

Hệ thống hóa kiến thức: Cấu hình electron của nguyên tử và ion kim loại chuyển tiếp

Kim loại chuyển tiếp là nhóm nguyên tố có nhiều tính chất hóa học và vật lý đặc trưng, phần lớn được quyết định bởi cấu trúc electron độc đáo của chúng. Việc nắm vững cách viết cấu hình electron của nguyên tử và ion kim loại chuyển tiếp là nền tảng quan trọng để hiểu rõ hơn về hóa học vô cơ.

1. Giới thiệu về kim loại chuyển tiếp

Kim loại chuyển tiếp là những nguyên tố mà nguyên tử của chúng có phân lớp d hoặc f đang được xây dựng dở dang. Trong chương trình Hóa học 10, chúng ta chủ yếu tập trung vào các kim loại chuyển tiếp nhóm B (các nguyên tố khối d), thuộc các chu kỳ 4, 5, 6, 7.

- **Vị trí:** Nằm ở giữa bảng tuần hoàn, thuộc các nhóm từ IIIB đến IIB.
- **Đặc điểm chung:** Là kim loại, có độ cứng cao, nhiệt độ nóng chảy và nhiệt độ sôi cao, có khả năng tạo phức chất, có nhiều số oxi hóa.

2. Đặc điểm cấu hình electron của NGUYÊN TỬ kim loại chuyển tiếp

Cấu hình electron của nguyên tử kim loại chuyển tiếp có những đặc điểm riêng cần lưu ý, đặc biệt là sự chèn mức năng lượng của phân lớp $(n-1)d$ và ns .

2.1. Trật tự mức năng lượng và trật tự lớp electron

Khi viết cấu hình electron, các electron được điền vào các obitan theo thứ tự mức năng lượng từ thấp đến cao (quy tắc Klechkowski).

- **Thứ tự mức năng lượng:** $1s\ 2s\ 2p\ 3s\ 3p\ 4s\ 3d\ 4p\ 5s\ 4d\ldots$
- **Lưu ý:** Mức năng lượng của phân lớp $4s$ thấp hơn $3d$, nên electron sẽ điền vào $4s$ trước khi điền vào $3d$.

Tuy nhiên, khi viết cấu hình electron hoàn chỉnh, chúng ta cần sắp xếp lại các phân lớp theo đúng thứ tự lớp từ trong ra ngoài.

- **Cấu trúc viết gọn:** $[\text{Khí hiếm}]\ (n-1)d^a\ ns^b$
- **Ví dụ:** Với các nguyên tố chu kỳ 4, cấu hình được viết gọn là $[\text{Ar}]\ 3d^a\ 4s^b$.

2.2. Các bước viết cấu hình electron của nguyên tử

1. **Bước 1:** Xác định số hiệu nguyên tử (Z) của nguyên tố. Số Z bằng số electron.
2. **Bước 2:** Viết cấu hình electron theo thứ tự tăng dần của mức năng lượng. Ví dụ: $\ldots 3p^6\ 4s^x\ 3d^y$.
3. **Bước 3:** Sắp xếp lại các phân lớp theo thứ tự lớp từ trong ra ngoài. Ví dụ: $\ldots 3p^6\ 3d^y\ 4s^x$.

Ví dụ minh họa:

Ví dụ 1: Viết cấu hình electron của Sắt (Fe , $Z = 26$)

- **Bước 1:** $Z = 26$, có 26 electron.

- **Bước 2 (Theo mức năng lượng):** $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^6$.
- **Bước 3 (Sắp xếp lại):** $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$.
- **Viết gọn:** $[Ar] 3d^6 4s^2$.

Ví dụ 2: Viết cấu hình electron của Titan (Ti, Z = 22)

- **Bước 1:** Z = 22, có 22 electron.
- **Bước 2 (Theo mức năng lượng):** $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^2$.
- **Bước 3 (Sắp xếp lại):** $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^2 4s^2$.
- **Viết gọn:** $[Ar] 3d^2 4s^2$.

2.3. Trường hợp đặc biệt: Cấu hình bão hòa và bán bão hòa

Các cấu hình electron đạt trạng thái bão hòa (d^{10}) hoặc bán bão hòa (d^5) trên phân lớp d có xu hướng bền vững hơn. Do đó, có hiện tượng "nhảy" 1 electron từ phân lớp ns sang (n-1)d để đạt được cấu trúc bền này.

Ví dụ minh họa:

Ví dụ 1: Crom (Cr, Z = 24)

- **Cấu hình lý thuyết:** $[Ar] 3d^4 4s^2$.
- **Thực tế:** Một electron từ 4s chuyển sang 3d để tạo thành cấu hình bán bão hòa bền vững hơn.
- **Cấu hình đúng:** $[Ar] 3d^5 4s^1$.

Ví dụ 2: Đồng (Cu, Z = 29)

- **Cấu hình lý thuyết:** $[Ar] 3d^9 4s^2$.

- **Thực tế:** Một electron từ 4s chuyển sang 3d để tạo thành cấu hình bão hòa bền vững hơn.
- **Cấu hình đúng:** $[\text{Ar}] 3d^{10} 4s^1$.

3. Quy tắc viết cấu hình electron của ION kim loại chuyển tiếp

Đây là phần kiến thức quan trọng và thường gây nhầm lẫn. Khi nguyên tử kim loại chuyển tiếp nhường electron để tạo thành ion dương (cation), electron sẽ bị mất đi từ lớp ngoài cùng trước.

Quy tắc vàng: Mất electron ở lớp ngoài cùng (ns) trước, sau đó mới mất đến lớp sát ngoài cùng ((n-1)d).

