

## Mục đích thí nghiệm

Quan sát hiện tượng tán xạ ngược Rutherford sử dụng mẫu vàng mỏng trên kính. Xác định tiết diện tán xạ ngược Rutherford, so sánh với lý thuyết.

## Giới thiệu chung

Có thể nói rằng chưa có một thí nghiệm nào trong lịch sử Vật lý hạt nhân có ảnh hưởng lớn như thí nghiệm tán xạ Rutherford. Kết quả tính toán của Rutherford dựa trên thực nghiệm tán xạ ngược được thực hiện bởi hai học trò của ông (Geiger và Marsen) đã đưa đến mô hình nguyên tử đúng đắn đầu tiên. Trước thí nghiệm Rutherford, nguyên tử được giả thiết như một thể tích hình cầu đồng nhất chứa các proton và electron được trộn lẫn một cách ngẫu nhiên nhiều hơn hay ít hơn. Mô hình nguyên tử này được đề xuất bởi Thomson và vào thời điểm ấy là mô hình nguyên tử tốt nhất so với các mô hình nguyên tử khác.

Geiger và Marsen đã thực hiện những thực nghiệm từ khá sớm đo hạt alpha tán xạ trên tấm kim loại nặng mỏng. Họ phát hiện ra rằng phân bố góc của hạt alpha tán xạ đạt giá trị lớn nhất ở hướng tán xạ phía trước. Tuy nhiên, họ cũng quan sát được một số các sự kiện tán xạ ở góc  $> 90^0$ . Sự ngạc nhiên của Rutherford trước hiện tượng quan sát được này được thể hiện ở câu nói của ông trong một bài giảng: "It was almost as incredible as if you fired a fifteen-inch shell at a piece of tissue paper and it came back and hit you." (Dường như là không thể tin được khi nếu bạn bắn một phiến đạn 15 inch vào một tờ giấy ăn và nó lại đập ngược trở lại bạn)

Rutherford đã phân tích sự phân bố góc này dựa trên mô hình nguyên tử được đề xuất bởi Thomson. Tuy nhiên, ông nhận thấy rằng mô hình nguyên tử Thomson không thể giải thích được một tiến diện tán xạ ngược lớn được tìm thấy bằng thực nghiệm. Phép đo của Geiger và Marsden cho thấy một số lượng hạt bằng 1/8000 hạt alpha tới tán xạ trên foil bằng platinum ở góc  $> 90^0$ . Điều này mâu thuẫn với tính toán trước đó dựa trên mô hình nguyên tử Thomson, theo đó chỉ có 1 hạt alpha trên tổng số  $10^{14}$  hạt tới có thể tán xạ với góc đó.

Bằng nỗ lực của mình cộng với cái nhìn Vật lý sắc sảo, Rutherford đã phát triển mô hình hạt nhân nguyên tử của riêng mình. Tính toán của ông dựa vào mô hình tán xạ Coulomb trên lõi đặc gồm các điện tích dương đã giải thích được số lượng gấp  $10^{10}$  lần của tiết diện tán xạ cần phải tăng thêm để phù hợp với giá trị tìm được bởi Geiger và Marsen. Với các thiết bị thí nghiệm thời bấy giờ (gồm buồng đã hút chân không với 1 kính hiển vi có thể di chuyển được trên màn nhấp nháy làm bằng kẽm sunfat), rất khó để đo được tiết diện này. Họ đã phải quan sát và đếm từng nhấp sáng một gây bởi từng hạt alpha trên màn kẽm sunfat. Thí nghiệm phải được tiến hành một cách rất tỉ mỉ và cẩn trọng để có thể đo được phân bố góc đó.

