

30.10.2023

Група 32

Фізика і астрономія

Урок 21-22

Тема: Досліди Е.Резерфорда. Постулати Н.Бора. Енергетичні рівні атома

Мета:

- Повторити теоретичний матеріал; узагальнити, систематизувати та поглибити знання учнів із теми; застосувати знання з фізики під час розв'язування прикладних задач; формувати уяву про процеси у природі;
- розвивати в учнів пізнавальний інтерес, уміння використовувати набуті знання, навички й уміння в нових ситуаціях; підвищити інтерес до вивчення фізики та астрономії; розвивати абстрактне та логічне мислення;
- виховувати у учнів повагу та зацікавленість до вивчення фізики та астрономії, старанність у навчанні; сприяти розширенню кругозору учнів.

Матеріали до уроку:



30 квітня 1897 р. на засіданні Лондонського королівського товариства англійський фізик Джозеф Джон Томсон (1856–1940) доповів про експериментальне підтвердження існування субатомних частинок, а саме електронів, гіпотеза про існування яких була висунута фізиками за 40 років до цього. Дата доповіді Томсона вважається «днем народження» електрона. Можна сказати, що саме в цей день фізики остаточно переконалися в тому, що атом має складну будову. Тож яку будову має атом?

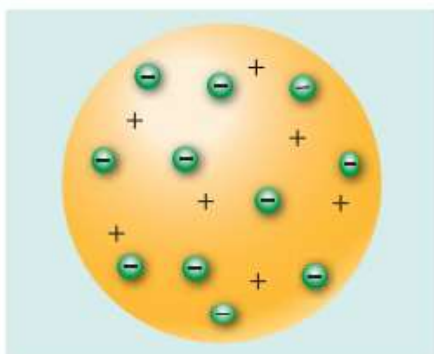


Рис. 36.1. Модель атома Томсона («пудинг із родзинками»)

1 Як з'явилась ядерна модель атома

Саме Дж. Томсон у 1903 р. запропонував одну з перших моделей будови атома. Він припустив, що атом має форму кулі, по всьому об'єму якої рівномірно розподілений позитивний заряд, а негативно заряджені електрони вкраплені в кулю (рис. 36.1); сумарний заряд електронів дорівнює заряду кулі, тому атом є електрично нейтральним.

? Як ви вважаєте, чому модель атома, запропонована Дж. Томсоном, отримала назву «пудинг із родзинками»?

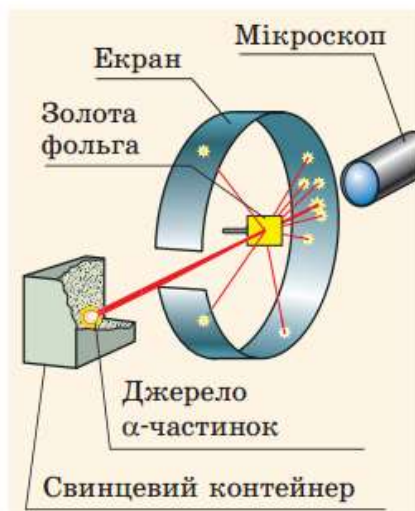


Рис. 36.2. Схема дослід з розсіювання α -частинок (дослід Резерфорда)

крізь золоту фольгу, не змінюючи напрямку свого руху; 2) деякі з α -частинок відхиляються від початкової траєкторії; 3) приблизно одна з 20 000 α -частинок відскакує від фольги, начебто натикаючись на якусь перешкоду (рис. 36.3).

Зрозуміло, що Е. Резерфорд не міг бачити внутрішню структуру атома, тому він залучив логіку.

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 розсіювання α -частинок, Резерфорд запропонував **планетарну (ядерну) модель будови атома**: атом складається з позитивно зарядженого ядра, в якому зосереджена мало не вся маса атома; біля ядра по певних орбітах обертаються електрони (рис. 36.4).

Подальший прогрес у дослідженнях внутрішньої структури атома пов'язаний з ім'ям англійського фізика *Ернеста Резерфорда* (1871–1937). У дослідях, проведених під його керівництвом у 1908–1911 рр., вивчалася розсіювання α -частинок ядрами Ауруму.

Для дослідів учені використали α -радіоактивну речовину, яку розташували у свинцевому контейнері з вузьким отвором. Пучок α -частинок із контейнера спрямовувався на тонку золоту фольгу, а далі потрапляв в екран, покритий шаром кристалів цинк сульфід (рис. 36.2). Якщо в такий екран влучала α -частинка, то в місці її влучання відбувався слабкий спалах світла. Учені спостерігали спалахи за допомогою мікроскопа та реєстрували місця влучання α -частинок в екран.

