

29.09.2023

Група 36

Фізика і астрономія

Урок 18-19

Тема уроку: Квантові властивості атома. Квантові постулати М.Бора.

Мета уроку:

навчальна – ознайомити учнів з історією вивчення атома, ядерною моделлю атома; вивчити постулати Н.Бора

розвивальна – формувати в учнів вміння користуватися науково-популярною літературою та виявлення творчих здібностей при розв'язуванні вправ;

виховна – виховати трудолюбивість, точність і чіткість при відповідях і розв'язуванні завдань та навчити дітей «бачити» фізику навколо себе.

Матеріали до уроку:

Історія вивчення атома. Відкриття складної будови атома - найважливіший етап становлення сучасної фізики, який позначився на її наступному розвитку. Багато часу та зусиль учених різних країн світу знадобилося, щоб сформувався сучасний уявлення про будову атома. Після перших експериментів можна було робити висновки про складну будову атома і наявність в його структурі електричних зарядів. Ці результати отримано М. Фарадеєм у 1833 р. під час вивчення законів електролізу. У 1897 р. Дж. Томсон, вивчаючи електричний розряд у розріджених газах, відкрив електрон. Він виміряв важливу характеристику цієї частинки - питомий заряд $e // p = 1,76 \cdot 10^{-11}$ Кл/кг . Американський фізик - Р. Міллікен 1909 р. дуже точно виміряв заряд електрона. Він виявився однаковим у всіх електронів з різних джерел і дорівнював $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Маса електрона приблизно в 2000 разів менша за масу одного з найлегших атомів - атома Гідрогену - і дорівнює $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг .

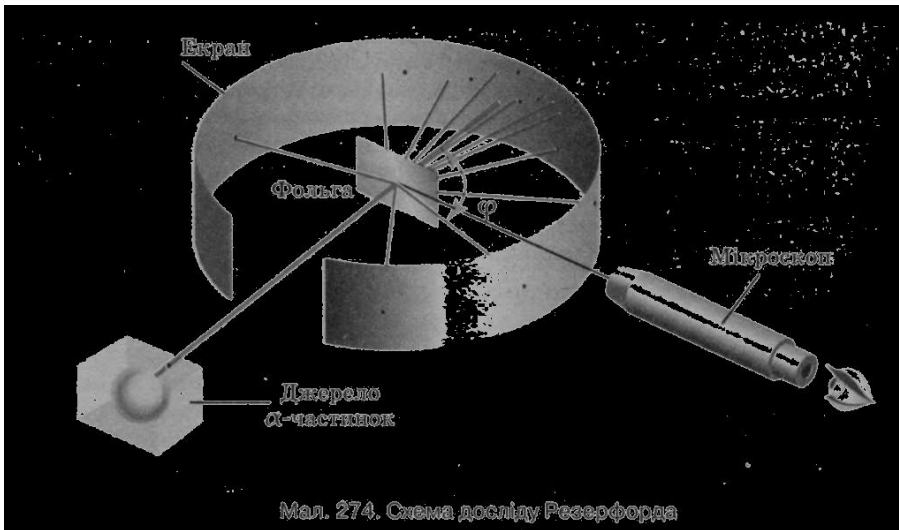
Резерфорд зондував атоми золота швидкими ядрами Гелію (α -частинками), які вилітали із радіоактивного джерела, вміщеного у свинцевий контейнер.

Навпроти отвору в свинцевому контейнері на екрані, покритому $ZnSO_4$, по ходу променя α -частинок, можна було помітити світну пляму. Резерфорд помістив на шляху α -частинок тонку золоту пластинку (фольгу), і помітив, що деякі ядра, проходячи крізь фольгу, відхиляються на значні кути, а незначна їх кількість навіть відбивається назад. Переважна ж більшість ядер, проходила, не помічаючи перешкоди. Узагальнивши результати дослідів, Резерфорд зробив висновки, які і сформували планетарну модель атома.

✓ В об'ємі атома більшість простору порожня. Майже вся маса атома сконцентрована в дуже малому ядрі (діаметром $d - 10^{-15}$ м).

✓ Ядро має позитивний заряд q_+ , величина якого за модулем дорівнює заряду електрона, помноженому на порядковий номер елемента в таблиці Менделєєва.

✓ Оскільки атом електрично нейтральний, то позитивний заряд ядра компенсується зарядом електронів, які мають рухатись навколо ядра. Кількість електронів дорівнює порядковому номеру елемента в таблиці Менделєєва.



Планетарна модель атома змогла пояснити багато спостережень, але одразу ж постали й питання, на які не було відповіді. Дійсно, ядро заряджено позитивно, а електрони - негативно, між ними існує кулонівська сила притягання. Для того, щоб електрони не впали на ядро, вони мусять рухатись навколо нього з доцентровим прискоренням.

