4.5.2 Визначення сталої Ридберга

Детальний опис роботи подано в посібниках [5, (робота 1); 10, (робота 1)]. Існує комп'ютерний симулятор цієї роботи [7, робота 3.1].

Метою роботи є експериментальне визначення сталої Ридберга.

Мети роботи досягають дослідженням оптичного спектру випромінювання атома водню. Водень, як і всі одноатомні гази, має лінійчатий спектр випромінювання, що складається з окремих спектральних ліній. При цьому лінії угруповуються в серії, які розташовані в різних частинах спектру. У видимій частині спектру атома водню спостерігається серія Бальмера, яка складається із кількох ліній, що мають різні кольори від червоного до фіолетового. Серія Бальмера (рис. 17) містить 4 лінії, але в умовах навчального досліду одну з них (другу фіолетову) важко побачити через недостатню силу світла застосовуваного джерела випромінювання.

Рисунок 17

Довжини хвиль λ ліній у спектрі випромінювання атома водню (рис.17) можна розрахувати з використанням формули Бальмера-Ридберга:

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{k^2}\right) \quad (k = 3, 4, 5, 6), \qquad (5.2.1)$$

де R – стала Ридберга і кожній з ліній, зображених на рис. 17, відповідає своє значення цілого числа k. Співвідношення (5.2.1) є *розрахунковою формулою* лабораторної роботи.

Теоретичне обґрунтування формули (5.2.1) спочатку вдалося отримати в напівкласичній теорії Бора-Резерфорда, а трохи згодом у квантовій теорії атома водню. Квантова теорія виявила, що цілі числа k є головними квантовими числами рівня, з якого відбувається перехід атому водню на рівень з головним квантовим числом 2, що й спричинює появу випромінювання серії Бальмера. Вона дала також змогу отримати співвідношення для обчислення сталої Ридберга $R_{\text{теор}}$:

$$R_{\text{теор}} = \frac{me^4}{8\varepsilon_0{}^2 h^3} = 1{,}0967758 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1} \qquad (5.2.2)$$

де m – маса електрона, e – заряд електрона, ε_0 – електрична стала, h – стала Планка.

Експериментальну частину роботи виконують з допомогою монохроматора-спектрометра УМ-2. Його зовнішній вигляд зображено на рис. 18. Він дає змогу розкладати світлове випромінення в спектр і вимірювати довжини хвиль окремих спектральних в діапазоні від 380 нм до 1000 нм.

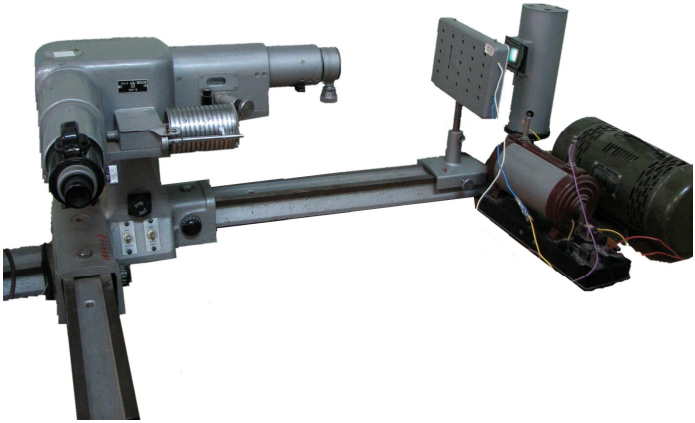

Рисунок 18

Схему приладу зображено на рис. 19. Всю конструкцію захищено від зовнішніх впливів корпусом 10.

Світло від джерела (ВЛ – водневої лампи або РЛ – ртутної лампи) проходить через конденсор К, що здійснює фокусування випромінення, і потрапляє на вхідну щілину 1. Ширину вхідної щілини регулює мікрометричний гвинт 2, що дозволяє змінювати ширину спостережуваних спектральних ліній. Далі, пройшовши коліматор 3, який регулюється мікрометричним гвинтом 4, світло потрапляє на призму П. Призма П, що розташована на поворотному столику 5, розкладає світло в спектр та змінює напрям світлового потоку на 90°.

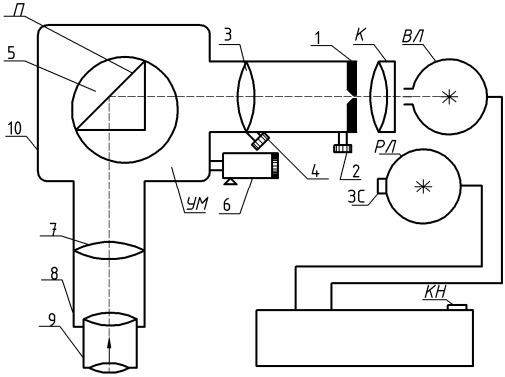

Рисунок 19

Положення поворотного столика 5 змінюють за допомогою мікрометричного гвинта з відліковим барабаном 6. Обертаючи цей гвинт можна помістити в поле зору спостерігача різні ділянки спектру. На барабан 6 нанесено гвинтову доріжку, по якій уздовж шкали переміщується покажчик повороту барабана.

