

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»



Кафедра фізики

Методичні вказівки до лабораторної роботи
«Вивчення спектру атома водню»

для бакалаврів напрямку підготовки 6.050503 «Машинобудування»

Рекомендовано до видання засіданням кафедри фізики
(протокол № 10 від 14.03. 2012 р.)

Дніпропетровськ
Державний ВНЗ «НГУ»
2012

Фізика. Методичні вказівки (українською та російською мовами) до лабораторної роботи «Вивчення спектру атома водню» для бакалаврів напряму підготовки 6.050503 та других напрямів. – Автори: Л.М. Глушко, Л.І. Лютий. – Д.: Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», 2012. – 10 с.

Укладачі:

Л.М. Глушко, канд. фізмат. наук, доц.

О.І. Лютий, канд. фізмат, доц.

Затверджено до видання учбово-методичним управлінням ДВНЗ «НГУ» за поданням методичної комісії напряму підготовки 6.050503 «Машинобудування» (протокол № 3 від 2.04.2012 р.).

Методичні матеріали призначено для самостійної роботи студентів напряму підготовки 6.050503 «Машинобудування» та других напрямів під час підготовки до модульних контролів за результатами практичних занять з нормативної дисципліни «Фізика».

Наведено теоретичні відомості про спектри випромінювання розріджених газів, зокрема водню; дослідження видимої частини спектра атома водню; визначення постійної Рідберга та потенціалу іонізації атома водню.

Відповідальний за випуск завідувач кафедри фізики проф. І.П. Гаркуша.

Друкується у редакційній обробці укладачів.

Лабораторна робота № 60

Вивчення спектра атома водню

Ціль роботи: дослідження видимої частини спектра атома водню; визначення постійної Рідберга й потенціалу іонізації атома водню.

Спектр випромінювання є важливою характеристикою речовини. З його допомогою можна встановити склад речовини, деякі характеристики його будови, властивості атомів і молекул.

Дослідження спектрів випромінювання розріджених газів показали, що кожному газу властивий цілком певний *лінійчатий спектр*, тобто спектр, що складається із груп окремих спектральних ліній. Положення ліній в атомних спектрах може бути пояснено тільки на основі квантових уявлень. У квантовій механіці показується, що енергія електронів в атомі може приймати не будь-які, а тільки деякі певні значення $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$. Стани з різними значеннями енергії називаються *рівнями енергії (енергетичними рівнями)*.

Найпростіший з атомів – атом водню – складається з ядра, позитивно зарядженого, в електростатичному полі якого рухається один електрон. У квантовій механіці отримана формула, що дозволяє обчислити можливі значення енергії електрона

$$E_n = -Rhc/n^2, \quad (1)$$

$$R = m_e e^4 / (8h^3 \epsilon_0^2 c) \quad (2)$$

де $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ – маса електрона, $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ – його заряд, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ швидкість світла у вакуумі, $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ – постійна Планка, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ – електрична стала, $n = 1, 2, 3, \dots$ - головне квантове число (збігається з номером енергетичного рівня). З (2) видно, що R – стала. Її називають сталою Рідберга.

На рис. 1 зображені рівні енергії атома водню. Енергетичний стан, який відповідає $n = 1$ називається *основним* або *нормальним* (не збудженим) станом. Стани з $n > 1$ називаються *збудженими*. При зростанні n енергетичні рівні зближаються до границі ($n = \infty$). При цьому максимальне значення енергії дорівнює нулю ($E_\infty = 0$). Це пояснюється тим, що електрон в атомі зв'язаний силою притягання до ядра ($E < 0$). Чим більше n , тим вище енергетичний рівень, тим більшу енергією має електрон. Електрон вільного атома водню (який не піддавався зовнішнім впливам) перебуває в нормальному стані ($n = 1$) і йому відповідає енергія

$$E_1 = -Rhc. \quad (3)$$

Якщо цьому атому надати енергію, більшу або рівну (3), то електрон вийде за межі атома – атом іонізується. Тому енергію

$$E_i = -E_1 = Rhc$$

називають *енергією іонізації*, а величину

$$\varphi_i = E_i / e = Rhc / e \quad (4)$$

потенціалом іонізації.