Квантові постулати Бора.

<https://www.youtube.com/watch?v=vnt83bnCorc>

Розв'язуємо задачі

Задача 1. Визначити радіус першої борівської орбіти для атома Гідрогену, а також лінійну та кутову швидкості електрона на цій орбіті.

Дано:

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$$

$$m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$r_1 - ? \quad v_1 - ? \quad \omega_1 - ?$$

Розв'язання

За теорією Бора електрон у атомі Гідрогену обертається по коловій орбіті з доцентровим прискоренням, якого йому надає кулонівська сила, $ma_d = F_K$, або

$$\frac{mv_n^2}{r_n} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_n^2}, \text{ звідки } mv_n^2 r_n = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \quad (1).$$

За постулатом Бора момент імпульсу електрона

$$r_n m v_n = n \frac{h}{2\pi}, \text{ звідки } v_n = \frac{nh}{2\pi m r_n}.$$

Підставляючи даний вираз у формулу (1), отримуємо $m \left(\frac{nh}{2\pi m r_n} \right)^2 r_n = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0}$, звід-

ки $r_n = \frac{\epsilon_0 h^2 n^2}{\pi m e^2}$ (2), де ϵ_0 - електрична стала, h - стала Планка, m - маса електрона,

e - заряд електрона, n - номер орбіти.

Після підстановки даних, обчислюємо радіус першої орбіти $r_1 = 0,528 \cdot 10^{-10}$ м.

Виходячи з формули (2), можна розрахувати радіус n -ої орбіти як $r_n = r_1 \cdot n^2$ (3).

Знаючи радіус орбіти, можемо розрахувати швидкість руху електрона на цій орбіті $v_n = \frac{nh}{2\pi m r_n}$, або $v_n = \frac{h}{2\pi m r_1 n}$. Отже $v_1 = 2,2 \cdot 10^6$ м/с.

Щоб визначити швидкість на n -ій орбіті, можна скористатись співвідношенням

$$v_n = \frac{v_1}{n} \quad (4).$$

Кутова швидкість обертання електрона на n -ій орбіті

$$\omega_n = \frac{v_n}{r_n}, \quad \omega_1 = \frac{v_1}{r_1} = 4,1 \cdot 10^{16} \text{ с}^{-1}.$$

Враховуючи формули (3) і (4), можна записати $\omega_n = \frac{\omega_1}{n^3}$ (5).

Відповідь: $0,528 \cdot 10^{-10}$ м; $2,2 \cdot 10^6$ м/с; $4,1 \cdot 10^{16} \text{ с}^{-1}$.

Задача 2. Визначити потенціальну, кінетичну і повну енергії електрона на першій орбіті в атомі Гідрогену.

Дано:

$$\begin{aligned} e &= 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \\ h &= 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с} \\ c &= 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \\ \epsilon_0 &= 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м} \\ m &= 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \end{aligned}$$

$$E = ? \quad E_{\text{пот}} = ? \quad E_{\text{к}} = ?$$

Розв'язання

Повна енергія електрона в атомі Гідрогену дорівнює сумі кінетичної $E_{\text{к}}$ і потенціальної $E_{\text{пот}}$ енергій взаємодії електрона з ядром. З урахуванням того, що потенціальна енергія електрона в атомі від'ємна, оскільки нульовий рівень відліку береться на нескінченності, маємо

$$E = E_{\text{к}} + E_{\text{пот}} = \frac{mv_n^2}{2} - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_n}.$$

За теорією Бора електрон у атомі Гідрогену обертається по коловій орбіті з доцентровим прискоренням, якого йому надає кулонівська сила, $ma_{\text{д}} = F_{\text{к}}$, $\frac{mv_n^2}{r_n} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_n^2}$,

$$\text{звідки } v_n^2 = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_n m}, \text{ тоді } E = E_{\text{к}} + E_{\text{пот}} = \frac{m}{2} \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_n m} - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_n} = -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r_n}.$$

З формули випливає, що модуль повної енергії дорівнює половині модуля потенціальної, або модуль потенціальної вдвічі більший за модуль повної: $E_{\text{пот}} = 2E$, тоді кінетична енергія $E_{\text{к}} = E - E_{\text{пот}} = -E$.

З урахуванням формули для визначення радіуса орбіти, $r_n = \frac{\epsilon_0 h^2 n^2}{\pi m e^2}$, маємо

$$E = -\frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^2 n^2}; \quad E = -2,485 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = -13,53 \text{ еВ}, \text{ тоді } E_{\text{пот}} = -27,1 \text{ еВ}, \quad E_{\text{к}} = 13,53 \text{ еВ}.$$

Домашнє завдання: опрацювати §23, ст. 164-166 (записати в зошит постулати Бора з відео, або з підручника)