Фізика 11

Урок 76 Дослід Резерфорда. Постулати Бора. Енергетичні рівні атома

Мета уроку:

Навчальна. Ознайомити учнів з ядерною моделлю атома; розкрити шляхи виходу із кризи класичної фізики; ознайомити учнів з лінійчастими й молекулярними спектрами випромінювання.

Розвивальна. Розвивати пізнавальні навички учнів; вміння аналізувати навчальний матеріал, умову задачі, хід розв'язання задач; вміння стисло і грамотно висловлювати свої міркування та обґрунтовувати їхню правильність.

Виховна. Виховувати уважність, зібраність, спостережливість.

Тип уроку: урок вивчення нового матеріалу.

Наочність і обладнання: навчальна презентація, комп'ютер, підручник.

Хід уроку

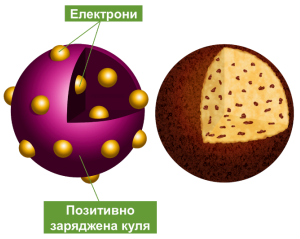
I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ ЕТАП

II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ОПОРНИХ ЗНАНЬ ТА ВМІНЬ

Що ви знаєте про будову речовини? Яка будова атома? Яким чином її вдалося встановити? Які гіпотези висувалися для теоретичних і практичних досліджень?

III. ВИВЧЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Модель атома Джозефа Томсона



Джозеф Томсон у 1903 р. запропонував одну з перших моделей будови атома.

«Пудинг з родзинками»

Атом має форму кулі, по всьому об'єму якої рівномірно розподілений позитивний заряд, а негативно заряджені електрони вкраплені в кулю; сумарний заряд електронів дорівнює заряду кулі, тому атом є електрично нейтральним.

Проблемне питання

• Чи дійсно позитивний заряд розподілений по всьому об'єму атома?

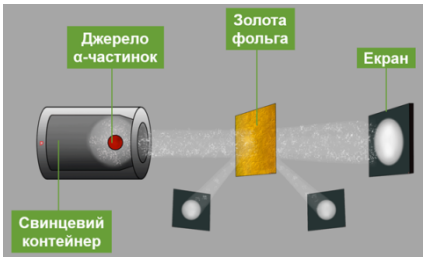
2. Класичний дослід Резерфорда

Ернест Резерфорд, Ернест Марсден і Ганс Гейгер у 1908-1911 рр. проводили серію дослідів щодо з'ясування структури атома. Для дослідів учені використали речовину, із якої з великою швидкістю вилітали позитивно заряджені частинки – так звані α-частинки.

Вузький пучок α-частинок зі свинцевого контейнера спрямовувався на тонку золоту фольгу, а далі потрапляв в екран, покритий шаром кристалів цинк сульфіду. Якщо в такий екран улучала α-частинка, то в місці її влучання відбувався слабкий спалах світла. Учені спостерігали спалахи за допомогою мікроскопа та реєстрували влучання α-частинок в екран.

Під час дослідів було виявлено:

- переважна більшість α- частинок проходить крізь золоту фольгу, не змінюючи напрямку руху;
- деякі відхиляються від початкової траєкторії;
- приблизно одна з 20 000 частинок відскакувала від фольги, начебто натикаючись на якусь перешкоду.



Проблемне питання

• Чому деякі α-частинки відскакують від фольги?

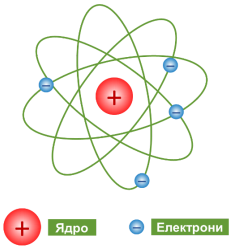
Якщо позитивний заряд і маса рівномірно розподілені по всьому об'єму атома (так вважав Дж. Томсон), то всі α-частинки повинні пролетіти крізь фольгу практично не відхиляючись (маленькі електрони не можуть зупинити досить важкі й швидкі α-частинки – ядра атома Гелію, що рухаються зі швидкістю 10 000 км/с).

Якщо ж позитивний заряд і маса зосереджені всередині атома – в невеликому порівняно з атомом об'єкті, – то, зіштовхнувшись із ним, позитивно заряджена α-частинка може відскочити назад, а ті α-частинки, які пролітають близько до цього об'єкта, можуть відхилитися внаслідок електричного відштовхування.

