

Chuyên đề Nitơ (N₂): Cấu tạo phân tử và Tính chất Oxi hóa

Nitơ là một nguyên tố phi kim phổ biến, chiếm khoảng 78% thể tích không khí. Ở dạng đơn chất, phân tử nitơ (N₂) rất bền vững và khá trơ về mặt hóa học ở điều kiện thường. Tuy nhiên, trong những điều kiện nhất định, nitơ thể hiện cả tính oxi hóa và tính khử, trong đó tính oxi hóa là một trong những tính chất quan trọng cần nắm vững.

I. Vị trí và cấu tạo phân tử Nitơ (N₂)

1. Vị trí trong bảng tuần hoàn và cấu hình electron

- **Kí hiệu hóa học:** N
- **Số hiệu nguyên tử (Z):** 7
- **Vị trí:** Ô số 7, chu kì 2, nhóm VA của bảng tuần hoàn.
- **Cấu hình electron nguyên tử:** $1s^2 2s^2 2p^3$
- **Giải thích:** Nguyên tử Nitơ có 5 electron ở lớp ngoài cùng ($2s^2 2p^3$), trong đó có 3 electron độc thân. Do đó, nó có xu hướng nhận thêm 3 electron để đạt cấu hình bền vững của khí hiếm Neon (Ne), thể hiện tính oxi hóa mạnh.

2. Cấu tạo phân tử N₂

- **Công thức electron:** :N : : N:

- **Công thức cấu tạo:** $\text{N} \equiv \text{N}$

- **Giải thích:** Hai nguyên tử Nitơ liên kết với nhau bằng một liên kết ba bền vững. Mỗi nguyên tử N góp chung 3 electron để tạo thành 3 cặp electron dùng chung. Liên kết ba này có năng lượng rất lớn ($E = 945 \text{ kJ/mol}$), khiến cho phân tử N_2 rất khó bị phá vỡ.
- **Kết luận:** Do có liên kết ba bền vững, phân tử N_2 rất trơ về mặt hóa học ở nhiệt độ thường. Nó chỉ tham gia phản ứng ở nhiệt độ cao, áp suất cao hoặc có xúc tác.

II. Tính chất vật lí

Nitơ có những tính chất vật lí đặc trưng sau:

- **Trạng thái:** Ở điều kiện thường, nitơ là chất khí.
- **Màu sắc, mùi, vị:** Không màu, không mùi, không vị.
- **Tỉ khối:** Khí nitơ nhẹ hơn không khí một chút ($d = 28/29 \approx 0.966$).
- **Tính tan:** Tan rất ít trong nước (ở điều kiện thường, 1 lít nước hòa tan được khoảng 0.015 lít khí N_2).
- **Nhiệt độ hóa lỏng/hóa rắn:** Hóa lỏng ở -196°C và hóa rắn ở -210°C .
- **Đặc điểm khác:** Nitơ không duy trì sự cháy và sự hô hấp.

III. Tính chất hóa học: Tính Oxi hóa

Số oxi hóa của Nitơ có thể thay đổi từ -3, 0, +1, +2, +3, +4, +5. Khi tham gia phản ứng, nếu số oxi hóa của N giảm từ 0 xuống -3, nó thể hiện tính oxi hóa.

Tính oxi hóa của nitơ thể hiện rõ khi tác dụng với các chất khử mạnh như kim loại mạnh và hiđro.

1. Tác dụng với kim loại mạnh

Ở nhiệt độ cao, nitơ tác dụng trực tiếp với nhiều kim loại mạnh (nhóm IA, IIA, Al) tạo thành muối nitrua, trong đó nitơ có số oxi hóa -3.

a. Ví dụ 1: Tác dụng với Liti (Li)

- **Phương trình hóa học:** $6\text{Li} + \text{N}_2 \rightarrow 2\text{Li}_3\text{N}$ (Liti nitrua)
- **Điều kiện:** Phản ứng xảy ra ngay ở nhiệt độ thường.
- **Giải thích:** Trong phản ứng, số oxi hóa của N giảm từ 0 xuống -3 ($\text{N}^0 + 3\text{e} \rightarrow \text{N}^{-3}$), thể hiện tính oxi hóa. Số oxi hóa của Li tăng từ 0 lên +1, thể hiện tính khử.

b. Ví dụ 2: Tác dụng với Magie (Mg)

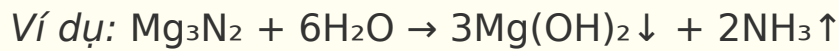
- **Phương trình hóa học:** $3\text{Mg} + \text{N}_2 \xrightarrow{t^\circ} \text{Mg}_3\text{N}_2$ (Magie nitrua)
- **Điều kiện:** Cần đun nóng.
- **Giải thích:** Khi đốt cháy magie trong không khí, ngoài phản ứng với oxi tạo MgO, magie còn phản ứng với nitơ tạo ra Mg_3N_2 . Trong hợp chất này, N có số oxi hóa -3.

c. Ví dụ 3: Tác dụng với Nhôm (Al)

- **Phương trình hóa học:** $2\text{Al} + \text{N}_2 \xrightarrow{t^\circ} 2\text{AlN}$ (Nhôm nitrua)
- **Điều kiện:** Nhiệt độ cao (khoảng 800 - 1000°C).

