

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО КУРСУ
«СТРОЕНИЕ МОЛЕКУЛ И ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ ХИМИИ»**

Лабораторная работа №3

ИССЛЕДОВАНИЕ РАССЕЯНИЯ α -ЧАСТИЦ МЕТАЛЛАМИ

Работа №3

ИССЛЕДОВАНИЕ РАССЕЯНИЯ α -ЧАСТИЦ МЕТАЛЛАМИ

Цель работы: исследование закономерностей рассеяния α -частиц.

Материалы: Виртуальная установка, позволяющая варьировать материал, толщину поглотителя и угол наблюдения рассеянных α -частиц.

Теоретическое введение

Одной из первых физических моделей атома была модель атома английского физика Дж. Дж. Томсона (1854-1940г.г.). Основываясь на экспериментальных фактах классической оптики, Томсон предположил, что атом представляет собой положительно заряженную область пространства, ограниченную сферой, внутри которой находятся отрицательные заряды. Радиус сферы имеет размер $\sim 10^{-10}$ м. В простейшем атоме водорода отрицательный заряд находится в центре сферы. Если по какой-либо причине он сместится, то возникает квазиупругая кулоновская сила, возвращающая его в положение равновесия. Атом поляризуется. В поле внешней периодической силы он будет совершать гармонические колебания.

Эта модель позволила объяснить в первом приближении дисперсию, рассеяние света и возникновение излучения, но не могла объяснить сложного строения спектров.

В 1911 году английский физик Эрнест Резерфорд (1871-1937) с сотрудниками осуществил серию экспериментов по рассеянию α -частиц на атомах золота.

α -частицы, испускаемые радиоактивным препаратом RaC, проходили через золотую фольгу. Резерфорд наблюдал рассеяние α -частиц этими фольгами. После рассеяния α -частицы попадали на экран, покрытый сульфидом цинка. Особенностью молекул сульфида цинка является их способность испускать кванты света при соударении с α -частицами. В этом случае на экране наблюдаются слабые, но доступные наблюдению вспышки света – сцинтилляции. Подсчитывая число сцинтилляций за определенный промежуток времени в зависимости от угла рассеяния θ , можно было установить распределение положительного заряда внутри атома.

Используя законы классической механики, можно показать, что при пролете α -частиц на расстоянии p от рассеивающего положительно заряженного центра с зарядом Ze они отклоняются на угол θ , причем $\operatorname{ctg} \frac{\theta}{2} = 4\pi\epsilon_0 \frac{m_\alpha v^2}{2Ze^2} p(1)$, где m_α – масса

α -частицы, v – скорость α -частицы, p – прицельный параметр. Или $\operatorname{ctg} \frac{\theta}{2} = \gamma$, где

$$\gamma = 4\pi\epsilon_0 \frac{m_\alpha v^2}{2Ze^2}$$

Каждая частица, пролетая в интервале прицельных расстояний от ρ до $\rho+d\rho$ будет рассеяна в пределах углов $\theta - \theta-d\theta$ и попадет на экране в область кольца, площадь которого определяется телесным углом $d\Omega=2\pi\sin\theta d\theta$. Если плотность

потока α -частиц принять равной N , а поверхностную плотность атомов золота n_0 и считать, что золотая фольга такая тонкая, что α -частицы взаимодействуют только с одним слоем атомов, то число α -частиц dn_θ , попадающих в единичный телесный угол рассеяния под углом θ равно:

$$dn_\theta = \frac{Nn_0 2\pi p dp}{2\pi \sin \theta d\theta} \quad (2)$$

Возведя (2) в квадрат и взяв производную от левой и правой частей равенства, найдем связь между $p-dp$ и $d\theta$:

$$\gamma^2 p^2 = ctg^2 \frac{\theta}{2} \quad (3)$$

$$2\gamma^2 p dp = \frac{1}{2} \frac{ctg \frac{\theta}{2}}{\sin^2 \frac{\theta}{2}} d\theta \quad (4)$$

$$p dp = \frac{\sin \theta d\theta}{4\gamma^2 \sin^2 \frac{\theta}{2}} \quad (5)$$

таким образом:

$$dn_\theta = \frac{Nn_0}{\left(4\pi\epsilon_0 \frac{m_\alpha v^2}{Ze^2}\right)^2 \sin^4 \frac{\theta}{2}} \quad (6)$$

Выражение (6) - формула Резерфорда.

Видно, что $dn \sin^4 \frac{\theta}{2}$ (*) для заданных условий эксперимента есть величина постоянная.

