

Вивчення закономірностей у спектрі водню і визначення сталої Рідберга

Сергій Поліщук

Мета роботи: дослідження спектру випромінювання атомарного водню.

Прилади і матеріали: монохроматор УМ-2, ртутна лампа, воднева газорозрядна трубка, джерело високої напруги для живлення газорозрядної трубки, таблиця основних довжин хвиль парів ртуті.

Завдання:

1 при домашній підготовці:

- користуючись рекомендованою літературою, вивчити закономірності випромінювання атома водню;
- з фізичного практикуму записати хід роботи та будову і принцип дії необхідних приладів;
- зарисувати оптичну схему монохроматора УМ-2.

2 при виконанні роботи:

- скласти електричну схему і показати її викладачеві для перевірки;
- за спектром випромінювання ртуті проградуювати монохроматор;
- за спектром випромінювання водню визначити сталу Рідберга;
- виконати необхідні розрахунки з визначення шуканої величини та можливих похибок;
- оформити звіт і подати його викладачеві.

Правила техніки безпеки:

- бережіться пошкодження очей, ні у якому разі не дивіться назустріч випромінюванню ртутної лампи;
- при складанні електричної з схеми використовуйте провідники з непошкодженою ізоляцією;

Теоретичні відомості та опис установки: Досліджуючи спектральний склад випромінювання атомарного водню Й. Бальмер показав (1885 р.), що спектральні лінії у видимій області розташовані в строгому порядку. Пізніше (1913 р.) Н. Бор, виходячи з планетарної моделі атома Е. Резерфорда, для пояснення спектральних закономірностей водню постулює:

- 1 Атом може перебувати лише в певних станах, у яких він, у супереч класичній електродинаміці, не випромінює світло. Ці стани називаються стаціонарними.
- 2 Випромінювання відбувається, по-перше, квантами і, по-друге, під час переходу атома із стаціонарного стану з вищою енергією E_m у стаціонарний стан з меншою енергією E_n . Тобто

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

- 3 Стаціонарними слід вважати тільки ті орбіти, момент кількості руху електрона на яких відповідає співвідношенню

$$m_e V r = n \frac{h}{2\pi} \quad (2)$$

де m_e - маса електрона, V і r - швидкість і радіус орбіти електрона, n - головне квантове число, яке може мати значення 1, 2, 3, 4...

Обертний рух електрона навколо ядра, згідно другого закону Ньютона, описується формулою

$$m_e \frac{V^2}{r} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (3)$$

Розв'язуючи рівняння (2) і (3) відносно r , знаходимо

$$r = \frac{h^2 \epsilon_0}{\pi e^2 m_e} n^2 \quad (4)$$

Приведені вище міркування справедливі не лише для атома водню, а й для воднеподібних іонів, заряд ядра яких Ze . Тоді рівняння (4) набуде вигляду:

$$r = \frac{h^2 \epsilon_0}{Z \pi e^2 m_e} n^2 \quad (5)$$

Визначимо енергію електрона, що обертається навколо ядра. Його повна енергія:

$$E = E_k + E_n = \frac{m_e V^2}{2} + \frac{Ze(-e)}{4\pi\epsilon_0 r} = \frac{m_e V^2}{2} - \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (6)$$

Підставивши в останнє рівняння значення $m_e V^2$ з (3), одержимо

$$E = -\frac{Ze^2}{8\pi\epsilon_0 r} \quad (7)$$

або з врахуванням (5):

$$E = -\frac{Z^2 e^4 m_e}{8 h^2 \epsilon_0^2} \cdot \frac{1}{n^2} \quad (8)$$

З (8) слідує, що енергія електрона в атомі квантована. Чим більше n , тобто чим далі електрон від ядра, тим більшу енергію має атом. Під час переходу атома із стаціонарного стану з вищою енергією E_m ($m = n + 1, n + 2, n + 3, \dots$) у стаціонарний стан з нижчою енергією E_n відбувається випромінювання фотона $h\nu$. Тобто, на основі (1), одержуємо:

$$h\nu = -\frac{Z^2 e^4 m_e}{8 h^2 \epsilon_0^2} \cdot \frac{1}{m^2} - \left(-\frac{Z^2 e^4 m_e}{8 h^2 \epsilon_0^2} \cdot \frac{1}{n^2} \right) \quad (9)$$

