

Hệ thống các phương pháp bảo toàn trong Hóa học Phổ thông

Trong chương trình Hóa học phổ thông, đặc biệt là các bài toán phức tạp ở lớp 12 và luyện thi Đại học, việc nắm vững và vận dụng linh hoạt các phương pháp bảo toàn là chìa khóa để giải quyết bài toán một cách nhanh chóng và chính xác. Ba phương pháp bảo toàn cốt lõi bao gồm: Bảo toàn Khối lượng, Bảo toàn Nguyên tố và Bảo toàn Electron.

1. Định luật Bảo toàn Khối lượng (BTKL)

Nội dung định luật

Định luật Bảo toàn Khối lượng do Lomonosov và Lavoisier tìm ra, phát biểu rằng: *"Trong một phản ứng hóa học, tổng khối lượng của các chất tham gia phản ứng bằng tổng khối lượng của các chất sản phẩm tạo thành."*

Đây là định luật cơ bản nhất, áp dụng được cho MỌI phản ứng hóa học, bất kể phản ứng xảy ra hoàn toàn hay không hoàn toàn.

Công thức áp dụng

Xét phản ứng tổng quát: $A + B \rightarrow C + D$

$$m_A + m_B = m_C + m_D$$

Tổng quát hơn:

$$\sum m_{\text{chất tham gia}} = \sum m_{\text{sản phẩm}}$$

Ví dụ minh họa

- **Ví dụ 1:** Nung hoàn toàn 15,8 gam KMnO_4 thu được chất rắn X và khí O_2 .

Tính khối lượng chất rắn X.

- **Giải:**

Phương trình phản ứng: $2\text{KMnO}_4 \rightarrow \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{MnO}_2 + \text{O}_2$

Chất tham gia: KMnO_4

Sản phẩm: Chất rắn X (gồm K_2MnO_4 , MnO_2) và khí O_2 .

Ta có: $n_{\text{KMnO}_4} = 15,8 / 158 = 0,1 \text{ mol}$.

Theo phương trình, $n_{\text{O}_2} = 1/2 * n_{\text{KMnO}_4} = 0,05 \text{ mol}$.

$\Rightarrow m_{\text{O}_2} = 0,05 * 32 = 1,6 \text{ gam}$.

Áp dụng ĐLBTK khối lượng: $m_{\text{KMnO}_4} = m_{\text{rắn X}} + m_{\text{O}_2}$

$\Rightarrow m_{\text{rắn X}} = m_{\text{KMnO}_4} - m_{\text{O}_2} = 15,8 - 1,6 = 14,2 \text{ gam}$.

- **Ví dụ 2:** Hòa tan hoàn toàn 10 gam hỗn hợp gồm Fe và Fe_2O_3 bằng dung dịch HCl dư, thu được 2,24 lít khí H_2 (đktc) và dung dịch X. Cô cạn dung dịch X thu được bao nhiêu gam muối khan?

- **Giải:**

Các phản ứng xảy ra:



Ta có: $n_{\text{H}_2} = 2,24 / 22,4 = 0,1 \text{ mol}$.

Theo phản ứng (1), $n_{\text{Fe}} = n_{\text{H}_2} = 0,1 \text{ mol} \Rightarrow m_{\text{Fe}} = 0,1 * 56 = 5,6 \text{ gam}$.

$\Rightarrow m_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 10 - 5,6 = 4,4 \text{ gam} \Rightarrow n_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 4,4 / 160 = 0,0275 \text{ mol}$.

Theo phản ứng (1) và (2), ta có: $n_{\text{HCl}} = 2 * n_{\text{Fe}} + 6 * n_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 2 * 0,1 +$

$$6 \cdot 0,0275 = 0,365 \text{ mol.}$$

Áp dụng ĐLBTK khối lượng cho toàn bộ quá trình:

$$m_{\text{hỗn hợp}} + m_{\text{HCl}} = m_{\text{muối}} + m_{\text{H}_2}$$

$$\Rightarrow m_{\text{muối}} = (m_{\text{Fe}} + m_{\text{Fe}_2\text{O}_3}) + m_{\text{HCl}} - m_{\text{H}_2}$$

$$\Rightarrow m_{\text{muối}} = 10 + (0,365 \cdot 36,5) - (0,1 \cdot 2) = 10 + 13,3225 - 0,2 = 23,1225 \text{ gam.}$$

2. Định luật Bảo toàn Nguyên tố (BTNT)

Nội dung định luật

Trong các phản ứng hóa học, các nguyên tử của các nguyên tố được bảo toàn. Điều này có nghĩa là: "*Tổng số mol nguyên tử của một nguyên tố X bất kỳ trước phản ứng bằng tổng số mol nguyên tử của nguyên tố X đó sau phản ứng.*"

Phương pháp này cực kỳ hữu hiệu cho các bài toán có nhiều phản ứng xảy ra nối tiếp, phức tạp hoặc không cần biết các phương trình phản ứng chi tiết.