- **Giải thích:** Nhôm phản ứng với nitơ ở nhiệt độ rất cao để tạo thành nhôm nitrua.

Lưu ý quan trọng: Các muối nitrua dễ dàng bị thủy phân trong nước, giải phóng khí amoniac (NH_3).



2. Tác dụng với Hidro (H_2)

Đây là phản ứng quan trọng nhất thể hiện tính oxi hóa của nitơ và là cơ sở cho quá trình sản xuất amoniac trong công nghiệp (quá trình Haber-Bosch).

- **Phương trình hóa học:** $\text{N}_2(\text{k}) + 3\text{H}_2(\text{k}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{k})$

- **Phân tích số oxi hóa:**

- N_2 (số oxi hóa 0) $\rightarrow 2\text{N}^{-3}$ (trong NH_3) $\rightarrow$ Nitơ là chất oxi hóa.
- 3H_2 (số oxi hóa 0) $\rightarrow 6\text{H}^{+1}$ (trong NH_3) $\rightarrow$ Hidro là chất khử.

- **Đặc điểm phản ứng:**

- Phản ứng thuận nghịch: Xảy ra theo hai chiều.
- Phản ứng tỏa nhiệt: $\Delta H = -92 \text{ kJ}$.

- **Điều kiện phản ứng tối ưu:** Để tăng hiệu suất tạo amoniac, người ta phải áp dụng các điều kiện sau:

- **Nhiệt độ:** $450 - 500^\circ\text{C}$. Mặc dù phản ứng tỏa nhiệt (cần nhiệt độ thấp để cân bằng chuyển dịch theo chiều thuận), nhưng nhiệt độ quá thấp sẽ làm giảm tốc độ phản ứng. Do đó, nhiệt độ này được xem là tối ưu.

- **Áp suất:** Rất cao, từ 200 – 300 atm. Áp suất cao làm cân bằng chuyển dịch theo chiều thuận (chiều làm giảm số mol khí).
- **Chất xúc tác:** Bột sắt (Fe) được trộn thêm các oxit như Al_2O_3 , K_2O để tăng hiệu quả.

IV. Trạng thái tự nhiên và ứng dụng

1. Trạng thái tự nhiên

- **Dạng tự do:** Nitơ là thành phần chính của không khí, chiếm khoảng 78,16% thể tích.
- **Dạng hợp chất:** Nitơ có trong nhiều khoáng chất, ví dụ như diêm tiêu natri (NaNO_3). Nó cũng là một thành phần quan trọng trong cơ thể sống, có mặt trong protein, axit nucleic, và nhiều hợp chất hữu cơ khác.

2. Ứng dụng của Nitơ

Dựa vào các tính chất của mình, nitơ có nhiều ứng dụng quan trọng:

Lĩnh vực	Ứng dụng cụ thể
Sản xuất hóa chất	Là nguyên liệu chính để tổng hợp amoniac (NH_3), từ đó sản xuất axit nitric (HNO_3), phân đạm (ure, amoni nitrat), thuốc nổ,...
Công nghiệp	Tạo môi trường trơ trong luyện kim, công nghiệp điện tử (sản xuất bóng đèn, linh kiện bán dẫn), hàn xì để ngăn oxi hóa kim loại.
Bảo quản	Nitơ lỏng (-196°C) được dùng để bảo quản máu, mẫu vật sinh học, tế bào, và bảo quản thực phẩm tươi sống.
Y tế	Nitơ lỏng được sử dụng trong phẫu thuật lạnh để phá hủy các mô bệnh.

V. Bài tập vận dụng

- Câu hỏi 1:** Viết phương trình hóa học của phản ứng giữa nitơ và canxi (Ca) ở nhiệt độ cao. Xác định số oxi hóa của nitơ trước và sau phản ứng, từ đó cho biết vai trò của nitơ.
- Câu hỏi 2:** Trong quá trình tổng hợp amoniac từ nitơ và hiđro, những yếu tố nào ảnh hưởng đến sự chuyển dịch cân bằng của phản ứng? Giải thích tại sao phải thực hiện phản ứng ở áp suất cao.
- Câu hỏi 3:** Đốt cháy hoàn toàn 4,8 gam Magie trong một bình kín chứa 2,24 lít khí N_2 (đktc). Sau phản ứng thu được chất rắn A. Viết phương trình hóa học và tính khối lượng chất rắn A thu được.