача випромінювання:

1 – перемикач регулювання чутливості фотоелемента;

2 – рукоятка установки нуля;

3 – рукоятка зміни висоти діафрагми;

Е – джерело еталонного випромінювання;

Д – джерело живлення еталонної лампи;

Н – джерело неонових випромінювання. Підключається безпосередньо до мережі 220 В;

мА – міліамперметр;

БЖ – блок живлення. Підключається безпосередньо до мережі 220 В:

1 – тумблер ввімкнення фотоелемента;

2 – гнізда для ввімкнення міліамперметра;

3 – сигнальна лампа тумблеру “мережа”;

4 – тумблер “мережа”.

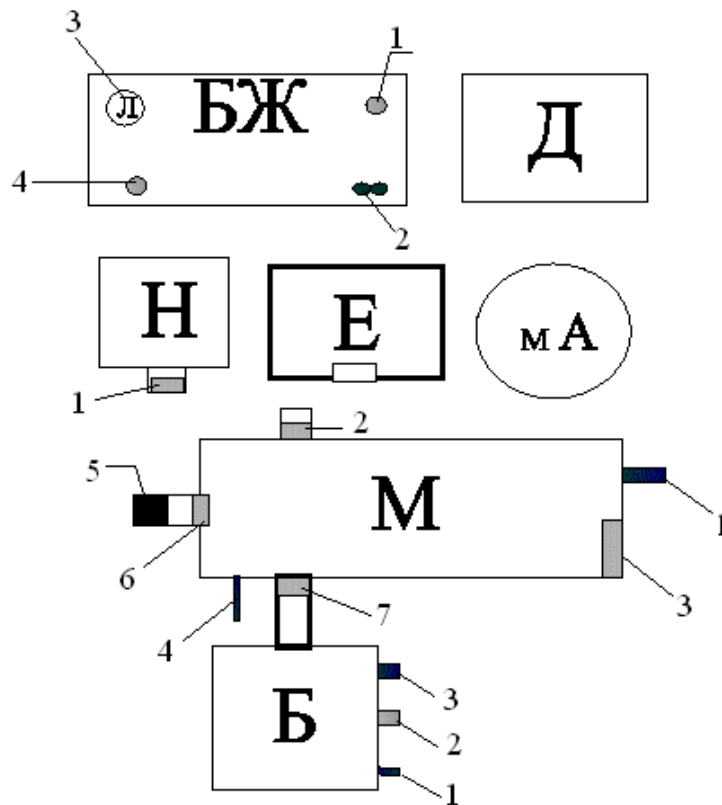


Рис. 10.3. Блок-схема лабораторної установки

Контрольні питання

1. Дати поняття відносної інтенсивності спектральних ліній. Записати формулу для її розрахунку.
2. Сформулювати закони Кіргофа для випромінювання.
3. Розкрити фізичний зміст формули Планка для спектральної інтенсивності випромінювання абсолютно чорного тіла.
4. Розповісти про будову і принцип роботи монохроматора.