В опытах Резерфорда проверялось постоянство произведения (*) при различных углах рассеяния θ . Из формулы (6) также можно получить отношение концентраций атомов $n_1:n_2$ при одинаковых толщинах поглощающего металла и одинаковых углах рассеяния θ :

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{N_1}{N_2} \left(\frac{Z_2}{Z_1}\right)^2 \quad (7)$$

В результате эксперимента выяснилось:

1) Подавляющее число α -частиц рассеивались на маленькие углы, но наблюдались также частицы, рассеянные на угол $135 - 160^\circ$. Отсюда следует, что в большей части пространства, занятого атомом, электрические поля невелики.

2) Положительный заряд атома, играющий роль рассеивающего центра, не размещен внутри сферы, а сосредоточен в объеме с линейным размером $\sim 10^{-14} - 10^{-15}$ м.

Было высказано предположение, что атом имеет положительно заряженное ядро, в котором сосредоточена практически вся масса атома.

Это привело к тому, что α -частицы, налетающие на ядро, иногда отскакивали от него, испытывая отклонение на 180° от первоначального направления движения.

Опыты Резерфорда привели к разработке планетарной модели атома.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

В лабораторной работе используется компьютерная модель опыта Резерфорда. С помощью этой программы возможно получить зависимость количества импульсов (сцинтилляций) N от угла рассеивания θ , от толщины d и материала поглотителя, на котором происходит рассеивание. Чтобы проверить справедливость формулы Резерфорда, необходимо убедиться в справедливости равенства

$$N \sin^4 \frac{\theta}{2} = const.$$

Задание 1. Получить зависимость $N(\theta)$ для двух металлов, указанных преподавателем, при постоянной толщине материала 1мм. Угол рассеяния менять от 5 до 60 градусов.

Результаты измерений занести в таблицу 1:

Табл.1.

θ (град)	N	$\ln N$	$N \sin^4 \frac{\theta}{2}$
5			
10			
...			

Построить график зависимости $\ln N(\theta)$ на миллиметровке.

Рассчитать значение параметра $N \sin^4 \frac{\theta}{2}$ для углов 5, 10 и 15 градусов.

Сделать вывод.

Задание 2. Получить зависимость N от толщины металла d для двух металлов при постоянном угле рассеяния $\theta=10^\circ$. Толщину металла менять от 1 до 9 мм.

Результаты измерений занести в таблицу 2:

Табл.2.

d (мм)	N	$\ln(N)$	$N \sin^4 \frac{\theta}{2}$
1			
2			
...			

Построить график зависимости $N(d)$ на миллиметровке. Рассчитать значение параметра $N \sin^4 \frac{\theta}{2}$. Сделать вывод.

Задание 3. Для постоянной минимальной толщины 1мкм и одинакового угла рассеивания 10^0 получить зависимость $N(Z)$. Результаты занести в табл.3. Рассчитать массу одного атома поглощающего вещества m_1 и концентрацию атомов n . $m_1 = A \cdot 1.66 \cdot 10^{-27}$ кг; $n = \rho / m_1$; Проверить соотношение (7) для двух пар металлов. Результаты измерений занести в таблицу 3.

Табл.3.

Металл:	Z	A, а.е.м.	ρ , кг/м ³	N	$n, м^{-3}$
Cu	29	64	8900		
Ag	47	108	10500		
Pb	50	119	11300		
Su	79	197	7300		
Au	82	207	19300		

Построить график зависимости $N(Z^2 n)$. Сделать вывод.

Вопросы к допуску

1. Кем была предложена планетарная модель атома?
2. Какие частицы использовал Резерфорд при бомбардировке золотой фольги?
3. Во сколько раз масса α - частицы превышает массу электрона?
4. Какова природа сил, отклоняющих α - частицы от прямолинейной траектории в опытах Резерфорда?

Контрольные вопросы

1. Какова цель опыта Резерфорда?
2. Какие результаты были получены в ходе опыта?
3. Какие выводы сделал Резерфорд из своего опыта?
4. Почему ядерная модель строения атома противоречива? В чем заключается это противоречие?
5. Как проверить справедливость формулы Резерфорда?

Литература

1. Матвеев А.Н. Квантовая механика и строение атома. М.: Изд-во МГУ, 1986.
2. Суханов А.Д. Лекции по квантовой физике. М.: Высшая школа, 1991.
3. Шпольский Э.В. Атомная физика. Т.1. Введение в атомную физику. М.: Наука, 1974.
4. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Курс физики. Т.3. М.: Высшая школа, 1971.