

## LỜI NÓI ĐẦU

Chương trình Hoá học đại cương dành cho sinh viên các ngành kĩ thuật có 2 tín chỉ (30 tiết) gồm cả lí thuyết và thực hành. Để phục vụ cho việc dạy, học học phần Hoá học đại cương chúng tôi biên soạn tập bài giảng Hoá học đại cương, nội dung cuốn sách gồm 2 phần:

### **Phần 1. Lý thuyết hóa học đại cương**

Chương 1 : Cấu tạo nguyên tử và hệ thống tuần hoàn các nguyên tố hoá học

Chương 2 : Liên kết hoá học và cấu tạo phân tử

Chương 3 : Nhiệt động hoá học

Chương 4 : Tốc độ phản ứng hoá học. Cân bằng hoá học

Chương 5 : Dung dịch

Chương 6 : Điện hoá học

Chương 7 : Đại cương về các chất vô cơ

### **Phần 2. Thực hành hóa học đại cương**

Bài 1. Bài mở đầu

Bài 2. Cân bằng hóa học-Tốc độ phản ứng hóa học

Bài 3. Dung dịch

Bài 4. Điện hóa học

Bài 5. Tính chất một số chất vô cơ

Trong mỗi chương có các bài tập lí thuyết, cuối mỗi chương có bài tập và kèm theo đáp số.

Tác giả chân thành cảm ơn các bạn đồng nghiệp đã đóng góp ý kiến cho nội dung tập bài giảng.

Tác giả mong nhận được ý kiến đóng góp về nội dung, hình thức của tập bài giảng để lần tái bản sau thêm hoàn thiện hơn.

## MỤC LỤC

Lời nói đầu .....	1
-------------------	---

### PHẦN 1. LÝ THUYẾT HÓA HỌC ĐẠI CƯƠNG

#### Chương 1. Cấu tạo nguyên tử và hệ thống tuần hoàn các nguyên tố hoá học

1.1. Thành phần cấu tạo nguyên tử. Kích thước khối lượng nguyên tử.....	8
1.1.1. Thành phần cấu tạo nguyên tử. ....	8
1.1.2. Kích thước, khối lượng nguyên tử. ....	9
1.2. Cấu tạo nguyên tử.....	9
1.2.1. Cấu tạo nguyên tử theo quan điểm của cơ học cổ điển.....	9
1.2.2. Cấu tạo nguyên tử theo quan điểm của cơ học lượng tử.....	11
1.3. Bảng hệ thống tuần hoàn các nguyên tố hoá học. ....	19
1.3.1. Cấu tạo của bảng hệ thống tuần hoàn. ....	19
1.3.2. Sự biến đổi tuần hoàn trong cấu trúc vỏ electron của nguyên tử của các nguyên tố. ....	27
1.3.3. Những tính chất biến đổi tuần hoàn của các nguyên tử. ....	29
Câu hỏi và bài tập.....	33

#### Chương 2. Liên kết hoá học và cấu tạo phân tử

2.1. Những đặc trưng cơ bản của liên kết hoá học.....	37
2.1.1. Năng lượng liên kết.....	37
2.1.2. Độ dài liên kết.....	37
2.1.3. Góc liên kết.....	37
2.1.4. Độ bội liên kết.....	38
2.2. Liên kết ion.....	38
2.3. Liên kết cộng hoá trị.....	39
2.3.1. Liên kết cộng hoá trị theo thuyết kinh điển.....	39
2.3.2. Liên kết cộng hoá trị theo thuyết VB.....	40
2.3.3. Thuyết lai hoá.....	44

2.3.4. Liên kết cộng hóa trị theo thuyết MO .....	47
2.4. Phân tử không phân cực và phân tử phân cực.....	54
2.4.1. Phân tử không phân cực .....	54
2.4.2. phân tử phân cực .....	54
2.4.3. Mô men lưỡng cực của phân tử.....	55
2.5. Các liên kết khác. ....	56
2.5.1. Liên kết hiđro. ....	56
2.5.2. Liên kết cho - nhận. ....	57
2.5.3. Tương tác VandeVan. ....	58
2.6. Liên kết hoá học trong tinh thể.....	59
2.6.1. Khái niệm tinh thể.....	59
2.6.2. Phân loại các tinh thể.....	60
Câu hỏi và bài tập. ....	61

### **Chương 3. Nhiệt động hoá học**

3.1. Một số khái niệm. ....	66
3.1.1. Khí lí tưởng. ....	66
3.1.2. Hệ và môi trường .....	67
3.1.3. Quy ước dấu của năng lượng trao đổi giữa hệ và môi trường. ....	68
3.1.4. Thông số trạng thái. Hàm trạng thái.....	68
3.1.5. Trạng thái cân bằng. ....	68
3.1.6. Công và nhiệt.....	69
3.2. Nguyên lí thứ nhất của nhiệt động học.....	69
3.2.1. Nội năng. ....	69
3.2.2. Nội dung nguyên lí I.....	70
3.2.3. Nhiệt đẳng tích và nhiệt đẳng áp.....	70
3.2.4. Nhiệt phản ứng. ....	71
3.2.5. Các trạng thái chuẩn. ....	72
3.2.6. Định luật Hec và các hệ quả.....	72
3.2.7. Sự phụ thuộc của nhiệt phản ứng vào nhiệt độ. ....	73
3.3. Nguyên lí thứ hai của nhiệt động học.....	74

3.3.1. Entropi.....	74
3.3.2. Nguyên lí thứ hai của nhiệt động học.....	76
3.3.3. Sự biến thiên entropi trong một số quá trình.....	76
3.4. Nguyên lí thứ ba của nhiệt động học.....	78
3.5. Thế đẳng áp- đẳng nhiệt G.....	79
3.5.1. Tác động của các yếu tố entanpi $\Delta H$ và entropi $\Delta S$ lên chiều hướng diễn biến của các quá trình hóa học.....	79
3.5.2. Thế đẳng áp G.....	79
3.5.3. Thế đẳng áp tạo thành chuẩn.....	80
3.5.4. Chiều hướng của phản ứng hoá học.....	81
3.5.5. Sự biến thiên thế đẳng áp của phản ứng hoá học.....	82
Câu hỏi và bài tập.....	83

#### **Chương 4. Tốc độ phản ứng hoá học và cân bằng hoá học**

4.1. Tốc độ phản ứng hoá học.....	89
4.1.1. Khái niệm phản ứng đồng thể và dị thể.....	89
4.1.2. Tốc độ phản ứng.....	89
4.1.3. Các yếu tố ảnh hưởng đến tốc độ phản ứng.....	90
4.1.4. Phân loại phản ứng hoá học.....	96
4.1.5. Cơ chế phản ứng.....	97
4.2. Cân bằng hoá học.....	98
4.2.1. Một số khái niệm.....	98
4.2.2. Cân bằng hoá học.....	99
4.2.3. Những yếu tố ảnh hưởng đến cân bằng hoá học.....	102
Câu hỏi và bài tập.....	106

#### **Chương 5. Dung dịch**

5.1. Một số khái niệm và định nghĩa.....	111
5.1.1. Hệ phân tán.....	111
5.1.2. Khái niệm về dung dịch.....	112
5.2. Nồng độ dung dịch.....	112

5.2.1. Nồng độ phần trăm .....	112
5.2.2. Nồng độ mol .....	113
5.2.3. Nồng độ molan .....	113
5.2.4. Nồng độ phần mol .....	114
5.3. Tính chất của các dung dịch loãng chất tan không điện li và không bay hơi....	115
5.3.1. Định luật Raun 1 .....	115
5.3.2. Định luật Raun 2 .....	116
5.3.3. Áp suất thẩm thấu .....	117
5.3.4. Xác định phân tử khối của chất tan .....	119
5.4. Dung dịch chất điện li .....	120
5.4.1. Tính chất bất thường của các dung dịch axit, bazơ và muối .....	120
5.4.2. Một số định nghĩa và khái niệm .....	121
5.4.3. Sự điện li của nước. Khái niệm về pH.....	124
5.4.4. Thuyết axit - bazơ.....	125
5.4.5. Hằng số điện li axit và hằng số điện li bazơ .....	126
5.4.6. Tính pH của các dung dịch.....	128
5.4.7. Dung dịch đệm.....	129
5.4.8. Sự thủy phân của muối .....	131
5.4.9. Chất chỉ thị màu axit – bazơ.....	133
5.4.10. Cân bằng trong dung dịch của chất điện li ít tan. Tích số tan .....	134
5.5. Dung dịch keo.....	136
5.5.1. Những tính chất cơ bản của dung dịch keo .....	136
5.5.2. Cấu tạo của hạt keo.....	137
5.5.3. Vai trò của các dung dịch keo .....	138
Câu hỏi và bài tập .....	139

## **Chương 6. Điện hoá học**

6.1. Phản ứng oxi hoá - khử.....	144
6.1.1. Một số khái niệm .....	144
6.1.2. Cân bằng phương trình phản ứng oxi hoá - khử.....	146
6.2. Nguyên tắc biến hoá năng thành điện năng.....	148

6.3. Thế điện cực .....	149
6.3.1. Các loại điện cực-thế điện cực .....	149
6.3.2. Thế điện cực chuẩn .....	152
6.3.3. Các yếu tố ảnh hưởng đến thế khử của một cặp oxi hóa khử .....	152
6.4. Chiều và hằng số cân bằng của các phản ứng oxi hoá khử .....	153
6.4.1. Chiều phản ứng .....	153
6.4.2. Hằng số cân bằng của phản ứng oxi hoá-khử .....	154
6.5. Pin và ắc quy .....	155
6.5.1. Khái niệm .....	155
6.5.2. Suất điện động của pin điện hóa .....	155
6.5.3. Giới thiệu một số loại pin và acquy .....	157
6.6. Điện phân .....	164
6.6.1. Định nghĩa .....	164
6.6.2. Điện phân các chất nguyên chất nóng chảy .....	164
6.6.3. Điện phân dung dịch chất điện li trong nước .....	165
6.6.4. Định luật điện phân .....	167
6.7. Sự ăn mòn kim loại và hợp kim .....	168
6.7.1. Khái niệm về sự ăn mòn kim loại .....	168
6.7.2. Các phương pháp chống ăn mòn kim loại.....	169
Câu hỏi và bài tập.....	170

## **Chương 7. Đại cương về các chất vô cơ**

7.1. Kim loại và phi kim.....	175
7.1.1. Kim loại.....	175
7.1.2. Phi kim .....	177
7.2. Một vài nét về các bộ nguyên tố .....	179
7.2.1. Các nguyên tố bộ s .....	179
7.2.2. Các nguyên tố bộ p.....	181
7.2.3. Các nguyên tố bộ d.....	185
7.3. Khái niệm về phức chất .....	188
Câu hỏi và bài tập.....	190

## PHẦN 2. THỰC HÀNH HÓA HỌC ĐẠI CƯƠNG

Bài 1. Bài mở đầu .....	193
Bài 2. Cân bằng hóa học-Tốc độ phản ứng hóa học.....	203
Bài 3. Dung dịch.....	207
Bài 4. Điện hóa học .....	209
Bài 5. Tính chất một số chất vô cơ.....	212

## PHỤ LỤC

Phụ lục 1. Tích số tan một số chất ở 298K .....	215
Phụ lục 2. Hằng số phân li một số bazơ yếu ở đkc.....	217
Phụ lục 3. Hằng số phân li một số axit ở đkc .....	218
Phụ lục 4. Giá trị thế nhiệt động của một số chất ở 298K.....	219
Phụ lục 5. Thế oxi hóa-Khử tiêu chuẩn ở 298K ở một số chất .....	225
<b>Tài liệu tham khảo.....</b>	<b>226</b>

## PHẦN 1. LÝ THUYẾT HÓA HỌC ĐẠI CƯƠNG

### CHƯƠNG 1. CẤU TẠO NGUYÊN TỬ VÀ HỆ THỐNG TUẦN HOÀN CÁC NGUYÊN TỐ HOÁ HỌC

#### 1.1. Thành phần cấu tạo của nguyên tử. Kích thước, khối lượng nguyên tử

##### 1.1.1. Thành phần cấu tạo của nguyên tử

Ngày nay, người ta đã biết rằng nguyên tử gồm có hạt nhân mang điện tích dương và lớp vỏ mang điện tích âm.

##### a. Lớp vỏ

Lớp vỏ nguyên tử gồm các hạt mang điện âm gọi là *electron* (hay điện tử)

Điện tích của các hạt electron đều bằng nhau và bằng  $-1,602 \cdot 10^{-19} C$ . Đây là điện tích nhỏ nhất vì vậy được gọi là điện tích nguyên tố.

##### b. Hạt nhân

Hạt nhân nguyên tử gồm các hạt *proton* và *notron*.

*Proton* có điện tích đúng bằng điện tích của electron nhưng ngược dấu. Để thuận tiện người ta quy ước lấy điện tích nguyên tố làm đơn vị, khi đó điện tích của electron là 1- và điện tích của proton là 1+.

*Notron* không mang điện, có khối lượng xấp xỉ bằng khối lượng của proton. Khối lượng, điện tích, kí hiệu của electron, proton, notron ghi ở bảng 1.1

**Bảng 1.1.** Khối lượng, điện tích của các hạt electron, proton, notron

Tên	Kí hiệu	Khối lượng	Điện tích
Electron	E	$m_e = 9,1095 \cdot 10^{-31} \text{kg}$ $m_e \approx 0,549 \cdot 10^{-3} \text{đvC}$	$-1,602 \cdot 10^{-19} C$ 1-
Proton	P	$m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{kg}$ $m_p \approx 1 \text{đvC}$	$+1,602 \cdot 10^{-19} C$ 1+
Notron	N	$m_n = 1,6750 \cdot 10^{-27} \text{kg}$ $m_n \approx 1 \text{đvC}$	0



### 1.1.2. Kích thước, khối lượng của nguyên tử

Ngày nay, khoa học có thể xác định được kích thước, khối lượng của nguyên tử và các thành phần cấu tạo nguyên tử.

*Kích thước:* Nếu hình dung nguyên tử như một khối cầu thì nó có đường kính khoảng  $10^{-10}$  m hay  $1 \text{ \AA}$ . Nguyên tử nhỏ nhất là hiđro có bán kính khoảng  $0,53 \text{ \AA}$  ( $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$ ).

Đường kính của hạt nhân nguyên tử còn nhỏ hơn, vào khoảng  $10^{-4} \text{ \AA}$

Đường kính của electron và proton lại còn nhỏ hơn nhiều: khoảng  $10^{-7} \text{ \AA}$

*Khối lượng:* Khối lượng một nguyên tử vào khoảng  $10^{-26}$  kg. Nguyên tử nhẹ nhất là hiđro có khối lượng là  $1,67 \cdot 10^{-27}$  kg

## 1.2. Cấu tạo nguyên tử

### 1.2.1. Cấu tạo nguyên tử theo quan điểm của cơ học cổ điển

#### a. Thuyết Ruzopho (Rutherford) 1911

Rutherford cho rằng: *Các electron quay xung quanh hạt nhân giống như các hành tinh quay xung quanh mặt trời.*

Theo thuyết điện động lực học, hạt mang điện như electron khi chuyển động tròn sẽ phát ra năng lượng dưới dạng bức xạ. Như thế, electron liên tục mất năng lượng và cuối cùng rơi vào hạt nhân do đó nguyên tử không tồn tại. Mặt khác, theo thuyết Rutherford quang phổ phát xạ của nguyên tử phải là quang phổ liên tục, nhưng thực tế cho thấy rằng quang phổ phát xạ của nguyên tử là quang phổ vạch.

#### b. Thuyết Bo (Bohr) 1913

Thuyết Bo gồm ba định đề:

i. *Electron chuyển động quanh hạt nhân trên những quỹ đạo tròn đồng tâm, bán kính tỉ lệ với nhau theo bình phương của những số nguyên*

$$r_1: r_2: r_3: \dots: r_n = 1^2: 2^2: 3^2: \dots: n^2 \quad \text{hay: } r_n = r_1 n^2$$

n là số lượng tử chính

- *Khi chuyển động trên quỹ đạo, electron không phát hay thu năng lượng do đó bán kính không thay đổi.*

Sự thu hoặc phát năng lượng chỉ xảy ra khi electron chuyển động từ quỹ đạo này đến quỹ đạo khác.

- Khi electron chuyển động từ quỹ đạo này đến quỹ đạo khác, nó sẽ thu hoặc phát một lượng tử năng lượng. Năng lượng đó có thể thể hiện dưới dạng bức xạ điện

tử có tần số  $\nu$  (nuy),  $\epsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ .

Thuyết Bo đã giải thích thành công nguyên nhân sự phát xạ, tính gián đoạn quang phổ phát xạ của nguyên tử hiđro.

Khi phóng điện qua hiđro, thì electron ở quỹ đạo K ( $n = 1$ ) trong các nguyên tử hiđro chuyển đến mức năng lượng cao hơn ( $n = 2,3,4,\dots$ ). Các trạng thái mới này của nguyên tử hiđro được gọi là trạng thái kích thích. Ở trạng thái kích thích, các electron luôn có xu hướng chuyển về mức năng lượng thấp hơn (nhảy về quỹ đạo gần hạt nhân hơn). Trong quá trình nhảy về, sẽ có sự phát năng lượng từng lượng tử, dưới dạng các bức xạ ánh sáng có tần số  $\nu$ .

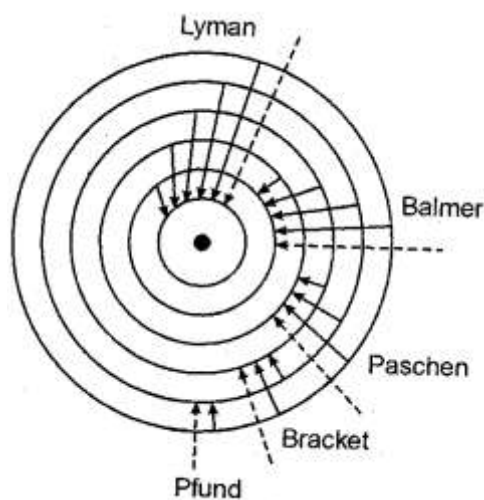
Nếu  $n_d \geq 2, n_c = 1$  ta được các vạch trong dãy Lyman

Nếu  $n_d \geq 3, n_c = 2$  ta được các vạch trong dãy Balmer

Nếu  $n_d \geq 4, n_c = 3$  ta được các vạch trong dãy Paschen

Nếu  $n_d \geq 5, n_c = 4$  ta được các vạch trong dãy Bracket

Nếu  $n_d \geq 6, n_c = 5$  ta được các vạch trong dãy Pfund



**Hình 1.1.** Sự xuất hiện các dãy phổ của nguyên tử hiđro theo thuyết Bo

Vì  $n_d, n_c$  có những giá trị gián đoạn nên ở hay  $\nu$  cũng phải có những giá trị gián đoạn. Do đó quang phổ phải là quang phổ vạch (hình 1.1).

Thuyết Bo đã thành công trong việc giải thích quang phổ hiđro. Các phép tính về bước sóng, độ dài sóng của các vạch quang phổ...trong nguyên tử phù hợp với thực nghiệm.

### c. *Thuyết Xomophen (Sommerfeld)*

Theo Xomophen mỗi quỹ đạo Bo thực ra là một lớp quỹ đạo, trong đó có cả quỹ đạo tròn và quỹ đạo elip. Xomophen cũng đưa ra thêm số lượng tử phụ  $l$  để mô tả trạng thái năng lượng của electron trong nguyên tử.

Thuyết Bo-Xomophen không giải thích được thật chi tiết quang phổ của các nguyên tử nhiều electron. Bởi vậy mẫu nguyên tử Bo-Xomophen cần được thay thế bằng những quan điểm hiện đại của cơ học lượng tử.

## 1.2.2. Cấu tạo nguyên tử theo quan điểm hiện đại của cơ học lượng tử

### a. *Những tiền đề của cơ học lượng tử*

- Bản chất sóng hạt của electron

Theo quan điểm của vật lý hiện đại photon *vừa có bản chất sóng*, nghĩa là có tần số dao động  $\nu$  và tốc độ chuyển động  $c$ ; *vừa có bản chất hạt*, nghĩa là có khối lượng  $m$  và cùng tốc độ chuyển động  $c$ . Tính chất nhị nguyên của photon được thể hiện bằng biểu thức:  $\lambda = \frac{h}{mc}$ .

Trong đó: ở mô tả tính chất sóng,  $m$  mô tả tính chất hạt

Năm 1924 Đơ Broi (L de Broglie) đưa ra giả thuyết là không phải chỉ có photon mới có bản chất sóng mà những hạt vi mô như electron chẳng hạn cũng có tính chất đó. Chuyển động của các hạt vi mô có thể xem là chuyển động sóng, bước sóng của chuyển động đó tuân theo hệ thức:  $\lambda = \frac{h}{mv}$ . (1.1)

Ít năm sau quan điểm về bản chất sóng của electron đã được Davison (C.Davison) và Geme (L.Germen) chứng minh bằng thực nghiệm.

- Hệ thức bất định Hayxenbe (W Heisenberg) 1927: *Không thể xác định đồng thời chính xác cả vị trí và tốc độ của vi hạt.*

Chẳng hạn, một hạt chuyển động theo phương  $x$  với độ bất định về toạ độ là  $\Delta x$  và độ bất định về tốc độ  $\Delta v_x$  thì hệ thức bất định có dạng:

$$\Delta x \cdot \Delta v_x \geq \frac{h}{2\pi m} \quad (1.2)$$

Trong đó:  $h$  là hằng số Plan (Planck);  $m$  là khối lượng của vi hạt

Áp dụng hệ thức bất định cho nguyên tử ta thấy electron không thể quay trên quỹ đạo quanh hạt nhân chính xác như Bo. Điều đó có nghĩa là không thể áp dụng cơ học cổ điển của Niuton cho các vi hạt mà phải xây dựng môn cơ học mới, đó là cơ học lượng tử.

**b. Phương trình Srođinhơ (E.Schrodinger)**

Cơ học lượng tử nghiên cứu chuyển động của các hạt vi mô. Cơ sở của cơ học lượng tử là phương trình sóng Srođinhơ. Dạng tổng quát của phương trình Srođinhơ như sau:  $H\Psi = E\Psi$  (1.3)

Trong đó H: Toán tử Haminhton (Hamilton),  $H = -\frac{h^2}{8\pi^2m}\Delta + U$ ;

h: Hằng số Plan;

$\Delta$ : Toán tử Laplac (Laplace),  $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$  ;

m: Khối lượng electron;

U: Thế năng của electron;

E: Năng lượng toàn phần của electron.

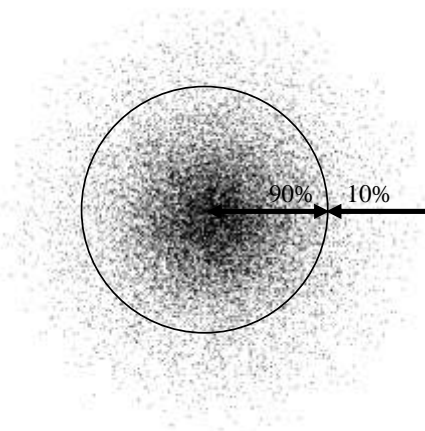
Giải phương trình (1.3) sẽ tìm được hàm  $\psi$  của electron và năng lượng của electron tương ứng với nó. Việc giải chính xác phương trình Srođinhơ chỉ thực hiện được với nguyên tử và ion có một electron. Với các nguyên tử nhiều electron phải dùng phương pháp gần đúng. Kết quả của phương pháp này giải thích thoả mãn các số liệu thực nghiệm.

Khi giải phương trình Srođinhơ đối với nguyên tử hiđro thu được các kết quả sau:

A. Hàm sóng  $\psi$  phụ thuộc vào ba số nguyên n, l, m (m: số lượng tử từ).

B. Năng lượng của electron biến thiên gián đoạn theo n.

Xác suất tìm thấy electron cực đại ở



**Hình 1.2.** Đám mây electron của nguyên tử hiđro.

khoảng cách đối với hạt nhân bằng  $0,53 \text{ \AA}$ . (hình 1.2)

Như thế xác suất có mặt electron xung quang hạt nhân nguyên tử khoảng 90% gọi là mây electron. Mây electron của nguyên tử hiđro là hình cầu bán kính khoảng  $0,53 \text{ \AA}$ .

Như vậy, trong cơ học lượng tử không còn tồn tại khái niệm quỹ đạo mà được thay bằng obitan nguyên tử. Một obitan nguyên tử là một hàm  $\psi$  của electron trong nguyên tử.

*Vậy, vùng không gian trong đó xác suất tìm thấy electron lớn nhất là obitan nguyên tử.*

### **c. Bốn số lượng tử đặc trưng cho trạng thái của electron trong nguyên tử**

Kết quả giải phương trình Srođinghơ cho thấy hàm sóng  $\psi$  của electron phụ thuộc vào ba số lượng tử  $n, l, m$  và được kí hiệu là  $\psi_{nlm}$ . Hàm  $\psi_{nlm}$  ứng với ba giá trị của  $n, l, m$  được gọi là một obitan nguyên tử.

Những kết quả nghiên cứu lí thuyết và thực nghiệm cho thấy việc mô tả một electron trong nguyên tử là không đầy đủ khi chỉ sử dụng ba số lượng tử trên, mà cần phải đưa ra một số lượng tử nữa là *số lượng tử spin  $m_s$* .

- Số lượng tử chính ( $n$ )

Các electron của nguyên tử được chia thành từng lớp electron, mỗi lớp được đặc trưng bằng *một giá trị của số lượng tử  $n$* . Số lượng tử  $n$  nhận các giá trị nguyên dương từ 1 trở lên.

Giá trị của $n$	1	2	3	4	...
Kí hiệu lớp electron	K	L	M	N	...

Đối với nguyên tử hiđro hoặc ion một electron như  $\text{He}^+, \text{Li}^{2+}$ ,  $n$  đặc trưng cho mức năng lượng của electron trong nguyên tử hay ion được xét và được tính bằng

công thức 
$$E = -13,6 \frac{Z^2}{n^2} \text{eV}. \quad (1.4)$$

Trong đó,  $Z$  là Số proton của nguyên tử được xét.

Đối với nguyên tử nhiều electron, ngoài sự tương tác của các electron với hạt nhân, còn có sự tương tác giữa các electron với nhau, nên năng lượng của electron còn phụ thuộc vào hai số lượng tử, đó là số lượng tử  $n$  và số lượng tử  $l$ . Vì vậy trong

trường hợp này giá trị của  $n$  chỉ đặc trưng cho mức năng lượng trung bình của một lớp.

- Số lượng tử phụ ( $l$ )

Mỗi lớp electron từ  $n = 2$  trở lên gồm nhiều phân lớp. Mỗi phân lớp electron đặc trưng bằng một giá trị của số lượng tử  $l$ . Số phân lớp của mỗi lớp bằng giá trị  $n$  chỉ lớp đó.

Số lượng tử phụ  $l$  nhận các giá trị nguyên dương từ 0 đến  $(n - 1)$

Giá trị của  $l$  : 0 1 2 3... $(n - 1)$

Ký hiệu các phân lớp : s p d f...

Để chỉ phân lớp thuộc lớp nào người ta ghi giá trị của  $n$  chỉ lớp đó trước ký hiệu phân lớp.

Ví dụ: Lớp K ( $n = 1$ ) có một phân lớp 1s (số 1 chỉ lớp  $n = 1$ , chữ s chỉ phân lớp  $l = 0$ );

Lớp L ( $n = 2$ ) có hai phân lớp: 2s ( $n = 2; l = 0$ ) và 2p ( $n = 2; l = 1$ );

Lớp M ( $n = 3$ ) có ba phân lớp: 3s ( $n = 3; l = 0$ ); 3p ( $n = 3; l = 1$ ) và 3d ( $n = 3; l = 2$ );

Lớp N ( $n = 4$ ) có bốn phân lớp: 4s ( $n = 4; l = 0$ ); 4p ( $n = 4; l = 1$ ); 4d ( $n = 4; l = 2$ ) và 4f ( $n = 4; l = 3$ ).

**ý nghĩa:**

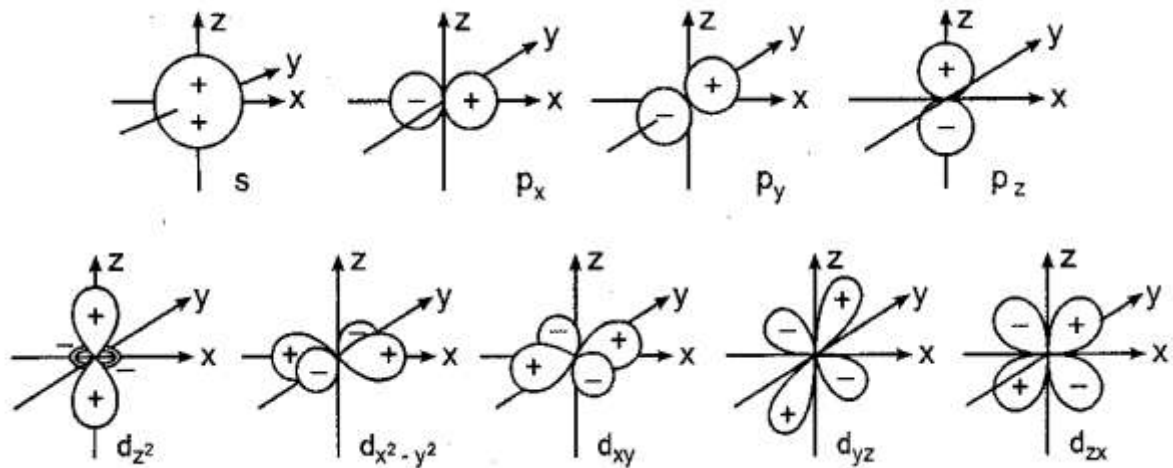
- $l$  đặc trưng cho phân lớp electron;

- $l$  đặc trưng cho phân mức năng lượng của các electron trong lớp electron khảo sát, trong một lớp electron năng lượng của các electron tăng theo thứ tự ns - np - nd - nf;

- $l$  đặc trưng cho hình dạng obitan (hình 1.3) và mômen động lượng obitan, nghĩa là mỗi giá trị của  $l$ , obitan có hình dạng xác định và mômen động lượng obitan có giá trị xác định.

$$\mu = \frac{h}{2\pi} \sqrt{l(l+1)}$$

$\mu$ : Mômen động lượng obitan,  $h$ : Hằng số Plan.



**Hình 1.3.** Hình dạng và sự định hướng các AO s, p và d

- Số lượng tử từ m

*Số lượng tử từ đặc trưng cho sự định hướng của orbital trong không gian (hình 1.3). Nói cách khác nó đặc trưng cho hình chiếu của vector momen động lượng orbital*

theo phương z:  $\mu_z = \frac{h}{2\pi} m$ .

$\mu_z$ : Hình chiếu của vector momen động lượng orbital theo phương z.

Số giá trị của số lượng tử từ phụ thuộc vào số lượng tử phụ l. Ứng với một giá trị của l có  $(2l + 1)$  giá trị của m từ -l đến +l (kể cả giá trị 0).

Giá trị của l	Giá trị của m
0	0
1	-1, 0, 1
2	-2, -1, 0, 1, 2
3	-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3


- Số lượng tử spin  $m_s$


Ngoài ba số lượng tử đặc trưng cho orbital, electron còn được đặc trưng bởi *số lượng tử spin*. Số lượng tử spin đặc trưng cho sự chuyển động tự quay của electron

xung quanh trục riêng của nó, tương tự như quả đất tự quay xung quanh trục của mình. Chuyển động này gọi là chuyển động spin đặc trưng bởi momen động lượng spin  $m_s$ . Số lượng tử spin  $m_s$  chỉ có thể có hai giá trị là  $-\frac{1}{2}$  và  $+\frac{1}{2}$ .

#### d. Ô lượng tử

Mỗi hàm sóng  $\psi_{nlm}$  của electron trong nguyên tử là kết quả giải phương trình Schrödinger được gọi là một obitan nguyên tử (AO - Atomic Orbital). Mỗi obitan nguyên tử thường được biểu diễn bằng một ô vuông và được gọi là ô lượng tử.

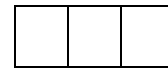
Lớp K ( $n = 1$ )  $\rightarrow l = 0 \rightarrow m = 0$  : ba giá trị này ứng với obitan 1s và được biểu diễn bằng một ô lượng tử 

Lớp L ( $n = 2$ )  $\rightarrow l = 0 \rightarrow m = 0$ , có obitan 2s: 

$\rightarrow l = 1 \rightarrow m = -1$ , có obitan  $2p_y$


$\rightarrow m = 0$ , có obitan  $2p_z$

$\rightarrow m = 1$ , có obitan  $2p_x$



Ba obitan 2p cùng năng lượng nên được viết dưới dạng ba ô lượng tử liền nhau.