Після проходження призми світло потрапляє в зорову трубу –конденсатор 8, де у фокальній площині об'єктиву 7 формується зображення. Зображення спостерігають за допомогою окуляра 9, суміщаючи зображення спектральної лінії з вістрям покажчика. Водночас уздовж шкали рухається покажчик повороту барабана. Після суміщення лінії з вістрям покажчика зчитують відлік (у поділках) зі шкали відлікового барабана 6.

Перед використанням монохроматора-спектрометра для вимірювання довжин спектральних ліній слід провести його градуювання. Для цього перед конденсором К установлюють ртутну лампу (для ртуті довжини хвиль, що відповідають спектральним лініям, уважаємо відомими).

Для побудови градуювальної кривої слід дослідним шляхом заповнити таблицю 1.

Таблиця 1

№	Колір лінії	Поділки шкали	λ, нм (наближено)
1	2	3	4
1	фіолетовий		405
2	синій		436
3	синьо-зелений		491
4	зелений		546
5	жовтий (дублет)		578
6	червоний		623
7	червоний		691

Примітка. Наведені в таблиці 1 довжини хвиль для спектральних ліній ртуті є наближеними та відповідають реально спостережуваній картині на монохроматорі-спектрометрі УМ-2.

Спектр ртуті, який можна спостерігати у видимій області за вищої, порівняно з УМ-2, роздільної здатності монохроматора-спектрометра та істотно яркішого джерела світла має вигляд, поданий на рис. 20 (лінії, зазначені в таблиці, зображено як найтовщі).

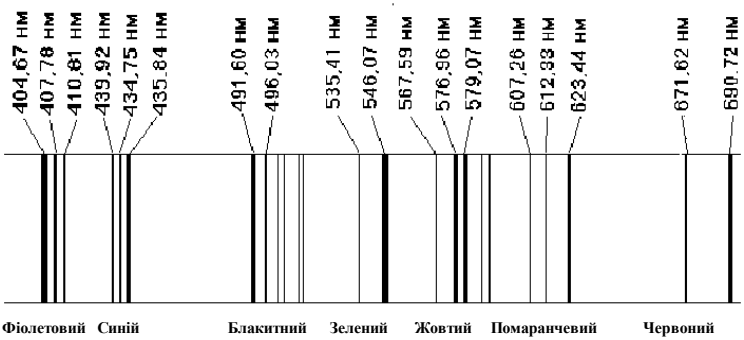

Рисунок 20

Дані таблиці 1 дають змогу побудувати градуювальну криву монохроматора-спектрометра (в осях: λ, нм ⇔ Поділки шкали).

На другому етапі роботи слід замінити ртутну лампу на водневу лампу та визначити, яким поділкам шкали відповідають лінії спектру водню. Дані слід занести в стовпчик таблицю 2.

Таблиця 2

№	Головне квантове число ***k*** рівня, з якого відбувається перехід атому водню на рівень з числом 2	Позначення та колір лінії	Поділки шкали	λ, нм	R, 10^7 м$^{-1}$
1	2	3	4	5	6
1	**3**	H_α - червоний			
2	**4**	H_β - зелено-блакитний			
3	**5**	H_γ - фіолетовий			
4	**6**	H_δ - фіолетовий			

Примітка. Лінію H_δ (Бальмер δ) зазвичай розгледіти важко.

Алгоритм опрацювання результатів експерименту

З формули (5.2.1) випливає, що знаючи довжини хвиль, які відповідають переходам атома водню з рівнів з відомими головними квантовими числами k на рівень з головним квантовим числом 2, можна обчислити сталу Ридберга R:

$$R = \frac{1}{\lambda\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{k^2}\right)} \quad (k = 3, 4, 5, 6)\,, \qquad (5.2.3)$$

Співвідношення (5.2.3) є *розрахунковою формулою* роботи. Отриманий за нею результат слід порівняти з табличним значення сталої Ридберга R, наведеним у формулі (5.2.2).

Метод вимірювання у розглядуваній лабораторній роботі, що базується на розрахунковій формулі (5.2.3), є прикладом непрямих вимірювань. Через мале число спостережень вираховування похибки вимірювання є недоцільним.

1. Використовуючи дані таблиці 1 (стовпчики 3 й 4), побудувати градуювальну криву монохроматора-спектрометра в осях: λ, нм як функція числа поділок шкали.

2. За допомогою градуювальної кривої та даних стовпчика 4 таблиці 2 відшукати довжини хвиль спектральних ліній видимого спектра водню. Одержані результати занотувати у стовпчику 5 таблиці 2.
3. Використовуючи розрахункову формулу роботи (5.2.3) і дані стовпчиків 2 та 5 таблиці 2 обчислити значення сталої Ридберга R. Занести ці дані у стовпчик 6 таблиці 2.
4. Вирахувати середнє значення експериментально визначеної сталої Ридберга $<R>$ та порівняти його з табличним значенням $R_{\text{теор}}$ цієї сталої (див.(5.2.2)) за формулою:

$$\delta R = \frac{\left| < R > - R_{\text{теор}} \right|}{R_{\text{теор}}} \cdot 100\% \,. \qquad (5.2.4)$$