

ЛАБОРАТОРНА РБОТА № 1

ТЕМА: Дослідження розсіювання α -частинок в речовині
(моделювання досліду Резерфорда на ЕОМ).

МЕТА: Перевірити формулу Резерфорда, визначити заряд ядра методом моделювання експерименту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шпольский Э.В. Атомная физика. М., Наука, 1974.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.3. М., Наука, 1979. с. 49-54.

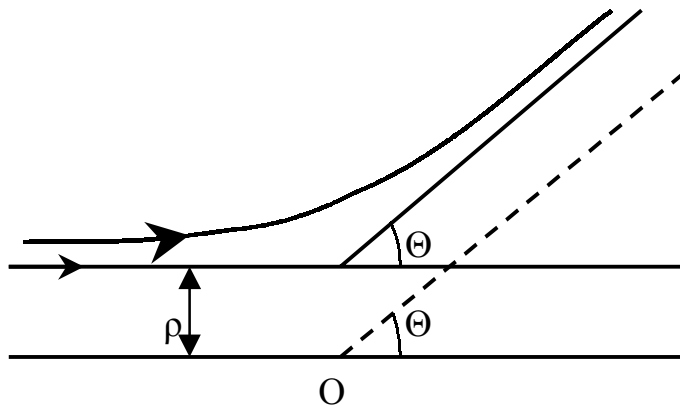
ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

1. Властивості α -частинок.
2. Дослід Резерфорда.
3. Теорія розсіювання α -частинок. Формула Резерфорда.
4. Визначення заряду ядра.

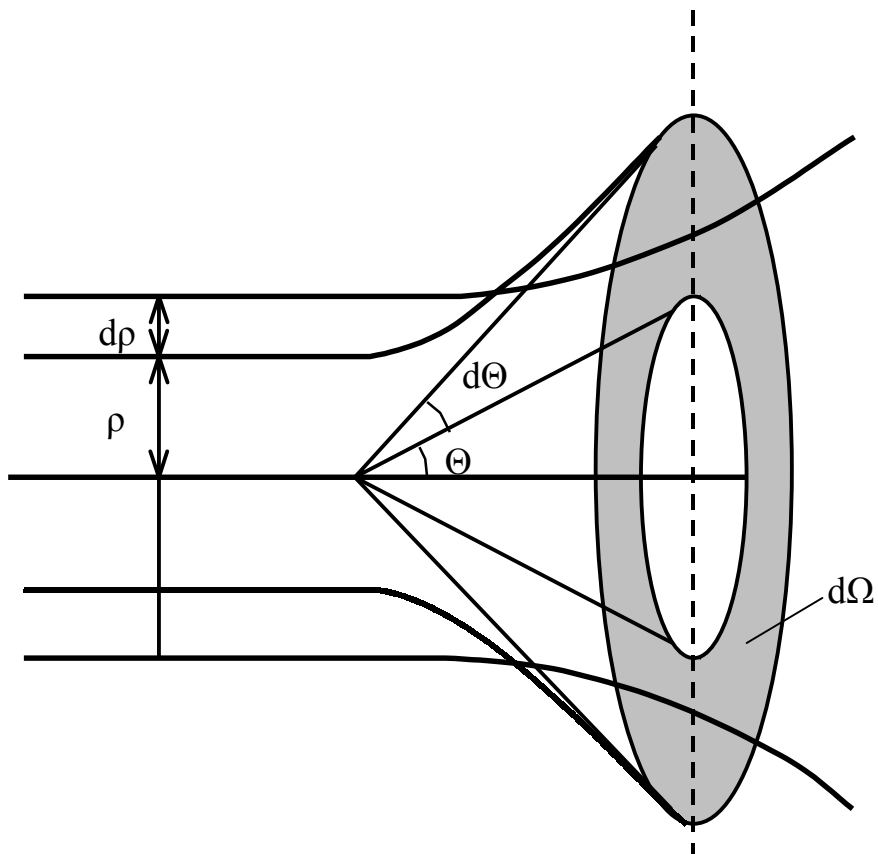
Одним з кращих засобів дослідження структури атома є зондування його швидкими частинками – електронами або α -частинками. α -частинки випромінюються багатьма радіоактивними речовинами. Вони відхиляються в електричному і магнітному полях, звідки випливає, що вони електрично заряджені. Напрямок відхилення показує, що вони заряджені позитивно. Проте поля, які викликають помітне відхилення електронів, не впливають на траєкторію α -частинок, це означає, що вони мають більшу масу, ніж маса електронів. Досліди показали, що заряд, який переноситься α -часткою, дорівнює $+2e$. На основі дослідів Резерфорда, а також дослідів з магнітним та електричним відхиленням було встановлено, що α -частинки за своєю природою тождні з гелієм (He_2^4).

Паралельний пучок α -частинок, пройшовши крізь шар речовини, розсіюється, α -частинки дещо змінюють свій напрям руху. Дослідження розсіювання тонкими металевими фольгами показали, що дуже часто спостерігається відхилення α -частинок на невеликі кути, в середньому 2° – 3° . Поруч з розсіюванням на малі кути співробітники Резерфорда Гейгер і Марсден виявили, що деяка кількість α -частинок (~ 1 на 8000) розсіюється на дуже великі кути, що іноді перевищують 90° і досягаючи в деяких випадках 180° . Пояснити ці великі кути розсіювання накопиченням випадкових малих відхилень виявилось неможливим. Великі кути розсіювання спостерігаються як при проходженні α -частинок крізь металеві фольги, так і в газах, і їх можна виявити на вільсонівських фотографіях, які показують, що великі кути відхилення утворюються не в результаті накопичення малих відхилень, а в результаті одного співудару.