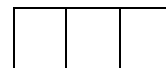
Lớp M ( $n = 3$ )

$\rightarrow l = 0 \rightarrow m = 0$ , có obitan 3s: 

$\rightarrow l = 1 \rightarrow m = -1$ , có obitan  $3p_y$

$\rightarrow m = 0$ , có obitan  $3p_z$

$\rightarrow m = 1$ , có obitan  $3p_x$



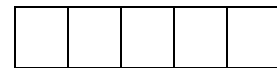
$\rightarrow l = 2 \rightarrow m = -2$ , có obitan  $3d_{xy}$

$\rightarrow m = -1$ , có obitan  $3d_{yz}$

$\rightarrow m = 0$ , có obitan  $3d_{z^2}$

$\rightarrow m = 1$ , có obitan  $3d_{zx}$

$\rightarrow m = 2$ , có obitan  $3d_{(x^2 - y^2)}$



Năm obitan 3d cùng năng lượng được viết năm ô lượng tử liền nhau.

Như thế số lượng tử  $l$  xác định hình dạng các obitan, còn số lượng tử  $m$  xác định hướng của các obitan xung quanh hạt nhân nguyên tử. Các obitan s ứng với  $l =$



$0$  và  $m = 0$  có dạng hình cầu. Các obitan  $p$  ứng với  $l = 1$  có dạng hình quả tạ đôi hay hình số tám nổi, ba giá trị  $m = -1, 0, 1$  ứng với ba sự định hướng khác nhau của ba obitan  $p$  xung quanh hạt nhân. Các obitan  $d$  ( $l = 2$ ) là hình khối bốn cánh tiếp xúc với nhau ở hạt nhân. Có năm obitan ứng với năm giá trị của  $m$  là  $-2, -1, 0, 1, 2$ . (hình 1.3).

**e. Sự phân bố các electron trong nguyên tử ở trạng thái cơ bản**

- Nguyên lý loại trừ (nguyên lí Pauli)

*Trong một nguyên tử không thể tồn tại hai electron có cùng giá trị của bốn số lượng tử  $n, l, m$  và  $m_s$ .*

Theo nguyên lý này, trong một nguyên tử nếu hai electron đã có ba số lượng tử  $n, l, m$  giống nhau thì số lượng tử thứ tư  $m_s$  phải có giá trị khác nhau.

Từ nguyên lý này đã xác định được:

*Số electron tối đa trong một ô lượng tử là 2, người ta kí hiệu mỗi electron bằng một mũi tên trong một ô lượng tử ;  $\uparrow\downarrow$*

*Số electron tối đa trong một phân lớp là  $2(2l + 1)$ ;*

*Số electron tối đa trong một lớp là  $2n^2$ .*

**Bảng 1.2.** Số electron tối đa trên một số lớp và phân lớp

Lớp n	K			L			M			N			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Phân lớp l	0	0	1	0	1	2	0	1	2	0	1	2	3
kí hiệu phân lớp	s	S	p	s	p	d	s	p	d	s	p	d	f
Số e tối đa ở phân lớp l	2	2	6	2	6	10	2	6	10	2	6	10	14
Số e tối đa ở lớp n	2	8		18			32						

- Nguyên lý vững bền: *Trong nguyên tử, các electron ở trạng thái cơ bản sẽ được xếp tuần tự vào các obitan ứng với các phân mức năng lượng từ thấp đến cao.*

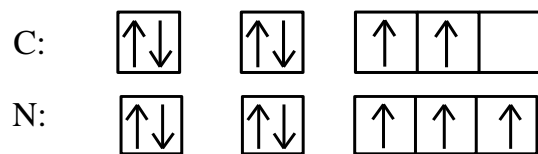
Thực nghiệm cho biết thứ tự đó như sau:

$$1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s < 3d < 4p < 5s < 4d < 5p < 6s < 4f < 5d < 6p < 7s < 5f < \dots$$

Ví dụ: Nguyên tử Mn có số thứ tự là 25 trong bảng hệ thống tuần hoàn nên có 25e ( $Z = 25$ ). Việc sắp xếp các electron vào nguyên tử Mangan như sau:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^2$ . Như vậy số electron ở các lớp như sau: Lớp K (2e), lớp L (8e), lớp M (7e), lớp N (2e). Đó là cấu hình electron của nguyên tử *dưới dạng chữ*.

- Quy tắc Hun: Trong một phân lớp chưa đủ số electron tối đa, các electron có xu hướng phân bố đều vào các obitan (các ô lượng tử) sao cho có số electron độc thân với các giá trị số lượng tử spin cùng dấu lớn nhất.

Ví dụ: Nguyên tử C ( $Z = 6$ ), N ( $Z = 7$ ) ở trạng thái cơ bản có cấu hình electron như sau:

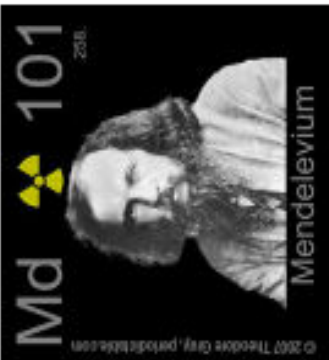
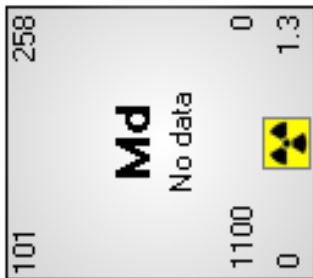


Một electron chiếm một AO (ô lượng tử) được gọi là electron độc thân.

Cấu hình electron nguyên tử được viết dưới dạng ô lượng tử như trên gọi là cấu hình electron nguyên tử dưới dạng *ô lượng tử*.

### 1.3. Bảng hệ thống tuần hoàn các nguyên tố hoá học

#### 1.3.1. Cấu tạo của bảng tuần hoàn (bảng 1.3)

																																																																																																																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18																																																																																				
H	He	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	H	He	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar																																																																																				
1.008	4.003	6.941	9.012	10.81	12.01	14.01	16.00	19	20.18	22.99	24.31	26.98	28.09	30.97	32.07	35.45	39.95	1.008	4.003	6.941	9.012	10.81	12.01	14.01	16.00	19	20.18	22.99	24.31	26.98	28.09	30.97	32.07	35.45	39.95																																																																																				
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36																																																																																				
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr																																																																																				
39.10	40.08	44.96	47.88	50.94	52.00	54.94	55.85	58.93	58.69	63.55	65.39	69.72	72.59	74.92	78.96	79.90	83.80	39.10	40.08	44.96	47.88	50.94	52.00	54.94	55.85	58.93	58.69	63.55	65.39	69.72	72.59	74.92	78.96	79.90	83.80																																																																																				
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54																																																																																				
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe																																																																																				
85.47	87.62	88.91	91.22	92.91	95.94	[98]	101.1	102.9	106.4	107.9	112.4	114.8	118.7	121.8	127.6	126.9	131.3	85.47	87.62	88.91	91.22	92.91	95.94	[98]	101.1	102.9	106.4	107.9	112.4	114.8	118.7	121.8	127.6	126.9	131.3																																																																																				
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86																																																																																				
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn																																																																																				
132.9	137.3	138.9	178.5	180.9	183.9	186.2	190.2	190.2	195.1	197	200.5	204.4	207.2	209.0	[210]	[210]	[222]	132.9	137.3	138.9	178.5	180.9	183.9	186.2	190.2	190.2	195.1	197	200.5	204.4	207.2	209.0	[210]	[210]	[222]																																																																																				
87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118																																																																																				
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Uub	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Uub	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo																																																																																				
[223]	[226]	[227]	[257]	[260]	[263]	[262]	[265]	[266]	[271]	[272]	[285]	[284]	[289]	[288]	[292]	[292]	[ ]	[223]	[226]	[227]	[257]	[260]	[263]	[262]	[265]	[266]	[271]	[272]	[285]	[284]	[289]	[288]	[292]	[292]	[ ]																																																																																				
																		<p>Lanthanide Series</p> <table border="1"> <tr> <td>58</td><td>59</td><td>60</td><td>61</td><td>62</td><td>63</td><td>64</td><td>65</td><td>66</td><td>67</td><td>68</td><td>69</td><td>70</td><td>71</td> </tr> <tr> <td>Ce</td><td>Pr</td><td>Nd</td><td>Pm</td><td>Sm</td><td>Eu</td><td>Gd</td><td>Tb</td><td>Dy</td><td>Ho</td><td>Er</td><td>Tm</td><td>Yb</td><td>Lu</td> </tr> <tr> <td>140.1</td><td>140.9</td><td>144.2</td><td>[147]</td><td>150.4</td><td>152</td><td>157.3</td><td>158.9</td><td>162.5</td><td>164.9</td><td>167.3</td><td>168.9</td><td>173</td><td>175</td> </tr> </table> <p>Actinide Series</p> <table border="1"> <tr> <td>90</td><td>91</td><td>92</td><td>93</td><td>94</td><td>95</td><td>96</td><td>97</td><td>98</td><td>99</td><td>100</td><td>101</td><td>102</td><td>103</td> </tr> <tr> <td>Th</td><td>Pa</td><td>U</td><td>Np</td><td>Pu</td><td>Am</td><td>Cm</td><td>Bk</td><td>Cf</td><td>Es</td><td>Fm</td><td>Md</td><td>No</td><td>Lr</td> </tr> <tr> <td>232</td><td>[231]</td><td>[238]</td><td>[237]</td><td>[242]</td><td>[243]</td><td>[247]</td><td>[247]</td><td>[249]</td><td>[254]</td><td>[253]</td><td>[256]</td><td>[254]</td><td>[257]</td> </tr> </table>																		58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	140.1	140.9	144.2	[147]	150.4	152	157.3	158.9	162.5	164.9	167.3	168.9	173	175	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	232	[231]	[238]	[237]	[242]	[243]	[247]	[247]	[249]	[254]	[253]	[256]	[254]	[257]
58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71																																																																																																										
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu																																																																																																										
140.1	140.9	144.2	[147]	150.4	152	157.3	158.9	162.5	164.9	167.3	168.9	173	175																																																																																																										
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103																																																																																																										
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr																																																																																																										
232	[231]	[238]	[237]	[242]	[243]	[247]	[247]	[249]	[254]	[253]	[256]	[254]	[257]																																																																																																										

**a. Chu kì**

Bảng hệ thống tuần hoàn gồm bảy chu kì.

Các nguyên tử của các nguyên tố trong cùng một chu kì đều có số lớp electron bằng nhau và bằng số thứ tự chu kì chứa chúng.

Ví dụ: Các nguyên tử của các nguyên tố chu kì 2 đều có hai lớp K và L.

**Bảng 1.4.** Cấu hình electron của các nguyên tố

Chu kì	Z	Nguyên tố	Cấu hình electron
1	1	H	$1s^1$
	2	He	$1s^2$
2	3	Li	$[\text{He}] 2s^1$
	4	Be	$[\text{He}] 2s^2$
	5	B	$[\text{He}] 2s^2 2p^1$
	6	C	$[\text{He}] 2s^2 2p^2$
	7	N	$[\text{He}] 2s^2 2p^3$
	8	O	$[\text{He}] 2s^2 2p^4$
	9	F	$[\text{He}] 2s^2 2p^5$
	10	Ne	$[\text{He}] 2s^2 2p^6$
3	11	Na	$[\text{Ne}] 3s^1$
	12	Mg	$[\text{Ne}] 3s^2$
	13	Al	$[\text{Ne}] 3s^2 3p^1$
	14	Si	$[\text{Ne}] 3s^2 3p^2$
	15	P	$[\text{Ne}] 3s^2 3p^3$

3	16	S	$[\text{Ne}] 3s^2 3p^4$
	17	Cl	$[\text{Ne}] 3s^2 3p^5$
	18	Ar	$[\text{Ne}] 3s^2 3p^6$
4	19	K	$[\text{Ar}] 4s^1$
	20	Ca	$[\text{Ar}] 4s^2$
	21	Sc	$[\text{Ar}] 4s^2 3d^1$
	22	Ti	$[\text{Ar}] 4s^2 3d^2$
	23	V	$[\text{Ar}] 4s^2 3d^3$
	24	Cr	$[\text{Ar}] 4s^2 3d^5$
	25	Mn	$[\text{Ar}] 4s^1 3d^5$
	26	Fe	$[\text{Ar}] 4s^2 3d^6$
	27	Co	$[\text{Ar}] 4s^2 3d^7$
	28	Ni	$[\text{Ar}] 4s^2 3d^8$
	29	Cu	$[\text{Ar}] 4s^1 3d^{10}$
	30	Zn	$[\text{Ar}] 4s^2 3d^{10}$
	31	Ga	$[\text{Ar}] 4s^2 3d^{10} 4p^1$
	32	Ge	$[\text{Ar}] 4s^2 3d^{10} 4p^2$
	33	As	$[\text{Ar}] 4s^2 3d^{10} 4p^3$
	34	Se	$[\text{Ar}] 4s^2 3d^{10} 4p^4$
	35	Br	$[\text{Ar}] 4s^2 3d^{10} 4p^5$
	36	Kr	$[\text{Ar}] 4s^2 3d^{10} 4p^6$

<b>5</b>	37	Rb	[Kr] 5s <sup>1</sup>
	38	Sr	[Kr] 5s <sup>2</sup>
	39	Y	[Kr] 5s <sup>2</sup> 4d <sup>1</sup>
	40	Zr	[Kr] 5s <sup>2</sup> 4d <sup>2</sup>
	41	Nb	[Kr] 5s <sup>2</sup> 4d <sup>3</sup>
	42	Mo	[Kr] 5s <sup>1</sup> 4d <sup>5</sup>
	43	Tc	[Kr] 5s <sup>2</sup> 4d <sup>5</sup>
	44	Ru	[Kr] 5s <sup>1</sup> 4d <sup>7</sup>
	45	Rh	[Kr] 5s <sup>1</sup> 4d <sup>8</sup>
	46	Pd	[Kr] 5s <sup>0</sup> 4d <sup>10</sup>
	47	Ag	[Kr] 5s <sup>1</sup> 4d <sup>10</sup>
	48	Cd	[Kr] 5s <sup>2</sup> 4d <sup>10</sup>
	49	In	[Kr] 5s <sup>2</sup> 4d <sup>10</sup> 5p <sup>1</sup>
	50	Sn	[Kr] 5s <sup>2</sup> 4d <sup>10</sup> 5p <sup>2</sup>
	51	Sb	[Kr] 5s <sup>2</sup> 4d <sup>10</sup> 5p <sup>3</sup>
	52	Te	[Kr] 5s <sup>2</sup> 4d <sup>10</sup> 5p <sup>4</sup>
53	I	[Kr] 5s <sup>2</sup> 4d <sup>10</sup> 5p <sup>5</sup>	
54	Xe	[Kr] 5s <sup>2</sup> 4d <sup>10</sup> 5p <sup>6</sup>	
<b>6</b>	55	Cs	[Xe] 6s <sup>1</sup>
	56	Ba	[Xe] 6s <sup>2</sup>
	57	La	[Xe] 6s <sup>2</sup> 5d <sup>1</sup>

<b>6</b>	58	Ce	$[\text{Xe}] 6s^2 4f^1 5d^1$
	59	Pr	$[\text{Xe}] 6s^2 4f^3 5d^0$
	60	Nd	$[\text{Xe}] 6s^2 4f^4 5d^0$
	61	Pm	$[\text{Xe}] 6s^2 4f^5 5d^0$
	62	Sm	$[\text{Xe}] 6s^2 4f^6 5d^0$
	63	Eu	$[\text{Xe}] 6s^2 4f^7 5d^0$
	64	Gd	$[\text{Xe}] 6s^2 4f^7 5d^1$
	65	Td	$[\text{Xe}] 6s^2 4f^9 5d^0$
	66	Dy	$[\text{Xe}] 6s^2 4f^{10} 5d^0$
	67	Ho	$[\text{Xe}] 6s^2 4f^{11} 5d^0$
	68	Er	$[\text{Xe}] 6s^2 4f^{12} 5d^0$
	69	Tm	$[\text{Xe}] 6s^2 4f^{13} 5d^0$
	70	Yb	$[\text{Xe}] 6s^2 4f^{14} 5d^0$
	71	Lu	$[\text{Xe}] 6s^2 4f^{14} 5d^1$
	72	Hf	$[\text{Xe}] 6s^2 4f^{14} 5d^2$
	73	Ta	$[\text{Xe}] 6s^2 4f^{14} 5d^3$
	74	W	$[\text{Xe}] 6s^2 4f^{14} 5d^4$
	75	Re	$[\text{Xe}] 6s^2 4f^{14} 5d^5$
	76	Os	$[\text{Xe}] 6s^2 4f^{14} 5d^6$
	77	Ir	$[\text{Xe}] 6s^2 4f^{14} 5d^7$
78	Pt	$[\text{Xe}] 6s^1 4f^{14} 5d^9$	

6	79	Au	[Xe] 6s <sup>1</sup> 4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup>
	80	Hg	[Xe] 6s <sup>2</sup> 4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup>
	81	Tl	[Xe] 6s <sup>2</sup> 4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6p <sup>1</sup>
	82	Pb	[Xe] 6s <sup>2</sup> 4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6p <sup>2</sup>
	83	Bi	[Xe] 6s <sup>2</sup> 4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6p <sup>3</sup>
	84	Po	[Xe] 6s <sup>2</sup> 4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6p <sup>4</sup>
	85	At	[Xe] 6s <sup>2</sup> 4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6p <sup>5</sup>
	86	Rn	[Xe] 6s <sup>2</sup> 4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6p <sup>6</sup>
7	87	Fr	[Rn] 7s <sup>1</sup>
	88	Ra	[Rn] 7s <sup>2</sup>
	89	Ac	[Rn] 7s <sup>2</sup> 6d <sup>1</sup>
	90	Th	[Rn] 7s <sup>2</sup> 5f <sup>0</sup> 6d <sup>2</sup>
	91	Pa	[Rn] 7s <sup>2</sup> 5f <sup>2</sup> 6d <sup>1</sup>
	92	U	[Rn] 7s <sup>2</sup> 5f <sup>3</sup> 6d <sup>1</sup>
	93	Np	[Rn] 7s <sup>2</sup> 5f <sup>4</sup> 6d <sup>1</sup>
	94	Pu	[Rn] 7s <sup>2</sup> 5f <sup>6</sup> 6d <sup>0</sup>
	95	Am	[Rn] 7s <sup>2</sup> 5f <sup>7</sup> 6d <sup>0</sup>
	96	Cm	[Rn] 7s <sup>2</sup> 5f <sup>7</sup> 6d <sup>1</sup>
	97	Bk	[Rn] 7s <sup>2</sup> 5f <sup>9</sup> 6d <sup>0</sup>
	98	Cf	[Rn] 7s <sup>2</sup> 5f <sup>10</sup> 6d <sup>0</sup>
99	Es	[Rn] 7s <sup>2</sup> 5f <sup>11</sup> 6d <sup>0</sup>	



<b>7</b>	100	Fm	$[\text{Rn}] 7s^2 5f^{12} 6d^0$
	101	Md	$[\text{Rn}] 7s^2 5f^{13} 6d^0$
	102	No	$[\text{Rn}] 7s^2 5f^{14} 6d^0$
	103	Lr	$[\text{Rn}] 7s^2 5f^{14} 6d^1$
	104	Km	$[\text{Rn}] 7s^2 5f^{14} 6d^2$
	105	Ns	$[\text{Rn}] 7s^2 5f^{14} 6d^3$

**b. Nhóm**

- Nguyên tố s, p, d và f.

*Những nguyên tố mà sự điền electron cuối cùng vào nguyên tử của chúng xảy ra ở phân lớp s gọi là các nguyên tố s. Các nguyên tố nhóm IA, IIA là những nguyên tố s.*

Cũng định nghĩa tương tự cho các nguyên tố p, d và f.

Các nguyên tố các nhóm từ IIIA đến VIIIA là nguyên tố p.

Các nguyên tố d đều nằm ở các nhóm B.

Các nguyên tố f có vị trí đặc biệt: Có thể ghép chúng vào các nhóm IIIB, nhưng đa số các nguyên tố f có tính chất khác với các nguyên tố nhóm IIIB, nên tính chất của chúng thường được khảo sát riêng.

Các nguyên tố mà sự điền electron cuối cùng vào nguyên tử xảy ra ở 4f được gọi là các *lantanoit* hay các nguyên tố *họ lantan* (có số Z từ 58 đến 71), còn sự điền electron cuối cùng xảy ra ở 5f gọi là các *actinoit* hay các nguyên tố *họ actini* (có số Z từ 90 đến 103).

Các nguyên tố d và f còn có tên là các nguyên tố chuyển tiếp d và f.

- Nhóm: Các nguyên tử của các nguyên tố trong cùng một nhóm đều có *cấu hình electron hoá trị tương tự nhau. Đây là yếu tố cơ bản nhất quyết định tính chất tương tự nhau của các nguyên tử, các đơn chất và hợp chất tạo nên từ các đơn chất đó trong cùng nhóm.*

Số oxi hoá lớn nhất của đa số các nguyên tố bằng số thứ tự nhóm (trừ flo, oxi, các nguyên tố nhóm IB, đa số các nguyên tố nhóm VIIIB, các lantanoid, các actinoid và khí hiếm). Ví dụ, số oxi hoá lớn nhất của các nguyên tố nhóm VA và nhóm VB là +5.

- Nhóm A: Nguyên tử của các nguyên tố nhóm A có những đặc điểm cấu hình electron như sau:

- Sự điền electron cuối cùng vào các nguyên tử đều xảy ra ở phân lớp s hoặc phân lớp p.

Ví dụ: Nguyên tử của nguyên tố  $Z = 4$ :  $1s^2 2s^2$  thuộc nhóm A. Nguyên tử của nguyên tố  $Z = 31$ :  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^1$  đều thuộc nhóm A.

- Số electron ở lớp ngoài cùng của nguyên tử đúng bằng số thứ tự nhóm chứa nó.

Ví dụ: Nguyên tử của nguyên tố có  $Z = 31$  thuộc nhóm IIIA.

Để nhận biết một nguyên tố thuộc nhóm A nào ta dựa vào cấu hình electron nguyên tử như sau:

Nhóm IA : Sự điền electron cuối cùng của nguyên tử kết thúc ở  $ns^1$  (trừ hiđro)

Nhóm IIA : Sự điền electron cuối cùng kết thúc ở  $ns^2$  (trừ heli có cấu hình electron  $1s^2$ )

Nhóm IIIA : Sự điền electron vào nguyên tử kết thúc ở  $np^1$

Nhóm IVA : Sự điền electron vào nguyên tử kết thúc ở  $np^2$

Nhóm VA : Sự điền electron vào nguyên tử kết thúc ở  $np^3$

Nhóm VIA : Sự điền electron vào nguyên tử kết thúc ở  $np^4$

Nhóm VIIA : Sự điền electron vào nguyên tử kết thúc ở  $np^5$

Nhóm VIIIA : Sự điền electron vào nguyên tử kết thúc ở  $np^6$

Nhóm này có thêm nguyên tố heli ( $Z = 2$ ). Các nguyên tố nhóm VIIIA có tên là các khí hiếm.

- Nhóm B: Các nguyên tố nhóm B có những đặc điểm cấu hình electron nguyên tử như sau:

- Sự điền electron cuối cùng vào nguyên tử của các nguyên tố xảy ra ở phân lớp d hoặc f.

Ví dụ: Nguyên tố  $Z = 30$  có cấu hình electron:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10}$ , sự điền electron cuối cùng ở phân lớp  $3d$ .

Nguyên tố có  $Z = 59$  có cấu hình electron  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^{10} 5p^6 6s^2 4f^3$ , sự điền electron cuối cùng ở phân lớp  $4f$ .

- Số electron ở lớp ngoài cùng của các nguyên tử nhóm B đều ít hơn 3.

- Số thứ tự nhóm bằng tổng số số electron lớp ngoài cùng và số electron ở phân lớp  $(n-1)d$  hoặc  $(n-2)f$  (trừ các nguyên tố nhóm IB, IIB, VIIIB).

Ví dụ: Nguyên tố có số thứ tự  $Z = 25$  có cấu hình electron  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^5$  ở nhóm VIIIB vì có 2 electron ở lớp thứ 4 và 5 electron ở phân lớp  $3d$ .

Để nhận biết một số nguyên tố thuộc nhóm B dựa vào cấu hình electron nguyên tử như sau:

*IIIB*: Nguyên tử của các nguyên tố nhóm này có hai phân lớp electron ngoài cùng là  $(n-1)d^1 ns^2$ . Người ta thường ghép các nguyên tố mà nguyên tử của chúng đang được điền vào  $(n-2)f$  vào nhóm IIIB. Tuy nhiên tính chất của các nguyên tố này khác nhiều với các nguyên tố nhóm IIIB.

*IVB*: Nguyên tử có hai phân lớp ngoài cùng là  $(n-1)d^2 ns^2$ .

*VB*: Nguyên tử có hai phân lớp ngoài cùng là  $(n-1)d^3 ns^2$  (trừ niobi  $4d^4 5s^1$ ).

*VIB*: Nguyên tử có hai phân lớp ngoài cùng là  $(n-1)d^4 ns^2$  (trừ Cr và Mo:  $(n-1)d^5 ns^1$ )

*VIIIB*: Nguyên tử có hai phân lớp ngoài cùng là  $(n-1)d^5 ns^2$ .

*VIIIB*: Nguyên tử có hai phân lớp ngoài cùng là  $(n-1)d^{6,7,8} ns^2$  (trừ Ru, Rh, Pd, Pt).

*IB*: Nguyên tử có hai phân lớp ngoài cùng là  $(n-1)d^{10} ns^1$ .

*IIB*: Nguyên tử có hai phân lớp ngoài cùng là  $(n-1)d^{10} ns^2$ .

### 1.3.2. Sự biến đổi tuần hoàn cấu trúc vỏ electron của nguyên tử các nguyên tố

So sánh cấu tạo vỏ electron của nguyên tử các nguyên tố thuộc các chu kì khác nhau trong bảng tuần hoàn, ta có thể rút ra những nhận xét sau:

**Bảng 1.5:** Sự biến đổi cấu tạo lớp vỏ electron theo chu kỳ

Chu kỳ 1	: $s^1 s^2$	
Chu kỳ 2, 3:	$s^1 s^2$	$p^1 \dots p^6$
Chu kỳ 4, 5:	$s^1 s^2 d^1 \dots d^{10}$	$p^1 \dots p^6$
Chu kỳ 6	: $s^1 s^2 d^1, f^1 \dots f^{14}, d^2 \dots d^{10}$	$p^1 \dots p^6$
Chu kỳ 7	: $s^1 s^2 d^1, f^2 \dots f^{14}, d^2, d^3 \dots$	

- Chu kỳ bắt đầu ở nguyên tố mà phân lớp đầu tiên của lớp mới (phân lớp s) bắt đầu có electron và chu kỳ kết thúc ở nguyên tố mà phân lớp p của các lớp đó đã hoàn thành.

Vì bắt đầu chu kỳ có sự thành lập lớp electron mới, do đó số thứ tự chu kỳ mà nguyên tố chiếm, bằng số lớp electron mà nguyên tử của nguyên tố đó có.

- Các nguyên tố trong cùng một phân nhóm (nhóm A, nhóm B) có vỏ electron tương tự nhau (bảng 1.6).

**Bảng 1.6.** Sự biến đổi cấu tạo lớp vỏ electron theo nhóm

Nhóm A:	IA	IIA	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA	
	$s^1$	$s^2$	$s^2 p^1$	$s^2 p^2$	$s^2 p^3$	$s^2 p^4$	$s^2 p^5$	$s^2 p^6$	
Nhóm B:	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIIB	VIIIB		IB	IIB
	$d^1 s^2$	$d^2 s^2$	$d^3 s^2$	$d^5 s^1$	$d^5 s^2$	$d^6 s^2, d^7 s^2, d^8 s^2$		$d^{10} s^1$	$d^{10} s^2$

Họ Lantan,  
Họ Actini

$f^1 s^2 \dots f^{14} s^2$

Như vậy, số electron lớp ngoài cùng của nguyên tử các nguyên tố nói chung biến đổi tuần hoàn khi điện tích hạt nhân tăng dần.

Ta biết rằng, cấu trúc electron trong nguyên tử các nguyên tố, đặc biệt là số electron lớp ngoài cùng quyết định tính chất hóa học của các nguyên tố. Vì vậy, sự biến đổi tuần hoàn số electron lớp ngoài cùng đã quyết định tính chất tuần hoàn của các nguyên tố và các hợp chất tạo nên từ các nguyên tố đó.

Đó là nội dung của định luật tuần hoàn của Mendeleev.

### 1.3.3. Những tính chất biến đổi tuần hoàn của nguyên tử

#### a. Bán kính nguyên tử và ion ( $R$ )

*Bán kính nguyên tử cộng hoá trị* bằng nửa khoảng cách giữa hai hạt nhân của hai nguyên tử giống nhau liên kết đơn cộng hoá trị với nhau ở  $25^{\circ}\text{C}$ . Ví dụ, khoảng cách giữa hai hạt nhân trong phân tử  $\text{Cl}_2$  là 0,1998 nm ( $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$ ), nên bán kính nguyên tử cộng hoá trị của clo là 0,0994 nm.

*Bán kính nguyên tử kim loại* bằng nửa khoảng cách giữa hai hạt nhân của hai nguyên tử kim loại gần nhau nhất trong tinh thể kim loại. Ví dụ, khoảng cách gần nhau nhất giữa hai hạt nhân natri trong tinh thể natri là 0,3716nm, nên bán kính nguyên tử kim loại natri là 0,1858nm.

*Bán kính ion được tính trong tinh thể ion*. Ví dụ bán kính của ion  $\text{O}^{2-}$  là 0,140nm và bán kính của ion  $\text{F}^{-}$  là 0,136nm.

Từ trái sang phải trong một *chu kì*, nói chung bán kính nguyên tử giảm dần và trong chu kì nhỏ bán kính nguyên tử giảm nhanh hơn so với trong chu kì lớn.

Từ trên xuống dưới trong một *nhóm A*, bán kính nguyên tử và ion tăng dần, và trong một nhóm B từ nguyên tố thứ nhất đến nguyên tố thứ hai các bán kính này thường tăng chậm, từ nguyên tố thứ hai đến nguyên tố thứ ba thường không biến đổi mấy.

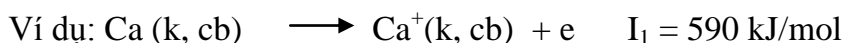
#### b. Năng lượng ion hoá của nguyên tử ( $I$ )

Phân biệt năng lượng ion hoá thứ nhất  $I_1$ , năng lượng ion hoá thứ hai  $I_2$ , năng lượng ion hoá thứ ba  $I_3$ , ...

Năng lượng ion hoá thứ nhất  $I_1$  của nguyên tử là năng lượng tối thiểu cần để tách một electron ra khỏi nguyên tử ở trạng thái khí, cơ bản thành ion mang điện tích  $1+$  cũng ở trạng thái khí, cơ bản:



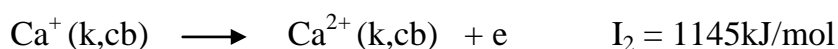
$I$  thường được tính bằng kJ/mol hoặc eV ( $1\text{eV}$  tương đương với 23,06 kcal/mol hoặc 96,5 kJ/mol (Bảng 1.7).



**Bảng 1.7.** Năng lượng ion hoá thứ nhất  $I_1$  của một số nguyên tố (kJ/mol)

Nguyên tố	H	He	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
Z	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I_1$	1346	2372	520	899	800	1086	1043	1313	1680	2084

Năng lượng ion hóa thứ hai  $I_2$  ứng với quá trình tách electron thứ hai từ ion mang điện tích  $1+$  như sau:



Định nghĩa tương tự cho năng lượng ion hoá thứ ba ( $I_3$ ), thứ tư ( $I_4$ )... Trong một nguyên tử ta luôn luôn có:  $I_1 < I_2 < I_3 \dots < I_n$ .

Năng lượng ion hoá là đại lượng đặc trưng cho khả năng nhường electron của nguyên tử khi tham gia phản ứng oxi hoá - khử.

Từ trái sang phải trong một chu kỳ năng lượng ion hoá thứ nhất nói chung tăng dần và đạt giá trị cực đại ở nguyên tử cuối cùng của chu kỳ (ở nguyên tử khí hiếm).

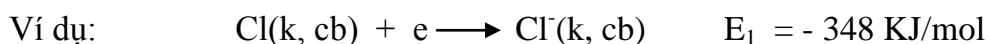
Từ nguyên tử khí hiếm của chu kỳ trước đến nguyên tử đầu tiên của chu kỳ tiếp theo, năng lượng ion hoá thứ nhất giảm xuống đột ngột, rồi sau đó lại tăng dần cho đến nguyên tử cuối cùng của chu kỳ, tương tự chu kỳ trước đó.