або

$$h\nu = -\frac{Z^2 e^4 m_e}{8 h^2 \epsilon_0^2} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (10)$$

Звідки

$$\nu = -\frac{Z^2 e^4 m_e}{8 h^3 \epsilon_0^2} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (11)$$

Коефіцієнт $\frac{e^4 m_e}{8 h^3 \epsilon_0^2} = 3.2896 \cdot 10^{15} \text{ c}^{-1}$ одержав назву сталої Рідберга R .

Тоді

$$\nu = Z^2 R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (12)$$

Або

$$\lambda = \frac{c}{Z^2 R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)} \quad (13)$$

Якщо n взяти рівним одиниці, а значить m може мати значення 2, 3, 4, 5, то одержимо сукупність спектральних ліній, кожній з яких відповідає, згідно (13), своя довжина хвилі. Множину цих ліній називають спектральною серією. Комбінуючи подібним чином n і m , одержують набір серій, деякі характеристики яких наведені в таблиці 2.

Спостереження спектрів у даній роботі виконується за допомогою монохроматора УМ-2. Попередньо його необхідно проградувати, тобто встановити відповідність між поділками барабану монохроматора і довжиною хвилі. З цією метою використовують стандартні спектральні лінії ртуті, довжини хвиль для яких добре відомі. Вони зведені у таблицю 1. У цій таблиці наведені кольори спектральних ліній ртуті та відповідні їм довжини хвиль.

Table 1: Стандартні спектральні лінії ртуті

Колір лінії ртуті	Довжина хвилі, нм
Червоний	623.4
Червоно - оранжевий	612.4
Червоно - оранжевий	607.3
Жовтий (ліва лінія)	579.1
Жовтий (права лінія)	577.0
Жовто - зелений	546.1
Зелений	491.6
Синій	435.8
Синій	433.9
Синьо - фіолетовий	410.8
Фіолетовий	407.7

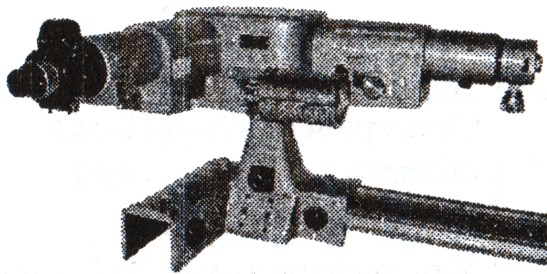


Рис. 1
Зовнішній вигляд універсального монохроматора УМ-2

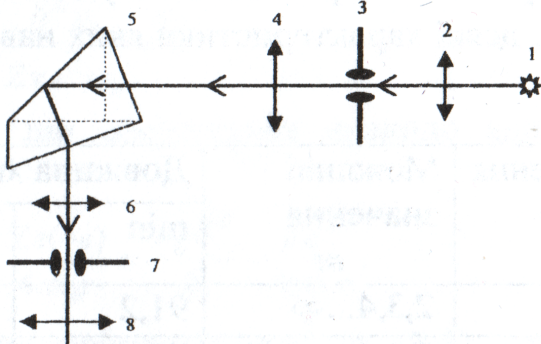


Рис. 2. Оптична схема універсального монохроматора УМ-2

Світло від джерела 1 спрямовується на коліматорну вхідну лінзу 2, освітлює щілину 3, яка розташована у фокусі об'єктивної лінзи коліматора 4, і паралельним пучком потрапляє на збірну диспергуючу призму Аббе 5, яка розкладає світло у спектр. Об'єктив 6, щілина 7 і окуляр 8 утворюють зорову трубу.