Очевидно, що результатам експерименту відповідає саме друге припущення. У 1911 р., після дослідів із розсіяння α-частинок, Резерфорд запропонував *планетарну (ядерну) модель будови атома.*

Планетарна (ядерна) модель будови атома:

- атом складається з позитивно зарядженого ядра, оточеного негативно зарядженими частинками – електронами;
- 99,9% маси і весь позитивний заряд атома зосереджені в ядрі атома;
- розмір ядра порівняно з атомом надзвичайно малий (діаметр атома становить приблизно 10^{-10} м, а ядра – 10^{-15} м).



Проблемне питання

• Рух планетарною орбітою є рухом із доцентровим прискоренням, електрон повинен випромінювати електромагнітні хвилі, а отже, витрачати енергію і з часом впасти на ядро. Чому атом залишається стабільним?

3. Постулати Бора

Модифікацію планетарної моделі запропонував у 1913 р. данський фізик Нільс Бор (1885-1962), який був упевнений, що розглядати будову атома слід із точки зору квантових уявлень. Бор припустив існування особливих станів атомів і сформулював два постулати.

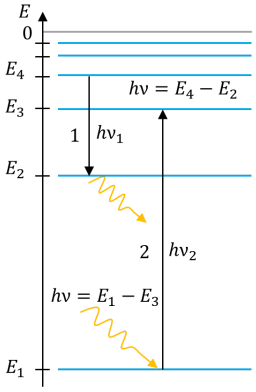
Перший постулат Н. Бора (про стаціонарні стани):

Існують особливі стани атома, в яких він не випромінює енергію. Такі стани атома називають стаціонарними.

Другий постулат Н. Бора (про квантові стрибки):

При переході з одного стаціонарного енергетичного стану в інший атом випромінює або поглинає квант електромагнітної енергії.

$$h\nu = \left|E_k - E_m\right|$$



$h\nu$ – енергія кванта

E_k – енергія початкового стану атома

E_m – енергія стану, в який перейшов атом

Для наочної демонстрації енергетичного стану атомів застосовують спеціальні схеми. Стаціонарний стан з найнижчим енергетичним рівнем (E_1) називають *основним станом*. Інші стаціонарні стани атома $(E_2,\ E_3,\ \ldots)$ називають *збудженими станами*.

У разі переходу на нижній рівень $(E_k > E_m)$, атом випромінює фотон енергією $h\nu = \left|E_k - E_m\right|$, а у випадку переходу на вищий рівень $(E_k < E_m)$ – поглинає.

4. Фізичні основи квантової механіки

У 1924 р. французький фізик Луї де Бройль (1892-1987) висунув гіпотезу, згідно з якою *корпускулярно-хвильовий дуалізм є характерним не лише для фотонів, а й для будь-яких інших мікрочастинок.*

Корпускулярно-хвильовий дуалізм – універсальна властивість матеріальних об'єктів, яка полягає в тому, що в поведінці того самого об'єкта можуть виявлятись і корпускулярні, і хвильові риси.

Уявлення про корпускулярно-хвильовий дуалізм частинок лежить в основі квантової механіки, яка є одним із основних напрямів сучасної фізики.

За Луї де Бройлем, формули для розрахунку *енергії* та *імпульсу* можна застосовувати не тільки для фотонів а й для інших частинок:

$$E = h\nu \qquad p = \frac{h}{\lambda}$$

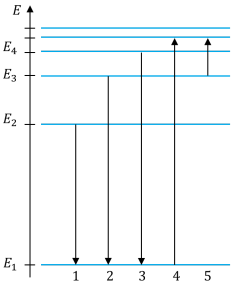
Кожній рухомій частинці відповідає певна хвиля – ***хвиля де Бройля***: $\lambda = \frac{h}{p}$

Довжина хвилі де Бройля для всіх частинок виявляється дуже малою.

Разом із тим зараз експериментально виявлено хвильові властивості не тільки електронів та інших елементарних частинок, але й атомів і молекул.

IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВИХ ЗНАНЬ І ВМІНЬ

1. На схемі енергетичних рівнів деякого атома переходи цього атома з одного енергетичного стану в інший. Під час яких переходів атом випромінює фотон? поглинає фотон?