У результаті дослідів було виявлено:
1) переважна більшість α -частинок проходить

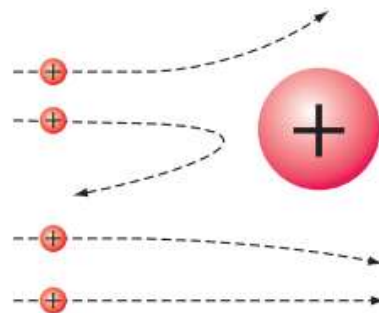


Рис. 36.3. Траєкторії α -частинок, що пролітають поряд із ядром Ауруму



Рис. 36.4. Планетарна модель будови атома, запропонована Е. Резерфордом. Учений також розрахував розмір ядра: воно виявилася дуже малим — порядку 10^{-15} м, що в 100 000 разів менше, ніж розмір атома (10^{-10} м).

Планетарна модель атома, блискуче поясвивши результати експериментів із розсіювання α -частинок, разом із тим *суперечила законам класичної електродинаміки*.

Річ у тім, що рух планетарною орбітою є рухом із прискоренням (доцентровим), а відповідно до теорії Дж. Максвелла прискорений рух зарядженої частинки має супроводжуватися випромінюванням електромагнітних хвиль. Таким чином, електрон в атомі мав би випромінювати електромагнітні хвилі, а отже, втрачати енергію. А наслідками цього були б зменшення швидкості руху електрона та його падіння на атомне ядро (рис. 36.5). Проте атом є дуже стійким...

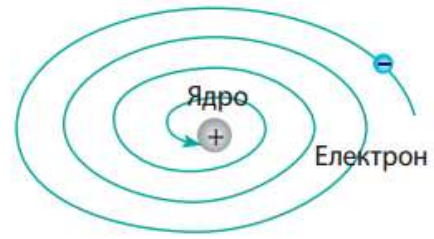


Рис. 36.5. Якби електрон рухався навколо ядра планетарною орбітою, то відповідно до законів класичної фізики він мав би за 10^{-8} с упасти на ядро, а власне атом припинив би своє існування

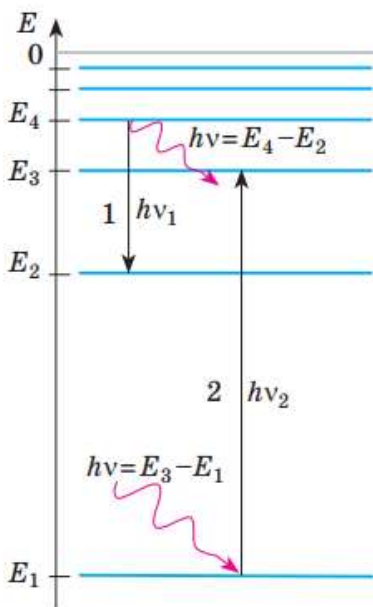


Рис. 36.6. Схема переходів атома з одного енергетичного стану в інший (переходи показано стрілками): у разі переходу на нижчий енергетичний рівень атом випромінює квант електромагнітної енергії (перехід 1), а поглинувши квант, атом стрибком переходить на вищий енергетичний рівень (перехід 2)

Зверніть увагу!

- Енергія будь-якого

2 Постулати Н. 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. Наведемо постулати Бора в сучасному формулюванні.

Перший постулат Н. Бора (про стаціонарні стани):

Атомна система може перебувати тільки в особливих стаціонарних (квантових) енергетичних станах, кожному з яких відповідає певне значення енергії; перебуваючи в стаціонарному стані, атом не випромінює енергію.

Другий постулат Н. Бора (про квантові стрибки):

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

$$h\nu = |E_k - E_m|,$$

де $h\nu$ — енергія кванта; E_k — енергія початкового стану атома; E_m — енергія стану, в який перейшов атом.

Випромінювання кванта енергії (фотона) відбувається внаслідок переходу атома зі стану з більшою енергією у стан із меншою енергією ($E_k > E_m$); у результаті *поглинання* кванта атом переходить зі стану з меншою енергією у стан із більшою енергією ($E_k < E_m$) (рис. 36.6).

стаціонарного стану атома є від'ємною, оскільки зумовлена взаємодією електронної хмари і ядра атома, що мають заряди протилежних знаків.

• Енергію енергетичних станів атомів зазвичай подають в електрон-вольтах (eV), тому, розв'язуючи задачі, *сталу Планка* краще брати в електрон-вольт-секундах:

$$h \approx 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{c}$$

чином локалізовані в просторі: у Н. Бора йшлося про *орбіти електрона*, зараз ми говоримо про *орбітали*. При квантовому переході атома з одного енергетичного стану в інший змінюється форма електронної хмари.

3 Фізичні основи квантової механіки

Формулюючи свої постулати, Н. Бор, як і Е. Резерфорд, спирався на уявлення, що електрон усередині атома поводить себе як частинка, що рухається певною орбітою. І в цьому була його помилка. Кількісна теорія, побудована Бором, виявилася недостатньою, щоб пояснити випромінювання складних атомів і випромінювання молекул, — учений зміг побудувати лише теорію випромінювання атома Гідрогену.

