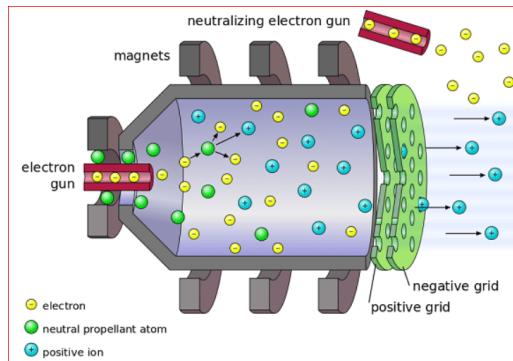


## KIẾN THỨC QUANG PHỔ KHỐI (MASS SPECTROMETRY - MS)

Quang phổ Khối là một kỹ thuật phân tích đo đặc tỉ số khối lượng trên điện tích ( $m/z$ ) của các ion, giúp xác định khối lượng phân tử và cấu trúc hóa học.



### I. NGUYỄN LÝ LÀM VIỆC (ỨNG DỤNG LỰC LORENTZ)

Nguyên tắc cốt lõi là biến mẫu thành ion, sau đó dùng điện trường để gia tốc và từ trường để phân tách các ion dựa trên tỉ số  $m/z$ .

- Ion hóa (Ionization):** Mẫu được chuyển thành các ion (thường là ion dương,  $q = n \cdot e$ ).
- Gia tốc (Acceleration):** Các ion được cho đi qua một hiệu điện thế  $U$  (điện trường) để thu được một động năng nhất định (giả sử vận tốc  $v$ ).
- Phân tách (Separation/Deflection):** Đây là bước quan trọng nhất, nơi lực từ được sử dụng. Các ion có vận tốc  $v$  bay vào một vùng có Từ trường đều  $B$  (vuông góc với  $v$ ). Lực Lorentz ( $F_L$ ) tác dụng lên ion ( $F_L = qvB$ ) đóng vai trò là lực hướng tâm ( $F_{ht}$ ), khiến ion chuyển động trên quỹ đạo tròn. Bán kính quỹ đạo ( $R$ ) sẽ khác nhau tùy thuộc vào  $m/z$  của ion.
- Phát hiện (Detection):** Các ion được ghi nhận tại detector.

### II. CẤU TẠO CHUNG (Phổ Khối Sector)

Cấu tạo chung của một máy Phổ Khối dạng sector (loại thường dùng trong các bài toán Vật lý) gồm:

- Nguồn ion (Ion Source):** Tạo ra các ion.
- Bộ gia tốc (Accelerator):** Áp dụng hiệu điện thế  $U$  để tăng tốc ion.
- Bộ phân tích (Analyzer - Sector):** Là buồng chân không chứa Từ trường  $B$  đều và mạnh. Nơi xảy ra sự phân tách quỹ đạo theo  $R$  nhờ lực từ  $F_L$ .
- Detector (Bộ thu):** Ghi nhận vị trí và số lượng ion tới.

### III. CÔNG THỨC CỐT LÕI

Các công thức sau là nền tảng để giải các bài tập về MS, đặc biệt là loại sector:

1. **Giai đoạn Gia tốc (Áp dụng Định luật Bảo toàn Năng lượng)** Toàn bộ thế năng điện trường chuyển thành động năng:

$$qU = \frac{1}{2}mv^2$$

$$\Rightarrow \text{Vận tốc ion } v : \quad v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$$

- $q$ : Điện tích của ion (C)
  - $U$ : Hiệu điện thế gia tốc (V)
  - $m$ : Khối lượng của ion (kg)
  - $v$ : Vận tốc của ion (m/s)
2. **Giai đoạn Phân tách (Áp dụng Lực từ Lorentz)** Khi ion bay vào từ trường  $B$  vuông góc với  $v$ , lực từ đóng vai trò là lực hướng tâm, khiến ion chuyển động tròn đều:

$$\text{Lực Lorentz } (F_L) = \text{Lực hướng tâm } (F_{ht})$$

$$qvB = \frac{mv^2}{R}$$

- $B$ : Cường độ từ trường (Tesla - T)
  - $R$ : Bán kính quỹ đạo chuyển động tròn (m)
3. **Công thức Tối giản (Xác định tỉ số  $m/q$ )** Kết hợp (1) và (2) để loại bỏ  $v$ , ta có công thức xác định trực tiếp tỉ số  $m/q$ :

$$\frac{m}{q} = \frac{B^2 R^2}{2U}$$

Hoặc Bán kính quỹ đạo  $R$ :

$$R = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mU}{q}}$$

**Kết luận quan trọng:** Với  $U$  và  $B$  cố định, ion nào có tỉ số  $m/q$  lớn hơn sẽ có bán kính quỹ đạo  $R$  lớn hơn.

## IV. LƯU Ý QUAN TRỌNG KHI LÀM BÀI

- Đơn vị:** Luôn chuyển đổi sang đơn vị SI: Khối lượng  $m$  (kg), Diện tích  $q$  (C), Hiệu điện thế  $U$  (V), Từ trường  $B$  (T), Bán kính  $R$  (m).

Thường gặp: Khối lượng  $m$  cho dưới dạng đơn vị nguyên tử (amu hoặc Dalton), cần nhân với hằng số để ra kg. Diện tích  $q$  thường là  $n \cdot e$ , với  $e = 1.6 \times 10^{-19}$  C.

- Diện tích ion ( $q$ ):** Hầu hết các bài toán cơ bản thường xét ion mang điện tích đơn:  $q = +e$ . Nếu ion mang điện tích  $n+$  (ví dụ  $2+, 3+$ ), thì  $q = n \cdot e$ .

### 3. Quan hệ Tỉ lệ:

- Vận tốc  $v$ : Tỉ lệ nghịch với  $\sqrt{m/q}$  (Ion nhẹ hơn/diện tích lớn hơn sẽ đi nhanh hơn).
- Bán kính  $R$ : Tỉ lệ thuận với  $\sqrt{m/q}$  (Ion nặng hơn/diện tích nhỏ hơn sẽ bị lệch ít hơn,  $R$  lớn hơn).

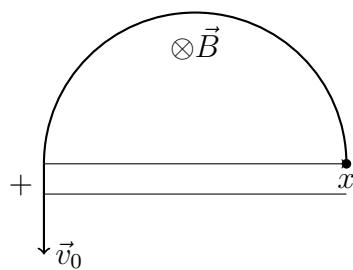
- Xác định hướng:** Sử dụng Quy tắc Bàn tay trái để xác định chiều của Lực Lorentz  $F_L$  (hướng tâm).

*Quy tắc:* Đặt bàn tay trái sao cho các đường cảm ứng từ  $B$  xuyên vào lòng bàn tay, chiều từ cổ tay đến ngón tay là chiều vận tốc  $v$  (chiều dòng điện  $I$ ). Ngón cái choai ra  $90^\circ$  chỉ chiều của lực từ  $F_L$  (Nếu là ion dương). Nếu là ion âm thì lực ngược chiều ngón cái.

## BÀI TẬP VÍ DỤ

### Bài số 1:

Hình vẽ bên mô tả một khối phổ dùng để đo khối lượng của các ion. Một ion khối lượng  $m$  mang điện tích  $q = 1,60 \cdot 10^{-19}$  C thoát ra từ nguồn  $S$  (với vận tốc thoát ra xem như bằng 0) sau đó được tăng tốc dưới hiệu điện thế  $U = 1000$  V trước khi bay vào một từ trường đều, cảm ứng từ là  $80$  mT. Khoảng cách từ nơi bay vào đến vị trí ion đập lên máy dò là  $x = 1,63$  m (hình vẽ). Biết rằng khi một hạt điện tích  $q$  chuyển động trong từ trường đều với vận tốc  $v$  theo phương hợp với cảm ứng từ  $B$  một góc  $\alpha$  thì sẽ chịu tác dụng của một lực từ có phương vuông góc với mặt phẳng chứa vectơ cảm ứng từ  $B$  và vectơ vận tốc  $\vec{v}$ ; có độ lớn được tính bằng công thức  $f = |q|vB \sin \alpha$ . Khối lượng của ion bằng  $X \cdot 10^{-26}$  kg. Giá trị của  $X$  bằng bao nhiêu? Kết quả làm tròn đến chữ số hàng đơn vị.