Quá trình biến thiên của  $I_1$  như trên cứ lặp đi lặp lại từ chu kỳ này đến chu kỳ khác gọi là sự biến thiên tuần hoàn của  $I_1$ .

Từ trên xuống trong nhóm A, giá trị  $I_1$  giảm dần, còn trong nhóm B sự biến thiên này chậm và không đều, nhưng thường giảm dần từ trên xuống trong một nhóm.

### c. Ái lực với electron (E)

Ái lực với electron là năng lượng được giải phóng khi nguyên tử ở trạng thái khí, cơ bản nhận thêm 1 electron để trở thành ion âm ở trạng thái khí, cơ bản, ứng với quá trình sau:



Đơn vị của E cũng như của I (kJ/mol) (Bảng 1.8).

**Bảng 1.8.** Ái lực electron E của nguyên tử một số nguyên tố (kJ/mol)

Nguyên Tố	H	He	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
Z	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E	71	-21	79	-18	29	123	-20	141	333	-55

Ái lực electron biểu thị tính oxi hoá của nguyên tố. Ái lực electron và năng lượng ion hoá của một nguyên tố biến thiên cùng chiều. *Năng lượng ion hoá tăng thì tính khử giảm, tính oxi hoá tăng do đó ái lực electron tăng.*

Trong một chu kì theo chiều từ trái sang phải năng lượng ion hoá và ái lực electron tăng.

Theo chiều từ trên xuống dưới thì năng lượng ion hoá, ái lực electron giảm.

#### **d. Độ âm điện (X)**

*Độ âm điện của nguyên tố là khả năng hút electron của nguyên tử nguyên tố đó trong hợp chất.*

Nguyên tố có độ âm điện lớn sẽ nhận electron của nguyên tố có độ âm điện nhỏ hơn.

*Nguyên tố có độ âm điện lớn có tính oxi hoá mạnh, nguyên tố có độ âm điện nhỏ có tính khử mạnh (tính chất của kim loại).*

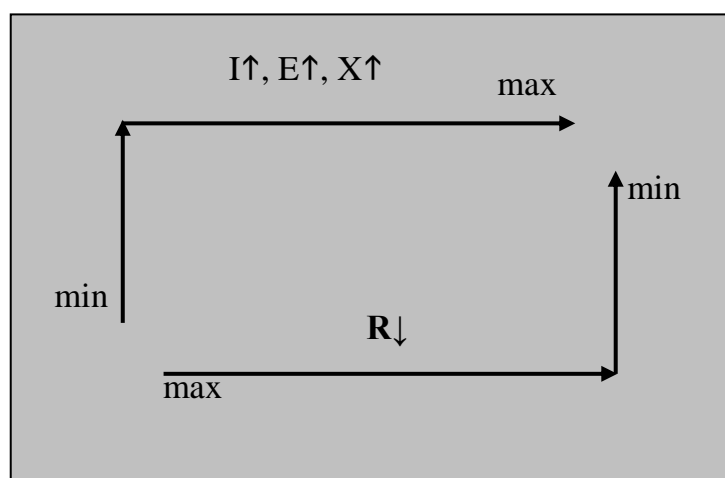
Về nguyên tắc, độ âm điện có đơn vị là kJ/mol. Tuy nhiên, người ta sử dụng độ âm điện tương đối khi so sánh độ âm điện của nguyên tố với độ âm điện của Li, nên độ âm điện tương đối không có đơn vị. Bảng 1.9 nêu giá trị độ âm điện của một số nguyên tố.

**Bảng 1.9.** Độ âm điện của một số nguyên tố

<b>Li</b>	<b>Be</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>N</b>	<b>O</b>	<b>F</b>
1,0	1,6	2,0	2,55	3,0	3,5	4,0
<b>Na</b>	<b>Mg</b>	<b>Al</b>	<b>Si</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Cl</b>
0,9	1,9	1,6	1,9	2,2	2,6	3,15
<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Sc</b>	<b>Cr</b>	<b>Fe</b>	<b>Zn</b>	<b>Br</b>
0,8	1,0	1,35	1,6	1,8	1,8	2,95

Trong một chu kì từ trái sang phải và trong một nhóm từ dưới lên trên nói chung độ âm điện tăng dần.

Như vậy, sự biến đổi của  $R$ ,  $I_1$ ,  $E$  và  $X$  có thể miêu tả qua hình vẽ sau:



**Hình 1.5.** Sự biến thiên của  $R$ ,  $I$ ,  $E$ ,  $X$  trong bảng tuần hoàn.

**e. Một số tính chất khác biến đổi tuần hoàn**

- Tính chất kim loại - phi kim;
- Số oxi hoá của nguyên tố;
- Tính chất của các oxit và hiđroxit các nguyên tố nhóm A.



## CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP

### 1. Bài tập các loại hạt e, p, n

**1.1.** A và B là hai nguyên tố ở cùng một phân nhóm và thuộc hai chu kì liên tiếp trong hệ thống tuần hoàn. Tổng số hạt proton trong hai hạt nhân nguyên tử của A và B là 32. Hãy viết cấu hình electron của A và B và của các ion mà A và B có thể tạo thành?

ĐS:  $Z_{(A)} = 20$ ;  $Z_{(B)} = 12$ .

**1.2.** Hai nguyên tố A và B ở hai phân nhóm chính liên tiếp nhau trong hệ thống tuần hoàn. Ở trạng thái đơn chất A và B không phản ứng với nhau. Tổng số proton trong hạt nhân nguyên tử của A và B là 23. Viết cấu hình electron của A và B.

ĐS:  $Z_{(A)} = 16$ ;  $Z_{(B)} = 7$ .

**1.3.** Cho biết tổng số electron trong anion  $XR_3^{2-}$  là 42. Trong các hạt nhân của X cũng như R số proton bằng số notron.

1. Tính số khối của X và R?

2. Viết cấu hình electron và sự phân bố electron vào obitan ở trạng thái cơ bản của X, R?

ĐS: A: S; B: O

**1.4.** Một hợp chất ion được cấu tạo từ ion  $M^+$  và ion  $R^{2-}$ . Trong phân tử  $M_2R$  có tổng số hạt (p,n,e) là 140 hạt, trong đó số hạt mang điện nhiều hơn số hạt không mang điện là 44 hạt. Số khối của ion  $M^+$  lớn hơn số khối của  $R^{2-}$  là 23. Tổng số hạt (p,n,e) trong ion  $M^+$  nhiều hơn trong  $R^{2-}$  là 31 hạt.

1. Viết cấu hình ion của ion  $M^+$  và  $R^{2-}$ ?

2. Xác định vị trí của M và R trong HTTH?

**1.5.** Một nguyên tử của nguyên tố R có tổng số các hạt là 40, thuộc phân nhóm chính nhóm III. Xác định nguyên tố đó.

ĐS: Al.

**1.6.** Hợp chất Y có công thức  $MX_2$  trong đó M chiếm 46,67% về khối lượng. Trong hạt nhân M có số notron nhiều hơn số proton là 4 hạt. Trong hạt nhân X số notron bằng số proton. Tổng số proton trong  $MX_2$  là 58.

1. Tìm  $A_M$  và  $A_X$ .

2. Xác định công thức phân tử của  $MX_2$ . ĐS:  $FeS_2$ .

## 2. Bài tập về các số lượng tử

**1.7.** Hãy cho biết giá trị và ý nghĩa của bốn số lượng tử đặc trưng cho trạng thái của electron trong nguyên tử.

**1.8.** 1. Có thể có các phân lớp sau trong nguyên tử nào đó không?  $2d^5$ ,  $3s^{13}$ ,  $4p^1$ ,  $4s^1$ .  
Hãy giải thích?

2. Các nguyên tố có các phân lớp electron ngoài cùng là  $3s^2 3p^4$  và  $4s^2 3d^4$

**1.9.** Cho các phân lớp (phân mức năng lượng) ứng với số lượng tử sau:

1.  $n = 3, l = 2$

2.  $n = 5, l = 1$

3.  $n = 2, l = 0$

4.  $n = 4, l = 3$

Hãy gọi tên, xác định số lượng tử từ và số obitan của mỗi phân lớp trên.

**1.10.** Vì sao mỗi bộ 4 số lượng tử dưới đây không thể là bộ 4 số lượng tử của một electron trong một nguyên tử nào đó?

1.  $n = 3, l = +3, m_l = +1, m_s = +1/2$

2.  $n = 2, l = +1, m_l = +2, m_s = +1/2$

3.  $n = 2, l = +1, m_l = -1, m_s = 0$

4.  $n = 4, l = +3, m_l = -4, m_s = -1/2$

**1.11.** Hãy lập bảng các giá trị 4 số lượng tử cho từng electron ở trạng thái cơ bản của nguyên tử có cấu hình:  $1s^2 2s^2 2p^2$

**1.12.** Có tối đa bao nhiêu electron ứng với:

1.  $n = 2$

2.  $n = 2; l = 1$

3.  $n = 3, l = 1, m_l = 0$

4.  $n = 3, l = 2, m_l = 0, m_s = +1/2$

**1.13.** Xác định tên nguyên tử có electron chót cùng điền vào cấu hình electron có bộ 4 số lượng tử như sau:

1.  $n = 2, l = 0, m_l = 0, m_s = +1/2$

2.  $n = 2, l = 1, m_l = 1, m_s = -1/2$

3.  $n = 4, l = 0, m_l = 0, m_s = +1/2$

4.  $n = 3, l = 2, m_l = -2, m_s = -1/2$

Biết  $Li(Z=3)$ ;  $Fe(Z=26)$ ;  $Ne(Z=10)$ ;  $K(Z=19)$ ;  $O(Z=8)$ ;  $Zn(Z=30)$

**1.14.** Cho biết electron có 4 số lượng tử dưới đây là electron thứ mấy trong nguyên tử ?

1.  $n = 2, l = 0, m_l = 0, m_s = +1/2$

2.  $n = 3, l = 1, m_l = -1, m_s = -1/2$

3.  $n = 3, l = 2, m_l = +2, m_s = +1/2$

4.  $n = 4, l = 2, m_l = +1, m_s = -1/2$

**1.15.** Cho biết bộ 4 số lượng tử ứng với electron chót cùng của :

1. Mg ( $Z = 12$ )

2. Cl ( $Z = 17$ )

### 3. Bài tập về cấu hình electron

**1.16.** Orbital nguyên tử là gì? Hãy mô tả mây electron của nguyên tử hydro.

**1.17.** Sự phân bố các electron trong nguyên tử ở trạng thái cơ bản tuân theo những nguyên lý và quy tắc nào? Phát biểu chúng và lấy ví dụ minh họa.

**1.18.** Viết cấu hình electron nguyên tử dưới dạng chữ và dạng ô lượng tử của các nguyên tố có số thứ tự 15, 26, 32 và 40.

**1.19.** Viết cấu hình electron của các ion  $Fe^{2+}$ ;  $Fe^{3+}$ ;  $S^{2-}$ ; Biết S ở ô 16, Fe ở ô 26 trong bảng hệ thống tuần hoàn các nguyên tố hóa học

### 4. Bài tập về bảng HTTH

**1.20.** Dựa vào cấu hình electron nguyên tử, làm thế nào nhận biết được một nguyên tố ở chu kỳ mấy, thuộc nhóm A hay nhóm B, số thứ tự nhóm?

**1.21** Hãy cho biết sự biến đổi tính chất của các nguyên tố theo chu kỳ, nhóm: tính kim loại, phi kim; bán kính nguyên tử, ion; năng lượng ion thứ nhất; ái lực với electron; độ âm điện; số oxi hoá; thành phần và tính chất của các oxit, hidroxit các nguyên tố nhóm A. Nguyên nhân sự biến đổi tuần hoàn các tính chất đó.

**1.22.** Viết cấu hình electron nguyên tử dưới dạng chữ của các nguyên tố có số thứ tự 25, 30, 35, 50 và cho biết (không dùng bảng tuần hoàn):

- Chu kỳ, nhóm (A, B) chứa chúng;

- Kim loại, phi kim hay khí hiếm;

- Số oxi hoá dương cao nhất, số oxi hoá âm thấp nhất (nếu có).

**1.23.** Nguyên tố X là phi kim ở chu kỳ 4, tạo được oxit cao nhất  $XO_3$ , trong đó X có số oxi hoá cao nhất. Hãy viết cấu hình electron nguyên tử của X và cho biết X

thuộc nhóm nào (A, B) và số thứ tự của nó trong bảng hệ thống tuần hoàn. ĐS:  
Se

**1.24.** Nguyên tử X có bốn lớp electron, tạo được oxit  $X_2O_7$ , trong đó X có số oxi hoá cao nhất, X có hai electron ở lớp ngoài cùng. Hãy viết cấu hình electron của X và cho biết X thuộc nhóm (A, B) nào? ĐS: Mn

**1.25.** Cho biết số thứ tự của Cu là 29 và lớp ngoài cùng có 1 electron. Viết cấu hình electron của  $Cu^{2+}$ ;  $Cu^{1+}$ ; Cu. Hãy xác định số thứ tự chu kỳ và phân nhóm của Cu.

**1.26.** Hợp chất có công thức là  $MR_x$  trong đó M chiếm 46,67% về khối lượng; M là kim loại còn R là phi kim ở chu kỳ 3. Trong hạt nhân của của M có số hạt không mang điện nhiều hơn mang điện là 4. Trong hạt nhân của của M có số hạt không mang điện bằng số hạt mang điện. Tổng số hạt proton trong  $MR_x$  là 58.

Xác định tên, số khối, vị trí của M và R trong hệ thống tuần hoàn. Viết cấu hình electron của X?

ĐS: M = Fe; R = S.

**1.27.** Cation  $R^+$  có cấu hình electron lớp ngoài cùng là  $2p^6$ .

1. Viết cấu hình electron và sự phân bố electron trong obitan ở trạng thái cơ bản của nguyên tử?

2. Vị trí của R trong bảng HTTH? Giải thích bản chất liên kết của R với halogen?

3. Tính chất hóa học đặc trưng của R là gì? Cho 2 ví dụ minh họa?

ĐS:  $Z_{(R)} = 11$ ;  $Z_{(X)} = 9$ .

**1.28.** Cho M là kim loại tạo ra hai muối  $MCl_x$  và  $MCl_y$  và hai oxit  $MO_{0,5x}$  và  $M_2O_y$ . Thành phần về khối lượng của clo trong hai muối tỷ lệ là 1:1,173 và của oxy trong hai oxit có tỷ lệ là 1:1,1352.

Hãy tính khối lượng nguyên tử của M?

**1.29.** Oxit cao nhất của một nguyên tố nhóm VIA chứa 60% oxi về khối lượng. Hãy xác định nguyên tố và cấu hình electron trong nguyên tử của nguyên tố đó?

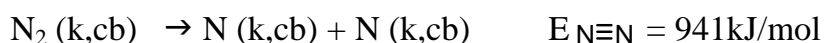
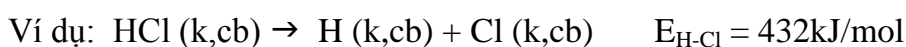
ĐS: S

## CHƯƠNG 2. [LIÊN KẾT HÓA HỌC VÀ CẤU TẠO PHÂN TỬ]

### 2.1. Những đặc trưng cơ bản của liên kết hoá học

#### 2.1.1. Năng lượng liên kết

Đối với phân tử hai nguyên tử AB hoặc A<sub>2</sub> thì năng lượng liên kết là năng lượng cần thiết để phá vỡ liên kết giữa hai nguyên tử trong phân tử ở trạng thái cơ bản, thể khí thành các nguyên tử cũng ở trạng thái cơ bản, thể khí. Năng lượng liên kết được tính bằng kJ/mol.



Đối với phân tử nhiều nguyên tử kiểu AB<sub>n</sub> người ta dùng khái niệm năng lượng liên kết trung bình, bởi vì trong phân tử các liên kết là giống nhau nhưng lại có năng lượng liên kết khác nhau.

Ví dụ: Trong phân tử metan CH<sub>4</sub> có bốn liên kết C-H, liên kết thứ nhất có năng lượng là 426,76 kJ/mol, các liên kết thứ hai, thứ 3, thứ 4 có năng lượng liên kết lần lượt bằng 347,27; 535,55; 334,72 kJ/mol nên năng lượng trung bình của liên kết C-H trong metan là:

$$E_{\text{C-H}} = \frac{426,76 + 347,27 + 535,55 + 334,72}{4} = 410,86\text{kJ/mol}$$

Năng lượng liên kết trung bình càng lớn liên kết càng bền

#### 2.1.2. Độ dài liên kết

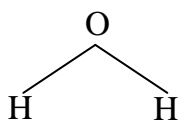
Độ dài liên kết là khoảng cách giữa hai tâm nguyên tử liên kết trực tiếp với nhau trong phân tử. Đơn vị của nó là nanomet (nm, 1nm = 10<sup>-9</sup>m) hoặc anstrom (Å, 1 Å = 10<sup>-10</sup>m).

Ví dụ: Độ dài liên kết giữa hai nguyên tử hidro là 0,074nm

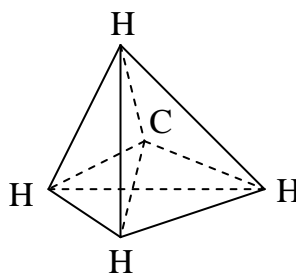
#### 2.1.3. Góc liên kết

Góc liên kết là góc được tạo thành bởi một nguyên tử liên kết trực tiếp với hai nguyên tử khác trong phân tử.

Ví dụ:



Góc HOH=104°5'



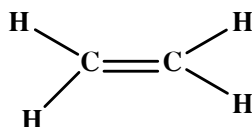
Góc HCH=109°28'

**Hình 2.1.** Mô hình phân tử H<sub>2</sub>O và CH<sub>4</sub>

#### 2.1.4. Độ bội liên kết

Độ bội liên kết giữa hai nguyên tử trong phân tử là số cặp electron dùng chung để tạo liên kết giữa hai nguyên tử đó trong phân tử.

Ví dụ: Độ bội liên kết giữa hai nguyên tử nitơ trong phân tử N<sub>2</sub> là ba: N≡N, độ bội liên kết giữa hai nguyên tử cacbon trong phân tử etilen là hai, giữa cacbon và hiđro là một.



Khi độ bội liên kết bằng ba được gọi là liên kết ba, độ bội liên kết bằng hai là liên kết đôi (hay liên kết kép), độ bội liên kết bằng một là liên kết đơn.

#### 2.2. Liên kết ion

Liên kết ion là liên kết được hình thành từ hai nguyên tử của hai nguyên tố có độ âm điện rất khác nhau, một bên là kim loại điển hình có độ âm điện rất bé, một bên là phi kim điển hình có độ âm điện rất lớn. Như trường hợp giữa các kim loại kiềm, kiềm thổ với halogen, oxi.

Khi tạo thành liên kết ion có sự nhường và thu electron để trở thành các cation và anion, sau đó các ion ngược dấu hút nhau bằng lực hút tĩnh điện. *Vậy bản chất của liên kết ion là lực hút tĩnh điện giữa các ion trái dấu.*

##### **Đặc điểm của liên kết ion**

*Liên kết ion không có hướng, vì mỗi ion tạo ra điện trường xung quanh nó nên liên kết xảy ra theo mọi hướng.*

*Liên kết ion không bão hoà*, vì mỗi ion có thể liên kết được với nhiều ion xung quanh nó.

*Liên kết ion rất bền*, ví dụ năng lượng liên kết trong phân tử KCl bằng 404,25 kJ/mol. Các hợp chất được tạo thành từ liên kết ion ở điều kiện thường thường là chất rắn, có nhiệt độ nóng chảy cao, nhiệt độ sôi cao.

Ví dụ: Liên kết trong các muối, nhiều oxit và hidroxit kim loại.

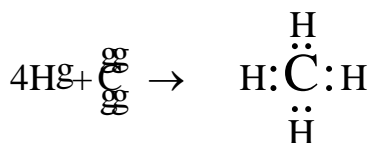
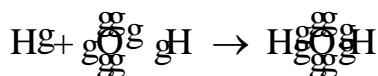
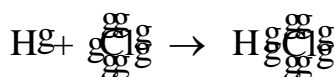
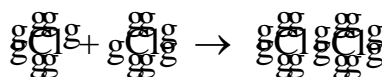
## 2.3. Liên kết cộng hoá trị

### 2.3.1. Liên kết cộng hoá trị theo thuyết kinh điển

#### a. Khái niệm liên kết cộng hoá trị theo thuyết kinh điển

Năm 1916 nhà khoa học Mỹ Liuyt (G.Lewis) nêu lên giả thuyết cho rằng: Trong những phân tử như  $H_2$ ,  $Cl_2$ ,  $CH_4$  sự hình thành liên kết giữa hai nguyên tử được thực hiện bằng một hay nhiều cặp electron chung cho hai nguyên tử để có cấu hình electron bền vững bền như của các khí trơ. Loại liên kết này được gọi là *liên kết cộng hoá trị hay liên kết nguyên tử*.

Ví dụ: Sự hình thành liên kết cộng hoá trị trong các phân tử hai nguyên tử và nhiều nguyên tử được mô tả bằng các sơ đồ sau:



#### b. Phân loại liên kết cộng hoá trị

Liên kết cộng hoá trị được chia thành hai loại:

*Liên kết cộng hoá trị không phân cực*: Đôi electron dùng chung ở giữa khoảng cách hai hạt nhân nguyên tử. Đó là liên kết trong các phân tử đơn chất như:  $H_2$ ,  $Cl_2$ ...

*Liên kết cộng hoá trị phân cực*: Đôi electron dùng chung lệch về phía nguyên tử của nguyên tố có tính phi kim mạnh hơn (hay có độ âm điện lớn hơn). Đó là liên kết hoá học trong các phân tử hợp chất như  $H_2O$ ,  $NH_3$ ,  $CH_4$ , ...

### 2.3.2. Liên kết cộng hoá trị theo thuyết VB

#### a. Sự tạo thành phân tử $H_2$ từ hai nguyên tử H

Năm 1927, Hetlơ (W.Heitler) và London (F.London) đã tìm cách giải gần đúng phương trình sóng Schrödinger cho phân tử  $H_2$ . Các phép tính toán đã cho phép xác định năng lượng liên kết và độ dài liên kết của phân tử hydro.

Ví dụ: Đối với sự hình thành phân tử  $H_2$  (hệ gồm 2 hạt nhân và 2 electron), người ta chú ý đến các dạng tương tác sau: Sự đẩy nhau giữa hai hạt nhân; sự đẩy nhau giữa hai electron; sự hút của hạt nhân với mỗi electron, và đã tính toán được rằng nếu hai nguyên tử hydro có spin trái dấu (đối song) thì khi hai nguyên tử tiến đến gần nhau, lực hút giữa chúng tăng lên cho đến khi khoảng cách giữa hai nguyên tử đạt đến một giá trị giới hạn  $r_0$ , năng lượng của hệ cực tiểu. Sau đó ở những giá trị bé hơn  $r_0$ , lực hút giảm, cho đến một khoảng cách nào đó xuất hiện lực đẩy giữa các nguyên tử, lực đẩy càng tăng lên khi khoảng cách càng bé đi (hình 2.2a).

Hetlơ và London lần đầu tiên đã áp dụng cơ học lượng tử, để giải thích bản chất của liên kết cộng hoá trị, trên cơ sở nghiên cứu sự tạo thành phân tử  $H_2$  từ hai nguyên tử hydro. Kết quả cho biết:

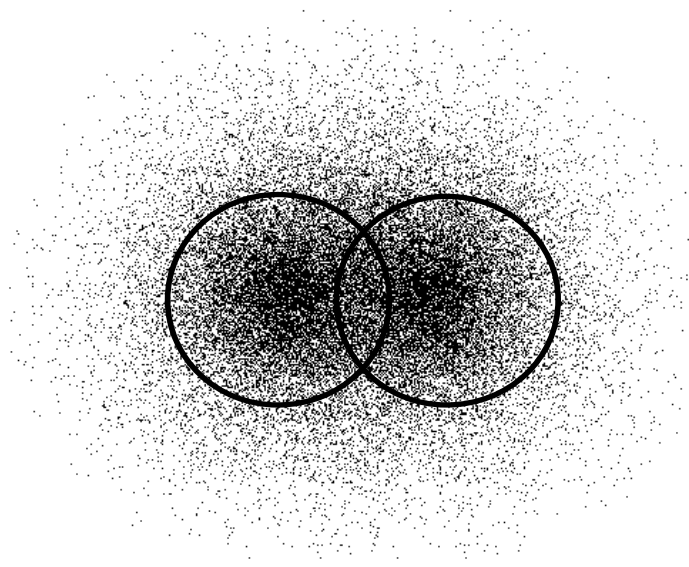
+ Liên kết giữa hai nguyên tử hydro chỉ được hình thành khi hai electron của hai nguyên tử có giá trị số lượng tử spin trái dấu nhau, nghĩa là một electron có  $m_s = +1/2$  và một electron có  $m_s = -1/2$ .

Những đường lượn sóng trên sơ đồ biểu thị sự tạo thành liên kết cộng hoá trị. Công thức cấu tạo của  $H_2$  là  $H : H$  hoặc  $H-H$  được gọi là công thức *Liuyt*.

+ Khi hình thành liên kết, các obitan hoá trị của hai nguyên tử xen phủ nhau (hình 2.2a), nên mật độ mây electron ở khu vực không gian giữa hai hạt nhân tăng lên, điều này thể hiện rõ khi so sánh khoảng cách giữa hai hạt nhân trong phân tử  $H_2$  và

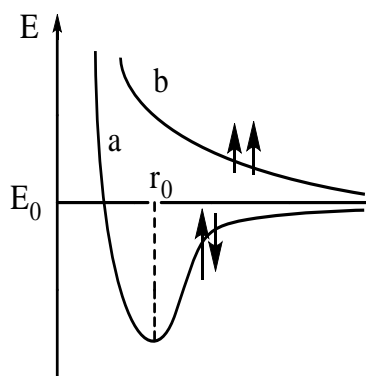


tổng số bán kính của hai nguyên tử H:  $d_{H-H} = 0,074\text{nm} < 2r_H = (0,0529 \times 2) = 0,1058\text{nm}$



**Hình 2.2a.** Sự xen phủ các obitan 1s trong phân tử  $H_2$

Những kết quả tính toán về năng lượng khi tạo thành phân tử  $H_2$  từ hai nguyên tử H được trình bày trong hình 2.2b



Trong đó:

a: Sự tạo thành liên kết từ hai electron với các giá trị  $m_s$  khác dấu;

b: Hai nguyên tử đẩy nhau khi các giá trị  $m_s$  cùng dấu;

$r_0 = 0,074\text{nm}$  là khoảng cách cân bằng giữa hai nguyên tử trong phân tử.

**Hình 2.2b.** Sơ đồ năng lượng tạo thành phân tử  $H_2$

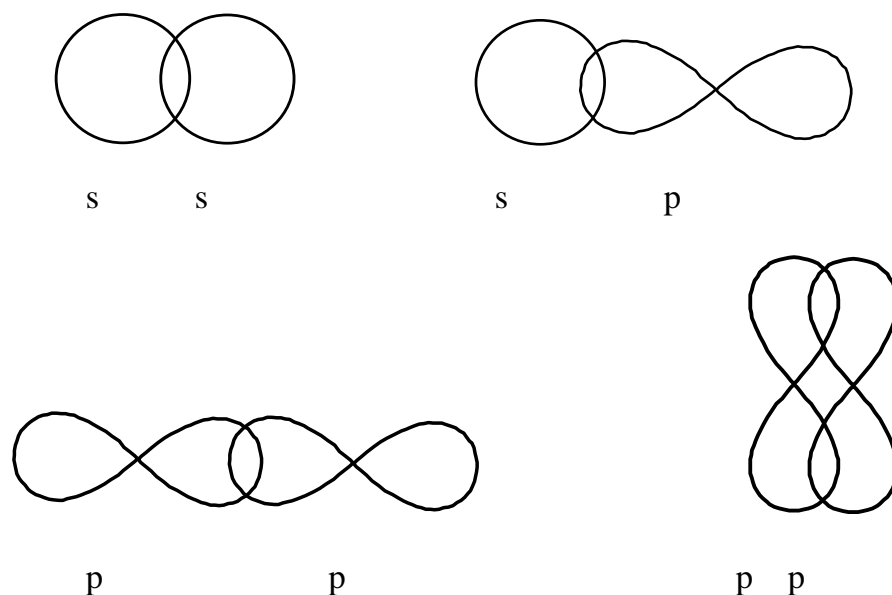
Khảo sát những phân tử hai nguyên tử khác, người ta thấy năng lượng liên kết càng lớn, liên kết càng bền.

Nội dung cơ bản của phương pháp liên kết hoá trị (VB)

+ Mỗi liên kết cộng hoá trị được hình thành, do sự ghép đôi hai electron độc thân có các giá trị spin trái dấu của hai nguyên tử tham gia liên kết.

+ Khi hình thành liên kết, xảy ra sự xen phủ các mây electron hoá trị (các AO hoá trị) của hai nguyên tử tham gia liên kết. Sự xen phủ càng lớn liên kết càng bền.

+ Liên kết cộng hoá trị là liên kết có hướng, hướng của liên kết là hướng có sự xen phủ các mây electron của hai nguyên tử là lớn nhất (Hình 2.3).



**Hình 2.3.** Hướng xen phủ lớn nhất của các obitan s và p

### b. Hoá trị của các nguyên tố theo phương pháp VB

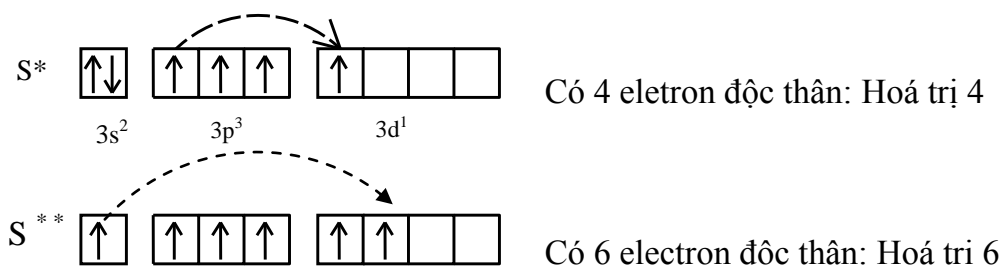
Từ nội dung của phương pháp VB, người ta kết luận: Hoá trị có thể có của một nguyên tố được tính bằng số electron độc thân trong nguyên tử của nguyên tố đó ở trạng thái cơ bản và khi kích thích.

Ví dụ: Nitơ ( $Z = 7$ ) có cấu hình electron:  $1s^2 2s^2 2p^3$   $\boxed{\uparrow\downarrow}$   $\boxed{\uparrow\downarrow}$   $\boxed{\uparrow}$   $\boxed{\uparrow}$   $\boxed{\uparrow}$

Nitơ có 3 electron độc thân nên có hoá trị 3 ( $\text{NH}_3$ ).

S ( $Z = 16$ ):  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$   $\boxed{\uparrow\downarrow}$   $\boxed{\uparrow\downarrow}$   $\boxed{\uparrow\downarrow}$   $\boxed{\uparrow\downarrow}$   $\boxed{\uparrow\downarrow}$   $\boxed{\uparrow\downarrow}$   $\boxed{\uparrow}$   $\boxed{\uparrow}$

Lưu huỳnh có 2 electron độc thân nên có hoá trị 2 ( $\text{H}_2\text{S}$ ). S còn có thể có hoá trị 4 ( $\text{SF}_4$ ) và hoá trị 6 ( $\text{SF}_6$ ). Vấn đề này được giải thích như sau: Ở lớp ngoài cùng của nguyên tử lưu huỳnh (lớp M có  $n = 3$ ), còn 5 obitan 3d trống, khi lưu huỳnh tham gia phản ứng hoá học thì các electron ghép đôi trong cùng lớp M hấp thụ năng lượng của phản ứng chuyển ra phân lớp 3d làm cho số electron độc thân tăng lên. Trạng thái này của lưu huỳnh được gọi là trạng thái kích thích và được kí hiệu như sau:  $\text{S}^*$ .