Công thức áp dụng

$$\sum n_{\text{nguyên tố X (trước pứ)}} = \sum n_{\text{nguyên tố X (sau pứ)}}$$

Ví dụ minh họa

- **Ví dụ 1:** Đốt cháy hoàn toàn 4,6 gam một hợp chất hữu cơ A, thu được 8,8 gam CO_2 và 5,4 gam H_2O . Xác định công thức phân tử của A, biết tỉ khối hơi của A so với H_2 là 23.

- **Giải:**

$$M_A = 23 \cdot 2 = 46 \text{ g/mol.}$$

$$n_{\text{CO}_2} = 8,8 / 44 = 0,2 \text{ mol.}$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = 5,4 / 18 = 0,3 \text{ mol.}$$

Áp dụng BTNT cho C và H:

$$n_{\text{C}} (\text{trong A}) = n_{\text{C}} (\text{trong CO}_2) = n_{\text{CO}_2} = 0,2 \text{ mol.}$$

$$n_{\text{H}} (\text{trong A}) = n_{\text{H}} (\text{trong H}_2\text{O}) = 2 * n_{\text{H}_2\text{O}} = 2 * 0,3 = 0,6 \text{ mol.}$$

$$\text{Kiểm tra Oxi trong A: } m_{\text{O}} (\text{trong A}) = m_{\text{A}} - m_{\text{C}} - m_{\text{H}} = 4,6 - (0,2 * 12) - (0,6 * 1) = 4,6 - 2,4 - 0,6 = 1,6 \text{ gam.}$$

$$\Rightarrow n_{\text{O}} (\text{trong A}) = 1,6 / 16 = 0,1 \text{ mol.}$$

Gọi CTPT của A là $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z$.

$$\text{Ta có tỉ lệ: } x : y : z = n_{\text{C}} : n_{\text{H}} : n_{\text{O}} = 0,2 : 0,6 : 0,1 = 2 : 6 : 1.$$

Vậy CTĐGN là $(\text{C}_2\text{H}_6\text{O})_n$.

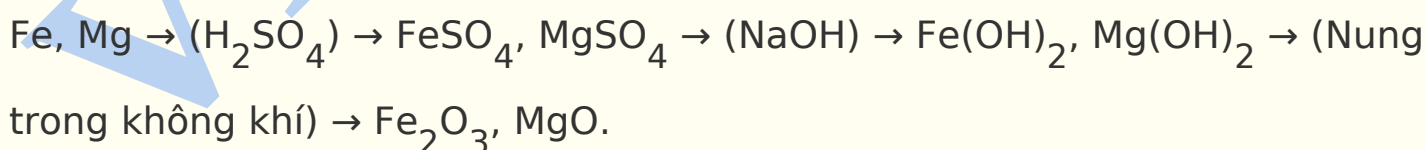
$$\text{Ta có: } (12*2 + 6 + 16)*n = 46 \Rightarrow 46n = 46 \Rightarrow n = 1.$$

Vậy CTPT của A là $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$.

- **Ví dụ 2:** Hòa tan hoàn toàn hỗn hợp X gồm 11,2 gam Fe và 2,4 gam Mg bằng dung dịch H_2SO_4 loãng dư, thu được dung dịch Y. Cho dung dịch NaOH dư vào Y, thu được kết tủa Z. Nung Z trong không khí đến khối lượng không đổi thu được m gam chất rắn. Tính m.