### Bài số 2:

Một máy quang phổ khối đơn giản (sử dụng trường từ đều) được sử dụng để phân tích hai đồng vị của một nguyên tố. Các ion dương có điện tích  $q = +e$  ( $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C) được gia tốc từ trạng thái nghỉ qua một hiệu điện thế  $U = 2000$  V. Sau khi gia tốc, các ion đi vào một vùng có từ trường  $B$  đều, vuông góc với vận tốc của chúng.

## MỘT SỐ MÔ HÌNH ỨNG DỤNG TỪ TRƯỜNG

- Từ trường có độ lớn  $B = 0,5$  T. Ion thứ nhất có khối lượng  $m_1 = 3,32 \cdot 10^{-26}$  kg đi vào vùng từ trường.
- Ion thứ hai có khối lượng  $m_2$  lớn hơn  $m_1$  là 1 u (đơn vị khối lượng nguyên tử, 1 u =  $1,66 \cdot 10^{-27}$  kg).

**Yêu cầu:**

- Tính vận tốc  $v$  của các ion khi chúng đi vào vùng từ trường.
- Tính bán kính quỹ đạo  $R_1$  và tỷ số khối lượng trên điện tích  $m_1/q$  của ion thứ nhất.
- Tính khoảng cách  $D$  giữa điểm đập của hai ion lên tấm phát hiện (detector) sau khi chúng thực hiện nửa vòng tròn.

### Bài số 3:

Một chùm ion đồng vị  $I^{127}$  (Iốt<sup>127</sup>) mang điện tích  $q = +e$  ( $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C) được gia tốc và đi vào một Bộ lọc Vận tốc. Bộ lọc này được thiết lập bởi một **trường điện đều**  $E$  và một **trường từ đều**  $B$  vuông góc với nhau và vuông góc với hướng chuyển động ban đầu của ion. Biết cường độ điện trường:  $E = 1,5 \cdot 10^5$  V/m, cảm ứng từ trong bộ lọc:  $B = 0,5$  T.

- Tính vận tốc  $v$  của các ion có thể đi thẳng qua Bộ lọc Vận tốc mà không bị lệch hướng.
- Nếu tất cả các ion được gia tốc từ trạng thái nghỉ qua một hiệu điện thế  $U$ , tính giá trị của hiệu điện thế gia tốc  $U$  nếu vận tốc  $v$  tìm được ở câu (a) là vận tốc của ion  $I^{127}$  (khối lượng  $m = 2,11 \cdot 10^{-25}$  kg) khi chúng đi vào bộ lọc.
- Giả sử một ion lạ mang điện tích  $q$  và khối lượng  $m$  khác đi vào bộ lọc với vận tốc  $v$ . Phân tích xem ion lạ sẽ bị lệch về phía bắc dương hay bắc âm của tụ điện (tạo ra  $E$ ) nếu vận tốc của nó:
  - Lớn hơn  $v$  (vận tốc chuẩn).
  - Nhỏ hơn  $v$  (vận tốc chuẩn).

### Bài số 4: 10 câu trắc nghiệm nhiều lựa chọn

- Câu 1:** Trong giai đoạn phân tách của máy Phổ Khối, lực nào đóng vai trò là lực hướng tâm, khiến ion chuyển động trên quỹ đạo cong?  
 A. Lực điện trường.  
 B. Lực hấp dẫn.  
 C. Lực Lorentz (Lực từ).  
 D. Lực ma sát.
- Câu 2:** Hai ion  $^{39}K^+$  và  $^{41}K^+$  (có cùng vận tốc  $v$ ) bay vào một vùng có từ trường đều  $B$  vuông góc. Tỉ lệ bán kính quỹ đạo  $R_{39}/R_{41}$  của hai ion này là:  
 A. 39/41.  
 B. 41/39.  
 C.  $\sqrt{39/41}$ .  
 D.  $\sqrt{41/39}$ .