В тому випадку, коли атом водню одержав енергію, меншу E_i , то електрон може перейти на який-небудь m -й рівень, тобто у збуджений стан. У цьому стані електрон перебуває мізерну частку секунди й переходить на більш низький рівень. При таких переходах випромінюється енергія і виникають *спектральні лінії випромінювання*. Енергія кванта випромінювання дорівнює різниці енергій цих рівнів

$$h\nu_{mn} = E_m - E_n, \quad (5)$$

де ν_{mn} - частота випромінювання.

На рис. 1 переходи між рівнями, які відповідають спектральним лініям випромінювання, позначені стрілками. Перехід електронів з нижчого на верхній рівень енергії супроводжується *поглинанням кванта світла* тієї ж частоти. З огляду на те, що $\nu = c/\lambda$, з (1) і (5) випливає

$$\frac{1}{\lambda_{mn}} = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right). \quad (6)$$

Співвідношення (6) було отримано емпірично і називається узагальненою формулою Бальмера. Вона дозволяє визначити довжини хвиль λ_{mn} спектральних ліній, що випромінюються (або поглинаються) атомом водню.

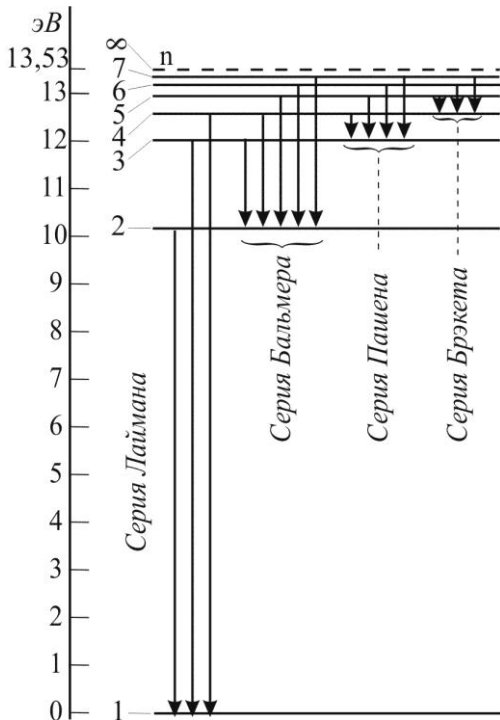


Рис.1

Сукупність ліній, що мають загальний нижній рівень, називають *спектральною серією*. З рисунка видно, що лінії в спектрі водню розташовуються серіями. Для всіх ліній серії n залишається постійним, а m може приймати значення $m = n + 1, n + 2, n + 3, \dots, \infty$.

В даній роботі вивчаються спектральні лінії серії Бальмера ($n = 2$). Найбільш інтенсивні лінії цієї серії перебувають у видимій області спектра. Вони позначаються символами

H_α - червона лінія ($m = 3$); H_γ - синьо-фіолетова ($m = 5$);
 H_β - зелено-блакитна ($m = 4$); H_δ - фіолетова ($m = 6$).

Лінії серії Лаймана розташовані в ультрафіолетовій області, Пашена – в інфрачервоній.

Опис установки

Прилади й приладдя: скляно-призмий монохроматор УМ-2, газорозрядний лазер (як джерело лінійчатого спектру), блок живлення.

Для спостереження спектральних ліній і виміру довжин хвиль у роботі використовується скляно-призмий монохроматор УМ-2, будова якого й правила користування ним наведені в додатку.

Збудження атомів водню здійснюється в газовому розряді. Напряга, яка прикладена до газорозрядної трубки, прискорює заряджені частинки, що перебу-

вають у газі. Ці частинки зіштовхуються з нейтральними атомами, передають їм енергію і переводять їх у збуджений стан. Через час порядку 10^{-8} с атоми знову переходять на більш низький енергетичний рівень, випромінюючи надлишок енергії у вигляді спектра, що ми й спостерігаємо за допомогою монохроматора.

Завдання 1. Градування шкали барабана УМ-2.