Річ у тім, що поведінка електрона всередині атома скоріше нагадує хвилю. «Але ж електрон — це частинка», — скажете ви і будете й праві, й не праві, адже електрон, як і світло, одночасно має властивості хвилі й частинки.

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 виявлятися 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 ($E = h\nu$) та імпульсу ($p = \frac{h}{\lambda}$) слід вважати *універсальними* — такими, що справджуються як для фотонів, так і для будь-яких інших частинок.

Кожній рухомій частинці відповідає певна хвиля — хвиля де Бройля, довжину якої визначають за формулою: $\lambda = \frac{h}{p}$.

? Атом Гідрогену перейшов зі стану з енергією $-13,6$ eV у стан з енергією $-3,4$ eV. У цьому випадку атом поглинув фотон чи випромінив?

Для атома дійсно стійким є тільки *стаціонарний стан із найнижчим рівнем енергії* — **основний стан**, у якому атом може перебувати нескінченно довго. Щойно атом буде переведено у стан із вищим рівнем енергії, тобто щойно атом поглине фотон певної частоти, як цей атом довільно перейде в основний стан із випромінюванням фотона такої самої частоти або кількох фотонів менших частот. Саме тому всі стаціонарні стани атома, *крім основного*, називають **збудженими станами**.

Зверніть увагу! Стаціонарний стан атома означає, що його електрони певним (визначеним)

Хвилі чи частинки?
І не хвилі,
і не частинки!



«Речовина і світло одночасно мають властивості хвилі і частинок, однак у цілому це не хвилі, й не частинки, і не суміш того й іншого. Наші механічні поняття не спроможні повністю охопити реальність, для цього недостатньо реальних образів».

Сергій Вавилов
(1891–1951)
радянський фізик,
засновник школи
фізичної оптики

Довжина хвилі де Бройля для всіх частинок виявляється дуже малою. Наприклад, для електронів, розігнаних до швидкості $7,3 \cdot 10^6$ м/с, вона дорівнює $1 \cdot 10^{-10}$ м (розмір атома), а для нейтронів, що вилітають з ядра Урану зі швидкістю $4 \cdot 10^6$ м/с під час його поділу, — лише $1 \cdot 10^{-13}$ м.

Разом із тим зараз експериментально виявлено хвильові властивості не тільки електронів та інших елементарних частинок (рис. 36.7), але й атомів і молекул.

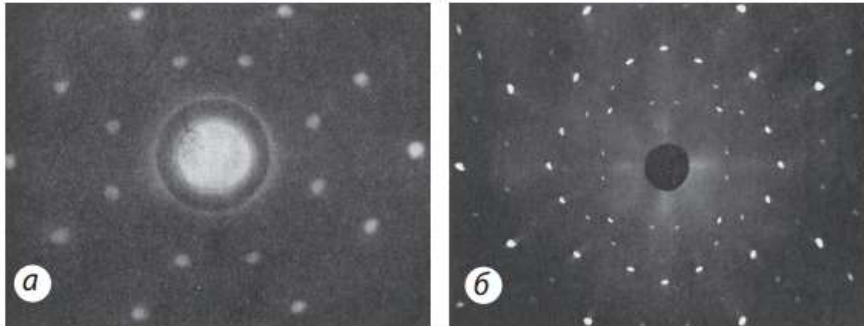


Рис. 36.7. Дифракція нейтронів (а) і рентгенівських променів (б) на монокристалі NaCl, який виконує функцію дифракційної ґратки

Квантова механіка, на відміну від класичної, використовує інший метод опису стану системи. У будь-якій задачі класичної механіки матеріальна точка (або тіло) має визначені координати, які характеризують її положення в просторі, та визначену швидкість (або імпульс). У квантовій механіці й координата, й імпульс одночасно визначаються лише з деякою точністю (Δx — невизначеність координати; Δp — невизначеність імпульсу), тобто можна знайти лише ймовірність виявлення об'єкта в певній ділянці простору, ймовірність наявності в об'єкта певного імпульсу.

Домашнє завдання: дати відповіді на запитання (у зошиті):

- 1) Як ви вважаєте, чому модель атома, запропонована Дж. Томсоном, отримала назву «пудинг із родзинками»?
- 2) «Речовина і світло одночасно мають властивості хвиль і частинок, однак у цілому це не хвилі, й не частинки, і не суміш того й іншого. Наші механічні поняття не спроможні повністю охопити реальність, для цього недостатньо реальних образів», - Сергій Вавилов (1891–1951) радянський фізик, засновник школи фізичної оптики. Поясніть, як Ви розумієте це твердження та чи у XXI столітті достатньо уявлень про природу атома, щоб пояснити природу світла.

Зворотній зв'язок:

E-mail t.anastasia.igorivna@gmail.com