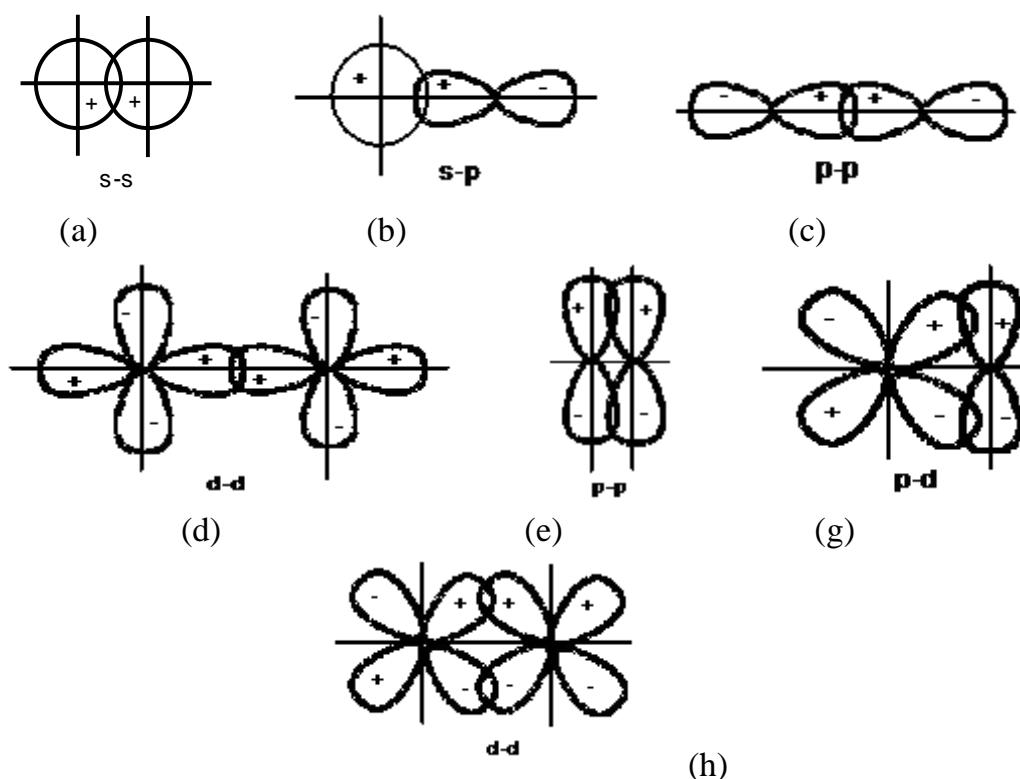


Cần chú ý rằng trạng thái kích thích của nguyên tử để tạo ra electron độc thân chỉ xảy ra trong cùng lớp. Trong trường hợp nguyên tử nitơ, lớp  $n = 2$  chỉ có hai phân lớp  $2s$  và  $2p$ , nên nitơ không thể có trạng thái hoá trị 5 vì việc kích thích để chuyển electron từ lớp  $n = 2$  lên lớp  $n = 3$  tiêu tốn năng lượng lớn không được bù bằng sự tạo thành liên kết.

### c. Liên kết $\sigma$ và liên kết $\pi$

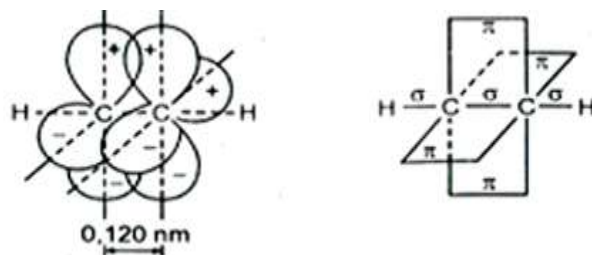
Liên kết  $\sigma$  là liên kết được tạo thành do sự xen phủ các đám mây electron (các AO) hoá trị của hai nguyên tử dọc theo trục nối hai hạt nhân (hình 2.4).

Liên kết  $\pi$  là liên kết được tạo thành do sự xen phủ các đám mây electron hoá trị của hai nguyên tử ở hai phía của trục nối hai hạt nhân (hình 2.4).



**Hình 2.4.** Sự xen phủ  $\sigma$  (a, b, c, d), sự xen phủ  $\pi$  (e, g, h)

Ví dụ: Trong phân tử của  $C_2H_2$ , giữa hai nguyên tử cacbon tạo thành một liên kết  $\sigma$  và hai liên kết  $\pi$  (hình 2.5).



**Hình 2.5.** Sơ đồ sự tạo thành các liên kết  $\sigma$  và  $\pi$  trong phân tử axetilen

### 2.3.3. Liên kết cộng hóa trị theo thuyết lai hoá

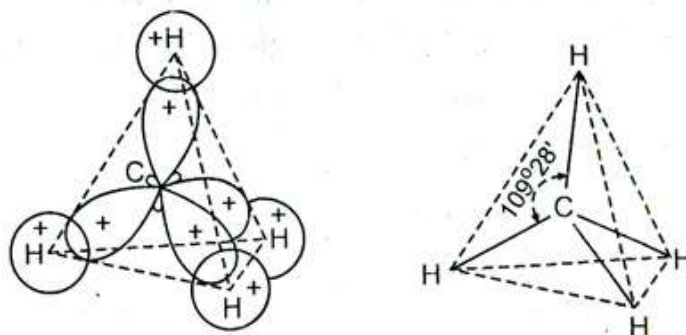
#### a. Điều kiện ra đời của thuyết lai hoá

Xét sự tạo thành phân tử metan  $\text{CH}_4$  từ các nguyên tử cacbon và hiđrô.

Theo VB, nguyên tử cacbon ở trạng thái kích thích có 4 electron độc thân:  $1s^2 2s^1 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$ . Bốn electron tạo thành 4 liên kết C-H trong đó có 3 liên kết p-s: 3 đám mây electron 2p của cacbon xen phủ với 3 mây electron 1s của 3 nguyên tử hiđrô tạo thành 3 liên kết. Liên kết thứ tư C-H được tạo thành do sự xen phủ các mây electron 2s của cacbon và 1s của hiđrô. Như thế liên kết thứ tư phải khác với 3 liên kết trên về hướng và góc liên kết.

Tuy nhiên thực nghiệm chứng tỏ rằng 4 góc liên kết HCH trong phân tử  $\text{CH}_4$  đều bằng  $109^{\circ}28'$  (góc tứ diện đều) và độ bền của 4 liên kết của C-H đều giống nhau. Như vậy, thuyết VB đã không giải thích được cấu tạo không gian của phân tử  $\text{CH}_4$ .

Để giải quyết mâu thuẫn này người ta giả thuyết rằng: Khi tạo thành liên kết một obitan 2s và 3 obitan 2p của cacbon lai hoá (trộn lẫn) với nhau tạo thành 4 obitan lai hoá  $sp^3$  giống hệt nhau hướng tới 4 đỉnh của một tứ diện đều. Ở đó chúng xen phủ với 4 obitan 1s của 4 nguyên tử hiđrô. Vì vậy 4 liên kết C-H phải giống nhau và các góc HCH phải bằng góc của hình tứ diện đều ( $109^{\circ}28'$ ), mà nguyên tử cacbon nằm ở tâm của tứ diện đều (hình 2.6).



**Hình 2.6.** Cấu trúc hình học của phân tử  $\text{CH}_4$  theo thuyết lai hoá

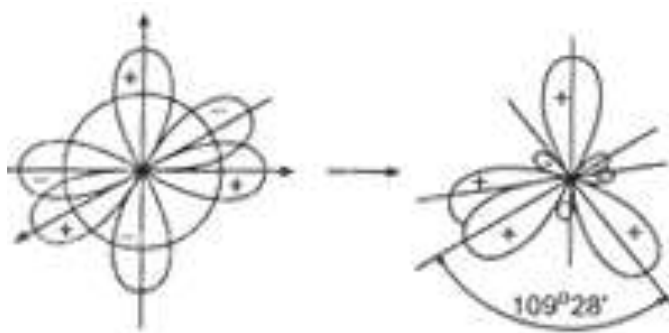
Bởi vậy 4 liên kết C-H đều giống nhau và làm với nhau những góc tứ diện  $109^{\circ}28'$ . Kiểu liên kết làm thành hình tứ diện cũng xảy ra với phân tử  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ ...

Cần lưu ý rằng trong những trường hợp cấu trúc phân tử không phải là tứ diện đều, thì góc liên kết trong phân tử bị thay đổi so với góc lai hoá. Điều này có thể được giải thích là do các cặp electron hoá trị trên orbital lai hoá chưa tham gia liên kết có tác dụng đẩy mạnh hơn cặp electron đã tham gia liên kết.

Ví dụ: Góc HNH trong  $\text{NH}_3$  là  $107^{\circ}3'$  góc HOH trong  $\text{H}_2\text{O}$  là  $104^{\circ}5'$ .

**b. Các kiểu lai hoá giữa các orbital ns và np**

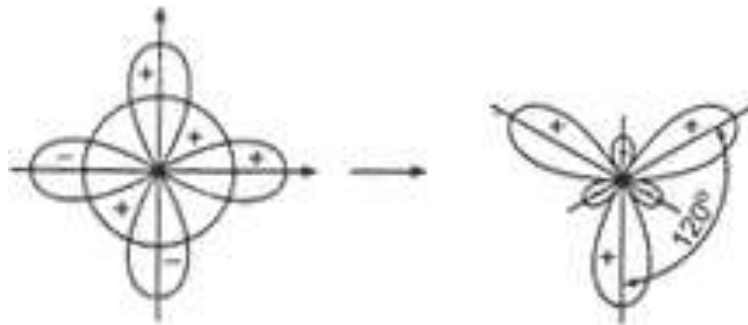
*Lai hoá  $sp^3$*  : 1 orbital ns lai hoá 3 orbital np tạo thành 4 orbital giống hệt nhau  $sp^3$  hướng tới 4 đỉnh của hình tứ diện đều tạo thành góc giữa các orbital lai hoá là  $109^{\circ}28'$



*Hình 2.7a. Lai hóa  $sp^3$*

Ví dụ: Các phân tử  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CCl}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$

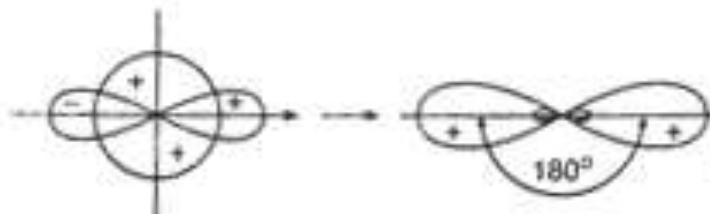
*Lai hoá  $sp^2$* : 1 orbital ns và 2 orbital np lai hoá với nhau tạo thành 3 orbital giống hệt nhau  $sp^2$  hướng tới 3 đỉnh của tam giác đều tạo thành góc giữa các orbital lai hoá bằng  $120^{\circ}$



Hình 2.7b. Lai hóa  $sp^2$

Ví dụ: Các phân tử  $BCl_3$ ,  $BF_3$ ,  $SO_2$ ,  $C_2H_4$ ...

Lai hoá  $sp$ : 1 obitan ns và 1 obitan np lai hoá tạo thành 2 obitan lai hoá giống hệt nhau  $sp$  nằm trên một đường thẳng tạo thành góc giữa 2 obitan lai hoá là  $180^\circ$



Hình 2.7c. Lai hóa  $sp$

Ví dụ các phân tử  $BeH_2$ ,  $BeCl_2$ ,  $C_2H_2$ ...

### c. Đặc điểm của liên kết cộng hoá trị

**Tính bão hoà:** Ta biết rằng khả năng của một nguyên tử tham gia liên kết với các nguyên tử của các nguyên tố khác phụ thuộc vào số e lớp ngoài cùng, mà số e lớp ngoài cùng là hữu hạn. Vì vậy, liên kết cộng hoá trị là hữu hạn, tính chất hữu hạn của số liên kết cộng hoá trị mà một nguyên tử có khả năng thực hiện với các nguyên tử khác gọi là tính bão hoà. Đó chính là hoá trị tối đa của một nguyên tố. Thật vậy, trong các hợp chất thì hoá trị tối đa của một số nguyên tố là: Hidro hoá trị 1, cacbon hoá trị 4...

**Tính phân cực:** Liên kết cộng hoá trị giữa hai nguyên tử có độ âm điện khác nhau làm cho cặp electron dùng chung lệch về phía nguyên tử có độ âm điện lớn hơn gây nên sự phân cực của liên kết.

Ví dụ: Trong phân tử  $HCl$ , H có  $X = 2,1$ ; Cl có  $X=2,83$  nên có sự phân cực liên kết  $H-Cl$ , hidro có điện tích dương (+), Cl có điện tích âm (-).

*Tính định hướng:* Ta đã biết, liên kết cộng hóa trị được hình thành là do sự xen phủ của các AO và xen phủ đó phải là cực đại, mà các obitan có hình dạng và cách định hướng khác nhau trong không gian nên liên kết cộng hóa trị có tính định hướng, dẫn đến xuất hiện góc giữa 2 liên kết cộng hoá trị gọi là góc hoá trị. Từ tính định hướng ta có thể dự đoán được cấu dạng hình học của phân tử.

Ví dụ: Trong phân tử H<sub>2</sub>S, nguyên tử S có 2 electron độc thân ở 3p<sup>4</sup>, 2 electron tạo thành 2 liên kết cộng hoá trị với 2 nguyên tử hydro. Do có sự tập trung vùng electron lớn giữa 2 nguyên tử H, S nên xuất hiện lực đẩy cặp electron liên kết này với cặp electron liên kết kia nên góc liên kết HSH là 92<sup>0</sup> và phân tử H<sub>2</sub>S có dạng gẫy khúc.



Trong phân tử H<sub>2</sub>O có góc hoá trị là 104<sup>0</sup>5' do oxi trong phân tử H<sub>2</sub>O ở trong trạng thái lai hoá sp<sup>3</sup>.

### 2.3.4. Liên kết cộng hóa trị theo thuyết MO

#### a. Nội dung cơ bản của phương pháp MO

Coi phân tử là một tiểu phân trọn vẹn như nguyên tử. Nó gồm một bộ khung hạt nhân nguyên tử đặt cách xa nhau trên những khoảng xác định và các electron phân bố xung quanh hạt nhân của nguyên tử, nghĩa là nó phải tuân theo các nguyên lí vững bền, nguyên lí Pauli và quy tắc Hun.

Trạng thái của các electron trong phân tử, đặc trưng bởi các obitan phân tử tương tự như các obitan nguyên tử.

Các obitan nguyên tử: s      p      d      f

Các obitan phân tử : σ    π    δ    ψ

Mỗi obitan phân tử được đặc trưng bởi hàm số sóng obitan  $\Psi_{MO}$ . Hàm sóng này là tổ hợp tuyến tính (cộng, trừ) các hàm số sóng đặc trưng cho các obitan của các nguyên tử tham gia vào liên kết:  $\Psi_1, \Psi_2, \Psi_3 \dots \Psi_n$ .

$$\Psi_{MO} = C_1\Psi_1 + C_2\Psi_2 + C_3\Psi_3 + \dots + C_n\Psi_n$$

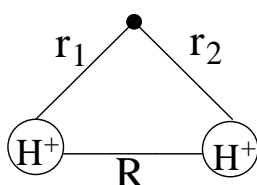
$C_1, C_2, C_3 \dots C_n$ : Các hệ số đánh giá sự đóng góp của các obitan nguyên tử vào sự tạo thành các obitan phân tử.

Kết quả có bao nhiêu obitan nguyên tử tham gia vào liên kết thì tạo thành bấy nhiêu obitan phân tử.

Phương pháp MO ra đời từ năm 1930 do hai nhà bác học Mỹ là Muliken (Mullikend) và Hun (Hund) khởi xướng.

**b. Phương trình sóng Srodinhơ của ion  $H_2^+$  ở trạng thái bền**

Ion phân tử  $H_2^+$  gồm hai proton và một electron ở khoảng cách R (hình 2.8). Khoảng cách proton 1 đến electron là  $r_1$ , từ proton 2 đến electron là  $r_2$ .



**Hình 2. 8**

Phương trình sóng Srodinhơ của ion  $H_2^+$  ở trạng thái bền:

$$\frac{\hbar^2}{8.\pi^2 m_e} \nabla^2 \Psi_{MO} + \left( \frac{e^2}{R} - \frac{e^2}{r_1} - \frac{e^2}{r_2} \right) \Psi_{MO} = E \Psi_{MO} \quad (2.2)$$

$$\nabla^2 = \frac{\delta^2}{\delta_{x^2}} + \frac{\delta^2}{\delta_{y^2}} + \frac{\delta^2}{\delta_{z^2}}$$

Trong đó: x, y, z là tọa độ của electron;

$\frac{e^2}{R}$  : Thế năng đẩy giữa hai hạt nhân;

$-\frac{e^2}{r_1}$  : Thế năng hút giữa hạt nhân H số 1 với electron;

$-\frac{e^2}{r_2}$  : Thế năng hút giữa hạt nhân H số 2 với electron.

Nghiệm của phương trình là  $\Psi_{MO}$

$$\Psi_{MO} = C_1 \Psi_{1s(1)} + C_2 \Psi_{1s(2)}$$

Vì hai hạt nhân như nhau nên  $C_1 = C_2 = \pm \frac{1}{\sqrt{2}}$

$$\Psi_{MO}^+ = \frac{1}{\sqrt{2}} (\Psi_{1s(1)} + \Psi_{1s(2)})$$



$$\Psi_{MO}^- = \frac{1}{\sqrt{2}}(\Psi_{1s(1)} - \Psi_{1s(2)})$$

$\Psi_{MO}^+$ : Hàm sóng đối xứng.

$\Psi_{MO}^-$ : Hàm sóng phản đối xứng.

$\Psi_{MO}^2$ : Biểu thị mật độ đám mây electron.

Trường hợp obitan phân tử là hàm đối xứng

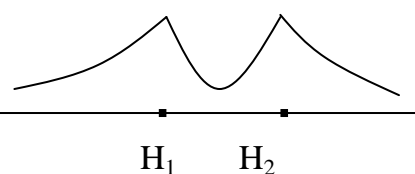
$$\Psi_{MO}^{+2} = \frac{1}{2}(\Psi_{1s(1)} + \Psi_{1s(2)})^2 = \frac{1}{2}(\Psi_{1s(1)}^2 + 2\Psi_{1s(1)}\Psi_{1s(2)} + \Psi_{1s(2)}^2)$$

Mật độ electron trong phân tử được tăng cường thêm một lượng là  $2\Psi_{1s(1)}\Psi_{1s(2)}$  khi đó obitan phân tử gọi là obitan liên kết  $\sigma_{1s}$  (hình 2.9).

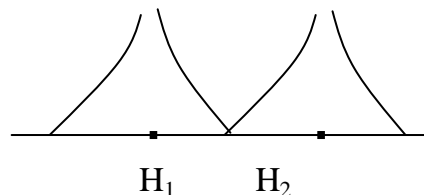
Trường hợp obitan phân tử là hàm phản đối xứng:

$$\Psi_{MO}^{-2} = \frac{1}{2}(\Psi_{1s(1)} - \Psi_{1s(2)})^2 = \frac{1}{2}(\Psi_{1s(1)}^2 - 2\Psi_{1s(1)}\Psi_{1s(2)} + \Psi_{1s(2)}^2)$$

Mật độ đám mây electron trong phân tử giảm đi một lượng là  $2\Psi_{1s(1)}\Psi_{1s(2)}$  khi đó obitan phân tử gọi là obitan phản liên kết  $\sigma_{1s}^*$  (hình 2.10).



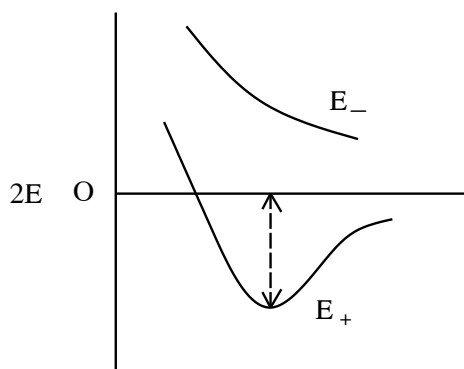
**Hình 2.9**



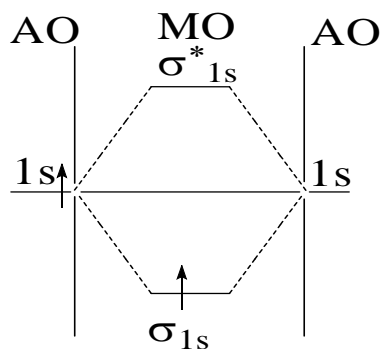
**Hình 2.10**

Kết quả tính toán thu được với ion  $H_2^+$  là:  $E_{lk} = 2E_{AO} - E_t = -259,4 \text{ KJ/mol}$   
 $R_0 = 1,06 \cdot 10^{-8} \text{ cm}$

Sự phụ thuộc của  $E_+$  và  $E_-$  vào khoảng cách giữa hai hạt nhân biểu thị trên đồ thị (hình 2.11).



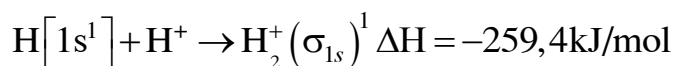
**Hình 2.11**



**Hình 2.12**

Giản đồ năng lượng của ion  $H_2^+$  biểu thị trên hình (2.12). Ion  $H_2^+$  gồm 2 obitan phân tử  $\Psi_{MO}^+$  là  $\sigma_{1s}$  liên kết,  $\Psi_{MO}^-$  là  $\sigma_{1s}^*$  phản liên kết. Năng lượng obitan  $\sigma_{1s}$  là  $E_+ < 2E_{AO}$  tức là ở vị trí thấp hơn mức năng lượng của hai nguyên tử. Năng lượng obitan  $\sigma_{1s}^* > 2E_{AO}$  tức là ở vị trí cao hơn mức năng lượng của hai nguyên tử.

Vây liên kết cộng hoá trị đảm bảo bằng một electron là đúng với thực tế.



### c. Số liên kết hoá học

Số liên kết hoá học được tính theo công thức :

$$B = \frac{N - N^*}{2} \quad (2.3)$$

Trong đó: N là số electron trên các obitan liên kết;

$N^*$  là số electron trên các obitan phản liên kết;

B là số liên kết hoá học.

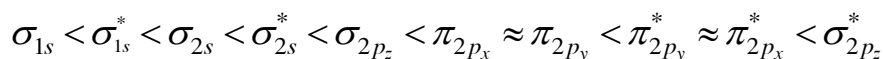
Ví dụ: Ion phân tử  $H_2^+$  có:

$$B = \frac{1 - 0}{2} = \frac{1}{2}$$

### d. Giản đồ năng lượng các MO

Sự tạo thành các obitan phân tử thường mô tả bằng giản đồ năng lượng. Trong giản đồ, những trục thẳng đứng biểu thị giá trị năng lượng của các obitan. Bên trái, bên phải sơ đồ là mức năng lượng nguyên tử, ở giữa 2 trục thẳng đứng là mức năng lượng phân tử (hình 2.13).

Các phân tử 2 nguyên tử (cùng hạt nhân) của cùng một nguyên tố thuộc chu kì I và II thì có dãy năng lượng như sau:



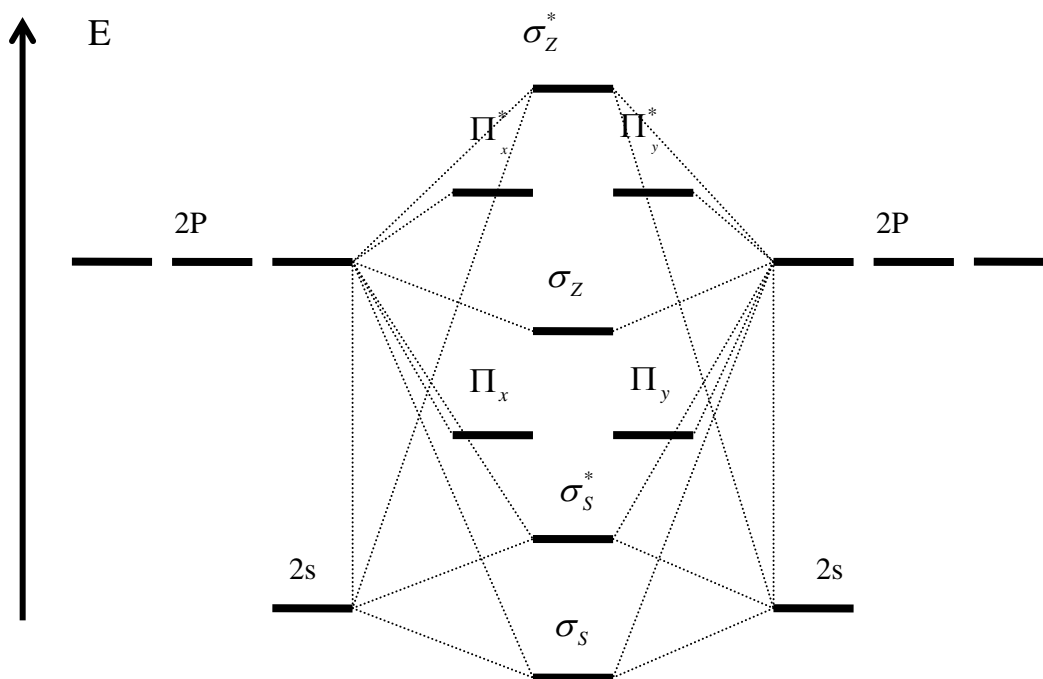
Dãy năng lượng này phù hợp với những phân tử tạo thành từ hai nguyên tử của cùng một nguyên tố có trạng thái năng lượng 2s và 2p khác nhau. Ví dụ O<sub>2</sub>, F<sub>2</sub>

Đối với các phân tử tạo thành từ các nguyên tử của cùng một nguyên tố có trạng thái năng lượng của phân lớp 2s và 2p gần bằng nhau (như B<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>) thì dãy năng lượng phân tử như sau:

$$\sigma_{1s} < \sigma_{1s}^* < \sigma_{2s} < \sigma_{2s}^* < \pi_{2p_x} \approx \pi_{2p_y} < \sigma_{2p_z} < \pi_{2p_x}^* \approx \pi_{2p_y}^* < \sigma_{2p_z}^*$$

Ví dụ: Cấu hình electron của N<sub>2</sub>:  $\left[ (\sigma_{2s})^2 (\sigma_{2s}^*)^2 (\pi_{2p_x})^2 (\pi_{2p_y})^2 (\sigma_{2p_z})^2 \right]$

Số liên kết:  $B = \frac{8-2}{2} = 3$



**Hình 2.13.** Giải đồ năng lượng của phân tử N<sub>2</sub>

**e. Thuyết MO và phân tử hai nguyên tử**

*Các phân tử A<sub>2</sub> thuộc chu kỳ I*

Phân tử H<sub>2</sub>

Cấu hình electron  $\sigma_{1s}^2$ ;  $B = \frac{2-0}{2} = 1$  ;  $l = 0,74 \text{ \AA}$  ;  $E = 432 \text{ kJ/mol}$ .

Phân tử H<sub>2</sub> có một liên kết  $\sigma$  tương tự như sơ đồ của Liuyt (H - H).

### Phân tử He<sub>2</sub>

Cấu hình electron  $\sigma_{1s}^2 \sigma_{1s}^{*2}; B = \frac{2-2}{2} = 0$

Phân tử này không tồn tại vì số liên kết bằng 0.

*Các phân tử A<sub>2</sub> thuộc chu kỳ II*

### Phân tử Li<sub>2</sub>

Cấu hình electron  $\sigma_{2s}^2; B = \frac{2-0}{2} = 1$

Độ dài liên kết:  $2,67 \overset{0}{\text{Å}}$ ;  $E = 105 \text{kJ/mol}$ .

Có liên kết giữa hai nguyên tử Li.

### Phân tử Be<sub>2</sub>

Cấu hình electron  $\sigma_{2s}^2 \sigma_{2s}^{*2}; B = \frac{2-2}{2} = 0$

Phân tử Be<sub>2</sub> không tồn tại

### Phân tử B<sub>2</sub>

Cấu hình electron:  $\sigma_{2s}^2 \sigma_{2s}^{*2} \pi_x^1 \pi_y^1; B = \frac{4-2}{2} = 1; l = 1,59 \overset{0}{\text{Å}}; E = 278 \text{kJ/mol}$

Phân tử có hai electron độc thân, nên phân tử thuận từ. Thực nghiệm xác nhận tính thuận từ của phân tử B<sub>2</sub>.

### Phân tử C<sub>2</sub>

Cấu hình electron  $\sigma_{2s}^2 \sigma_{2s}^{*2} \pi_x^2 \pi_y^2; B = \frac{6-2}{2} = 2; l = 1,31 \overset{0}{\text{Å}}; E = 628 \text{kJ/mol}$

Có hai liên kết giữa hai nguyên tử C.

### Phân tử N<sub>2</sub>

Cấu hình electron  $\sigma_{2s}^2 \sigma_{2s}^{*2} \pi_x^2 \pi_y^2 \sigma_z^2; B = \frac{8-2}{2} = 3; l = 1,1 \overset{0}{\text{Å}}; E = 942 \text{kJ/mol}$

Có ba liên kết giữa hai nguyên tử Nitơ.

### Phân tử O<sub>2</sub>

Cấu hình electron  $\sigma_{2s}^2 \sigma_{2s}^{*2} \sigma_z^2 \pi_x^2 \pi_y^2 \pi_x^{*1} \pi_y^{*1}; B = \frac{8-4}{2} = 2; l = 1,21 \overset{0}{\text{Å}}; E = 494 \text{kJ/mol}$

Có liên kết đôi giữa hai nguyên tử oxi (O = O). Với cấu hình electron của phân tử oxi (O<sub>2</sub>) người ta đã giải thích tính thuận từ của oxi và đó là một thành công của thuyết MO.

### Phân tử F<sub>2</sub>

Cấu hình electron  $\sigma_{2s}^2 \sigma_{2s}^{*2} \sigma_z^2 \pi_x^2 \pi_y^2 \pi_x^{*2} \pi_y^{*2}; B = \frac{8-6}{2} = 1; l = 1,42 \text{ \AA}; E = 155 \text{ kJ/mol}$

Công thức biểu diễn F-F .

### Phân tử Ne<sub>2</sub>

Cấu hình electron  $\sigma_{2s}^2 \sigma_{2s}^{*2} \sigma_z^2 \pi_x^2 \pi_y^2 \pi_x^{*2} \pi_y^{*2} \sigma_z^{*2}; B = \frac{8-8}{2} = 0$

Phân tử Ne<sub>2</sub> không tồn tại.

Trong dãy các phân tử Li<sub>2</sub>; C<sub>2</sub>; N<sub>2</sub> năng lượng liên kết tăng làm tăng độ bền phân tử do sự thêm liên kết electron vào các MO liên kết. Còn trong dãy N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, F<sub>2</sub> độ bền của phân tử giảm do sự thêm electron vào các MO phản liên kết.

### ***f. So sánh thuyết VB và thuyết MO***

Hai phương pháp VB và MO đều vận dụng cơ học lượng tử để khảo sát phân tử, song chúng có những ưu, nhược điểm khác nhau. Cả hai thuyết đều đưa đến một số kết quả chung sau đây:

Cả hai thuyết đều dẫn đến sự phân bố giống nhau của electron trong phân tử.

Trong hai thuyết, yếu tố quan trọng nhất để tạo thành liên kết cộng hoá trị là mật độ electron ở giữa hai hạt nhân nguyên tử.

Để có thể tạo thành liên kết, các obitan của những nguyên tử liên kết phải xen phủ nhau.

Hai thuyết đều phân biệt liên kết  $\sigma$  và liên kết  $\pi$ .

Ưu điểm nổi bật của phương pháp VB là mô tả phân tử một cách cụ thể: Dùng khái niệm hoá trị trong hoá học và biểu diễn một phân tử bằng công thức cấu tạo. Thuyết VB không giải thích được sự tồn tại của ion H<sub>2</sub><sup>+</sup> tính thuận từ của O<sub>2</sub>...

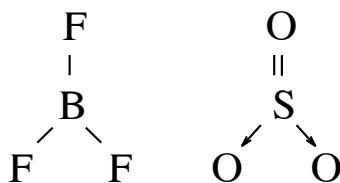
Thuyết MO cho phép mô tả liên kết hoá học trong mọi phân tử. Bản chất của liên kết kim loại được mô tả một cách thoả mãn theo thuyết MO. Thuyết MO giải thích được quang phổ electron của phân tử. Cần chú ý rằng kết quả mô tả phân tử của phương pháp MO cũng chỉ mô tả được trạng thái electron trong phân tử gần với trạng

thái thực. Vì vậy hai phương pháp này bổ sung cho nhau và tùy trường hợp cụ thể có thể trình bày thuyết này nặng hơn thuyết kia.