Градування шкали барабана монохроматора проводиться для того, щоб виразити показання шкали барабана в довжинах хвиль.

1. Газорозрядну трубку поміщають у штатив, який розташовано на рейці приладу, і включають у мережу через блок живлення. Регулюючи положення трубки, домагаються повного освітлення щілини 1 монохроматора (рис. 2).
2. Повертаючи барабан 7, переглядають через окуляр весь спектр від фіолетової до червоної границі. Всі лінії повинні бути рівно і яскраво освітлені.
3. Включають освітлювальні лампочки шкал та індексу 10, сполучають із індексом послідовно лінії спектра неону й гелію від червоної до фіолетової, які зазначені викладачем, і роблять відлік кутів Ψ по барабану 7, відзначаючи кольори лінії (не менш 10 ліній). Потім виміри повторюють у зворотному порядку - від фіолетової до червоної границі.
4. Обчислюють середнє значення відліків $\langle \Psi \rangle$ для кожної спектральної лінії. Таблиця довжин хвиль цих ліній додається до приладу.
5. Результати вимірів і обчислень заносять у таблицю 1.
6. Будують градувальний графік на міліметровому папері. По осі ординат відкладають кути $\langle \Psi \rangle$, а по осі абсцис – відповідні їм довжини хвиль λ . Масштаб варто вибрати такий, щоб графік був досить великий і дозволяв чітко визначати довжини хвиль спектра досліджуваного елемента. Градувальний графік (його ще називають дисперсійною кривою) повинен являти собою плавну криву. Цю криву будують за допомогою лекала олівцем. При побудові графіка деякі експериментальні точки іноді виявляються зміщеними від плавної кривої. Такі "викиди" свідчать найчастіше про неправильну розшифровку спостережуваної картини спектральних ліній. У цьому випадку необхідно більш уважно зіставити картину з таблицею довжин хвиль і внести в графік виправлення. По цьому графіку можна визначати довжину хвилі будь-якої лінії спектра, якщо відомо її положення по шкалі барабана 7.

Таблиця 1

Газ										
λ , нм										
$\Psi_{k \rightarrow \phi}$										
$\Psi_{\phi \rightarrow k}$										
$\langle \Psi \rangle$										

Завдання 2. Визначення сталої Рідберга і потенціалу іонізації атома водню.

1. Замість газорозрядного лазера перед щілиною ставлять трубки, які наповнені воднем и у спектрі випромінювання знаходять лінії атомарного водню $H_{\alpha}, H_{\beta}, H_{\gamma}, H_{\delta}$ серії Бальмера й знімають для них відлік кутів Ψ аналогічно п.

3 завдання 1. Знаючи $\langle \Psi \rangle$, по дисперсійній кривій визначають довжини хвиль цих ліній λ_{mn} .

2. За допомогою формули (6) за отриманими значеннями λ_{mn} обчислюють чотири значення постійної Рідберга R . Визначають середнє значення $\langle R \rangle$ і оцінюють погрішність результату за стандартною методикою. Отримане експериментально значення $\langle R \rangle$ порівнюють із її теоретичним значенням, яке обчислюють із співвідношення (2).

3. По формулі (4) обчислюють потенціал іонізації атома водню у вольтах, використовуючи середнє значення постійної Рідберга.

4. Дані вимірів й обчислень заносять у таблицю 2.

Таблиця 2

Лінія водню	$\langle \Psi \rangle$	λ м	R_i м ⁻¹	$\langle R \rangle$ м ⁻¹	ΔR_i м ⁻¹	ΔR м ⁻¹	$E\%$	$R_{теор}$ м ⁻¹	φ_i еВ
H_α									
H_β									
H_γ									
H_δ									

5. Остаточний результат записують у вигляді $R = \langle R \rangle \pm \Delta R$

Контрольні питання

1. Які спектри дають розріджені гази?
2. Які серії має спектр водню? У яких областях спектра вони розташовані? Запишіть їх формули.
3. Який зміст мають квантові числа m і n ? Знайдіть найменшу й найбільшу довжини хвиль спектральних ліній у видимій області спектра водню.
4. Яку найменшу енергію повинні мати електрони, щоб при збудженні атомів водню їхніми ударами з'явилися всі лінії всіх серій водню?
5. Що називається потенціалом збудження? Потенціалом іонізації?
6. Як побудувати дисперсійну криву приладу?