Резерфорд вказав на те, що це можливо в тому випадку якщо в середині атома є дуже сильне електричне поле, яке утворюється позити-



Мал.1. Схема розсіювання α -частинок на ядрі



Мал.2. Залежність кута розсіювання частинки від прицільного параметра

вним зарядом, зв'язаним з великою масою і сконцентрованим в дуже малому об'ємі (радіус порядку 10^{-15} м). Звідси і виникла ядерна модель атома, згідно з якою атом побудований на зразок планетарної системи: мале за розміром, позитивно заряджене ядро, в якому зосереджена майже вся маса атома і негативні електрони, що обертаються навколо цього ядра по замкнених орбітах.

На підставі цих уявлень Резерфорд розвинув кількісну теорію розсіювання α -частинок. Нехай в О (мал.1) міститься розсіююче ядро, заряд якого $+Ze$. Припустимо, що маса його настільки більша від маси α -частинки, що при взаємодії з останньою ядро можна вважати за нерухоме. Припустимо, що сила взаємодії між ядром і α -частинкою підлягає закону Кулона. Класична механіка показує, що при всіх цих припущеннях α -частинка повинна описувати відносно ядра О гіперболу. Позначимо масу α -частинки через M , її швидкість на великій віддалі від розсіюючого ядра – через v . Коли б α -частинка не взаємодіяла з ядром, то вона пролетіла б на віддалі ρ (мал.1) від ядра (прицільна віддаль).

На основі закону збереження моменту імпульсу і енергії:

$$\rho = kctg(\varphi/2), \quad (1)$$

де φ – кут відхилення α -частинки, а

$$k = \frac{Ze^2}{2\pi\epsilon_0 Mv^2} \quad (1')$$

Оскільки прицільна віддаль ρ для окремих α -частинок не доступна вимірюванню, то перевірити (1) на досліді безпосередньо неможливо. Проте можна покласти її в основу статистичної теорії, яка дасть нам вираз для ефективного перерізу розсіювання залежно від параметрів, доступних експериментальному визначенню.

Припустимо, що α -частинки до розсіювання летять паралельним потоком. Для того, щоб відбулося розсіювання на кут, який лежить в межах від φ до $\varphi + d\varphi$ частинка повинна пролетіти поблизу розсіюючого центру по траєкторії, прицільний параметр якої міститься в межах від ρ до $\rho + d\rho$ (мал.2), причому як слідує із формули (1), прирости зв'язані співвідношенням:

$$d\rho = -\frac{k}{2\sin^2(\varphi/2)} d\varphi. \quad (2)$$

Знак мінус обумовлений тим, що із збільшенням ρ кут відхилення зменшується. Далі його не будемо враховувати, беручи до уваги абсолютне значення ρ . Тілесний кут, в межах якого знаходяться напрямки, що відповідають кутам розсіювання від φ до $\varphi + d\varphi$ знайдемо як:

$$d\Omega = \frac{dS}{R^2} = 2\pi \sin\varphi d\varphi. \quad (3)$$

Якщо N – кількість частинок, що проходять у вихідному пучку через одиницю площі за одну секунду (густина потоку частинок), а dN – кількість частинок, що розсіяні в тілесному куті $d\omega$, то

$$dN = 2\pi\rho N d\rho.$$

Враховавши формулу (2) запишемо:

$$dN = 2\pi\rho N \frac{k}{2\sin^2(\varphi/2)} d\varphi$$

Підставимо сюди значення ρ із (1):

$$dN = 2\pi N \frac{k^2 \sin\varphi}{4\sin^4(\varphi/2)} d\varphi.$$

Останній вираз згідно (3) можна записати так:

$$dN = N \frac{k^2}{4\sin^4(\varphi/2)} d\Omega \quad (4)$$

Якщо ввести поняття ефективного перерізу розсіювання, то із співвідношення (4) отримаємо:

$$d\sigma = \frac{dN}{N} = \frac{k^2}{4\sin^4(\varphi/2)} d\Omega \quad (5)$$

Це і є формула Резерфорда. Величина k визначається згідно формули (1'), тому остаточно:

$$d\sigma = \left(\frac{Ze^2}{2\pi\epsilon_0 Mv^2} \right)^2 \frac{1}{4\sin^4(\varphi/2)} d\Omega \quad (6)$$

Формула Резерфорда дає змогу експериментально знайти заряд ядра Z . Справді, підраховуючи число α -частинок, розсіяних на кут φ , ми будемо знати величину $d\sigma$. В праву ж частину формули Резерфорда входять, крім шуканої величини Z , або величини відомі або доступні експериментальному визначенню. Отже, для відшукування Z потрібно підрахувати число частинок N і dN . Із наведених співвідношень випливає, що коли змінювати кут φ і залишати сталими інші величини, то:

$$\frac{dN \sin^4(\varphi/2)}{\sin \varphi} = \text{const.} \quad (7)$$

Цю формулу і потрібно перевірити в даній роботі.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Задати число α -частинок, що попадають на розсіюючий центр (~ 10000).
2. Визначити число частинок при різних кутах відхилення.
3. Обчислити $\sin^4(\varphi/2)$ і одержані результати занести в таблицю.
4. Перевірити виконання формули (7).
5. Побудувати графік залежності числа розсіяних α -частинок від їх кута відхилення.
6. Обчислити похибку експерименту.
7. Провести обробку експериментальних даних за методом найменших квадратів з використанням лінійної, квадратичної та обернено пропорційної залежності.