## 2.4. Phân tử phân cực và không phân cực. Momen lưỡng cực của phân tử

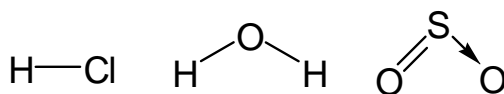
### 2.4.1. Phân tử không phân cực

Là phân tử trong đó điện tích dương của các hạt nhân và điện tích âm của các electron được phân bố *hoàn toàn đối xứng*, nên trọng tâm điện tích dương và âm trùng nhau. Đó là các phân tử hai nguyên tử giống nhau như  $H_2$ ,  $Cl_2$ ,  $N_2$ ... , các phân tử có cấu hình hình học hoàn toàn đối xứng như các phân tử có cấu hình phẳng như  $BeH_2$ ,  $CO_2$ ..., các phân tử có cấu hình tứ diện đều với bốn nguyên tử giống nhau liên kết với nguyên tử ở tâm của tứ diện như  $CH_4$ ,  $CCl_4$ ..., các phân tử có hình ba góc phẳng bằng nhau với ba nguyên tử giống nhau liên kết với nguyên tử ở tâm của tam giác đều như  $BF_3$ ,  $SO_3$ ...



### 2.4.2. Phân tử phân cực

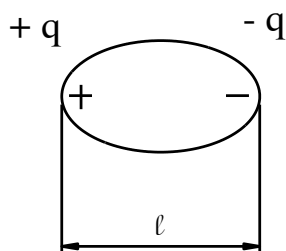
Là phân tử trong đó điện tích dương của hạt nhân và điện tích âm của các electron được phân bố không đối xứng, do đó các trọng tâm điện tích dương và âm không trùng nhau. Các phân tử này có cấu hình hình học không đối xứng như  $HCl$ ,  $H_2O$ ,  $SO_2$ ,  $CHCl_3$ ,...



### 2.4.3. Momen lưỡng cực của phân tử

Đối với phân tử phân cực, thường dùng đại lượng momen lưỡng cực để chỉ sự phân cực của phân tử. Momen lưỡng cực của phân tử được tính bằng công thức:

$$\mu = ql \quad (2.1)$$



Trong đó  $q$  là giá trị tuyệt đối của trọng tâm điện tích dương hoặc âm được tính bằng Culong (C);

$l$  : Độ dài lưỡng cực được tính bằng mét (m);

$\mu$  : Momen lưỡng cực phân tử được tính bằng (C.m).

Đơn vị của momen lưỡng cực được dùng là Đơ bai ( Debye D).

$$1D = \frac{10^{-29}}{3} \text{C.m} \approx 3,33 \cdot 10^{-30} \text{C.m}$$

Momen lưỡng cực của phân tử là đại lượng đặc trưng cho độ phân cực của phân tử. Momen lưỡng cực càng lớn độ phân cực của phân tử càng lớn.

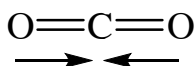
Ví dụ

Phân tử	HF	HCl	HBr	HI
$\mu$ (D)	1,91	1,03	0,79	0,42

Đối với các phân tử không phân cực thì momen lưỡng cực bằng 0.

Momen lưỡng cực là đại lượng có hướng nghĩa là coi momen lưỡng cực của mỗi liên kết là một vectơ. Người ta thường quy ước chiều của vectơ lưỡng cực hướng từ âm sang dương (có thể quy ước chiều ngược lại). Momen lưỡng cực của phân tử bằng tổng các vectơ momen lưỡng cực của các liên kết trong phân tử.

Ví dụ: Phân tử  $\text{CO}_2$  có  $\mu = 0$ , vì hai vectơ lưỡng cực của hai liên kết C-O bằng nhau nhưng ngược chiều nhau.



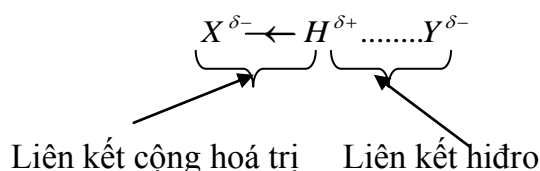
Phân tử  $\text{H}_2\text{O}$  có  $\mu > 0$ , vì tổng hai vectơ lưỡng cực của hai liên kết O-H lớn hơn số không.

## 2.5. Các liên kết khác

### 2.5.1. Liên kết hiđro

#### a. Khái niệm

Liên kết hiđro được hình thành giữa một nhóm  $X^{\delta-} \leftarrow H^{\delta+}$  phân cực và một nguyên tử (hay một nhóm nguyên tử)  $Y^{\delta-}$  mang cặp electron tự do, nhờ một tương tác tĩnh điện yếu khoảng 20 - 25 kJ/mol.



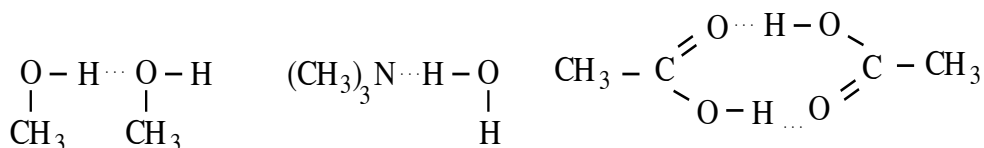
X và Y thường là oxi, nitơ hoặc flo.

Liên kết X - H càng phân cực và khả năng nhường electron của Y càng lớn thì liên kết hiđro càng bền vững.

#### b. Phân loại

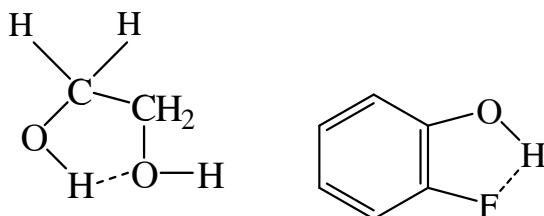
*Liên kết hiđro liên phân tử:* Đó là trường hợp mà X-H và Y thuộc về hai phân tử riêng rẽ (giống nhau hoặc khác nhau).

Ví dụ:



*Liên kết hiđro nội phân tử:* Đó là liên kết giữa X-H và Y của cùng một phân tử

Ví dụ:



#### c. Ảnh hưởng của liên kết hiđro đến tính chất vật lí

*Liên kết hiđro liên phân tử* làm tăng nhiệt độ sôi, nhiệt độ nóng chảy so với những chất có phân tử khối tương đương mà không có liên kết hiđro hoặc chỉ có liên kết hiđro nội phân tử.



Ví dụ: Nhiệt độ sôi của ba chất có phân tử khối gần bằng nhau  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ :  $78^\circ\text{C}$ ;  $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ :  $-24^\circ\text{C}$ ;  $\text{CH}_3\text{SH}$ :  $6^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{nc}}^0$  của para-nitrophenol và octo-nitrophenol lần lượt là:  $114^\circ\text{C}$  và  $44^\circ\text{C}$ .

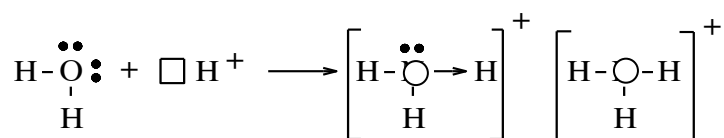
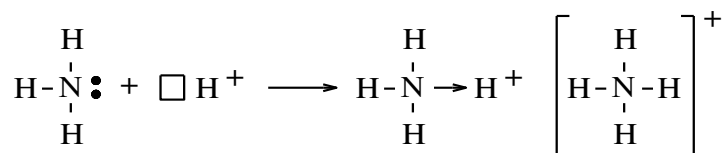
Sự hình thành liên kết hiđro giữa chất tan và dung môi làm tăng mạnh độ tan trong dung môi đó. Đối với các dẫn xuất của hiđrocacbon độ tan sẽ tăng khi khả năng tạo liên kết hiđro của nhóm chức tăng và giảm khi gốc hiđrocacbon (không có khả năng tạo liên kết hiđro) càng lớn.

Ví dụ: Độ tan trong nước (g/100g $\text{H}_2\text{O}$ ):  $\text{CH}_3\text{COOH}$ :  $\infty$ ;  $\text{HCOOCH}_3$ : 30;  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ :  $\infty$ ; n- $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$  : 7,4; n- $\text{C}_6\text{H}_{13}\text{OH}$ : 0,6 ;  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ : (glucozo): 83

### 2.5.2. Liên kết cho nhận (phối trí)

Là loại liên kết cộng hoá trị, mà khi hình thành cặp electron dùng chung để tạo liên kết, chỉ do một nguyên tử (hoặc ion) cung cấp.

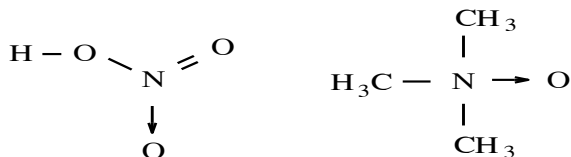
Ví dụ :



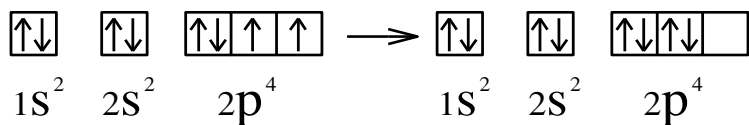
Trong phân tử CO, liên kết giữa C và O là liên kết ba trong đó hai liên kết được tạo thành do sự góp chung các electron độc thân của hai nguyên tử, còn liên kết thứ ba là liên kết cho nhận được tạo thành bằng cặp electron hoá trị chưa tham gia liên kết của oxi và obitan trống 2p của C:  $\text{C}\equiv\text{O} \quad \leftarrow$

Liên kết cho nhận được hình thành đôi khi do sự sắp xếp lại các electron để tạo ra một obitan trống.

Ví dụ:



Nguyên tử oxi có sự sắp xếp lại các electron để tạo ra một orbital hoá trị trống, tạo điều kiện cho việc "nhận" cặp electron liên kết :



Năng lượng cần cho sự sắp xếp lại được bù lại bằng năng lượng tạo liên kết.

### 2.5.3. Tương tác VanDeVan

Giữa các phân tử cộng hoá trị luôn có lực tương tác, ngay cả đối với những phân tử không phân cực. Điều đó biểu hiện ở tính chất vật lí của những hợp chất không phân cực như metan, hexan, icosan....

$\text{CH}_4$  :  $M = 16$ , chất khí ở nhiệt độ phòng,  $t_s = -162^\circ\text{C}$  ;

$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4$  :  $M = 86$ , chất lỏng ở nhiệt độ phòng  $t_s = 69^\circ\text{C}$  ;

$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{CH}_3$ :  $M = 202$ , chất rắn ở nhiệt độ phòng  $t_{nc} = 37^\circ\text{C}$ .

Những lực hút yếu giữa các phân tử không phân cực như trên được gọi là lực VanDeVan. Người ta chia lực VanDeVan làm ba loại: Tương tác định hướng, tương tác cảm ứng và tương tác khuếch tán.

#### a. Tương tác định hướng

Là tương tác giữa các phân tử có mômen lưỡng cực khác không. Tương tác này xuất hiện do đầu tích điện dương của phân tử lưỡng cực này hút đầu tích điện âm của phân tử lưỡng cực khác làm cho các phân tử lại gần nhau và được sắp xếp lại theo một hướng xác định (hình 2.14).

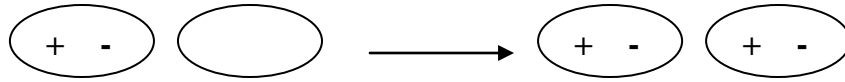


**Hình 2.14.** Tương tác định hướng giữa các phân tử

Tương tác định hướng càng mạnh khi phân tử có mômen lưỡng cực càng lớn. Tương tác này giảm khi nhiệt độ tăng, vì sự chuyển động nhiệt phá vỡ sự định hướng giữa các phân tử.

### b. Tương tác cảm ứng

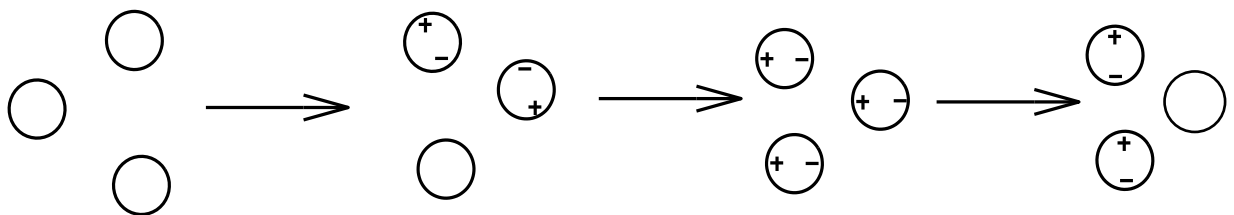
Nếu một phân tử không cực ở cạnh một phân tử có cực thì phân tử có cực sẽ cảm ứng phân tử không cực, biến nó thành phân tử có cực tạm thời. Các cực ngược dấu của hai phân tử hút nhau (hình 2.15).



**Hình 2.15.** Tương tác cảm ứng giữa các phân tử

### c. Tương tác khuếch tán

Là lực hút giữa các phân tử không cực. Do chuyển động không ngừng của hạt nhân và electron dẫn đến trong một khoảnh khắc nào đó chúng lệch xa nhau làm phân tử không cực xuất hiện lưỡng cực tạm thời và các phân tử không cực hút nhau nhờ các lưỡng cực tạm thời gọi là tương tác khuếch tán (hình 2.16).



**Hình 2.16.** Tương tác khuếch tán giữa các phân tử

Tổng ba loại tương tác định hướng ( $U_{dh}$ ), cảm ứng ( $U_{cr}$ ) và khuếch tán ( $U_{kt}$ ) là tương tác VanDeVan. Tương tác VanDeVan thường nhỏ, từ 5-8 kJ/mol. Tuy nhiên nó có ý nghĩa rất lớn, vì nó là nguyên nhân gây nên sự ngưng tụ các chất hơi, sự hoà tan các chất trong dung môi, sự hấp phụ hơi các chất trên bề mặt các pha ngưng tụ....

## 2.6. Liên kết hoá học trong tinh thể

### 2.6.1. Khái niệm tinh thể

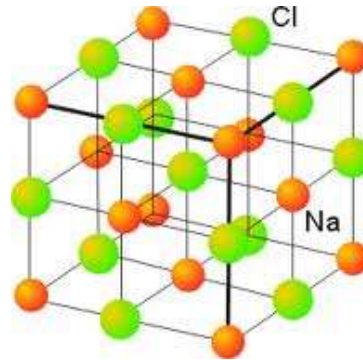
Là chất rắn ,trong đó các ion, nguyên tử hay phân tử sắp xếp theo những trật tự nhất định, tạo nên những tinh thể có hình dáng hoàn toàn xác định.

## 2.6.2. Phân loại các tinh thể

Dựa trên bản chất liên kết hoá học trong tinh thể, người ta phân chia thành các loại tinh thể sau:

### a. Tinh thể ion

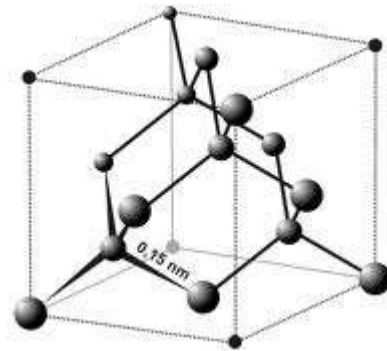
Gồm các ion dương và ion âm liên kết với nhau bằng lực hút tĩnh điện. Ví dụ hợp chất ion NaCl, liên kết này rất bền nên có nhiệt độ nóng chảy và nhiệt độ sôi cao. Ví dụ: Nhiệt độ nóng chảy của NaCl là  $800^{\circ}\text{C}$ , nhiệt độ sôi là  $1454^{\circ}\text{C}$ . Hợp chất ion ở dạng khan không dẫn điện và dẫn nhiệt.



Hình 2.17a. Tinh thể NaCl

### b. Tinh thể cộng hoá trị

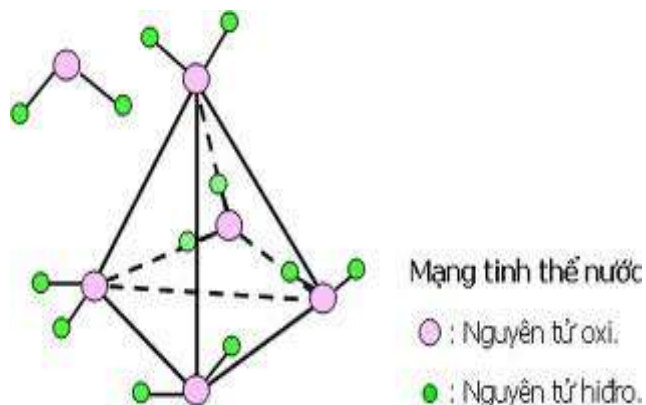
Các nguyên tử liên kết với nhau bằng liên kết cộng hoá trị rất bền, nên chúng có nhiệt độ nóng chảy và nhiệt độ sôi rất cao. Ví dụ tinh thể kim cương, tinh thể silic (nhiệt độ nóng chảy  $1420^{\circ}\text{C}$ , nhiệt độ sôi  $3300^{\circ}\text{C}$ ). Hợp chất tinh thể cộng hoá trị không dẫn điện và nhiệt.



Hình 2.17b. Tinh thể kim cương

### c. Tinh thể phân tử

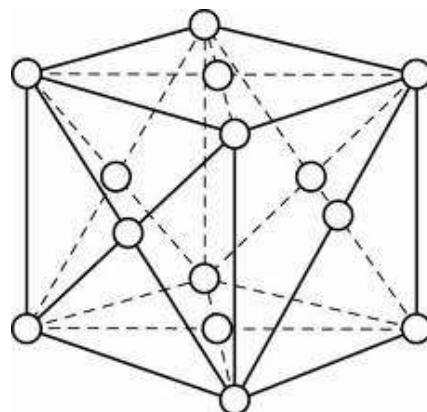
Các phân tử liên kết với nhau bằng lực VanđơVan. Trong một số tinh thể loại này còn có cả liên kết hiđro. Ví dụ:  $\text{CO}_2$ , các halogen, đa số các hợp chất hữu cơ. Các liên kết này đều yếu nên chất tinh thể phân tử có nhiệt độ nóng chảy và nhiệt độ sôi thấp, không dẫn điện và dẫn nhiệt.



Hình 2.17c. Tinh thể phân tử nước đá

#### ***d. Tinh thể kim loại***

Các liên kết trong tinh thể kim loại là liên kết kim loại. Bản chất liên kết kim loại là cộng hoá trị nhưng các electron hoá trị của kim loại thuộc toàn khối kim loại nên chúng rất linh động nên kim loại dẫn điện, dẫn nhiệt rất tốt. Liên kết kim loại là liên kết bền nên kim loại có nhiệt độ sôi, nhiệt độ nóng chảy cao. Ví dụ: Vonfram có nhiệt độ nóng chảy cao nhất ( $3390^{\circ}\text{C}$ ). Ở nhiệt độ thường tất cả các kim loại đều ở thể rắn (trừ Hg).



Hình 2.17d. Tinh thể kim loại Cu

### **CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP**

#### **1. Bài tập giải thích sự hình thành các phân tử**

**2.1.** Điều kiện tạo thành liên kết ion?. Cho ví dụ

**2.2.** Theo thuyết kinh điển, các phân tử liên kết cộng hoá trị hình thành bằng cách nào?

Cho ví dụ.

Thể nào là liên kết cộng hoá trị phân cực, liên kết cộng hoá trị không phân cực?

Cho ví dụ.

**2.3.** Giải thích sự tạo thành các phân tử  $\text{H}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$  theo thuyết kinh điển và thuyết VB?.

**2.4.** Vẽ sơ đồ tạo phân tử:

1.  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{S}$ .

2.  $\text{MgBr}_2$ ,  $\text{BaS}$ ,  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ .

**2.6.** Dựa vào những đặc điểm nào để phân biệt liên kết cộng hoá trị và liên kết ion.

**2.7.** Giả sử các ion sau đây đều có các liên kết cộng hoá trị:  $\text{O}_2^{2-}$ ;  $\text{S}_3^{2-}$ ;  $\text{NH}_4^+$ ;  $\text{IO}_3^-$ ;  $\text{NO}_3^-$ ;  $\text{SO}_4^{2-}$ ;  $\text{PO}_4^{3-}$ . Trình bày cấu trúc electron và suy ra cấu trúc cấu tạo của chúng?

**2.8.** Viết cấu trúc electron và cấu trúc cấu tạo của các phân tử:

$\text{HCl}$ ,  $\text{HClO}$ ,  $\text{HClO}_2$ ,  $\text{HClO}_3$ ,  $\text{HClO}_4$ ,  $\text{Cl}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Cl}_2\text{O}_7$ .

$\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

$\text{Al}_4\text{C}_3$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{CrO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ .

$\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{CaC}_2$ .

**2.9.** Giải thích sự tạo thành các phân tử  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CCl}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{BF}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ;  $\text{C}_2\text{H}_2$ ,  $\text{BeCl}_2$  theo quan điểm thuyết lai hoá.

**2.10.** Viết công thức cấu tạo và chỉ rõ liên kết nào là liên kết cộng hoá trị, liên kết cho - nhận trong các phân tử và ion dưới đây:  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{CH}_3\text{NO}_2$ ,  $\text{BH}_4^-$ ,  $\text{CO}$ .

## 2. Bài tập thuyết lai hóa

**2.11.** Cho các hợp chất sau đây:  $\text{OF}_2$ ,  $\text{NF}_3$ ,  $\text{BF}_3$ . Biết góc lai hóa tương ứng được hình thành ở các hợp chất nói trên lần lượt là:

$\alpha(\text{FOF}) = 103,15^\circ$ ;  $\alpha(\text{FNF}) = 102^\circ$ ;  $\alpha(\text{FBF}) = 120^\circ$ . Hãy cho biết:

- Số cặp electron liên kết và không phân chia.
- Kiểu lai hóa của nguyên tử trung tâm.
- Dạng tổng quát  $\text{AX}_m\text{E}_n$ .
- Cấu trúc không gian của phân tử.
- Giải thích tại sao góc hóa trị tăng dần từ phân tử  $\text{OF}_2$  đến  $\text{BF}_3$ .

Cho: O (Z=8); B (Z=5); F (Z=9); N(Z=7).

**2.12.** Dựa vào thuyết lai hóa hãy giải thích tại sao phân tử  $\text{BF}_3$  có cấu trúc tam giác phẳng, biết B(Z=5); F(Z=9).

**2.13.** Phân tử  $\text{H}_2\text{O}$  có cấu trúc tam giác phẳng. Hãy:

1. Cho biết trạng thái lai hóa của oxy. Minh họa bằng sơ đồ?
2. Tính giá trị momen lưỡng cực của phân tử này?

Cho  $\alpha(\text{H}_2\text{O}) = 105^\circ$ ,  $\mu_{\text{OH}} = 1,52\text{D}$ ; O (Z=8).

**2.14.** Cho các hợp chất sau:  $\text{CHCl}_3$ ;  $\text{CCl}_4$ ;  $\text{PH}_3$ ;  $\text{BeCl}_2$ ;  $\text{SO}_3$ ;  $\text{SO}_2$ .

1. Hãy cho biết phân tử nào phân cực. Dạng lai hóa của nguyên tử trung tâm.
2. Hãy cho biết phân tử nào chưa phân cực. Giải thích và chỉ rõ dạng lai hóa của nguyên tử trung tâm.

**2.15.** Chọn các phát biểu đúng:

- A.  $\text{CO}_2$  và  $\text{SO}_2$  đều có cấu trúc thẳng hàng
- B.  $\text{CH}_4$  và  $\text{NH}_4^+$  đều có cấu trúc tứ diện đều
- C.  $\text{CO}_3^{2-}$  và  $\text{SO}_3^{2-}$  đều có cấu trúc phẳng

D. H<sub>2</sub>O và BeCl<sub>2</sub> đều có cấu trúc góc

### 3. Bài tập tổng hợp

**2.16.** Dựa vào độ âm điện, hãy sắp xếp theo chiều tăng độ phân cực của liên kết giữa hai nguyên tử trong phân tử CaO, MgO, CH<sub>4</sub>, AlN, N<sub>2</sub>, NaBr, BCl<sub>3</sub>, AlCl<sub>3</sub>. Phân tử nào thuộc loại liên kết ion? Liên kết cộng hóa trị có cực, không cực?

**2.17.** Tại sao nitơ là một chất khí tương đối trơ ở nhiệt độ thường? Viết công thức electron và công thức cấu tạo của NH<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>Cl, HNO<sub>3</sub>. Xác định hóa trị và số oxi hóa của nitơ trong các hợp chất đó?

**2.18.** Trong phân tử N<sub>2</sub> và NO, nguyên tử nitơ có thỏa mãn quy tắc bát tử không?

Giải thích? Cho nguyên tử nitơ có Z = 7 và oxi có Z = 8.

**2.19.** Trong bảng hệ thống tuần hoàn, cacbon và silic là hai nguyên tố thuộc chu kỳ 2 và 3 và ở cùng nhóm IVA. Hãy giải thích:

1. Tại sao cacbon ở dạng cấu trúc kim cương lại có nhiệt độ nóng chảy cao ( $\approx 4000^{\circ}\text{C}$ ), trong khi đó Si lại có nhiệt độ nóng chảy thấp hơn ( $\approx 1410^{\circ}\text{C}$ ).
2. Phân tử CCl<sub>4</sub> là trung hòa, trơ với nước, còn SiCl<sub>4</sub> lại có tính axit và dễ bị phân hủy.

**2.20.** Hai phân tử NH<sub>3</sub> và NF<sub>3</sub> đều có cấu trúc tháp tam giác.

1. Hãy cho biết trạng thái lai hóa của N trong cả hai trường hợp trên và biểu diễn chúng bằng sơ đồ?
2. Giải thích tại sao momen lưỡng cực của phân tử NH<sub>3</sub> (1,46D) lớn hơn nhiều so với giá trị tương ứng của NF<sub>3</sub> (0,2D)

Cho H(Z=1); N(Z=7); F(Z=9)

$\alpha(\text{HNH}) = 170^{\circ}$ ;  $\alpha(\text{FNF}) = 102^{\circ}$ ;  $\chi_{\text{F}} > \chi_{\text{N}} > \chi_{\text{H}}$ .

**2.21.** Giải thích các trạng thái hoá trị của các nguyên tố dưới đây: F, Cl, O, S, N, P, C.

**2.22.** Nội dung cơ bản của phương pháp obitan MO là gì? Lấy trường hợp ion H<sub>2</sub><sup>+</sup> để giải thích.

**2.23.** Vẽ giản đồ năng lượng các MO của các phân tử A<sub>2</sub> thuộc chu kỳ 1 và 2. Từ đó viết các dãy năng lượng tăng dần các MO của chúng.

**2.24.** Tại sao không tồn tại các phân tử He<sub>2</sub>, Ne<sub>2</sub>? Giải thích bằng phương pháp: VB và MO.

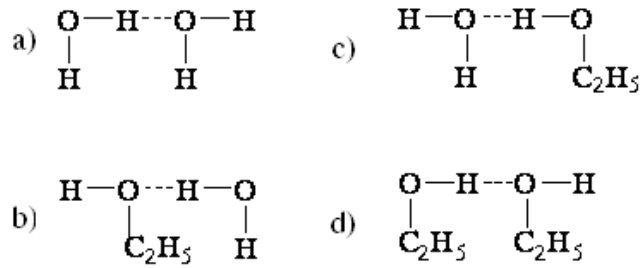
- 2.25.** Thế nào là phân tử phân cực và không phân cực? Lấy ví dụ. Đại lượng đặc trưng cho độ phân cực của phân tử là gì?
- 2.26.** Momen lưỡng cực của phân tử là gì? Làm thế nào để biết được một phân tử có momen lưỡng cực bằng không hoặc khác không?
- 2.27.** Lực VanđeVan gồm những tương tác gì? Đặc điểm của lực VanđeVan là gì? Lực VanđeVan gây nên những quá trình nào của các chất?
- 2.28.** Điều kiện tạo thành liên kết hiđro là gì? Ảnh hưởng của liên kết hiđro đến tính chất như thế nào? Cho ví dụ. So sánh nhiệt độ nóng chảy và nhiệt độ sôi của  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$  và  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$ . Giải thích?
- 2.29.** Giải thích sự tạo thành liên kết cho-nhận trong các phân tử và ion dưới đây:  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{H}_3\text{O}^+$ .
- 2.30.** Phân biệt liên kết  $\sigma$  và  $\pi$ . Cho ví dụ. Liên kết nào bền hơn. Tại sao?
- 2.31.** Sự phân chia các loại tinh thể dựa trên cơ sở nào? Nêu một số đặc tính của các hợp chất tạo bởi các tinh thể ion, tinh thể cộng hoá trị, tinh thể phân tử, kim loại.
- 2.32.** Dự đoán xem hợp chất nào trong các cặp hợp chất dưới đây có nhiệt độ sôi cao hơn, hoà tan trong nước nhiều hơn? Vì sao?
1.  $\text{NaCl}$  và  $\text{RbCl}$
  2.  $\text{CsCl}$  và  $\text{NaCl}$
  3.  $\text{NaI}$  và  $\text{NiF}$
  4.  $\text{CsI}$  hay  $\text{CsBr}$
- 2.33.** Cho một loạt các hợp chất được xếp theo từng nhóm trong bảng dưới đây:

IVA	VA	VIA	VIIA
$\text{CH}_4$	$\text{NH}_3$	$\text{H}_2\text{O}$	$\text{HF}$
$\text{SiH}_4$	$\text{PH}_3$	$\text{H}_2\text{S}$	$\text{HCl}$
$\text{GeH}_4$	$\text{AsH}_3$	$\text{H}_2\text{Se}$	$\text{HBr}$
$\text{SnH}_4$	$\text{SbH}_3$	$\text{SbH}_3$	$\text{HI}$

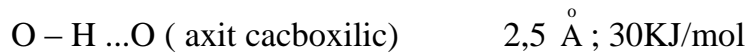
Hãy giải thích tại sao nhiệt độ sôi ( $t^0_s$ ) và nhiệt độ nóng chảy ( $t^0_{nc}$ ) lại tăng dần từ  $\text{CH}_4$  đến  $\text{SiH}_4$  trong nhóm IVA, trong khi đó ở các hợp chất còn lại thuộc nhóm VA, VIA và VIIA thì ( $t^0_s$ ) và ( $t^0_{nc}$ ) lại giảm từ chất 1 đến chất 2 sau đó lại tăng từ chất 2 đến cuối nhóm.

- 2.34.** Dung dịch  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  trong nước tồn tại bốn kiểu liên kết hiđro, kiểu nào bền hơn:



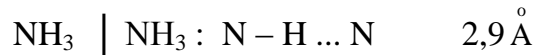
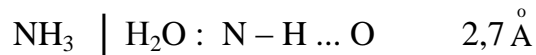
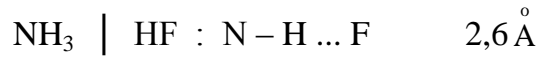


2.35. 1. Cho các đặc trưng về độ dài liên kết hidro và năng lượng hình thành nó như sau:



Giải thích vì sao cùng là liên kết hidro mà trong hai trường hợp lại khác nhau.

2. Sự biến đổi độ dài liên kết hidro của các hợp chất sau:



Cho biết lí do vì sao độ dài liên kết trong các hợp chất trên lại thay đổi?

## CHƯƠNG 3. NHIỆT ĐỘNG HOÁ HỌC

**Nhiệt động học** nghiên cứu sự thay đổi năng lượng giữa hệ nghiên cứu và môi trường; sự chuyển hóa lẫn nhau giữa các dạng năng lượng, đặc biệt giữa nhiệt năng và các dạng năng lượng khác. Nhiệt động học cũng xem xét xu thế diễn biến và giới hạn của các quá trình đó.

Việc áp dụng các nguyên lí của nhiệt động học vào trong hoá học làm xuất hiện ngành **nhiệt động hoá học**. Nhiệt động hoá học cho biết năng lượng kèm theo các quá trình hoá học, chiều và giới hạn của các quá trình hoá học. Cơ sở lí thuyết của nhiệt động hoá học là các nguyên lí của nhiệt động học.

### 3.1. Một số khái niệm

#### 3.1.1. Khí lí tưởng

##### a. Khái niệm

Chất khí được coi là lí tưởng khi bỏ qua sự tương tác giữa các phân tử khí, bỏ qua thể tích riêng của các phân tử khí. Như vậy, có thể coi khí ở áp suất thấp là khí lí tưởng.

Phương trình trạng thái khí lí tưởng có dạng:

$$PV = nRT = \frac{m}{M}RT \quad (3.1)$$

Ở đây:  $m$  là khối lượng của khí (g);

$M$ : Mol phân tử của khí (g);

$R$ : Hằng số khí lí tưởng,  $R = 0,082 \text{ l} \cdot \text{atm/mol} \cdot \text{K}$  nghĩa là thể tích được dùng là lít, áp suất là atm và nhiệt độ tuyệt đối.