Додаток

Опис монохроматора УМ-2

У роботі використовується склянно-призмий монохроматор УМ-2, який призначений для спектральних досліджень у діапазоні довжин хвиль від 380 до 1000 нм. До складу приладу входять наступні основні частини (рис.2).

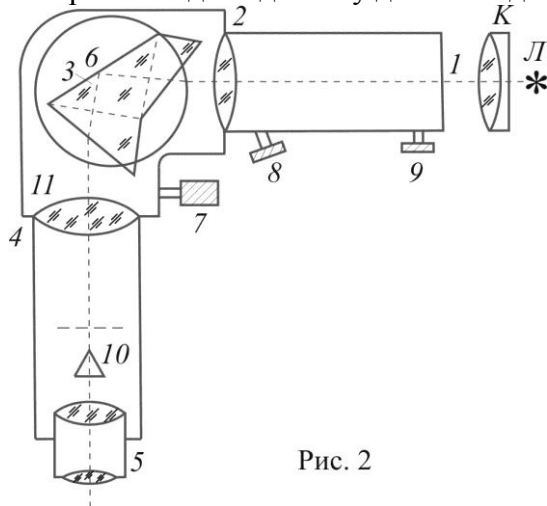


Рис. 2

1. *Вхідна щілина* 1. Мікрометричний гвинт 9 дозволяє відкривати щілину на потрібну ширину. Звичайно робоча ширина щілини дорівнює 0.02 - 0.03 мм.

2. *Коліматорний об'єктив* 2. Мікрометричний гвинт 8 дозволяє зміщати об'єктив щодо щілини при фокусуванні різних спектральних ліній.

3. *Складна спектральна призма*. Установлена на поворотному столику 6, що обертається навколо вертикальної осі гвинтом 7 разом з відліковим барабаном. На барабан нанесена гвинтова доріжка із градусними поділками. Вздовж доріжки ковзає покажчик повороту барабана. При обертанні барабана

призма повертається і в центрі поля зору з'являються різні ділянки спектра. Поворот барабана на один розподіл 2° відповідає повороту системи призм на $20'$.

4. *Зорова труба*. Складається з об'єктива 4 й окуляра 5. Об'єктив дає зображення вхідної щілини 1 у своїй фокальній площині, в якій розташовано індекс 10 у вигляді трикутника. Він висвітлюється лампочкою і розглядається в окуляр 5. Під лампочкою розташований диск з набором світлофільтрів. Повертаючи диск, можна освітити індекс потрібними кольорами. Окуляр встановлюється на різкість зображення індексу і спектральних ліній шляхом обертання оправи.

5. *Корпус 11*, який укріплений на рейці. На рейці розміщується також джерело світла.

6. *Освітлювальна система* включається в гніздо 3,5 В на пульті блоку живлення. Тумблери, які розташовані на підставі монохроматора, дозволяють включати лампочки освітлювачів шкал й індексу.

Фокусування монохроматора УМ-2. Перед початком спостережень прилад треба ретельно відфокусувати для того, щоб індекс 10 і спектральні лінії мали чіткі, ясні границі. Для цього, переміщаючи окуляр, треба одержати різке зображення вістря індексу 10. Потім, освітивши вхідну щілину приладу, знайти жовту лінію спектра і одержати її ясне зображення за допомогою гвинта 8. Для відліку положення спектральної лінії її центр сполучають із вістрям індексу і по розподілах барабана роблять відлік. Для зменшення помилки ширину вхідної щілини роблять по можливості малою (0.02 – 0.03 мм). Для спостереження самих слабких ліній у крайній фіолетовій області, щілину доводиться розширити до 0.05 – 0.06 мм. Око краще помічає слабкі лінії в русі, тому при спостереженні корисно злегка повертати барабан в обидва боки від середнього положення.

Укладачі: Глушко Л. М., Лютий О. І.