3.1. Các bước viết cấu hình electron của ion

1. **Bước 1:** Viết cấu hình electron đầy đủ và đã sắp xếp của nguyên tử kim loại tương ứng.
2. **Bước 2:** Xác định số electron cần nhường (bằng điện tích dương của ion).
3. **Bước 3:** Bớt đi số electron tương ứng, bắt đầu từ phân lớp **ns** (lớp ngoài cùng) cho đến hết, sau đó mới bớt tiếp ở phân lớp **(n-1)d**.

Ví dụ minh họa:

Ví dụ 1: Viết cấu hình electron của ion Fe^{2+} và Fe^{3+} (từ Fe, Z = 26)

- **Bước 1 (Cấu hình e của Fe):** $[\text{Ar}] 3d^6 4s^2$.
- **Để tạo ion Fe^{2+} (nhường 2e):** Nguyên tử Fe sẽ mất 2 electron ở lớp ngoài cùng là lớp thứ 4 (phân lớp 4s).

- **Cấu hình e của Fe^{2+} :** $[\text{Ar}] 3d^6$.
- **Để tạo ion Fe^{3+} (nhường 3e):** Nguyên tử Fe mất 2 electron ở 4s trước, sau đó mất thêm 1 electron ở 3d.
- **Cấu hình e của Fe^{3+} :** $[\text{Ar}] 3d^5$.

Ví dụ 2: Viết cấu hình electron của ion Cu^{2+} (từ Cu, Z = 29)

- **Bước 1 (Cấu hình e của Cu):** $[\text{Ar}] 3d^{10} 4s^1$. (Lưu ý đây là trường hợp đặc biệt).
- **Để tạo ion Cu^{2+} (nhường 2e):** Nguyên tử Cu mất 1 electron ở lớp ngoài cùng 4s trước, sau đó mất thêm 1 electron ở phân lớp 3d.
- **Cấu hình e của Cu^{2+} :** $[\text{Ar}] 3d^9$.

Ví dụ 3: Viết cấu hình electron của ion Mn^{2+} (từ Mn, Z = 25)

- **Bước 1 (Cấu hình e của Mn):** $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^2$ hay $[\text{Ar}] 3d^5 4s^2$.
- **Để tạo ion Mn^{2+} (nhường 2e):** Nguyên tử Mn mất 2 electron ở lớp ngoài cùng 4s.
- **Cấu hình e của Mn^{2+} :** $[\text{Ar}] 3d^5$.

4. Bảng tổng hợp cấu hình electron

Dưới đây là bảng tổng hợp cấu hình electron của một số nguyên tử và ion kim loại chuyển tiếp chu kỳ 4 thường gặp.

Nguyên tố	Z	Cấu hình e nguyên tử	Ion thường gặp	Cấu hình e của ion
Scandi (Sc)	21	$[\text{Ar}] 3d^1 4s^2$	Sc^{3+}	$[\text{Ar}]$
Titan (Ti)	22	$[\text{Ar}] 3d^2 4s^2$	Ti^{2+}	$[\text{Ar}] 3d^2$
Crom (Cr)	24	$[\text{Ar}] 3d^5 4s^1$	Cr^{2+} Cr^{3+}	$[\text{Ar}] 3d^4$ $[\text{Ar}] 3d^3$
Mangan (Mn)	25	$[\text{Ar}] 3d^5 4s^2$	Mn^{2+}	$[\text{Ar}] 3d^5$
Sắt (Fe)	26	$[\text{Ar}] 3d^6 4s^2$	Fe^{2+} Fe^{3+}	$[\text{Ar}] 3d^6$ $[\text{Ar}] 3d^5$
Coban (Co)	27	$[\text{Ar}] 3d^7 4s^2$	Co^{2+}	$[\text{Ar}] 3d^7$
Đồng (Cu)	29	$[\text{Ar}] 3d^{10} 4s^1$	Cu^+ Cu^{2+}	$[\text{Ar}] 3d^{10}$ $[\text{Ar}] 3d^9$
Kẽm (Zn)	30	$[\text{Ar}] 3d^{10} 4s^2$	Zn^{2+}	$[\text{Ar}] 3d^{10}$

5. Bài tập vận dụng

- Câu hỏi 1:** Viết cấu hình electron của nguyên tử Niken (Ni, $Z = 28$) và ion Ni^{2+} .

Lời giải:

- Cấu hình e của Ni ($Z=28$): $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^8 4s^2$. Viết gọn: **[Ar] $3d^8 4s^2$** .
- Để tạo ion Ni^{2+} , nguyên tử Ni nhường đi 2 electron ở lớp ngoài cùng (lớp 4).
- Cấu hình e của Ni^{2+} : **[Ar] $3d^8$** .

2. **Câu hỏi 2:** Một ion M^{3+} có cấu hình electron lớp ngoài cùng là $3d^2$. Xác định nguyên tố M và viết cấu hình electron của nguyên tử M.

Lời giải:

- Cấu hình e của M^{3+} là **[Ar] $3d^2$** .
- Ion M^{3+} được tạo thành từ nguyên tử M bằng cách nhường đi 3 electron (2e ở 4s và 1e ở 3d).
- Để có lại cấu hình của M, ta cộng thêm 3 electron vào cấu hình của M^{3+} theo quy tắc: điền vào 4s trước, sau đó đến 3d.
- Cấu hình e của M: **[Ar] $3d^{2+1} 4s^2 = [Ar] 3d^3 4s^2$** .
- Tổng số electron của M là $18 (Ar) + 3 + 2 = 23$. Vậy $Z = 23$.
- Nguyên tố M là Vanadi (V).