Thuật ngữ "*tiết diện tán xạ*" được đề cập ở trên có ý nghĩa là xác suất phản ứng tán xạ ở một góc tán xạ nhất định. Đơn vị của tiết diện được diễn giải bằng đơn vị diện tích. Vì xác suất tương đối của một hạt alpha bắn vào hạt nhân vàng tỉ lệ với diện tích hiệu dụng của hạt nhân đó. Nó tương tự như việc ta ném vào quả bóng tennis vào một quả bóng rổ được treo trên một sợi dây. Xác suất để quả bóng tennis đập trúng quả bóng rổ tỉ lệ với diện tích được "nhìn thấy" bởi quả bóng tennis bay tới (bằng  $\pi$  x đường kính của quả bóng rổ) của quả bóng rổ. Đơn vị của tiết diện là "barn",  $1 \text{ barn} = 1 \times 10^{-24} \text{ cm}^2$ . Đây là một diện tích rất nhỏ. Tuy nhiên có thể hiểu được việc sử dụng đơn vị này nếu chúng ta xét đến kích thước khá nhỏ của hạt nhân so với kích thước lớn hơn rất nhiều của nguyên tử. Từ "barn" có nguồn gốc từ dự án Mahatan, khi các nhà thực nghiệm tìm ra tiết diện phản ứng quá lớn của neutron chậm với nguyên tử, họ đã mô tả rằng nó lớn như một cái "kho thóc" (barn).

# Bài thực tập số 1

## Tán xạ Rutherford

Các kết quả thí nghiệm tán xạ Rutherford được diễn đạt một cách thuận tiện nhất bằng tiết diện trên một đơn vị góc khối. Góc khối ở đây là góc khối của detector so với bia, đo bằng đơn vị steradians (sr). Công thức tính góc khối như sau:

$$\Delta\Omega = \frac{A_d}{R^2}$$

Với  $A_d$  là thể tích nhạy của detector và  $R$  là khoảng cách giữa bia và detector. Tiết diện phản ứng được đo bằng đơn vị barn/steradian hay thuận tiện hơn là milibarn/steradian (mb/sr). Tiết diện này là tiết diện vi phân, đặc trưng cho xác suất trên một đơn vị góc khối mà hạt alpha bị tán xạ ở một góc tán xạ xác định  $\theta$ . Biểu thức lý thuyết của tiết diện tán xạ đàn hồi Rutherford trong hệ tọa độ PTN như sau:

$$\sigma_R(E, \theta) = \frac{d\sigma}{d\Omega} = 0.0207302 \times \left(\frac{Z_1 Z_2}{2E_0}\right)^2 \left[\frac{(x + \cos\theta)^2}{x \cdot \sin^4\theta}\right] \text{ b/sr} \quad (1)$$

Với  $x = \left(1 - \left(\frac{M}{A}\right)^2 \sin^2\theta\right)^{1/2}$ ,  $Z_1$  và  $Z_2$  tương ứng là số hiệu nguyên tử của hạt tới và bia,  $E_0$  là năng lượng của chùm hạt tới đơn vị MeV,  $M$  là số khối của nguyên tử hạt tới,  $A$  là số khối của hạt nhân bia.

Số hạt nhân tán xạ đàn hồi trên một lớp mỏng <sup>(1)</sup> đơn nguyên tố theo một góc  $\theta$  được cho bởi biểu thức:

$$A = \frac{(Nt)N_p\Omega\sigma_R(E_0, \theta)}{F \cdot \cos\alpha} \quad (2)$$

Trong đó:  $N_p$  là tổng số hạt tới bia,  $\Omega$  (sr) là góc khối,  $\sigma_R(E_0, \theta)$  là tiết diện vi phân cho bởi công thức (1),  $\alpha$  là góc giữa chùm hạt tới và pháp tuyến của mặt phẳng tới,  $F$  là hệ số hiệu chỉnh <sup>(2)</sup>;  $N$  là mật độ khối của nguyên tử bia, tính theo đơn vị hạt /cm<sup>3</sup>,  $t$  là bề dày bia theo đơn vị cm,  $(Nt)$  chính là mật độ mặt của nguyên tử bia, tức là số nguyên tử bia trên một cm<sup>2</sup>, trong nghiên cứu phản ứng hạt nhân, người ta thường sử dụng đơn vị mật độ mặt này (người ta cũng có thể dùng mật độ mặt tính theo khối lượng).