**Câu 3:** Khi một ion có khối lượng  $m$ , điện tích  $q$  và vận tốc  $v$  bay vuông góc với từ trường  $B$ , bán kính quỹ đạo  $R$  được tính bằng công thức nào?

## MỘT SỐ MÔ HÌNH ỨNG DỤNG TỪ TRƯỜNG

$$\textcircled{A}. R = \frac{qB}{mv}. \quad \textcircled{B}. R = \frac{mv}{qB}. \quad \textcircled{C}. R = \frac{2mU}{qB^2}. \quad \textcircled{D}. R = \frac{B^2R^2}{2U}.$$

**Câu 4:** Trong máy Phổ Khối, để bán kính quỹ đạo  $R$  của một ion tăng lên gấp đôi (giữ nguyên  $m, q, B$ ), ta cần điều chỉnh hiệu điện thế gia tốc  $U$  như thế nào?

- \textcircled{A}. Giảm  $U$  đi 2 lần.  
\textcircled{B}. Tăng  $U$  lên 2 lần.  
\textcircled{C}. Tăng  $U$  lên 4 lần.  
\textcircled{D}. Giảm  $U$  đi 4 lần.

**Câu 5:** Mục đích chính của Buồng chọn vận tốc trong máy Phổ Khối là gì?

- \textcircled{A}. Gia tốc các ion đến vận tốc tối đa.  
\textcircled{B}. Phân tách ion theo tỉ số khối lượng/điện tích ( $m/z$ ).  
\textcircled{C}. Chỉ cho phép các ion có vận tốc  $v$  bằng một giá trị xác định đi qua.  
\textcircled{D}. Thay đổi điện tích của các ion.

**Câu 6:** Buồng chọn vận tốc hoạt động dựa trên sự cân bằng của hai loại lực nào tác dụng lên ion?

- \textcircled{A}. Lực hấp dẫn và Lực ma sát.  
\textcircled{B}. Lực điện và Lực hướng tâm.  
\textcircled{C}. Lực Lorentz (Lực từ) và Lực điện trường.  
\textcircled{D}. Lực từ và Lực hấp dẫn.

**Câu 7:** Trong Buồng chọn vận tốc, ion đi thẳng (không bị lệch) khi:

- \textcircled{A}. Lực từ lớn hơn Lực điện ( $F_L > F_E$ ).  
\textcircled{B}. Lực từ nhỏ hơn Lực điện ( $F_L < F_E$ ).  
\textcircled{C}. Lực từ bằng Lực điện ( $F_L = F_E$ ).  
\textcircled{D}. Ion không mang điện tích.

**Câu 8:** Công thức xác định vận tốc  $v$  của các ion được chọn đi qua Buồng chọn vận tốc (có cường độ điện trường  $E$  và từ trường  $B$ ) là:

$$\textcircled{A}. v = \frac{B}{E}. \quad \textcircled{B}. v = \frac{E}{B}. \quad \textcircled{C}. v = \sqrt{\frac{2qE}{m}}. \quad \textcircled{D}. v = \frac{B^2R}{2E}.$$

**Câu 9:** Giả sử một ion dương đi vào Buồng chọn vận tốc (có  $E$  và  $B$  vuông góc nhau) và đi thẳng. Nếu ta đổi chiều từ trường  $B$  (giữ nguyên  $E$ ), ion sẽ bị lệch về phía:

- \textcircled{A}. Vẫn đi thẳng.  
\textcircled{B}. Theo chiều của Lực điện trường  $F_E$ .  
\textcircled{C}. Ngược chiều của Lực điện trường  $F_E$ .  
\textcircled{D}. Lệch vuông góc với  $E$  và  $B$ .

**Câu 10:** Tỉ số nào là đại lượng vật lý cơ bản mà máy Quang phổ Khối đo đạc trực tiếp và được dùng để tạo ra phổ?

- \textcircled{A}. Tỉ số khối lượng/vận tốc ( $m/v$ ).  
\textcircled{B}. Tỉ số vận tốc/tần số ( $v/f$ ).  
\textcircled{C}. Tỉ số điện tích/khối lượng ( $q/m$ ).  
\textcircled{D}. Tỉ số khối lượng/điện tích ( $m/z$ ).