У разі переходу на нижній рівень $\left(E_k > E_m\right)$, атом випромінює фотон, а у випадку переходу на вищий рівень $\left(E_k < E_m\right)$ – поглинає.

Атом випромінює фотон під час переходів 1, 2, 3.

Атом поглинає фотон під час переходів 4, 5.

2. Під час якого переходу атома частота випроміненого або поглиненого ним фотона є найбільшою? Під час якого переходу є більшою довжина хвилі?

$$h\nu = \left|E_k - E_m\right| = E_{km} \quad => \quad \nu = \frac{E_{km}}{h}$$

Більшій енергії фотона відповідає більша частота.

Частота фотона є максимальною в 4 переході.

$$\frac{hc}{\lambda} = \left|E_k - E_m\right| = E_{km} \quad => \quad \lambda = \frac{hc}{E_{km}}$$

Меншій енергії фотона відповідає більша довжина хвилі.

Довжина хвилі є максимальною в 5 переході.

3. Припустимо, що схема енергетичних рівнів атомів розрідженого газу має вигляд, як показано на рисунку. У початковий момент атоми перебувають у стані з енергією E_1. Фотони з якою енергією може поглинати газ?

Дано:

$E_1 = -\ 8,72{\cdot}10^{-18}$ Дж

$E_2 = -\ 2,18{\cdot}10^{-18}$ Дж

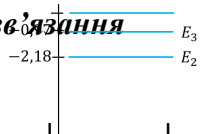
$E_3 = -\ 0,97{\cdot}10^{-18}$ Дж

E_{12} – ?

E_{13} – ?

E_{23} – ?

Розв'язання



$$E_{km} = \left|E_k - E_m\right|$$

$E_{12} = \left|E_1 - E_2\right|, E_{13} = \left|E_1 - E_3\right|, E_{23} = \left|E_2 - E_3\right|$

$E_{12} = \left|-\ 8,72{\cdot}10^{-18} - \left(-\ 2,18{\cdot}10^{-18}\right)\right| = 6,54{\cdot}10^{-18}$ (Дж)

$E_{13} = \left|-\ 8,72{\cdot}10^{-18} - \left(-\ 0,97{\cdot}10^{-18}\right)\right| = 7,75{\cdot}10^{-18}$ (Дж)

$E_{23} = \left|-\ 2,18{\cdot}10^{-18} - \left(-\ 0,97{\cdot}10^{-18}\right)\right| = 1,21{\cdot}10^{-18}$ (Дж)

Відповідь: $E_{12} = 6,54{\cdot}10^{-18}$ Дж; $E_{13} = 7,75{\cdot}10^{-18}$ Дж; $E_{23} = 1,21{\cdot}10^{-18}$ Дж.

4. Для іонізації атома Нітрогену необхідна енергія 14,53 еВ. Знайдіть довжину хвилі випромінювання, що викликає його іонізацію.

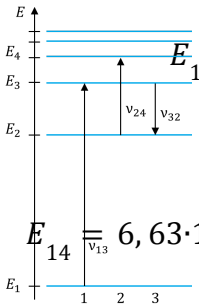
Дано:

$E = 14,53$ еВ

Розв'язання

$= 14,53 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж $= 23,248 \cdot 10^{-19}$ Дж $c = 3 \cdot 10^{8} \frac{\text{м}}{\text{с}}$ $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с $\lambda - ?$	$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad => \quad \lambda = \frac{hc}{E}$ $\lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8}}{23,248 \cdot 10^{-19}} \approx 0,856 \cdot 10^{-7}$ (м) ***Відповідь:*** $\lambda \approx 85,6$ нм.

5. На схемі енергетичних рівнів деякого атома подано переходи цього атома з одного енергетичного стану в інший. Визначте, фотон якої енергії поглине атом, якщо перейде: а) зі стану E_1 у стан E_2; б) зі стану E_1 у стан E_4. Відомо, що $\nu_{13} = 6 \cdot 10^{14}$ Гц, $\nu_{24} = 4 \cdot 10^{14}$ Гц, $\nu_{32} = 3 \cdot 10^{14}$ Гц.