*Chú ý:* Hằng số  $R$  có giá trị khác nếu dùng các đơn vị khác của thể tích và áp suất:  $1 \text{ atm} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 = 760 \text{ mmHg}$ .

##### b. Tính chất khí lí tưởng

Trong bình kín của một hỗn hợp khí, mỗi khí gây nên một áp suất riêng phần của khí đó và được kí hiệu là  $P_i$ . Tổng áp suất riêng phần của các khí trong hỗn hợp

bằng áp suất chung  $P$  của hỗn hợp khí. Gọi  $V$  là thể tích chung của hỗn hợp khí, thì phương trình trạng thái khí lí tưởng có dạng:

$$P = \sum P_i = \frac{\sum n_i RT}{V} \quad (3.2)$$

$\sum n_i$ : Tổng số mol khí trong hỗn hợp,  $n_i$ : Số mol khí  $i$  trong hỗn hợp.

Áp suất riêng phần  $P_i$  của khí  $i$  trong hỗn hợp có thể tính theo công thức:

$$P_i = n_i \frac{RT}{V} \quad (3.3)$$

### 3.1.2. Hệ và môi trường

Hệ là phần của vũ trụ được tách ra để nghiên cứu, phần còn lại của vũ trụ nằm ngoài hệ được gọi là *môi trường*. Người ta phân chia thành các loại hệ như sau:

*Hệ cô lập* là hệ không trao đổi chất và năng lượng với môi trường (hình 3.1a)

*Hệ kín* là hệ chỉ trao đổi năng lượng, không trao đổi chất với môi trường (hình 3.1b,c);

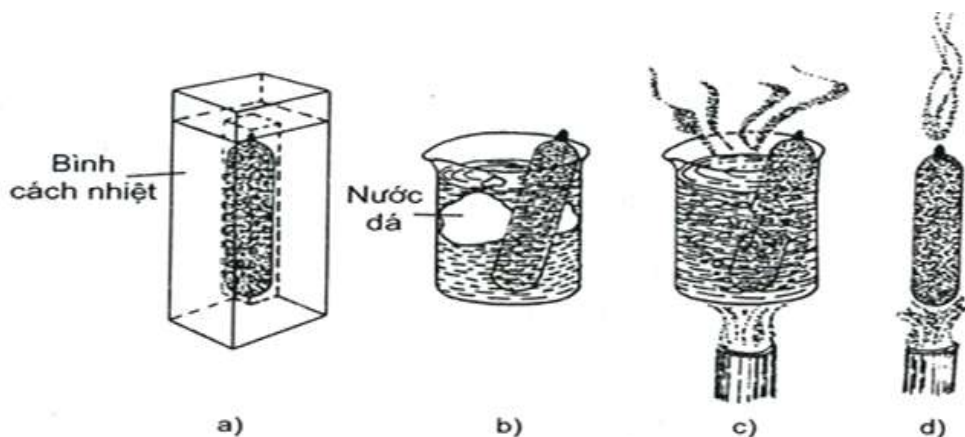
*Hệ mở* là hệ trao đổi cả năng lượng và chất với môi trường (hình 3.1d);

*Hệ đồng thể* là hệ không có bề mặt phân chia pha trong hệ, Ví dụ: Hệ gồm các chất khí là hệ đồng thể;

*Hệ dị thể* là hệ có bề mặt phân chia pha trong hệ, Ví dụ: Hệ gồm nước lỏng - nước đá.

*Toàn bộ phần đồng thể của một hệ, mà ở đó thành phần hoá học và tính chất vật lí tại mọi điểm đều đồng nhất được gọi là pha.*

Ví dụ: Hệ dị thể trong ví dụ trên là hệ hai pha.



**Hình 3.1.** a) Hệ cô lập, b, c) Hệ kín, d) Hệ mở

### 3.1.3. Quy ước dấu của năng lượng trao đổi giữa hệ và môi trường

Trong quá trình biến đổi, nếu hệ nhận năng lượng của môi trường thì năng lượng của hệ nhận mang dấu dương.

Ví dụ: Khi nước lỏng bay hơi nhận nhiệt của môi trường. Hiệu ứng nhiệt của quá trình này là + 44,01kJ/mol.

Ngược lại, khi hệ biến đổi mà nhường năng lượng cho môi trường thì năng lượng mà hệ nhường mang dấu âm.

Ví dụ: Hiệu ứng nhiệt của quá trình 1 mol hơi nước chuyển hoàn toàn thành lỏng ở 25<sup>0</sup>C và 1atm là - 44,01kJ/mol.

### 3.1.4. Thông số trạng thái. Hàm trạng thái

Trạng thái vĩ mô của một hệ được đặc trưng bằng một tập hợp các đại lượng như: nhiệt độ; áp suất; thể tích; khối lượng; thành phần hoá học.... Những đại lượng này được gọi là *thông số trạng thái*.

*Thông số trạng thái khuếch độ* là đại lượng tỉ lệ với lượng chất, như là: Thể tích, khối lượng.

*Thông số trạng thái cường độ* là đại lượng không phụ thuộc vào lượng chất, như là: Nhiệt độ, áp suất, nồng độ.

Các thông số trạng thái đặc trưng cho một hệ, liên hệ với nhau bằng một phương trình gọi là *phương trình trạng thái*. Ví dụ: n mol khí lí tưởng ở nhiệt độ T, áp suất P, chiếm một thể tích V liên hệ với nhau theo hệ thức:  $PV=nRT$ .

*Hàm trạng thái* là hàm mà giá trị của nó chỉ phụ thuộc vào các thông số trạng thái của hệ, nghĩa là nó không phụ thuộc vào những biến đổi trước đó của hệ. Ví dụ: Có n mol khí lí tưởng ở trạng thái 1 được đặc trưng bởi phương trình trạng thái

$P_1 = \frac{nRT_1}{V_1}$ , ở trạng thái 2 đặc trưng bởi phương trình trạng thái  $P_2 = \frac{nRT_2}{V_2}$ . Khi đó,

P là hàm trạng thái, nó không phụ thuộc vào cách biến đổi từ trạng thái 1 sang trạng thái 2.

### 3.1.5. Trạng thái cân bằng

Một hệ ở trạng thái cân bằng, nếu các thông số trạng thái của hệ không biến đổi theo thời gian. Trong trường hợp này, tồn tại đồng thời cân bằng nhiệt, cân bằng cơ và cân bằng hoá học.

### 3.1.6. Công và nhiệt

Công và nhiệt là những hình thức truyền năng lượng giữa hệ và môi trường, do đó có thứ nguyên năng lượng. Công và nhiệt không phải là hàm trạng thái, giá trị của chúng phụ thuộc vào cách biến đổi.

#### a. Công $A$

Là một đại lượng đặc trưng cho mức độ trao đổi năng lượng thông qua chuyển động có hướng của hệ.

Ví dụ: Khi nâng một vật có khối lượng  $m$  lên một độ cao  $h$  so với mặt đất, ta đã tác động vào vật một công  $A$ :  $A = mgh$ . (3.4)

$g$ : Gia tốc trọng lực, công được tính bằng Jun (J).

Theo qui ước, công có dấu dương nếu nó do môi trường xung quanh tác dụng vào hệ, trong trường hợp ngược lại công có dấu âm.

Chẳng hạn, công của sự giãn nở khí lí tưởng từ thể tích  $V_1$  đến thể tích  $V_2$  ở nhiệt độ không thay đổi trong một xi lanh kín nhờ một pittông được tính bằng công

$$\text{thức: } A = - \int_1^2 P_n dV \quad (3.5)$$

$P_n$ : Áp suất bên ngoài tác dụng lên phía ngoài pittông.

#### b. Nhiệt $Q$

Là một đại lượng đặc trưng cho mức độ trao đổi năng lượng. Sự khác nhau là ở chỗ trong trường hợp này sự trao đổi năng lượng được thực hiện thông qua sự chuyển động hỗn loạn của các phân tử.

Nhiệt được đo bằng Jun. Vì lí do lịch sử người ta vẫn còn sử dụng đơn vị calo:  $1 \text{calo} = 4,184 \text{ Jun}$ .

Theo quy ước, nhiệt  $Q$  có giá trị dương khi hệ thu nhiệt và giá trị âm khi hệ toả nhiệt.

## 3.2. Nguyên lí thứ nhất của nhiệt động học

### 3.2.1. Nội năng $U$

Năng lượng của một hệ bao gồm *động năng* chuyển động có hướng (chuyển động cơ) của toàn hệ, *thế năng* của hệ trong trường lực và *nội năng* của hệ.

*Nội năng* của hệ là phần năng lượng ứng với sự vận động bên trong hệ, gồm động năng chuyển động hỗn loạn của các phân tử (tịnh tiến và quay); thế năng tương tác giữa các phân tử; động năng và thế năng chuyển động dao động của các nguyên tử trong phân tử; năng lượng của các electron và hạt nhân nguyên tử.

Nội năng của hệ phụ thuộc vào bản chất, số lượng, áp suất, nhiệt độ, thể tích và thành phần của nó. Nội năng là đại lượng khuếch độ và là hàm trạng thái.

### 3.2.2. Nội dung nguyên lí I

Nguyên lí thứ nhất của nhiệt động lực học (gọi tắt là nguyên lí I), còn được gọi là nguyên lí bảo toàn năng lượng. Nguyên lí I được rút ra từ việc tổng kết kinh nghiệm của loài người mà không chứng minh được bằng lí thuyết. Nguyên lí I được thừa nhận là không mâu thuẫn với thực nghiệm và mọi hệ quả được rút ra từ đó đều phù hợp với thực nghiệm. Nguyên lí I được phát biểu dưới nhiều dạng khác nhau, dưới đây là một dạng của nguyên lí I:

*Khi một hệ kín thực hiện một quá trình, tổng đại số công A và nhiệt Q mà hệ trao đổi với môi trường ngoài là không đổi và bằng độ biến thiên nội năng của hệ.*

$$A + Q = \Delta U = \text{const} \quad (3.6)$$

Trong đó:  $\Delta U$  là sự biến thiên nội năng của hệ khi chuyển từ trạng thái 1 sang trạng thái 2:  $\Delta U = U_2 - U_1$ , U là hàm trạng thái nên  $\Delta U$  không phụ thuộc vào cách chuyển từ trạng thái này sang trạng thái kia của hệ.

Khi hệ thực hiện một quá trình vô cùng nhỏ, biểu thức của nguyên lí I có dạng:

$$dU = \delta A + \delta Q \quad (3.7)$$

$\delta A, \delta Q$  là không phải là vi phân toàn phần, nhưng tổng  $\delta A + \delta Q$  lại là vi phân toàn phần và bằng  $dU$ .

Nếu công được thực hiện chỉ do sự biến đổi thể tích (công thể tích) thì:

$$\delta A = -PdV \quad (3.8)$$

P : Áp suất;

$dV$ : Vi phân thể tích.

$$\text{Từ đó: } dU = \delta Q - PdV \Rightarrow \Delta U = Q - \int_1^2 PdV \quad (3.9)$$

### 3.2.3. Nhiệt đẳng tích và nhiệt đẳng áp

*Nhiệt đẳng tích:* Nếu hệ biến đổi ở thể tích không đổi ( $V = \text{const}$ ) thì  $dV=0$  và từ hệ thức (3.9) ta có  $\Delta U = Q_V$  (3.10)

$Q_V$  là nhiệt đẳng tích, nó là hàm khuếch độ.

*Nhiệt đẳng áp:* Nếu sự biến đổi ở áp suất không đổi ( $P = \text{const}$ ) từ (3.9) ta có:  
 $\Delta U = Q_p - P(V_2 - V_1)$

$$U_2 - U_1 = Q_p - PV_2 + PV_1$$

$$Q_p = (U_2 + PV_2) - (U_1 + PV_1) \quad (3.11)$$

$Q_p$  là nhiệt đẳng áp

$$\text{Đặt } H = U + PV \quad (3.12)$$

$$\text{Ta có } H_2 - H_1 = \Delta H = Q_p \quad (3.13)$$

$H$  gọi là entanpi, nó là hàm trạng thái vì  $U$  và  $PV$  đều là hàm trạng thái.  $\Delta H$  là sự biến thiên entanpi của hệ, thường gọi tắt là entanpi của hệ.  $H$  là hàm trạng thái nên  $\Delta H$  chỉ phụ thuộc vào trạng thái đầu và trạng thái cuối của hệ.  $\Delta H$  là đại lượng khuếch độ.

### 3.2.4. Nhiệt phản ứng

#### a. Nhiệt phản ứng đẳng áp và nhiệt phản ứng đẳng tích

*Nhiệt phản ứng đẳng áp* của một phản ứng là lượng nhiệt trao đổi với môi trường khi các chất tham gia phản ứng tác dụng hết với nhau tạo ra sản phẩm ở áp suất và nhiệt độ không đổi. Nhiệt phản ứng đẳng áp được kí hiệu là  $\Delta H$  hay  $Q_p$

*Nhiệt phản ứng đẳng tích* khác nhiệt phản ứng đẳng áp ở chỗ là phản ứng được thực hiện ở thể tích không đổi, nhiệt độ không đổi và được kí hiệu là  $\Delta U$  hay  $Q_V$ .

*Nhiệt phản ứng đẳng tích còn gọi là nội năng của phản ứng.*

$\Delta H$  và  $\Delta U$  chỉ phụ thuộc vào trạng thái đầu (trạng thái các chất phản ứng) và trạng thái cuối (trạng thái các sản phẩm phản ứng) và là các đại lượng khuếch độ.

#### b. Phản ứng tỏa nhiệt và phản ứng thu nhiệt

Phản ứng tỏa năng lượng cho môi trường dưới dạng nhiệt gọi là phản ứng tỏa nhiệt, nghĩa là  $\Delta H < 0$  hoặc  $\Delta U < 0$ .

Phản ứng thu năng lượng của môi trường dưới dạng nhiệt gọi là phản ứng thu nhiệt, nghĩa là  $\Delta H > 0$  hoặc  $\Delta U > 0$ .

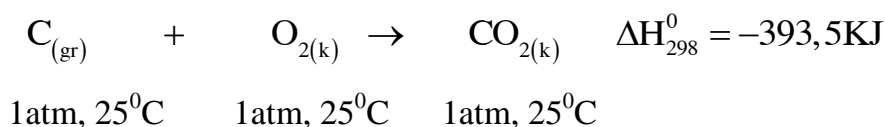
### 3.2.5. Các trạng thái chuẩn

#### a. Trạng thái chuẩn của một chất

Trạng thái chuẩn ở nhiệt độ T của chất khí là trạng thái của khí đó được coi là lí tưởng ở nhiệt độ T và áp suất 1 atm.

Trạng thái chuẩn ở nhiệt độ T của chất lỏng hoặc tinh thể là trạng thái của chất đó ở nhiệt độ T và áp suất 1atm.

**b. Entanpi tạo thành chuẩn** của một chất ở nhiệt độ T (kí hiệu là  $\Delta H_T^0$ ) và ở trạng thái xác định là entanpi của phản ứng tạo thành *một mol chất* đó ở nhiệt độ T và trạng thái chuẩn, từ *các đơn chất bền nhất* cùng ở nhiệt độ T và trạng thái chuẩn. Ví dụ:



$$\Rightarrow \Delta H_{298}^0(\text{CO}_2) = 393,5\text{kJ/mol}$$

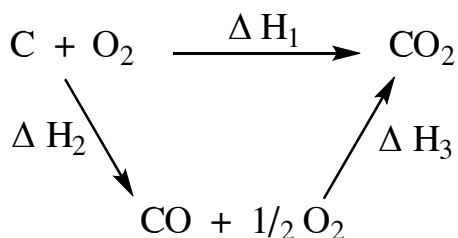
Từ định nghĩa trên ta thấy: *Entanpi tạo thành chuẩn của đơn chất bền ở nhiệt độ T là bằng không*:  $\Delta H_T^0 = 0$

### 3.2.6. Định luật Hec (Hess) và các hệ quả

#### a. Định luật Hec (1840)

*Hiệu ứng nhiệt của phản ứng hoá học ( $\Delta H$ ) chỉ phụ thuộc vào trạng thái đầu và trạng thái cuối của hệ, chứ không phụ thuộc vào quá trình thực hiện.*

Ví dụ: Xét sơ đồ phản ứng:



Theo định luật Hec:  $\Delta H_1 = \Delta H_2 + \Delta H_3$

Thực nghiệm có thể xác định chính xác  $\Delta H_1$  và  $\Delta H_3$ , không thể xác định chính xác  $\Delta H_2$ . Vì vậy có thể xác định gián tiếp được  $\Delta H_2 = \Delta H_1 + \Delta H_3$ .



### b. Hệ quả thứ nhất

Entanpi của phản ứng thuận (t) bằng entanpi của phản ứng nghịch (n) nhưng ngược dấu:

$$\Delta H_t = -\Delta H_n$$

Ví dụ: Phản ứng  $C_{(gr)} + \frac{1}{2} O_{2(k)} \rightarrow CO_{(k)}$  có  $\Delta H_{298}^0 = -110,5 \text{ kJ}$

Còn phản ứng  $CO_{(k)} \rightarrow C_{(gr)} + \frac{1}{2} O_{2(k)}$  có  $\Delta H_{298}^0 = +110,5 \text{ kJ}$

### c. Hệ quả thứ hai

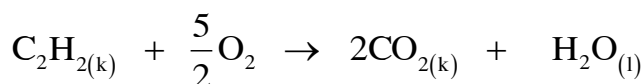
Entanpi của một phản ứng hoá học bằng tổng entanpi tạo thành của các chất sản phẩm (sp) trừ đi tổng entanpi tạo thành của các chất phản ứng (pu):

$$\Delta H = \sum \Delta H_{(sp)} - \sum \Delta H_{(pu)} \quad (3.14)$$

Xét phản ứng:  $aA + bB \rightarrow cC + dD$

$$\Delta H = (c\Delta H_C + d\Delta H_D) - (a\Delta H_A + b\Delta H_B) \quad (3.15)$$

Ví dụ: Tính  $\Delta H_{298}^0$  của phản ứng:



$$\Delta H_{298}^0 \text{ (kJ/mol): } \quad 226,6 \quad \quad \quad -393,5 \quad \quad -285,8$$

Giải. Áp dụng công thức (3.15), ta có:

$$\begin{aligned} \Delta H_{298}^0 &= (2\Delta H_{298}^0 CO_2 + \Delta H_{298}^0 H_2O) - \Delta H_{298}^0 C_2H_2 \\ &= \{(-2.393,5) + (-285,8)\} - 226,6 = -1299,4 \text{ kJ} \end{aligned}$$

### 3.2.7. Sự phụ thuộc của nhiệt phản ứng vào nhiệt độ

Sự phụ thuộc giữa hiệu ứng nhiệt của phản ứng hoá học và nhiệt độ được thực hiện bằng biểu thức:

$$\Delta H_2 = \Delta H_1 + \int_{T_1}^{T_2} \Delta C_p dT \quad (3.16)$$

(3.16) Là phương trình Kiecxop, trong đó:

$\Delta H_2$  Nhiệt của phản ứng ở nhiệt độ  $T_2$ ;

$\Delta H_1$  Nhiệt phản ứng ở nhiệt độ  $T_1$ ;

$\Delta C_p = \sum C_{(sp)} - \sum C_{(pu)}$  là độ biến thiên nhiệt dung mol đẳng áp<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>  $C_p$  là nhiệt dung mol đẳng áp: Là lượng nhiệt cần thiết để nâng một mol chất đó lên  $1^\circ\text{C}$  ở điều kiện áp suất không đổi và hệ không có sự chuyển pha. Đơn vị của  $C_p$  là  $\text{J/mol.K}$ .

Sự khác nhau về nhiệt dung thường rất bé và ở khoảng nhiệt độ  $T_1$  đến  $T_2$  thường không lớn, do đó  $\Delta C_p$  có thể coi như không đổi. Khi đó biểu thức (3.16) có dạng:

$$\Delta H_2 = \Delta H_1 + \Delta C_p \cdot (T_2 - T_1) \quad (3.17)$$

Ví dụ: Xác định  $\Delta H^0$  ở 398K của phản ứng:  $\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$

Biết  $\Delta H^0_{298} = -283\text{kJ/mol}$  và nhiệt dung mol đẳng áp của các chất CO, O<sub>2</sub>, và CO<sub>2</sub> là: 29,15; 29,36; 37,13 (J/mol.K) ở mọi nhiệt độ.

Giải: Ta có  $\Delta C_p = 37,13 - 29,15 - \frac{1}{2} \cdot 29,36$

$$= -6,7 \text{ J/K} = -6,7 \cdot 10^{-3} \text{ kJ/K}$$

Suy ra  $\Delta H_{398} = \Delta H^0_{298} + \Delta C_p (398 - 298)$

$$= -283 - 6,7 \cdot 10^{-3} \cdot 100$$

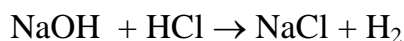
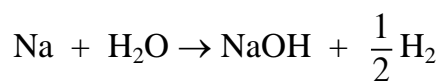
$$= -283,67 \text{ kJ}$$

### 3.3. Nguyên lí thứ hai của nhiệt động học

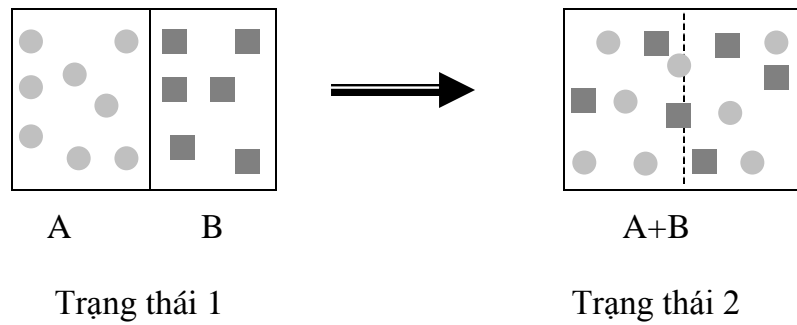
#### 3.3.1. Entropi

##### *a. Mức độ hỗn loạn của hệ và chiều hướng diễn biến của các quá trình*

Trong tự nhiên có các hiện tượng xảy ra theo *một chiều mà không có quá trình ngược lại*. Ví dụ: Nhiệt truyền từ vật nóng sang vật lạnh; không khí di chuyển từ nơi có áp suất cao sang nơi có áp suất thấp; một số phản ứng xảy ra 1 chiều:



*Quá trình khuếch tán* (hay trộn lẫn) các khí. Nếu có 2 buồng cách nhau bằng 1 vách ngăn, một buồng chứa khí A và 1 buồng chứa khí B (trạng thái 1).



*Hình 3.2. Mô hình hiện tượng khuếch tán*

Nếu bỏ vách ngăn, khí trong bình A sẽ tự di chuyển sang bình B và khí ở B sẽ tự di chuyển sang A, và các khí sẽ chiếm toàn bộ thể tích của cả hai bình (trạng thái 2). Nếu so sánh mức độ hỗn loạn của hệ ở trạng thái 1 và trạng thái 2 ta thấy rằng ở trạng thái 2 mức độ hỗn loạn của hệ cao hơn vì ở trạng thái này các phân tử của hai khí xen lẫn với nhau và mỗi phân tử khí chuyển động trong một không gian lớn hơn. Như vậy quá trình chuyển hệ từ trạng thái 1 sang trạng thái 2 là tự diễn biến và trong quá trình này hệ chuyển từ trạng thái có độ hỗn loạn thấp sang trạng thái có độ hỗn loạn cao hơn.

Quá trình nóng chảy (hay thăng hoa của chất rắn), quá trình sôi của chất lỏng, quá trình dẫn nổ các chất khí, quá trình hoà tan tinh thể... và phản ứng hoá học có làm tăng thể tích (phản ứng phân huỷ) đều làm tăng mức độ hỗn loạn của hệ. Ngược lại những quá trình làm tăng trật tự của các hạt như làm lạnh, hoá rắn, ngưng tụ, nén, kết tinh từ dung dịch, phản ứng hoá học làm giảm thể tích (phản ứng trùng hợp) đều làm giảm mức độ hỗn loạn của hệ.

*Như thế, các quá trình tự diễn biến đều theo hướng làm tăng mức độ hỗn loạn của hệ.*

### **b. Entropi**

Để đặc trưng cho mức độ hỗn loạn của hệ người ta dùng một đại lượng gọi là *entropi* kí hiệu là  $S$ .

*Vậy entropi là thước đo mức độ hỗn loạn của hệ.* Các quá trình làm tăng mức độ hỗn loạn đều làm tăng entropi của hệ và ngược lại.

Thứ nguyên của entropi là  $J/mol.K$ . Entropi là một đại lượng khuếch độ, nghĩa là phụ thuộc vào lượng chất.

Từ bản chất của entropi (đặc trưng cho mức độ hỗn loạn của hệ) có thể rút ra những *tính chất* sau của entropi:

- Entropi tăng theo nhiệt độ: Khi nhiệt độ tăng thì entropi tăng và ngược lại.
- Hệ càng phức tạp thì entropi càng lớn.
- Đối với cùng một chất thì entropi của trạng thái khí lớn hơn entropi của trạng thái lỏng, còn entropi của trạng thái lỏng lớn hơn entropi của trạng thái rắn.

### 3.3.2. Nguyên lí thứ hai của nhiệt động học

Có nhiều cách phát biểu nguyên lí thứ II, sau đây là 1 cách:

Tồn tại 1 hàm trạng thái entropi mà sự biến đổi của nó luôn luôn lớn hơn hoặc bằng nhiệt rút gọn (chỉ trong quá trình thuận nghịch thì sự biến đổi entropi mới bằng nhiệt rút gọn):

$$dS \geq \frac{\delta Q}{T} \quad (3.18)$$

$$\Delta S \geq \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} \quad (3.19)$$

Dấu “=” ứng với quá trình thuận nghịch (TN) (quá trình cân bằng).

Dấu “>” ứng với quá trình bất thuận nghịch (BTN) (quá trình tự diễn biến)

Tỉ số  $\frac{Q_{TN}}{T}$  đặc trưng cho quá trình thuận nghịch được gọi là nhiệt rút gọn trong quá trình thuận nghịch .

(3.18) là biểu thức toán học của nguyên lí 2 vì với hai dấu (đẳng thức và bất đẳng thức) nó biểu thị được cả 3 nội dung của nguyên lí 2: khả năng, chiều hướng và giới hạn của quá trình tự diễn biến.

### 3.3.3. Sự biến thiên entropi trong một số quá trình

#### a. Hệ cô lập

$$Q_{TN} = 0 \rightarrow \Delta S = 0$$

$$Q_{BTN} > 0 \rightarrow \Delta S > 0$$

Như thế, trong quá trình thuận nghịch (hay cân bằng) entropi của hệ là không đổi. Trong quá trình bất thuận nghịch (quá trình tự xảy ra), entropi của hệ tăng.

### **b. Quá trình chuyển pha của chất nguyên chất**

Khi chất nguyên chất chuyển pha (nóng chảy; sôi; thăng hoa; chuyển dạng tinh thể) ở áp suất không đổi và trong suốt quá trình đang chuyển pha nhiệt độ không đổi. Đây là quá trình đẳng nhiệt-đẳng áp và được coi là quá trình thuận nghịch nên ta có:

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{Q_{TN}}{T} = \frac{\Delta H}{T} \quad (3.20)$$

$\Delta S$ : Sự biến thiên entropi của quá trình chuyển pha (J/mol.K);

$\Delta H$ : Entanpi của quá trình chuyển pha (J/mol);

T: Nhiệt độ chuyển pha (K).

Ví dụ: Nhiệt nóng chảy của thủy ngân là 2297J/mol và nhiệt độ nóng chảy của thủy ngân là  $-39^{\circ}\text{C}$ . Tính biến thiên entropi của quá trình nóng chảy thủy ngân.



$$\Delta S = \frac{\Delta H}{T} = \frac{2297}{273 - 39} = 9,816\text{J/mol.K}$$

### **c. Sự biến đổi entropi khi thay đổi nhiệt độ của hệ**

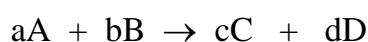
Trong một khoảng nhiệt độ hẹp, nhiệt dung của các chất được coi là không đổi, biến thiên entropi của n mol chất từ nhiệt độ  $T_1$  đến  $T_2$  được tính theo phương trình:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = nC_p \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (3.21)$$

Như vậy, chất có nhiệt dung riêng càng lớn, entropi càng biến đổi nhiều theo nhiệt độ. Tuy nhiên, biến thiên entropi của phản ứng hoá học khi thay đổi nhiệt độ không đáng kể và có thể bỏ qua được.

### **d. Sự biến đổi entropi trong các phản ứng hoá học**

Giả sử có phản ứng sau được thực hiện ở áp suất và nhiệt độ không đổi



Vì entropi là một hàm trạng thái nên sự biến thiên entropi của phản ứng được tính theo công thức sau:

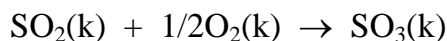
$$\Delta S = (cS_C + dS_D) - (aS_A + bS_B) \quad (3.22)$$

$$\text{Hay } \Delta S = \sum S_{sp} - \sum S_{cpu} \quad (3.23)$$

Nếu phản ứng thực hiện ở điều kiện chuẩn và nhiệt độ 298K

$$\Delta S_{298}^0 = \sum S_{298(sp)}^0 - \sum S_{298(cpu)}^0 \quad (3.24)$$

Ví dụ: Tính  $\Delta S_{298}^0$  của phản ứng:



Cho biết  $S_{298}^0$  của các khí  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_2$  và  $\text{SO}_3$  lần lượt là: 348,2; 205,2 và 256,8 J/mol.K

Giải. áp dụng công thức 3.24 ta có:

$$\begin{aligned} \Delta S_{298}^0 &= S_{298}^0 \text{SO}_3 - (S_{298}^0 \text{SO}_2 + \frac{1}{2} S_{298}^0 \text{O}_2) \\ &= 256,23 - (248,53 + 1/2.205,03) \\ &= - 94,81\text{J/K} \end{aligned}$$

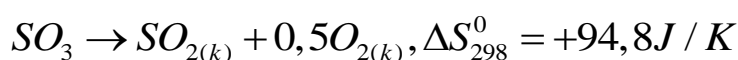
**Một cách định tính**, ta có thể đánh giá sự biến đổi của entropi trong các phản ứng hóa học như sau:

Tính  $\Delta n =$  Tổng hệ số sản phẩm – Tổng hệ số chất tham gia

Lưu ý: Chỉ xét hệ số chất khí, nếu  $\Delta n > 0$  thì  $\Delta S > 0$  và nếu  $\Delta n < 0$  thì  $\Delta S < 0$ .

Ở phản ứng trên số mol khí ở sản phẩm là 1, ít hơn số mol khí chất phản ứng  $\Delta n = 1 - 1 + 0,5 = - 0,5 < 0$  nên  $\Delta S < 0$

Nếu xét phản ứng:



$\Delta n = 1 + 0,5 - 1 = 0,5 > 0$  nên  $\Delta S > 0$

Như vậy, việc đánh giá entropi một cách định tính cho kết quả hoàn toàn phù hợp với cách tính định lượng.

### 3.4. Nguyên lí thứ ba của nhiệt động học

Entropi của các chất nguyên chất dưới dạng tinh thể hoàn hảo ở không độ tuyệt đối bằng 0.  $S_{tt(T=0)} = 0$  (3.25)

Gọi  $\Delta S_{T \rightarrow 0}$  là biến thiên entropi từ 0 độ tuyệt đối tới T độ tuyệt đối,  $S_T$  là entropi tại nhiệt độ T và  $S_0$  là entropi tại 0 độ. Ta có:

$$\Delta S_{T \rightarrow 0} = S_T - S_0 = S_T \quad (3.26)$$

Như vậy, nguyên lí thứ 3 cho phép xác định entropi của chất nguyên chất ở mọi nhiệt độ theo công thức (3.26).

Cũng như nhiệt tạo thành  $\Delta H$ , entropi  $S$  của các chất thường được xác định trong những điều kiện nhất định. Giá trị entropi được xác định ở 1atm và nhiệt độ không đổi  $T$  được gọi là entropi chuẩn ở nhiệt độ  $T$  và được kí hiệu là  $S^0_T$ . Entropi chuẩn của chất ở 1atm và  $25^0\text{C}$  ( $298\text{K}$ ) được kí hiệu là  $S^0_{298}$ .

### 3.5. Thế đẳng áp-đẳng nhiệt $G$ (năng lượng Gíp)

#### 3.5.1. Tác động của các yếu tố entanpi $\Delta H$ và entropi $\Delta S$ lên chiều hướng diễn biến của quá trình hoá học

Có hai yếu tố tác động lên chiều hướng diễn biến của quá trình hoá học:

*Quá trình tự diễn biến khi  $\Delta H < 0$* , nghĩa là khi năng lượng của hệ giảm, hệ chuyển từ trạng thái có năng lượng cao sang trạng thái năng lượng thấp hơn, do đó trở thành bền hơn.