- **Giải:**

Đây là một chuỗi phản ứng:



Ta không cần viết tất cả các phương trình. Áp dụng BTNT:

$$n_{\text{Fe}} (\text{ban đầu}) = 11,2 / 56 = 0,2 \text{ mol.}$$

$$n_{\text{Mg}} (\text{ban đầu}) = 2,4 / 24 = 0,1 \text{ mol.}$$

Bảo toàn nguyên tố Fe: $n_{\text{Fe}} (\text{ban đầu}) \rightarrow n_{\text{Fe}} \text{ trong Fe}_2\text{O}_3$

$$2\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 \Rightarrow n_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 1/2 * n_{\text{Fe}} = 1/2 * 0,2 = 0,1 \text{ mol.}$$

Bảo toàn nguyên tố Mg: $n_{\text{Mg}} (\text{ban đầu}) \rightarrow n_{\text{Mg}} \text{ trong MgO}$

$$\text{Mg} \rightarrow \text{MgO} \Rightarrow n_{\text{MgO}} = n_{\text{Mg}} = 0,1 \text{ mol.}$$

Chất rắn cuối cùng gồm Fe_2O_3 và MgO .

$$m = m_{\text{Fe}_2\text{O}_3} + m_{\text{MgO}} = (0,1 * 160) + (0,1 * 40) = 16 + 4 = 20 \text{ gam.}$$

3. Phương pháp Bảo toàn Electron (BTE)

Nội dung phương pháp

Phương pháp này chỉ áp dụng cho các phản ứng oxi hóa - khử. Nội dung cốt lõi:

"Tổng số mol electron mà chất khử nhường đi bằng tổng số mol electron mà chất oxi hóa nhận vào."

Đây là công cụ cực kỳ mạnh để giải các bài toán về kim loại, hỗn hợp kim loại tác dụng với các axit có tính oxi hóa mạnh (HNO_3 , H_2SO_4 đặc).

Công thức áp dụng

$$\Sigma n_{\text{e nhường}} = \Sigma n_{\text{e nhận}}$$

Các bước thực hiện

1. Xác định các nguyên tố có sự thay đổi số oxi hóa.
2. Viết các quá trình oxi hóa (chất khử nhường e) và quá trình khử (chất oxi hóa nhận e).
3. Tính tổng số mol electron nhường và tổng số mol electron nhận.
4. Áp dụng công thức $\Sigma n_{\text{e nhường}} = \Sigma n_{\text{e nhận}}$ và giải phương trình.

Ví dụ minh họa

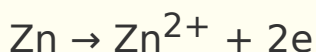
- **Ví dụ 1:** Hòa tan hoàn toàn 6,5 gam Kẽm (Zn) bằng dung dịch HNO_3 loãng, dư thu được V lít khí NO (sản phẩm khử duy nhất, ở đktc). Tính V.

- **Giải:**

$$n_{\text{Zn}} = 6,5 / 65 = 0,1 \text{ mol.}$$

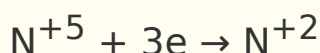
Trong phản ứng, Zn từ 0 lên +2, N từ +5 (trong HNO_3) xuống +2 (trong NO).

Quá trình oxi hóa (nhường e):



$$0,1 \text{ mol} \rightarrow 0,2 \text{ mol}$$

Quá trình khử (nhận e):



$$3x \text{ mol} \leftarrow x \text{ mol (với } x = n_{\text{NO}})$$

$$\text{Áp dụng BTE: } \sum n_{e \text{ nhường}} = \sum n_{e \text{ nhận}}$$

$$\Rightarrow 0,2 = 3x \Rightarrow x = 0,2 / 3 \text{ mol.}$$

$$\text{Vậy } n_{\text{NO}} = 0,2 / 3 \text{ mol.}$$

$$V = (0,2 / 3) * 22,4 \approx 1,493 \text{ lít.}$$

- **Ví dụ 2:** Cho 1,35 gam hỗn hợp X gồm Cu, Mg, Al tác dụng hết với dung dịch HNO_3 thu được hỗn hợp khí gồm 0,01 mol NO và 0,04 mol NO_2 . Tính khối lượng muối nitrat tạo thành trong dung dịch.

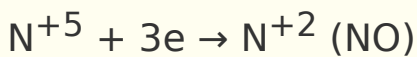
- **Giải:**

Đây là bài toán không thể giải bằng cách viết phương trình thông thường. Ta sử dụng BTE và BTNT.