Một thông số quan trọng khác trong thực nghiệm tán xạ ngược Rutherford là hệ số động học tán xạ ngược, được xác định bởi biểu thức:

$$K = \left[ \frac{\left(1 - \left(\frac{M}{A}\right)^2 \sin^2\theta\right)^{1/2} + \frac{M}{A} \cos\theta}{1 + \frac{M}{A}} \right]^2 \quad (3)$$

Đại lượng này có ý nghĩa là tỉ lệ giữa năng lượng của hạt tới và năng lượng của hạt tán xạ, do đó năng lượng hạt tán xạ đi vào detector được tính:

$$E = K \cdot E_0 \quad (4)$$

Trong thí nghiệm thực hiện Geiger và Marsen, hạn chế về mặt kỹ thuật thời điểm ấy chỉ cho phép tiến hành đếm số hạt alpha tán xạ đập vào màn chắn bằng kẽm sunfat mà không thể xác định được giá trị năng lượng của hạt alpha tán xạ. Trong thí nghiệm này, với việc sử dụng detector đo hạt tích điện (detector Si hàng rào

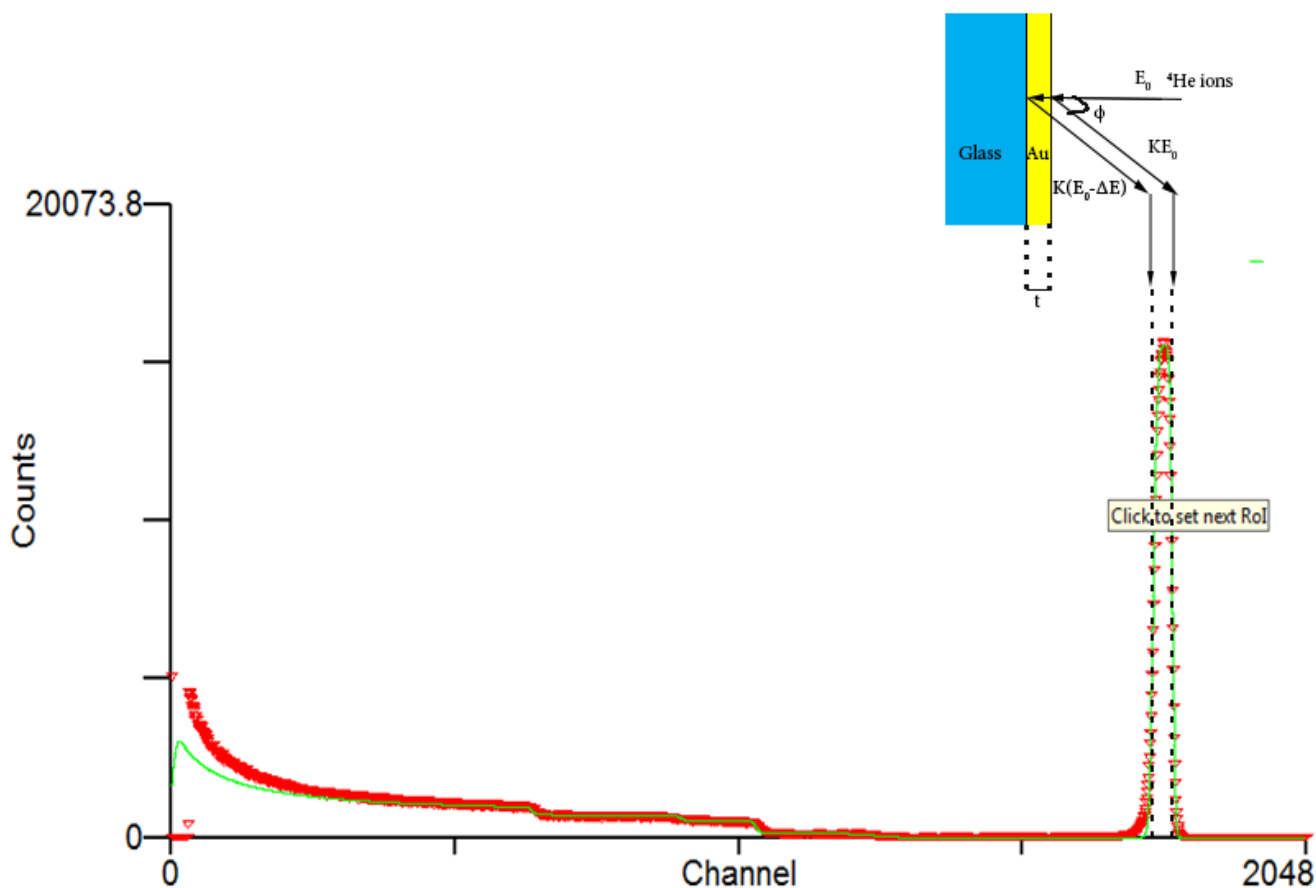
<sup>1</sup> Đối với mẫu mỏng, sự suy giảm năng lượng của chùm hạt qua lớp là không đáng kể.