*Quá trình tự diễn biến khi  $\Delta S > 0$* , nghĩa là hệ chuyển từ trạng thái có độ hỗn loạn thấp sang trạng thái có độ hỗn loạn cao hơn.

Hai yếu tố này tác động đồng thời lên hệ nhưng thường xảy ra theo hai chiều ngược nhau. Ví dụ: Khi nước được chuyển từ  $100^0\text{C}$  xuống  $25^0\text{C}$ , nó đã tỏa nhiệt ra môi trường ( $\Delta H < 0$ ) và đồng thời mức độ hỗn loạn của hệ cũng giảm xuống do chuyển từ thể hơi sang thể lỏng ( $\Delta S < 0$ ).

Như vậy, trong mỗi quá trình luôn luôn có sự cạnh tranh giữa hai yếu tố: Yếu tố entanpi (làm giảm năng lượng của hệ) và yếu tố entropi (làm tăng mức độ hỗn loạn của hệ). Trong việc cạnh tranh này yếu tố nào mạnh hơn sẽ quyết định chiều hướng của quá trình. Sự cạnh tranh của yếu tố entanpi và yếu tố entropi được thể hiện qua *đại lượng thế đẳng áp-đẳng nhiệt* (còn gọi tắt là thế đẳng áp hay năng lượng Gíp), kí hiệu là  $G$ .

#### 3.5.2. Thế đẳng áp ( $G$ )

*Thế đẳng áp* được đưa vào nhiệt động học theo biểu thức sau:

$$G = H - T.S \quad (3.27)$$

$G$  được biểu thị bằng những đơn vị của  $H$  và  $S$  nghĩa là Jun và kiloJun và cũng thường được tính đối với 1 mol chất.

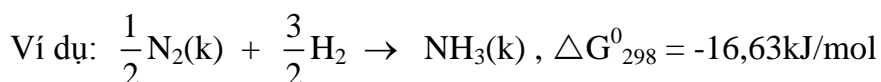
Không thể xác định được giá trị tuyệt đối của thế đẳng áp, nhưng có thể xác định được sự biến thiên của nó trong mỗi phản ứng hoá học (hay trong một quá trình đẳng nhiệt - đẳng áp bất kì). Biểu thức tính thế đẳng áp-đẳng nhiệt là:

$$\Delta G = \Delta H - T.\Delta S \quad (3.28)$$

Vì  $\Delta H$  và  $\Delta S$  là các hàm trạng thái nên  $\Delta G$  cũng là hàm trạng thái, nghĩa là biến thiên thế đẳng áp chỉ phụ thuộc vào trạng thái đầu và trạng thái cuối của hệ mà không phụ thuộc vào quá trình biến đổi của hệ.

### 3.5.3. Thế đẳng áp tạo thành chuẩn

*Thế đẳng áp tạo thành chuẩn của một chất ở nhiệt độ T, ở trạng thái vật lí xác định là thế đẳng áp của phản ứng tạo thành 1 mol chất đó ở nhiệt độ T và trạng thái chuẩn (kí hiệu là  $\Delta G^0_T$ ).*



Từ định nghĩa trên của  $\Delta G^0_T$  ta suy ra *thế đẳng áp tạo thành chuẩn của các đơn chất bền ở nhiệt độ T bằng không*:  $\Delta G^0_T = 0$ .

Ví dụ: Tính  $\Delta G^0$  ở 25°C của phản ứng sau:  $2NO_2 \rightarrow N_2O_4$

Chất	$\Delta H^0_{298} (KJ/mol)$	$S^0_{298} (J/mol.K)$
NO <sub>2</sub>	33,89	240,45
N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	9,37	304,30

Giải:  $\Delta G^0_{298} = \Delta H^0_{298} - 298\Delta S^0_{298}$   
 $\Delta H^0_{298} = \Delta H^0_{298}(N_2O_4) - 2\Delta H^0_{298}(NO_2)$   
 $= 9,37 - 2.33,89 = -58,61kJ/.K$   
 $\Delta S^0_{298} = S^0_{298}(N_2O_4) - 2S^0_{298}(NO_2)$   
 $= 304,30 - 2.240,45 = -176,6J/.K$   
 $\Rightarrow \Delta G^0_{298} = -5983J$



### 3.5.4. Chiều hướng của phản ứng hoá học

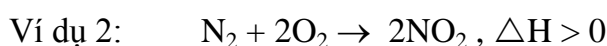
Từ biểu thức (3.28) ta thấy sự biến thiên thế đẳng áp phụ thuộc vào hiệu ứng nhiệt  $\Delta H$  và biến thiên  $\Delta S$ . Mọi quan hệ giữa 3 đại lượng được ghi trong bảng(3.2).

Bảng 3.2. Xét dấu của  $\Delta G$  theo  $\Delta H$  và  $\Delta S$

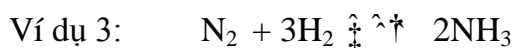
STT	Dấu			Kết luận về chiều tự diễn biến
	$\Delta H$	$\Delta S$	$\Delta G$	
1	-	+	(-) với mọi T	Tự diễn biến
2	+	-	(+) với mọi T	Không tự diễn biến
3	-	-	(-) khi T nhỏ	Tự diễn biến
			(+) khi T lớn	Không tự diễn biến
4	+	+	(+) khi T nhỏ	Không tự diễn biến
			(-) khi T lớn	Tự diễn biến

Từ bảng 3.2 ta thấy, chiều của một quá trình có thể được xác định theo dấu của  $\Delta G$ . Vì vậy, để đơn giản khi xét chiều của một phản ứng hóa học ta chỉ cần xét dấu của  $\Delta G$ , nếu  $\Delta G > 0$  quá trình không xảy ra được, nếu  $\Delta G < 0$  quá trình tự xảy ra.

Ví dụ 1: Phản ứng cháy của các nhiên liệu luôn luôn có  $\Delta H < 0$  và  $\Delta S > 0$  cho nên luôn có  $\Delta G < 0$ .



Phản ứng thu nhiệt  $\Delta H < 0$ ,  $\Delta S < 0$  vì có sự giảm số phân tử khí. Vì vậy  $\Delta G > 0$ , phản ứng không tự xảy ra. Khi cung cấp năng lượng phản ứng sẽ được thực hiện.



Ở 298K:  $\Delta H_{298} = -92380 \text{ J/mol}$ ,  $\Delta S_{298}^0 = -198,13 \text{ J/mol.K}$

Ở nhiệt độ không cao sao cho  $\Delta H - T\Delta S < 0$  thì  $\Delta G < 0$  phản ứng sẽ xảy ra theo chiều thuận.

Ở nhiệt độ cao sao cho  $\Delta H - T\Delta S > 0$  thì  $\Delta G > 0$  phản ứng xảy ra theo chiều ngược lại.



Ở 298K:  $\Delta H = 58,19 \text{ kJ/mol}$ ,  $\Delta S = 175,56 \text{ J/mol.K}$

Ở nhiệt độ thấp  $\Delta G_{298} = 6,434 \text{ kJ/mol} > 0$ , phản ứng diễn ra theo chiều nghịch.

Khi  $T \geq 298$  thì  $\Delta G < 0$ , phản ứng lại diễn ra theo chiều thuận.

### 3.5.5. Sự biến thiên thế đẳng áp của các phản ứng hoá học

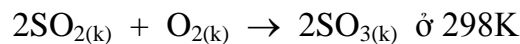
Việc tính thế đẳng áp của phản ứng hóa học có thể sử dụng các công thức (3.27). Đối với các phản ứng oxi hoá - khử còn sử dụng công thức:

$$\Delta G = -nFE \text{ (xem chương 6).}$$

Đối với phản ứng:  $aA + bB \rightarrow cC + dD$ , thế đẳng áp được tính theo biểu thức:

$$\Delta G_T^0 = \sum \Delta G_{T(\text{sp})}^0 - \sum \Delta G_{T(\text{cpu})}^0 \quad (3.29)$$

Ví dụ 1: Tính  $\Delta G_{298}^0$  của các phản ứng sau:



$$\Delta G_{298}^0 (\text{kJ/mol}) \quad -300,37 \quad \quad \quad -370,37$$

Giải. áp dụng công thức (3.29) ta có:

$$\begin{aligned} \Delta G_{298}^0 &= 2\Delta G_{298}^0(\text{SO}_3) - 2\Delta G_{298}^0(\text{SO}_2) \\ &= -2.370,37 + 2.300,37 = -140 \text{ KJ} \end{aligned}$$

Ví dụ 2: Cho phản ứng:  $\text{CaCO}_{3(\text{k})} \rightarrow \text{CaO}_{(\text{r})} + \text{CO}_{2(\text{k})}$

Cho biết: Ở 298K,  $\Delta H_{298}^0 = 178,32 \text{ KJ}$ ;  $\Delta S_{298}^0 = 160,59 \text{ J/mol.K}$

1. Phản ứng có tự diễn biến ở 25°C không? Khi tăng nhiệt độ  $\Delta G$  của phản ứng sẽ thay đổi như thế nào?

2. Phản ứng có tự diễn biến ở 850°C không? Coi  $\Delta S$  và  $\Delta H$  không phụ thuộc vào nhiệt độ.

$$\begin{aligned} \text{Giải: 1) } \Delta G_{298}^0 &= \Delta H_{298}^0 - T \cdot \Delta S_{298}^0 \\ &= 178.10^3 - 298.160,59 = 130,460\text{J} \end{aligned}$$

$\Delta G_{298}^0 > 0$ : Phản ứng không tự diễn biến ở 25°C. Vì  $\Delta S^0 > 0 \rightarrow T\Delta S^0 > 0$  khi nhiệt độ tăng,  $\Delta G^0$  giảm dần, do đó càng tiến tới khả năng tự diễn biến.

$$2) T = 273 + 850 = 1123\text{K}$$

$$\Delta G_{1123}^0 = 178,32.10^3 - 1123.160,57\text{J}$$

$\Delta G_{1123}^0 < 0$ , ở 850°C phản ứng tự diễn biến.

Nhận xét: Từ (3.28) ta thấy nhiệt độ ảnh hưởng đến chiều tự diễn biến của các phản ứng hoá học.

**Chú ý:** Thế đẳng áp còn phụ thuộc vào áp suất. Đối với khí lí tưởng ta có biểu thức:

$$G_{T_{P_2}} = G_{T_{P_1}} + RT \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (3.30)$$

Nếu ban đầu  $P_1 = 1 \text{ atm}$ , nghĩa là ứng với điều kiện chuẩn thì  $G_{T_{P_1}} = G_T^0$  và (3.30) thành  $G_T = G_T^0 + RT \ln P$  (3.31)

Ví dụ: Tính  $\Delta G$  của quá trình nén 1 mol khí lí tưởng từ 1 atm đến 2 atm ở nhiệt độ không đổi  $25^\circ\text{C}$ .

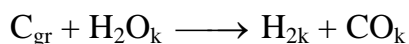
$$\text{Giải: } \Delta G = G_T - G_T^0 = RT \ln P = 8,314 \cdot 298 \cdot \ln 2 = 1717,3 \text{ J/mol}$$

$\Delta G > 0$ : Quá trình nén khí không tự xảy ra. Ngược lại sự giãn khí từ 2 atm xuống 1 atm (có  $\Delta G = -1717,3 \text{ J/mol} < 0$ ) tự xảy ra.

## CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP

### 1. Tính $\Delta H$ dựa vào $\Delta H$ của các phản ứng khác

#### 3.1. Tính $\Delta H_{298}^0$ của phản ứng:

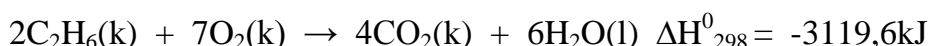
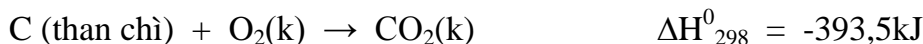


Từ các phản ứng sau:



ĐS: 131,34kJ

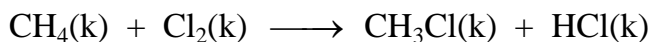
#### 3.2. Từ các dữ kiện sau:



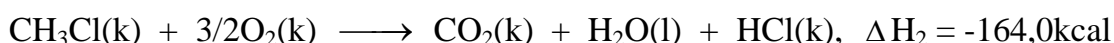
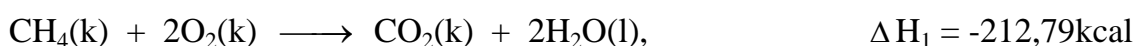
Tính biến thiên entanpi tiêu chuẩn của phản ứng:



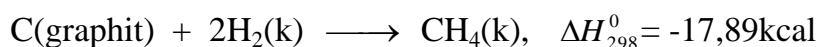
#### 3.3. Xác định hiệu ứng nhiệt của phản ứng:



Cho biết hiệu ứng nhiệt của các phản ứng sau đây:

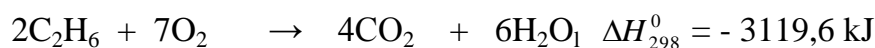
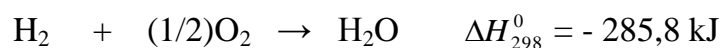


3.4. Hãy xác định năng lượng liên kết C-H trong phân tử  $CH_4$ , cho biết nhiệt thăng hoa của graphite bằng 170,9kcal/mol, nhiệt phân ly của khí hydro bằng 103,26 kcal/mol và hiệu ứng nhiệt của phản ứng sau:



#### 3.5. Tính nhiệt hình thành của etan biết:





ĐS: - 84,6 kJ

## 2. Bài tập áp dụng các công thức $\Delta = \sum \text{Sản phẩm} - \sum \text{Chất tham gia}$

**3.6.** Hãy so sánh  $\Delta H_{298}^0$  của phản ứng khử sắt (III) oxit bằng các chất khử:  $\text{H}_2$ , C và CO ở  $298^\circ\text{C}$ . (Giả thiết quá trình khử là hoàn toàn)

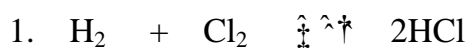
Biết:  $\Delta H_{298}^0$  (kJ/mol)

$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{H}_2\text{O(k)}$	CO	$\text{CO}_2$
-822,2	-241,8	-110,5	-393,5

ĐS:  $\Delta H_{298}^0$  (chất khử  $\text{H}_2$ ): 96,7kJ ;  $\Delta H_{298}^0$  (chất khử C): 231,95 kJ;  $\Delta H_{298}^0$  (chất khử CO): - 268kJ

**3.7.** Hãy giải thích vì sao có phản ứng tỏa ra năng lượng, có phản ứng chỉ xảy ra khi hấp thụ năng lượng?

Hai phản ứng sau đây, phản ứng nào tỏa nhiệt? Phản ứng nào thu nhiệt?

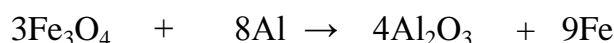


Biết năng lượng liên kết (E) của các chất như sau:

	$\text{H}_2$	$\text{Cl}_2$	HCl	HgO	Hg	$\text{O}_2$
E(KJ/mol)	435,9	242,4	432	355,7	61,2	498,7

ĐS: a: tỏa nhiệt; b: thu nhiệt

**3.8.** Tính khối lượng của hỗn hợp Al và  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  cần phải lấy để phản ứng theo phương trình



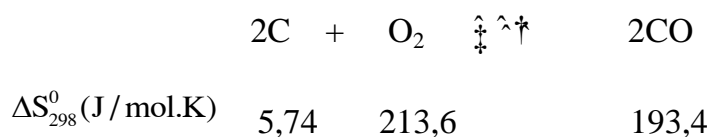
Tỏa ra 665,25 kJ biết rằng nhiệt tạo thành của  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  là 1117 kJ/mol và của  $\text{Al}_2\text{O}_3$  là 1670 kJ/mol.

ĐS: 182,25g.

**3.9.** Chiếc bật lửa ga chứa butan lỏng ( $\Delta H_{298}^0 = -127\text{kJ/mol}$ ). Xác định nhiệt lượng tỏa ra khi 1g butan trong bật lửa bị đốt cháy, giả thiết rằng sản phẩm của sự đốt cháy là  $\text{CO}_2$  và  $\text{H}_2\text{O}$ .

ĐS: - 45,7 kJ

**3.10.** Xác định biến thiên entropi của phản ứng dưới đây ở 298K:



ĐS: 167,46J/K

### 3. Bài tập áp dụng định luật kiec xop

**3.11.** Đối với phản ứng  $(1/2)N_2 + (1/2)O_2 \rightleftharpoons NO$ , ở 25°C và 1atm cú  $\Delta H^0 = 90,37$  kJ. Xác định nhiệt của phản ứng ở 558<sup>0</sup>K biết rằng nhiệt dung đẳng áp đối với 1 mol của N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NO lần lượt bằng 29,12; 29,36; 29,86 (J/mol.K).

ĐS:90,53 kJ

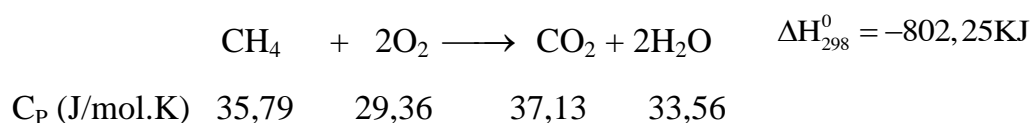
**3.12.** Đối với phản ứng:  $2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$ . Nhiệt dung đẳng áp của các chất trong khoảng từ 298K đến 2000K có dạng chung  $C_p = a + bT + cT^2$ . Các hệ số a,b,c của các chất được cho dưới đây:

Chất	a(cal/mol.K)	b.10 <sup>3</sup>	c.10 <sup>-5</sup>
O <sub>2</sub>	7,16	1	-0,40
CO	6,79	0,98	-0,11
CO <sub>2</sub>	10,55	2,16	-2,04

Tính  $\Delta H_{1200K}^0$ . Biết  $\Delta H_{298K}^0$  của phản ứng là - 565,96KJ

ĐS: - 564,41 kJ

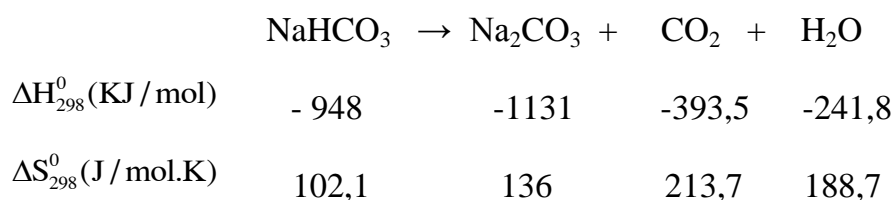
**3.13.** Tính ở 1773K của phản ứng:



ĐS: 787,59 kJ

### 4. Bài tập áp dụng công thức $\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S$

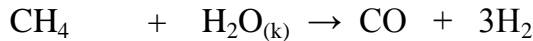
**3.14.** Cho phản ứng sau:



1. Tính  $\Delta G^0_{298}$  của phản ứng, ở điều kiện  $25^{\circ}\text{C}$  phản ứng trên có xảy ra không?
2. Phản ứng trên xảy ra ở điều kiện nhiệt độ nào? Coi  $\Delta H^0$  và  $\Delta S^0$  là hằng số với nhiệt độ.

ĐS: a)  $\Delta G^0_{298}$  : 30,1 kJ ; b)  $T > 388\text{K}$

**3.15.** Cho phản ứng:



Biết nhiệt hình thành chuẩn  $\Delta H^0_{\text{ht}, 298\text{K}}$  của  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O} (k)$  và  $\text{CO}$  lần lượt bằng - 74,8; - 241,8 và - 110,5 kJ/mol.

Entropi chuẩn của  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}_{(k)}$  và  $\text{CO}$  lần lượt bằng 186,2; 188,7 và 197,6 J/mol.K

Trong tính toán giả thiết rằng  $\Delta H$  và  $\Delta S$  không phụ thuộc nhiệt độ.

1. Tính  $\Delta G^0_{373\text{K}}$  và kết luận chiều của quá trình tại 373K?
2. Tại nhiệt độ nào phản ứng đã cho tự xảy ra trong điều kiện chuẩn?

**3.16.** Cho quá trình:

	$\text{CuSO}_4$	$\rightarrow$	$\text{CuO}$	$+$	$\text{SO}_2$	$+$	$\text{O}_2$
$\Delta H^0_{298\text{K}}(\text{kJ}.\text{mol}^{-1})$	-796,86		-155,20		-296,10		0
$S^0_{298\text{K}}(\text{J}.\text{mol}^{-1}.\text{K}^{-1})$	113,39		43,50		248,5		205
$C_p(\text{J}.\text{mol}^{-1}.\text{K}^{-1})$	100,00		44,78		39,78		29,36

1. Tính  $\Delta G^0_{298\text{K}}$  và nhận xét chiều hướng diễn biến của quá trình?
2. Nếu nâng nhiệt độ của hệ lên  $800^{\circ}\text{C}$  phản ứng có xảy ra được không?

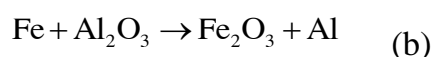
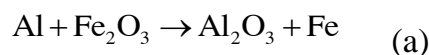
( Coi  $\Delta S^0$  và  $C_p$  không đổi theo nhiệt độ).

**3.17.** Cho phản ứng:

	$\text{H}_2\text{S}$	$+$	$\text{O}_3$	$\rightarrow$	$\text{SO}_3$	$+$	$\text{H}_2\text{O}$
$\Delta H^0$ (kJ/mol)	-20,15		-144,2		-395,2		-241,8
$S^0$ (J/mol.K)	205,64		237,6		256,2		186,7

1. Cho biết phản ứng tỏa nhiệt hay thu nhiệt?
2. Cho biết chiều phản ứng tại 298K?

**3.18.** Có hai sơ đồ phản ứng sau:

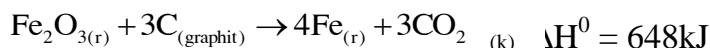


Phản ứng nào diễn ra được? Biết:

	Al	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe
$\Delta H_{298}^0$ (KJ/mol)		- 82,2	- 1669,79	
$\Delta S_{298}^0$ (J/mol.K)	6,76	90	50,99	27,15

ĐS: Chỉ xảy ra phản ứng (a).

**3.19.** Phản ứng khử sắt oxit bằng than cốc là phản ứng thu nhiệt mạnh:



Tính nhiệt độ tối thiểu để phản ứng có thể xảy ra.

ĐS:  $T > 835,1\text{K}$ .

**3.20.** Nếu giả thiết đơn giản: biến thiên entanpi và entropi phản ứng ít biến đổi theo nhiệt độ, thì tại nhiệt độ nào hai dạng thù hình cân bằng nhau?

	S(thoi)	$\rightleftharpoons$	S(đơn tà)
$\Delta H_{tt}^0$ (kJ/mol)	0		0,3
$S_{298}^0$ (J.mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	31,9		32,6

**3.21.** Từ các dữ kiện sau:

	O <sub>2</sub> (k)	Cl <sub>2</sub> (k)	HCl(k)	H <sub>2</sub> O(k)
$S_{298}^0$ (J/mol.K)	205,03	222,9	186,7	188,7
$\Delta H_{298}^0$ (kJ/mol)	0	0	-92,31	-241,83

1. Tính  $\Delta G_{298}^0$  của phản ứng sau



2. Tính hằng số cân bằng của phản ứng trên ở 298K

3. Tính hằng số cân bằng của phản ứng trên ở 698K biết  $\Delta H$  và  $\Delta S$  không phụ thuộc vào nhiệt độ.

**3.22.** Cho các số liệu sau:

Chất	CO <sub>2</sub> (k)	H <sub>2</sub> O(k)	CO(k)
$\Delta G_{298}^0$ (kcal/mol)	-93,4	-54,63	-32,78

1. Tính  $\Delta G_{298}^0$  của phản ứng  $\text{H}_2(k) + \text{CO}_2(k) \rightleftharpoons \text{CO}(k) + \text{H}_2\text{O}(k)$



2. Nếu ở 25<sup>0</sup>C áp suất riêng phần của H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O và CO tương ứng bằng 10; 20; 0,02 và 0,01 atm thì ΔG của phản ứng bằng bao nhiêu? Trong điều kiện này phản ứng xảy ra theo chiều nào?

**3.23.** Cho các dữ kiện sau:

	CaCO <sub>3</sub> (r)	CaO(r)	CO <sub>2</sub> (k)
S <sup>0</sup> <sub>298</sub> (J/mol.K)	92,9	38,1	213,7
ΔH <sup>0</sup> <sub>298</sub> (kJ/mol)	-1206,9	-635,1	-393,5

1. Tính ΔG<sup>0</sup><sub>298</sub> của phản ứng phân huỷ CaCO<sub>3</sub>. Cho biết ở 25<sup>0</sup>C phản ứng phân huỷ CaCO<sub>3</sub> có xảy ra không?
2. Tìm điều kiện của nhiệt độ để phản ứng phân huỷ CaCO<sub>3</sub> xảy ra, biết rằng ΔH<sup>0</sup> và ΔS<sup>0</sup> không phụ thuộc vào nhiệt độ.

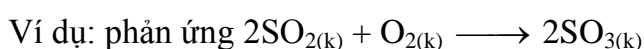
## CHƯƠNG 4. TỐC ĐỘ PHẢN ỨNG VÀ CÂN BẰNG HÓA HỌC

### 4.1. Tốc độ phản ứng hóa học

#### 4.1.1. Khái niệm phản ứng đồng thể và dị thể

- *Phản ứng đồng thể* là phản ứng hóa học diễn ra trong hệ một pha. Nó thường xảy ra giữa các chất khí, giữa các chất lỏng hoàn toàn trộn lẫn với nhau, các phản ứng xảy ra trong dung dịch.

- *Phản ứng dị thể* là phản ứng hóa học diễn ra trên ranh giới phân cách pha



Nếu dùng xúc tác là khí NO thì phản ứng là đồng thể. Nếu dùng xúc tác rắn  $\text{V}_2\text{O}_5$  thì phản ứng là dị thể.

Cũng có những phản ứng xảy ra nhiều giai đoạn: giai đoạn này là đồng thể, giai đoạn kia là dị thể. Đó là những phản ứng đồng- dị thể.

#### 4.1.2. Tốc độ phản ứng

Các phản ứng hoá học diễn ra với thời gian rất khác nhau. Để đặc trưng cho khả năng diễn ra nhanh hay chậm của phản ứng hoá học người ta dùng khái niệm tốc độ phản ứng hoá học.

Đối với các phản ứng đồng thể, *tốc độ của một phản ứng hoá học được xác định bằng độ biến thiên nồng độ của một trong các chất tham gia hoặc chất tạo thành trong một đơn vị thời gian.*

Nồng độ được tính bằng mol/l và thời gian được tính bằng giây (s), phút (ph), giờ (h).

Tốc độ có thể tính trung bình hoặc tức thời tại một thời điểm nào đó của phản ứng.

Xét phản ứng:  $\text{A} \longrightarrow \text{B}$

Nếu ở thời điểm  $t_1$ , nồng độ chất A là  $C_1$  mol/l. Ở thời điểm  $t_2$ , nồng độ chất A còn  $C_2$  mol/l, khi đó tốc độ trung bình của phản ứng trong khoảng thời

gian  $t_1$  đến  $t_2$  sẽ là:

$$\bar{v} = \frac{C_1 - C_2}{t_2 - t_1} = -\frac{C_2 - C_1}{t_2 - t_1} = -\frac{\Delta C}{\Delta t} \quad (4.1)$$

Nếu tính tốc độ phản ứng theo sản phẩm B:

$$\bar{v} = \frac{C_2 - C_1}{t_2 - t_1} = + \frac{\Delta C}{\Delta t} \quad (4.2)$$

Tốc độ tức thời của phản ứng được xác định:

$$v = \pm \frac{dC}{dt} \quad (4.3)$$

Đối với phản ứng :  $aA + bB \rightarrow cC + dD$

$$v = -\frac{1}{a} \frac{dC_A}{dt} = -\frac{1}{b} \frac{dC_B}{dt} = \frac{1}{c} \frac{dC_C}{dt} = \frac{1}{d} \frac{dC_D}{dt} \quad (4.4)$$

Như vậy, tốc độ phản ứng ngoài sự phụ thuộc vào bản chất chất tham gia, còn phụ thuộc vào nồng độ, nhiệt độ, chất xúc tác và bản chất dung môi (nếu phản ứng xảy ra trong dung dịch),  $v = f(\text{bản chất, nồng độ, nhiệt độ, xúc tác, dung môi...})$ .

Nếu phản ứng xảy ra trong hệ dị thể thì tốc độ phản ứng phụ thuộc vào sự biến thiên lượng chất rắn trong một đơn vị thời gian trên một đơn vị diện tích bề mặt.

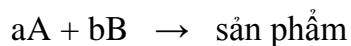
### 4.1.3. Các yếu tố ảnh hưởng đến tốc độ phản ứng

#### a. Ảnh hưởng của nồng độ đến tốc độ phản ứng

Xuất phát từ quan điểm cho rằng muốn có phản ứng xảy ra thì các phân tử hay nguyên tử phản ứng phải va chạm vào nhau, vì vậy nếu số va chạm càng lớn thì tốc độ phản ứng càng lớn mà số va chạm lại phụ thuộc vào nồng độ.

Vào những năm 1864 -1867, hai nhà bác học Guynbec và Oagơ (Nauy) đã nêu ra định luật tác dụng khối lượng có nội dung như sau: "*ở một nhiệt độ không đổi, tốc độ phản ứng tỉ lệ thuận với tích số nồng độ các chất tham gia phản ứng với những lũy thừa xác định*".

Xét phản ứng đồng thể một giai đoạn :



$$\text{Theo định luật ta có: } v = k.C_A^n.C_B^m \quad (4.5)$$

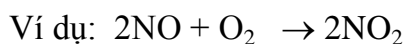
Trong đó:

$C_A, C_B$ : là nồng độ chất A, B (mol/l)

$n, m$  : là bậc riêng phần của chất A và chất B, nó có thể là dương, âm, nguyên hoặc phân số và được xác định bằng thực nghiệm.

$n + m$ : là bậc toàn phần của phản ứng gọi tắt là bậc phản ứng. Trong trường hợp phản ứng đơn giản  $n, m$  trùng với hệ số  $a, b$  trong phản ứng  $n = a; m = b$ .

k: là hằng số tốc độ phản ứng, đặc trưng cho từng phản ứng và chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ.



$$v = k \cdot C_{\text{NO}}^2 \cdot C_{\text{O}_2}$$

Phản ứng trong hệ dị thể

Đối với các phản ứng trong hệ dị thể, tốc độ phản ứng không chỉ phụ thuộc vào nồng độ chất phản ứng mà còn phụ thuộc vào diện tích tiếp xúc giữa các chất phản ứng.

Bậc phản ứng, phân tử số phản ứng

Bậc phản ứng là tổng các số mũ ( $n + m$ )

Nếu:  $n + m = 1$  phản ứng bậc 1

Nếu:  $n + m = 2$  phản ứng bậc 2

Nếu:  $n + m = 3$  phản ứng bậc 3

Bậc phản ứng có thể là số nguyên nhưng cũng có thể là phân số (thường đối với các phản ứng phức tạp).

Bậc phản ứng nói lên mức độ phụ thuộc của tốc độ vào nồng độ các chất.

Phân tử số của phản ứng:

Sự phân loại phản ứng theo phân tử số liên quan trực tiếp với cơ chế của phản ứng. *Phân tử số là số tiểu phân (phân tử, nguyên tử, ion) đồng thời tương tác với nhau trong một phản ứng đơn giản.* Vì vậy phân tử số chỉ có thể là số nguyên.

Ví dụ: với phản ứng  $A \rightarrow B$  chỉ có một phân tử tham gia vào tương tác vì vậy phân tử số là 1

với phản ứng  $A + B \rightarrow C$  để tạo thành sản phẩm hai phân tử đồng thời tham gia vào một tương tác vì vậy phân tử số là 2

Những phản ứng có phân tử số bằng 3 hoặc cao hơn thường ít gặp vì xác suất để 3 phân tử phản ứng với nhau rất nhỏ.

**Chú ý:** Trong những phản ứng đơn giản thì bậc phản ứng thường trùng với phân tử số.

Nói chung, các phản ứng xảy ra phức tạp qua nhiều giai đoạn trung gian. Mỗi giai đoạn trung gian được gọi là một giai đoạn cơ bản. Tốc độ của giai đoạn cơ bản nào xảy ra chậm nhất quyết định tốc độ của cả quá trình.