Призма обертається механізмом, з'єднаним з барабаном, який має спіральну шкалу з поділками від 0 до 35000. При повороті барабана на одну поділку система призми обертається на 20".

Послідовність виконання роботи:

- 1 На місце джерела світла встановити ртутну лампу. Домогтися рівномірного освітлення лінзи 2.
- 2 За допомогою щілини та окуляра домогтися чіткого і різкого зображення однієї із спектральних ліній ртуті.
- 3 Обертаючи барабан, послідовно, починаючи з червоної, встановити у поле зору всі наведені у таблиці 1 лінії і зняти відповідні покази шкали відлікового барабану. Вимірювання повторити тричі, обчислити середні значення показів барабану для кожної лінії.
- 4 Користуючись таблицею 1, побудувати на матирирову папері градувальну криву монохроматора.
- 5 Замінити ртутну лампу на водневу газорозрядну трубку.
- 6 Віднайти в спектрі водню принаймні чотири лінії.
- 7 Послідовно, суміщаючи кожну лінію з орієнтиром в окулярі, визначити відповідні покази на шкалі відлікового барабану. Вимірювання повторити тричі і знайти середні значення показів барабану для кожної лінії.
- 8 За градувальною кривою визначити для кожної спектральної лінії водню довжину хвилі.
- 9 . Із формули 13, маючи на увазі, що для видимої спектральної області атомарного водню $Z = 1$ і $n = 2$, визначити сталу Рідберга

$$\frac{c}{\lambda \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right)} \quad (14)$$

- 10 Розрахунки провести для усіх довжин хвиль п.8, взявши m послідовно рівним 3, 4, 5 і 6. Визначити середнє значення R , провести аналіз одержаного результату, порівняти його з табличним.

References

- 1 Кучерук І.М., Горбачук І.Т. Загальний курс фізики: Т.3.: Оптика. Квантова фізика. - К.: Техніка, 2006. - 518с., ст. 200 - 203.
- 2 Кучерук І.М., Дущенко В.П. Загальна фізика. Оптика. Квантова фізика. - К.: Вища школа, 1991. - 463., ст. 220 - 224.
- 3 Дущенко В.П. Фізичний практикум. - К.: Вища школа, 1984. - 256с., ст.207 - 211.

Завдання для самоконтролю:

- 1 Сформулюйте постулати Бора.
- 2 З'ясуйте фізичний зміст дослідів Франка і Герца.
- 3 Які існують типи спектрів?
- 4 Які спектральні серії атома водню Вам відомі?
- 5 Що таке потенціал збудження та іонізація атома?
- 6 Яким квантовим числом відповідає видима серія випромінювання атома водню?
- 7 Який вигляд має узагальнена формула Бальмера?
- 8 Який фізичний зміст константи Рідберга?
- 9 Чому відрізняються константи Рідберга з для водню та воднеподібних іонів?
- 10 Назвіть основні елементи монохроматора УМ-2.

Тестові завдання для вхідного контролю:

- 1 Чи залежать розміри воднеподібних іонів від кількості протонів у ядрі?
 - (a) не залежать;
 - (b) існує лінійна залежність;
 - (c) залежність пряма пропорційна;
 - (d) залежність обернена пропорційна.
- 2 Атом поглинув фотон з частотою, яка відповідає зеленому світлу. Яке світло може випромінювати атом?
 - (a) зелене;
 - (b) червоне;
 - (c) синє;
 - (d) будь-яке в діапазоні від зеленого до ніякого.
- 3 Які з перелічених нижче умов необхідні для одержання лінійчастого спектра випромінювання: 1) висока температура, 2) високий тиск, 3) низька температура, 4) низький тиск, 5) атомарний стан речовини, 6) молекулярний стан речовини, 7) конденсований стан речовини?
 - (a) достатньо першої;
 - (b) третя, четверта, шоста;
 - (c) перша, четверта та п'ята;
 - (d) друга та шоста.
- 4 Чи містить стала Рідберга певний фізичний зміст?
 - (a) це найбільша частота, яку здатний випромінювати атом водню;
 - (b) це найбільша енергія, яку здатний поглинути атом водню;
 - (c) це потенціал іонізації атома водню;
 - (d) не немістить.
- 5 Чи однакова константа Рідберга для водню та воднеподібних іонів?
 - (a) однакова;
 - (b) для атома водню вона дещо більша;
 - (c) вона більша для воднеподібних іонів;
 - (d) для певних іонів вона більша, а для інших менша.
- 6 Які досліді підтвердили теорію Бора?
 - (a) Резерфорда;
 - (b) Штерна і Герлаха;
 - (c) Столетова;
 - (d) Франка і Герца.
- 7 До видимої області належить серія:
 - (a) Лаймана;
 - (b) Бальмера;
 - (c) Пашена;
 - (d) Бреккета.
- 8 Під потенціалом збудження розуміють:
 - (a) енергію, яким володіє одиничний заряд у полі ядра;
 - (b) роботу, яку потрібно виконати, щоб відірвати електрон від ядра;
 - (c) потенціал електричного поля у тій точці, де знаходиться електрон;
 - (d) напругу електричного поля, за допомогою якої можна перевести електрон на вищий рівень.

Тестові завдання для підсумкового контролю:

- 1 Чи залежать розміри атомів від кількості електронів у них?
 - (a) не залежать;
 - (b) існує лінійна залежність;
 - (c) залежність пряма пропорційна;
 - (d) залежність обернено пропорційна.
- 2 У даній роботі досліджується спектр:
 - (a) емісійний;
 - (b) абсорбційний;
 - (c) комбінаційний;
 - (d) люмінесцентний.
- 3 Чи існує залежність сталої Рідберга від характеристик ядра атома – його заряду та маси?
 - (a) у межах ізоотопів одного елемента вона однакова;
 - (b) залежить лише від числа нуклонів у ядрі;
 - (c) залежить як від заряду ядра так і від його маси;
 - (d) стала Рідберга однакова для всіх воднеподібних іонів.
- 4 Яке співвідношення між сталою Рідберга R та сталою Больцмана B ?
 - (a) $R = \frac{4}{B}$;
 - (b) $R = 4B$;
 - (c) $R = 2B$;
 - (d) $\frac{2}{B}$
- 5 Спектральний терм визначається виразом:
 - (a) $\frac{R}{\lambda}$;
 - (b) $\frac{R}{v}$;
 - (c) $\frac{R}{n}$;
 - (d) $\frac{R}{n^2}$
- 6 Потенціал іонізації це:
 - (a) енергія, яка потрібна для утворення іона;
 - (b) напруга, під дією якої електрон залишає атом;
 - (c) потенціал електричного поля іонізованого атома;
 - (d) потенціал електричного поля атома у тій точці, де знаходиться валентний електрон.
- 7 Найменша довжина хвилі, яку може випромінювати атом водню знаходиться в межах:
 - (a) від 0 до 50 нм;
 - (b) від 50 до 100 нм;
 - (c) від 100 до 200 нм;
 - (d) від 200 до 400 нм.

Table 2: Спектральні серії деяких характеристик

Значення n	Можливі значення m	min	max	Спектральна область	Назва серії
1	2,3,4... ∞	91.2	121.6	Ультрафіолетова	Лаймана
2	3,4,5... ∞	364.7	656.3	Видима	Бальмера
3	4,5,6... ∞	820.6	1875.1	Близька інфрачервона	Пашена
4	5,6,7... ∞	1458.7	4052.0	Інфрачервона	Брекетта
5	6,7,8... ∞	2279.3	7459.4	Далека інфрачервона	Пфунда
6	7,8,9... ∞	3282.1	12371.1	Дуже далека інфрачервона	Хемфрі
Дослідження наступних серій експериментально складне					