<sup>2</sup> Hệ số này được cho trước khi tiến hành thí nghiệm, liên quan đến sai số hệ thống của thiết bị.

# Bài thực tập số 1

## Tán xạ Rutherford

mặt), hoàn toàn có thể xác định được phổ năng lượng của hạt alpha tán xạ với một độ phân giải năng lượng nhất định.



Hình 1. Phổ tán xạ Rutherford của mẫu vàng mỏng trên kính, bề dày  $\sim 200 \times 10^{15} \text{ atom/cm}^2$ .

Phổ tán xạ ngược Rutherford đối với lớp mỏng có dạng tựa Gauss như hình trên, diện tích của đỉnh phổ chính là giá trị A của công thức (2).

Từ thực nghiệm đo phổ tán xạ ngược xác định được diện tích đỉnh phổ tương ứng với hạt tán xạ từ lớp mỏng cần khảo sát, dựa vào đó xác định được tiết diện tán xạ đàn hồi Rutherford theo công thức (2). Ngoài ra, từ vị trí của đỉnh phổ xác định được năng lượng của hạt tán xạ mà được tính theo công thức (4).

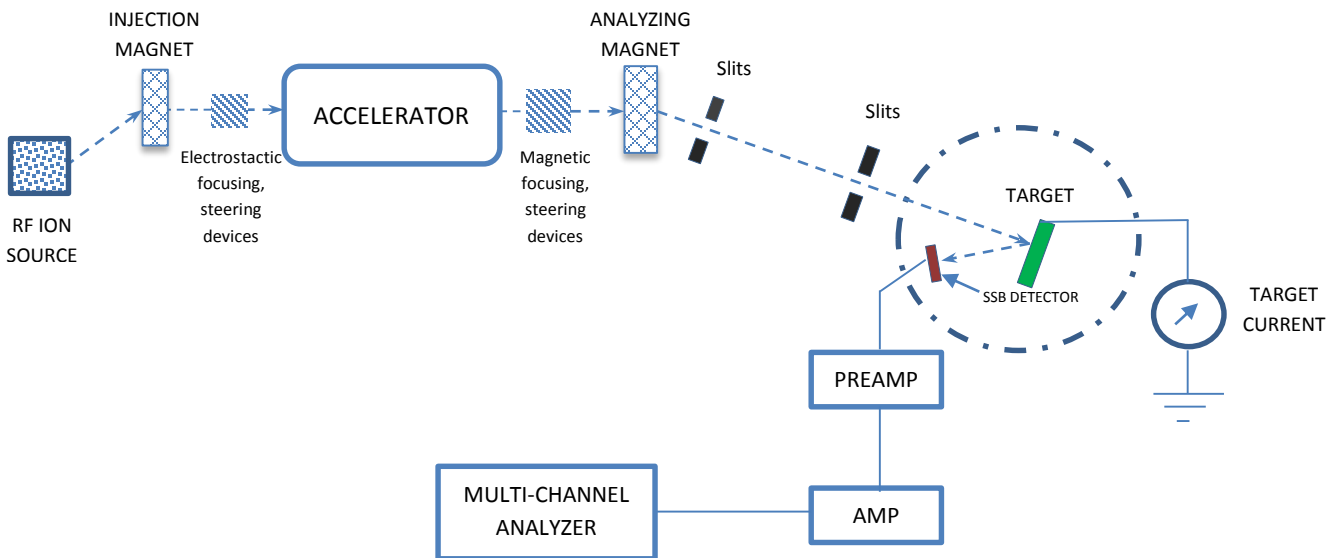
# Bài thực tập số 1

## Tán xạ Rutherford

### THỰC NGHIỆM 1. Quan sát hiện tượng tán xạ Rutherford

#### Dụng cụ thí nghiệm

- Máy gia tốc tĩnh điện Tandem 5SDH-2, năng lượng cực đại 3.4 MeV/q.
- Hệ phổ kế RBS gồm: Detector silicon hàng rào mặt SSB, có độ phân giải năng lượng 11 KeV ở đỉnh 5.486 MeV của  $^{241}\text{Am}$ , tiền khuếch đại, khuếch đại, bộ phân tích đa kênh, máy tính thu thập dữ liệu.
- Detector được đặt ở vị trí góc tán xạ  $\theta = 170^\circ$ .
- Bộ đếm dòng.
- Bia là mẫu chuẩn vàng trên kính, có bề dày lớp vàng  $\sim 200 \times 10^{15}$  atom/cm<sup>2</sup>.