Дано: $\nu_{13} = 6 \cdot 10^{14}$ Гц $\nu_{24} = 4 \cdot 10^{14}$ Гц $\nu_{32} = 3 \cdot 10^{14}$ Гц $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с $E_{12} - ?$ $E_{14} - ?$	***Розв'язання*** $E_{12} = E_{13} - E_{32} = h\nu_{13} - h\nu_{32} = h(\nu_{13} - \nu_{32})$ $E_{12} = 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot (6 \cdot 10^{14} - 3 \cdot 10^{14}) = 19,89 \cdot 10^{-20}$ (Дж)  $E_{14} = E_{13} - E_{32} + E_{24} = h\nu_{13} - h\nu_{32} + h\nu_{24} =$ $h(\nu_{13} - \nu_{32} + \nu_{24})$ $E_{14} = 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot (6 \cdot 10^{14} - 3 \cdot 10^{14} + 4 \cdot 10^{14}) = 46,41 \cdot 10^{-20}$ (Дж) ***Відповідь:*** $E_{12} \approx 2 \cdot 10^{-19}$ Дж; $E_{14} \approx 4,6 \cdot 10^{-19}$ Дж.

V. ПІДБИТТЯ ПІДСУМКІВ УРОКУ

Бесіда за питаннями

1. Опишіть модель атома Дж. Томсона.

2. Опишіть дослід під керівництвом Е. Резерфорда із розсіювання α-частинок атомами Ауруму. Яких висновків дійшов Резерфорд на підставі результатів цього досліду?

3. У чому розбіжність між моделями атомів, запропонованими Дж. Томсоном і Е. Резерфордом?

4. У чому недосконалість планетарної моделі атома?

5. Сформулюйте постулати Н. Бора.

6. У чому сутність корпускулярно-хвильового дуалізму?

VI. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Опрацювати § 37, Вправа № 37 (3)

Додаткові задачі

1. На рисунку наведена схема енергетичних рівнів атома газу. Атом перебуває в другому збудженому стані. Фотони з якою енергією може містити спонтанне випромінювання цього газу?

Дано: $E_1 = -54$ еВ $E_2 = -13,3$ еВ	***Розв'язання*** $E = \lvert E_k - E_m \rvert$ $E_{31} = \lvert E_3 - E_1 \rvert, E_{32} = \lvert E_3 - E_2 \rvert, E_{21} = \lvert E_2 - E_1 \rvert$

$E_3 = -\ 5,7$ еВ	$E_{31} = \lvert -\ 5,7\ -(-\ 54)\rvert = 48,3$ (еВ)
$E_{31}\ -\ ?$	$E_{32} = \lvert -\ 5,7\ -(-\ 13,3)\rvert = 7,6$ (еВ)
$E_{32}\ -\ ?$	$E_{21} = \lvert -\ 13,3\ -(-\ 54)\rvert = 40,7$ (еВ)
$E_{21}\ -\ ?$	***Відповідь:*** $E_{31} = 48,3$ еВ; $E_{32} = 7,6$ еВ; $E_{21} = 40,7$ еВ.

2. На рисунку представлені чотири переходи між рівнями воднеподібного атома. Визначте найбільшу довжину світлової хвилі, випромінюваної в результаті цих переходів.

Випромінювання відбувається в 2, 3, 4 випадках.

$$\frac{hc}{\lambda} = \left|E_k - E_m\right| = E_{km} \quad => \quad \lambda = \frac{hc}{E_{km}}$$

Меншій енергії фотона відповідає більша довжина хвилі.

Довжина хвилі є максимальною в 2 переході.

Дано:	***Розв'язання***
$E_3 = -\ 0,97\cdot10^{18}$ Дж	$\frac{hc}{\lambda_3} = \lvert E_3\rvert \quad \lambda_3 = \frac{hc}{\lvert E_3\rvert}$
$c = 3\cdot10^8\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$	$\lambda_4 = \frac{6,63\cdot10^{-34}\cdot3\cdot10^8}{\lvert -0,97\cdot10^{18}\rvert} \approx 2,05 \bullet 10^{-7}$ (м)
$h = 6,63\cdot10^{-34}$ Дж·с	***Відповідь:*** $\lambda_4 \approx 205$ нм.
$\lambda_3\ -\ ?$	