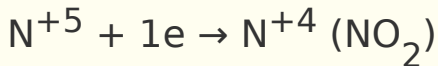
Quá trình oxi hóa (nhường e):

Kim loại $M \rightarrow M^{n+} + ne$ (Tổng số e nhường do cả 3 kim loại)

Quá trình khử (nhận e):



$$0,03 \text{ mol} \leftarrow 0,01 \text{ mol}$$



$$0,04 \text{ mol} \leftarrow 0,04 \text{ mol}$$

Áp dụng BTE:

$$\sum n_{e \text{ nhường}} \text{ (từ kim loại)} = \sum n_{e \text{ nhận}} = n_{e \text{ (tạo NO)}} + n_{e \text{ (tạo NO}_2\text{)}}$$

$$\sum n_{e \text{ nhường}} = 0,03 + 0,04 = 0,07 \text{ mol.}$$

Khi kim loại M nhường n electron, nó tạo thành ion M^{n+} . Ion này kết hợp với n ion NO_3^- để tạo muối $M(\text{NO}_3)_n$.

$\Rightarrow$ Số mol gốc NO_3^- trong muối = số mol electron kim loại nhường đi.

$$n_{\text{NO}_3^- \text{ (trong muối)}} = \sum n_{e \text{ nhường}} = 0,07 \text{ mol.}$$

Khối lượng muối = khối lượng kim loại + khối lượng gốc NO_3^- tạo muối.

$$m_{\text{muối}} = m_{\text{kim loại}} + m_{\text{NO}_3^-} = 1,35 + (0,07 \cdot 62) = 1,35 + 4,34 = 5,69 \text{ gam.}$$

4. Phối hợp các phương pháp bảo toàn

Trong thực tế, các bài toán vận dụng cao thường yêu cầu sự kết hợp linh hoạt của cả ba phương pháp trên. Đặc biệt là các bài toán về hỗn hợp oxit sắt tác dụng với axit.

Ví dụ tổng hợp

Hòa tan hoàn toàn 21,6 gam hỗn hợp X gồm Fe, FeO, Fe_2O_3 , Fe_3O_4 trong dung dịch HNO_3 loãng dư, kết thúc phản ứng thu được dung dịch Y và 4,48 lít khí NO (đktc, sản phẩm khử duy nhất). Cô cạn dung dịch Y thu được m gam muối khan.

Tính m.

Phân tích và giải

Bài toán này có nhiều chất trong hỗn hợp ban đầu, không thể xác định số mol từng chất. Ta sử dụng phương pháp quy đổi hỗn hợp X về hai nguyên tố là Fe và O.

1. Quy đổi và Bảo toàn nguyên tố:

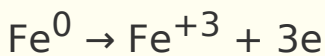
Coi hỗn hợp X gồm x mol Fe và y mol O.

$$m_X = 56x + 16y = 21,6 \text{ gam (Phương trình 1)}$$

2. Bảo toàn Electron:

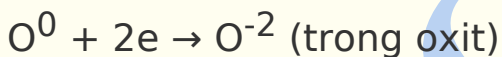
$$n_{NO} = 4,48 / 22,4 = 0,2 \text{ mol.}$$

Quá trình oxi hóa:

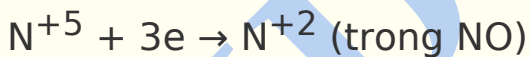


$$x \text{ mol} \rightarrow 3x \text{ mol}$$

Quá trình khử:



$$y \text{ mol} \rightarrow 2y \text{ mol}$$



$$0,6 \text{ mol} \leftarrow 0,2 \text{ mol}$$

Áp dụng BTE: Tổng e nhường = Tổng e nhận

$$3x = 2y + 0,6 \text{ (Phương trình 2)}$$

3. Giải hệ phương trình:

Từ (1) và (2), ta có hệ:

$$\begin{cases} 56x + 16y = 21,6 \end{cases}$$

$$\{ 3x - 2y = 0,6$$

Giải hệ này, ta được: $x = 0,3 \text{ mol}$ và $y = 0,3 \text{ mol}$.

4. Tính khối lượng muối (Bảo toàn nguyên tố Fe):

Toàn bộ Fe ban đầu ($0,3 \text{ mol}$) sẽ chuyển hết vào muối $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ sau phản ứng.

Bảo toàn nguyên tố Fe: $n_{\text{Fe}(\text{NO}_3)_3} = n_{\text{Fe (ban đầu)}} = x = 0,3 \text{ mol}$.

$$m = m_{\text{Fe}(\text{NO}_3)_3} = 0,3 * 242 = 72,6 \text{ gam}.$$

Qua ví dụ trên, ta thấy việc kết hợp quy đổi, bảo toàn nguyên tố và bảo toàn electron giúp giải quyết bài toán một cách logic và hiệu quả mà không cần quan tâm đến các phản ứng phức tạp xảy ra.