Hình 2. Sơ đồ bố trí thí nghiệm tán xạ ngược Rutherford

#### Các bước tiến hành

1. Thiết lập hệ đo như hình vẽ, kiểm tra các kết nối.
2. Khởi động hệ máy gia tốc, gia tốc chùm tia với các thông số sau:
  - Loại chùm tia:  $^4\text{He}^+$  <sup>(3)</sup>
  - Năng lượng: 2.428 MeV
  - Cường độ chùm tia: >10 nA
3. Cho mẫu vàng trên kính vào buồng chiếu mẫu (theo chỉ dẫn của g.v hướng dẫn).
4. Khởi động chương trình thu thập dữ liệu RC43
  - a. Từ màn hình chính, click chọn chương trình RC43, 2 cửa sổ sẽ xuất hiện sau đó.
  - b. Sử dụng cửa sổ Manipulator tiến hành điều chỉnh vị trí của mẫu sao cho vị trí chùm tia được đánh dấu trên màn hình nằm trọn trong bia vàng trên kính và góc giữa chùm tia và pháp tuyến mặt phẳng mẫu  $\alpha=0$  (theo chỉ dẫn của g.v hướng dẫn).

<sup>3</sup> Tùy theo điều kiện cụ thể, có thể phải sử dụng chùm tia  $\text{H}^+$ , nhưng ý nghĩa của thí nghiệm không thay đổi.

## Bài thực tập số 1

### Tán xạ Rutherford

- c. Chọn cửa sổ NEC RC43 ANALYTICAL DATA COLLECTION, vào mục DATA COLLECTION, chọn Collect data.
  - d. Cửa sổ Full Energy Data Collection sẽ xuất hiện, bỏ chọn ở phần MCAs displayed 3 lựa chọn RBG, PIX và NRA.
5. Tăng cao thế của detector hàng rào mặt một cách **từ từ** cho đến điểm làm việc ở **100V**.
  6. Đặt trước giá trị tổng điện tích góp của chùm hạt trên cửa sổ Full Energy Data Collection, ở ô charge uC. Đặt tên file dữ liệu tùy ý ở ô Filename.
  7. Kiểm tra lại một lần nữa các thông số cần thiết để tiến hành thí nghiệm
  8. Trên cửa sổ Full Energy Data Collection, click vào nút Manual collect để bắt đầu cho chùm ion tán xạ vào mẫu. Quan sát phổ RBS thu được.
  9. Khi giá trị bên phải trong ô Charge uC về 0, phép đo kết thúc, chương trình sẽ tự động lưu lại file có chứa phổ RBS ở một thư mục nhất định.
  10. Ghi nhận lại các thông số của thí nghiệm và phổ RBS thu được.

### Bài tập

Từ phổ RBS thu được

- Xác định diện tích của đỉnh tương ứng với lớp vàng mỏng của mẫu
- Xác định năng lượng hạt tán xạ tại đó (với giá trị chuẩn năng lượng của hệ phổ kế RBS được cho trước).

Kết hợp với các thông số thí nghiệm, sử dụng công (2) xác định tiết diện tán xạ, so sánh với giá trị lý thuyết được tính bởi công thức (1).

Từ năng lượng hạt tán xạ đã xác định được, tính hệ số động học tán xạ ngược sử dụng công thức (4), so sánh với giá trị lý thuyết được tính bởi công thức (3).

### Câu hỏi

1. Tại sao trong thí nghiệm Geiger - Marsen, cần phải sử dụng mẫu vàng dát mỏng?
2. Nếu sử dụng chùm tia với năng lượng khác nhau thì giá trị chuẩn năng lượng của hệ phổ kế có khác nhau không? Tại sao?
3. Phổ RBS của mẫu vàng sẽ thay đổi như thế nào nếu sử dụng bia vàng trên kính có bề dày lớp vàng lớn hơn?