Ví dụ: Có phản ứng:  $\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{HI} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{I}_2$  (1)

Phản ứng gồm 2 giai đoạn cơ bản:

$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{HI} \rightarrow 2\text{HIO} + \text{H}_2\text{O}$  (2) tốc độ chậm

$\text{HIO} + \text{HI} \rightarrow \text{I}_2 + \text{H}_2\text{O}$  (3) tốc độ nhanh

Tốc độ của phản ứng (1) được quyết định bởi phản ứng (2).

Bậc riêng phần của  $\text{H}_2\text{O}_2$  và  $\text{HI}$  đều là 1 nên bậc phản ứng là 2. Các phản ứng (2) và (3) ở trên có phân tử số là 2. Phân tử số của giai đoạn (2) chậm xác định bậc toàn phần của phản ứng (1).

### ***b. Ảnh hưởng của nhiệt độ đến tốc độ phản ứng. Năng lượng hoạt hoá***

Quy tắc Van Hop (Vant' Hoff)

Khi tiến hành thực nghiệm ở khoảng nhiệt độ không cao nhà bác học Van Hop nhận thấy rằng: Cứ tăng nhiệt độ của phản ứng thêm  $10^\circ\text{C}$  hay  $10\text{K}$  thì tốc độ phản ứng tăng lên khoảng 2 đến 4 lần, hệ số tăng đó kí hiệu là hệ số nhiệt độ  $\gamma$ .

$$v_{T_2} = v_{T_1} \cdot \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}} \quad (4.6)$$

$v_{T_2}, v_{T_1}$ : Tốc độ phản ứng ở nhiệt độ  $T_2, T_1$

$\gamma$ : Hệ số nhiệt độ hay hệ số Van Hop

Quy tắc này không áp dụng cho phản ứng dị thể.

Phương trình Areliuyt (Arrhenius)

Năm 1889 nhà bác học Areliuyt dựa trên kết quả thực nghiệm đã đưa ra phương trình liên hệ giữa hằng số tốc độ và nhiệt độ theo một biểu thức chặt chẽ hơn.

$$K = A \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}} \quad (4.7)$$

Trong đó:

A: Hằng số, đặc trưng cho từng phản ứng;

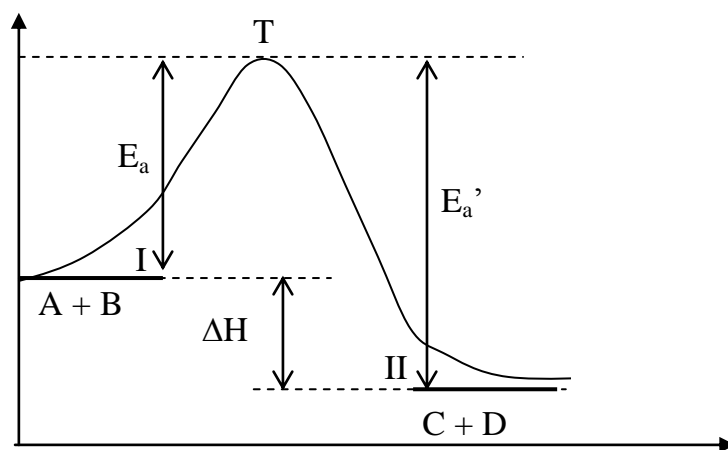
$E_a$ : Năng lượng hoạt hoá, có giá trị riêng cho mỗi phản ứng và thường được coi là không phụ thuộc vào nhiệt độ;

R: Hằng số khí lí tưởng,  $R = 8,314 \text{ J/mol}$  hoặc  $1,98 \text{ cal/mol}$ ;

T: nhiệt độ Kelvin.

Năng lượng hoạt hoá  $E_a$  của phản ứng là năng lượng tối thiểu (hay còn gọi là hàng rào năng lượng) mà các chất phản ứng cần phải vượt qua để tạo thành các sản phẩm. Khái niệm về năng lượng hoạt hoá được mô tả trên hình 4.1

Giả sử phản ứng là:  $A + B \rightarrow C + D$



**Hình 4.1.** Diễn biến năng lượng của hệ phản ứng

Giả sử các chất phản ứng có mức năng lượng  $E_I$ , các chất sản phẩm có năng lượng  $E_{II}$ . Hiệu giữa hai mức năng lượng chính là hiệu ứng nhiệt của phản ứng.

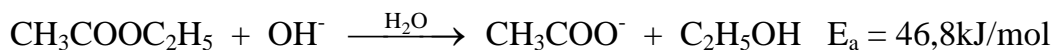
$$\Delta H = E_{II} - E_I$$

Khi  $E_{II} < E_I$  thì phản ứng tỏa nhiệt. Mức T là năng lượng tối thiểu mà các phân tử phải đạt được để có những va chạm hiệu quả.

Hiệu của mức T với mức I biểu thị năng lượng hoạt hoá của phản ứng thuận, còn hiệu giữa mức T với mức II là năng lượng hoạt hóa của phản ứng nghịch.  $E_a = E_T - E_I$  và  $E_{a'} = E_T - E_{II}$

Như vậy, muốn chuyển từ trạng thái đầu sang trạng thái cuối, hệ phải vượt qua một hàng rào năng lượng.

Ví dụ năng lượng hoạt hoá của một số phản ứng:



### c. Ảnh hưởng của chất xúc tác đến tốc độ phản ứng

- **Khái niệm về xúc tác**

Chất xúc tác là chất làm thay đổi tốc độ phản ứng và sau phản ứng bản chất hoá học cũng như khối lượng của nó không thay đổi.

Nếu chất xúc tác làm tăng tốc độ phản ứng là xúc tác dương, chất xúc tác làm giảm tốc độ phản ứng thường gọi là chất xúc tác âm hay chất ức chế (chất kìm hãm).

Chất xúc tác được phân chia thành ba loại: Chất xúc tác đồng thể, xúc tác dị thể và xúc tác men.

*Xúc tác đồng thể* : là những chất xúc tác có cùng pha với các chất phản ứng và sản phẩm.

Ví dụ: Sự oxi hoá CO thành CO<sub>2</sub> khi có mặt một lượng nhỏ hơi nước thì phản ứng tăng nhanh.

*Xúc tác dị thể*: là những chất xúc tác tạo nên một pha riêng, không cùng pha với chất phản ứng và sản phẩm (thường là pha rắn).

Ví dụ: Phản ứng hidro hoá một số olefin có sử dụng bột Ni hoặc Pt làm xúc tác.

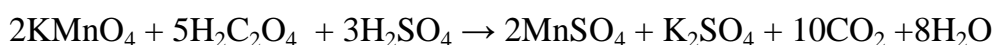
*Xúc tác men*: Men hay còn gọi là enzim là chất xúc tác sinh học thường xảy ra trong cơ thể sinh vật.

Xúc tác men có những tính chất độc đáo: Tính chọn lọc cao, hiệu quả rất cao, thường diễn ra ở điều kiện nhiệt độ và áp suất bình thường.

Do những đặc điểm quý báu trên nên xúc tác men được sử dụng trong quá trình sản xuất sẽ thu được hiệu quả kinh tế rất to lớn

Ngoài ra có những phản ứng tự xúc tác: vì trong quá trình phản ứng tự tạo ra chất xúc tác cho phản ứng.

Ví dụ phản ứng:



là phản ứng tự xúc tác, vì ion Mn<sup>2+</sup> được tạo thành sẽ xúc tác cho phản ứng.

- **Đặc điểm của chất xúc tác:**

Tính chọn lọc cao: Mỗi chất xúc tác lại có khả năng làm tăng tốc độ phản ứng cho một nhóm phản ứng xác định và mỗi phản ứng đều được xúc tác bằng chất xúc tác riêng biệt.

Ví dụ: Rượu etylic với nhưng xúc tác khác nhau cho những chất khác nhau:

Dùng Cu ở 250<sup>0</sup>C thu được andehit

Dùng Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ở 350<sup>0</sup>C thu được etilen

Dùng Zn/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ở 400 - 450<sup>0</sup>C thu được buta-1,3-đien

Dùng H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> đặc ở 140<sup>0</sup>C thu được đimetyl ete

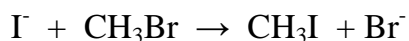
Chất xúc tác chỉ có tác dụng với những phản ứng có khả năng tự diễn biến, nghĩa là phản ứng có  $\Delta G < 0$ . Đối với những phản ứng có  $\Delta G > 0$  xúc tác không có tác dụng vì xúc tác không làm thay đổi bản chất của phản ứng.

Đối với phản ứng thuận nghịch, chất xúc tác làm tăng tốc độ phản ứng thuận và phản ứng nghịch là như nhau. *Nói cách khác, chất xúc tác không làm thay đổi chuyển dịch cân bằng phản ứng mà chỉ làm cho phản ứng nhanh chóng đạt tới trạng thái cân bằng.*

- **Vai trò của chất xúc tác**

Chất xúc tác là chất làm tăng tốc độ phản ứng hóa học bằng cách tham gia vào phản ứng, tạo ra sản phẩm trung gian và hướng phản ứng đi theo con đường ứng với năng lượng hoạt hoá thấp.

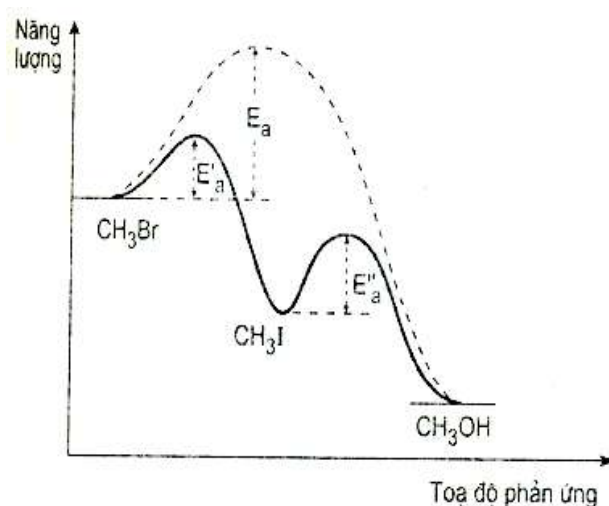
Ví dụ: Phản ứng thủy phân  $\text{CH}_3\text{Br}$  trong nước có xúc tác  $\text{I}^-$ . Tác dụng của xúc tác  $\text{I}^-$  như sau: Trước hết  $\text{I}^-$  tác dụng với  $\text{CH}_3\text{Br}$  vì  $\text{I}^-$  là chất ái nhân tốt hơn  $\text{Br}^-$ .



Tiếp đó là sự thủy phân  $\text{CH}_3\text{I}$  cho  $\text{CH}_3\text{OH}$  và tái tạo  $\text{I}^-$ .



Tốc độ thủy phân của  $\text{CH}_3\text{OH}$  gấp đôi tốc độ thủy phân của  $\text{CH}_3\text{Br}$



**Hình 4. 2.** Giản đồ năng lượng phản ứng thủy phân  $\text{CH}_3\text{Br}$

Trên hình 4.2 có trình bày giản đồ năng lượng của phản ứng thủy phân metyl bromua có xúc tác là ion iodua (đường —) và không có xúc tác (đường.....). Các năng lượng hoạt hoá  $E'_a$  và  $E''_a$  đều nhỏ hơn so với  $E_a$



#### 4.1.4. Phân loại phản ứng hóa học

Trong động học phản ứng hoá học người ta phân loại các phản ứng theo phân tử số và theo bậc của phản ứng.

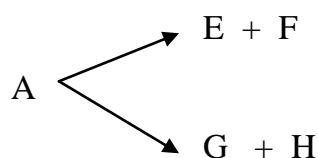
##### a. Phản ứng thuận nghịch

Phản ứng thuận nghịch là phản ứng xảy ra theo cả hai chiều trong cùng điều kiện phản ứng.

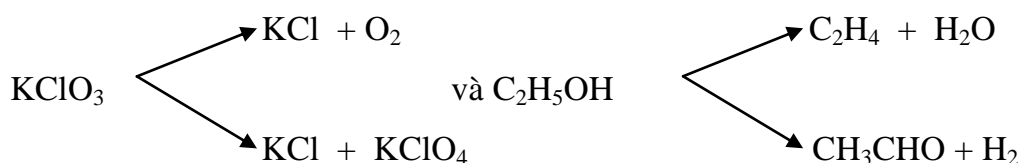


##### b. Phản ứng song song

Là phản ứng cùng xảy ra theo nhiều hướng

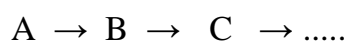


Ví dụ:

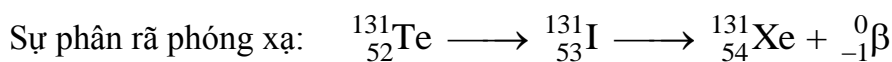
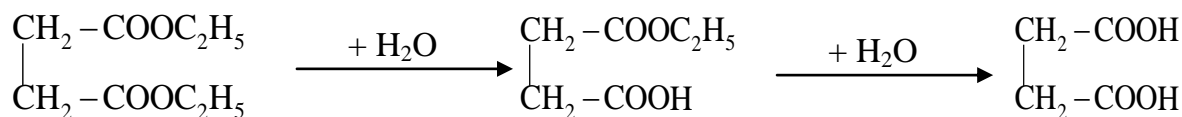


##### c. Phản ứng nối tiếp

Là phản ứng mà sản phẩm của phản ứng này trở thành chất phản ứng của phản ứng tiếp theo.



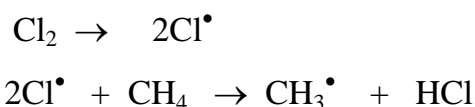
Ví dụ:

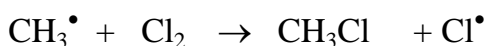


##### d. Phản ứng dây chuyền

Là một trường hợp của phản ứng nối tiếp.

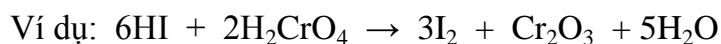
Ví dụ: Phản ứng thế Clo vào ankan



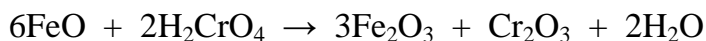


### e. Phản ứng liên hợp

Là phản ứng chỉ xảy ra khi có mặt phản ứng khác cùng xảy ra với nó.



chỉ xảy ra đồng thời khi có phản ứng:



### f. Phản ứng quang hoá

Là phản ứng xảy ra dưới tác dụng của ánh sáng. Người ta chia phản ứng quang hoá làm hai nhóm:

Những phản ứng xảy ra trong điều kiện đã cho có khả năng tự diễn biến ( $\Delta G < 0$ ). Ví dụ:  $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{HCl}$

Trong phản ứng này ánh sáng giữ vai trò kích thích phản ứng, góp phần làm thắng được năng lượng hoạt hoá của nó.

Những phản ứng mà trong điều kiện đã cho không có khả năng diễn biến ( $\Delta G > 0$ ) mà việc thực hiện chúng đòi hỏi cung cấp năng lượng từ bên ngoài. Ví dụ: Phản ứng quang hợp của cây xanh, phản ứng phân huỷ của AgBr bị phân huỷ bởi bức xạ đỏ.

#### 4.1.5. Cơ chế phản ứng

Theo rất nhiều thực nghiệm cho thấy rằng đa số các phản ứng không biến đổi trực tiếp từ các chất đầu thành sản phẩm mà thường phải xảy ra theo nhiều giai đoạn.



Phản ứng này gồm hai giai đoạn:

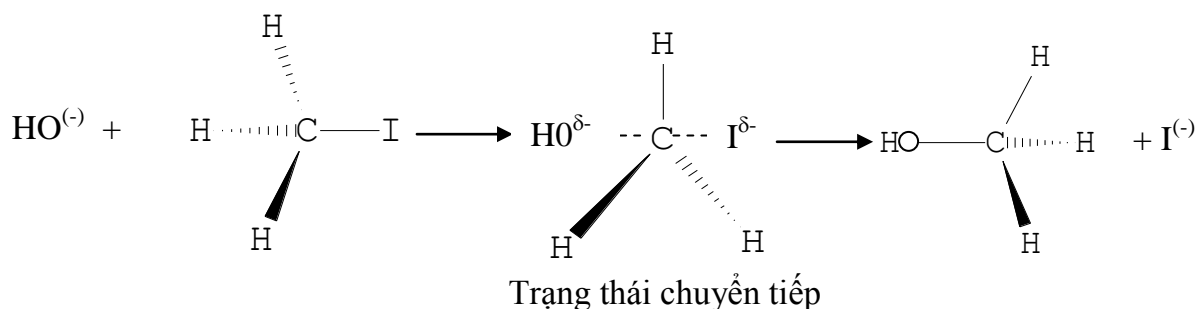


Tập hợp các giai đoạn mà phản ứng hóa học phải trải qua gọi là **cơ chế phản ứng**.

Cơ chế phản ứng thường phức tạp và đa dạng. Nghiên cứu cơ chế phản ứng sẽ biết được bản chất của nó và giai đoạn nào là giai đoạn khống chế quá trình phản ứng (giai đoạn có tốc độ bé nhất), từ đó tăng tốc độ phản ứng chỉ bằng cách tăng tốc độ của giai đoạn khống chế.

Ví dụ về cơ chế phản ứng theo *lí thuyết trạng thái chuyển tiếp*.

Phản ứng thủy phân  $\text{CH}_3\text{I}$  trong dung dịch kiềm đi qua trạng thái như sau:



Ở trạng thái chuyển tiếp (hay còn gọi là phức hoạt động) liên kết  $\text{HO}\cdots\text{C}$  đang hình thành, liên kết  $\text{C}\cdots\text{I}$  đang đứt ra.

## 4.2. Cân bằng hoá học

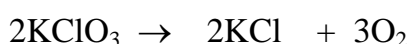
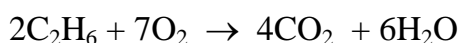
### 4.2.1. Một số khái niệm

#### a. Phản ứng một chiều và phản ứng thuận nghịch

Các phản ứng hoá học có thể phân chia thành hai loại:

*Phản ứng một chiều* (hay không thuận nghịch) là những phản ứng chỉ diễn ra theo một chiều nhất định, có nghĩa là nếu cứ thực hiện phản ứng thì đến một lúc nào đó phản ứng sẽ xảy ra hoàn toàn và hiệu suất đạt 100%.

Ví dụ:



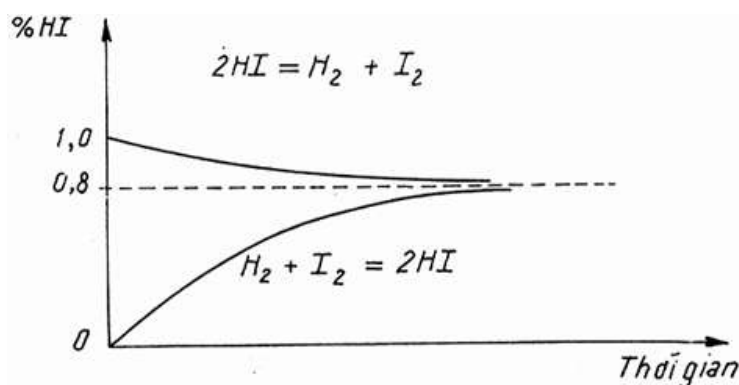
*Phản ứng thuận nghịch* là những phản ứng mà trong những điều kiện đã cho có thể xảy ra đồng thời theo hai chiều ngược nhau, nghĩa là các chất đầu phản ứng với nhau để tạo thành sản phẩm, đồng thời các sản phẩm cũng phản ứng với nhau để tạo thành các chất đầu. Phản ứng không bao giờ đạt hiệu suất 100%.

Ví dụ: Nghiên cứu phản ứng giữa iot và hiđro người ta thấy rằng:

- Nếu trộn 1 mol hiđro và 1 mol iot rồi đun nóng đến  $445^\circ\text{C}$  cho phản ứng xảy ra, người ta nhận thấy rằng HI được tạo ra tối đa là 1,6 mol dù thời gian kéo dài bao lâu (*Theo phương trình phải là 2 mol*).

- Nếu đun nóng 2 mol HI ở cùng điều kiện, người ta nhận thấy rằng chỉ 20% HI bị phân huỷ thành hidro và iot, nghĩa là sản phẩm thu được chứa 1,6mol HI, 0,2 mol H<sub>2</sub> và 0,2 mol I<sub>2</sub>.

Như thế, trong cả hai trường hợp dù xuất phát từ 1 mol hidro và 1 mol iot hay từ 2 mol HI, ở cùng điều kiện phản ứng, cuối cùng trong hệ đều có 1,6 mol HI; 0,2 mol H<sub>2</sub> và 0,2 mol I<sub>2</sub>. Có nghĩa là tỉ lệ các chất trong phương trình là không đổi, người ta gọi trạng thái như thế là *cân bằng hóa học*.



**Hình 4.3.** Sự biến thiên HI theo thời gian

#### **b. Đặc điểm của phản ứng thuận nghịch**

Ở cùng điều kiện phản ứng (nhiệt độ, áp suất) phản ứng có thể xảy ra theo cả hai chiều thuận và chiều nghịch.

Dù xuất phát từ chất đầu hay từ sản phẩm, cuối cùng người ta thu được cùng một kết quả: Tỉ lệ số mol các chất là cố định (như phản ứng trên là 10% H<sub>2</sub>, 10% I<sub>2</sub>, 80% HI)

Nếu điều kiện phản ứng không thay đổi thì dù kéo dài phản ứng đến bao lâu, trạng thái cuối cùng của hệ vẫn giữ nguyên. Người ta nói phản ứng đã đạt đến *trạng thái cân bằng hoá học*.

### **4.2.2. Cân bằng hoá học**

#### **a. Khái niệm về cân bằng hoá học**

*Cân bằng hoá học là trạng thái của một hệ phản ứng, khi đó tốc độ phản ứng thuận bằng tốc độ phản ứng nghịch ( $V_T = V_N$ ).*

Chú ý: Cân bằng hoá học là *cân bằng động*, có nghĩa là phản ứng không dừng lại mà luôn xảy ra, nhưng với nhịp độ là trong một đơn vị thời gian nếu có bao nhiêu mol

chất sản phẩm được tạo thành thì cũng có bấy nhiêu mol chất sản phẩm phản ứng để tái tạo lại chất tham gia.

*Độ chuyển hoá  $\alpha$*  đặc trưng cho mức độ tiến triển của phản ứng

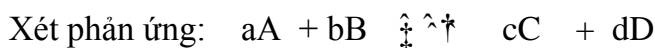
$$\alpha = \frac{n}{n_0} = \frac{\text{số mol chất đã chuyển hoá}}{\text{số mol chất ban đầu}} \quad (4.8)$$

Vì là phản ứng không hoàn toàn nên  $\alpha < 1$ ,  $\alpha$  có thể là số thập phân hay phần trăm.

Tuỳ theo bản chất của quá trình mà độ chuyển hoá  $\alpha$  có thể có những tên gọi khác nhau:

- Quá trình phân huỷ là độ phân huỷ.
- Quá trình điện li là độ điện li
- Quá trình thuỷ phân là độ thuỷ phân.

**b. Hằng số cân bằng. Định luật tác dụng khối lượng**



Gọi nồng độ các chất A, B, C, D khi cân bằng là [A], [B], [C], [D] và hằng số tốc độ phản ứng thuận, nghịch là  $k_T, k_N$  ta có:

Tốc độ phản ứng thuận là  $v_T = k_T [A]^a [B]^b$

Tốc độ phản ứng nghịch là  $v_N = k_N [C]^c [D]^d$

Khi phản ứng đạt đến trạng thái cân bằng:  $v_T = v_N$ , nghĩa là:

$$k_T [A]^a [B]^b = k_N [C]^c [D]^d$$

$$\Rightarrow \frac{k_T}{k_N} = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} = K_C \quad (4.9)$$

$k_T, k_N$  là hằng số nên  $K_C$  cũng là hằng số.  $K_C$  gọi là hằng số cân bằng nồng độ, đặc trưng cho từng phản ứng và phụ thuộc vào nhiệt độ.

(4.9) là biểu thức toán học của định luật tác dụng khối lượng áp dụng cho trạng thái cân bằng của hệ:

*Khi một phản ứng đồng thể đạt đến trạng thái cân bằng thì tích nồng độ (hay áp suất riêng phần) của các sản phẩm với số mũ thích hợp chia cho nồng độ của các chất phản ứng với số mũ thích hợp luôn luôn là hằng số ở nhiệt độ không đổi.*

**Nếu phản ứng xảy ra giữa các chất khí** thì ta có hằng số cân bằng áp suất ( $K_p$ ) được tính theo biểu thức:

$$K_p = \frac{P_C^c \cdot P_D^d}{P_A^a \cdot P_B^b} \quad (4.10)$$

$P_A, P_B, P_C, P_D$  là áp suất riêng phần của các khí A, B, C, D trong hỗn hợp phản ứng tại thời điểm cân bằng.  $K_p$  chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ.

*Nếu trong một hệ phản ứng có cả chất khí, chất rắn thì trong biểu thức tính  $K_C$  và  $K_p$  chỉ có chất khí.*

Ví dụ 1: Đối với phản ứng:  $\text{FeO}(r) + \text{CO}(k) \rightleftharpoons \text{Fe}(r) + \text{CO}_2(k)$

Hằng số cân bằng  $K_p$  được viết như sau:  $K_p = \frac{P_{\text{CO}_2}}{P_{\text{CO}}}$ ;  $K_C = \frac{[\text{CO}_2]}{[\text{CO}]}$

Ví dụ 2: Ở  $410^\circ\text{C}$  hằng số tốc độ phản ứng thuận là 0,0659 và hằng số tốc độ phản ứng nghịch là 0,0017. Lúc đầu người ta trộn 1 mol  $\text{H}_2$  với 1 mol  $\text{I}_2$  trong bình dung tích 1 lit. Khi đạt đến cân bằng ở  $410^\circ\text{C}$ , nồng độ các chất sẽ là bao nhiêu?

Giải:  $\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2\text{HI}$

Nồng độ ban đầu (mol/l): 1 1 0

Nồng độ lúc cân bằng:  $1 - \frac{x}{2}$   $1 - \frac{x}{2}$  x

Hằng số cân bằng:  $K_C = \frac{0,0659}{0,0017} = 48$

Áp dụng định luật tác dụng khối lượng ta có:  $\frac{x^2}{(1 - \frac{x}{2})(1 - \frac{x}{2})} = 48$

Giải phương trình ta được:  $[\text{HI}] = 1,552 \text{ mol/l}$

$[\text{H}_2] = [\text{I}_2] = 1 - 0,776 = 0,224 \text{ mol/l}$

### **Quan hệ hằng số cân bằng $K_C$ và $K_p$ .**

Quan hệ hằng số cân bằng  $K_C$  và  $K_p$  được thể hiện ở biểu thức sau:

$$K_p = K_C (RT)^{\Delta n} \quad (4.11)$$

R: hằng số chất khí,  $R = 0,082 \text{ lit.atm/mol.K}$ ;

T: nhiệt độ tuyệt đối (K) ;

$\Delta n$ : tổng số mol phân tử khí (hoặc hơi) của các sản phẩm phản ứng trừ đi tổng số phân tử khí của các chất phản ứng trong phương trình phản ứng.

Nếu  $\Delta n = 0$  thì  $K_p = K_c$

### Quan hệ giữa hằng số cân bằng và thế đẳng áp - đẳng nhiệt

Nghiên cứu quan hệ giữa hằng số cân bằng và thế đẳng áp người ta thu được kết quả sau:

Trường hợp các chất A, B, C và D đều là chất khí:

$$\Delta G_T^0 = -RT \ln K_p \quad (4.12)$$

Như thế, hằng số cân bằng phụ thuộc vào bản chất phản ứng và nhiệt độ.

Trường hợp các chất A, B, C, D đều là các chất tan trong dung dịch loãng thì:

$$\Delta G_T^0 = -RT \ln K_c \quad (4.13)$$

Ví dụ: Tính hằng số cân bằng của phản ứng ở  $25^\circ\text{C}$ :



Biết phản ứng có:  $\Delta H_{298}^0 = -3,828 \text{ kJ/mol}$ ;  $\Delta S_{298}^0 = 8,7 \text{ J/mol.K}$

Giải: Ta có:  $\Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0 = -RT \ln K_c$

$$\Delta G_{298}^0 = -3828 - (298 \cdot 8,7) = -6420,6 \text{ J}$$

$$\ln K_c = -\frac{\Delta G^0}{RT} = \frac{6420,6}{8,414 \cdot 298}$$

$$\Rightarrow K_c = 13,35$$

### 4.2.3. Những yếu tố ảnh hưởng đến cân bằng hóa học. Nguyên lí Lechatelier

#### a. Sự chuyển dời cân bằng hoá học

Trạng thái cân bằng của một phản ứng hoá học được giữ vững mãi mãi nếu không thay đổi tác động bên ngoài (nồng độ, nhiệt độ, áp suất). Nếu thay đổi các điều kiện bên ngoài cân bằng sẽ bị phá vỡ, khi đó sẽ dẫn tới sự chuyển dịch để thiết lập một trạng thái cân bằng mới.

Ví dụ: Xét phản ứng:  $\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2\text{HI}$

ở trạng thái cân bằng tốc độ phản ứng thuận là:  $v_T = k_T [\text{H}_2] [\text{I}_2]$ .

Nếu tăng nồng độ  $\text{H}_2$  lên hai lần tốc độ phản ứng thuận tăng lên hai lần. Ta nói rằng cân bằng đã chuyển dịch theo chiều thuận.

Nếu không tăng nồng độ của H<sub>2</sub> mà tăng nồng độ của HI lên 2 lần, tốc độ phản ứng nghịch tăng lên 4 lần ( $v'_N = k_N \cdot (2C_{HI})^2$ ), nghĩa là cân bằng chuyển dịch theo chiều nghịch.

Nếu thay đổi áp suất, nhiệt độ sự chuyển dịch cân bằng cũng xảy ra.

*Quá trình biến đổi nồng độ các chất trong hỗn hợp phản ứng từ trạng thái cân bằng này đến trạng thái cân bằng khác do sự thay đổi điều kiện bên ngoài gọi là sự chuyển dịch cân bằng hoá học.*

### **b. Nguyên lí Lechatelier**

*Một hệ đang ở trạng thái cân bằng nếu chịu một tác động bên ngoài như sự thay đổi nồng độ, nhiệt độ, áp suất thì cân bằng sẽ chuyển dịch về phía làm giảm tác dụng bên ngoài đó.*

Nguyên lí Lechatelier có ý nghĩa rất lớn đối với hoá học. Nó cho phép tìm được các điều kiện tối ưu cho một phản ứng hoá học trong công nghiệp, từ đó tận dụng được tối đa nguyên liệu và sử dụng các biện pháp kĩ thuật nhằm nâng cao hiệu suất của phản ứng.

Nguyên lí Lechatelier còn có thể áp dụng cho những quá trình cân bằng khác không liên quan với những biến đổi hóa học như quá trình nóng chảy, sôi, kết tinh, hoà tan.

### **c. Các yếu tố ảnh hưởng đến sự chuyển dịch cân bằng**

- Ảnh hưởng của nồng độ

Giả sử có phản ứng:  $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$

Thế đẳng áp của phản ứng được tính như sau:

$$\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln K = \Delta G^0 + RT \ln \frac{C_C^c \cdot C_D^d}{C_A^a \cdot C_B^b} \quad (4.14)$$

Lúc cân bằng  $\Delta G = 0$

Nếu tăng nồng độ chất phản ứng A, B biểu thức sau dấu logarit (ln) sẽ giảm,  $\Delta G$  trở lên âm, hệ không còn ở trạng thái cân bằng nữa. Phản ứng theo chiều từ trái sang phải tiếp tục xảy ra cho đến khi  $\Delta G = 0$ . Sự tăng nồng độ của các chất C và D sẽ gây ra kết quả ngược lại.

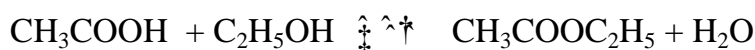


Ví dụ: Khi trộn 1 mol C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH với 1 mol CH<sub>3</sub>COOH và để cho phản ứng xảy ra ở nhiệt độ thường, lúc cân bằng có 2/3 mol este.

a) Tính hằng số cân bằng của phản ứng hoá este.

b) Nếu người ta trộn 3 mol C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH với 1mol CH<sub>3</sub>COOH sẽ thu được bao nhiêu mol este. Cho rằng thể tích và nhiệt độ không đổi.

Giải: Xét trong 1 lit dung dịch. Phương trình phản ứng este hoá:



Nồng độ ban đầu (mol/l)	1	1	0	0
Nồng độ khi cân bằng	1/3	1/3	2/3	2/3

Gọi V là thể tích của hệ:  $K_c = \frac{[\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}][\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{\frac{2}{3} \cdot \frac{2}{3}}{\frac{1}{3} \cdot \frac{1}{3}} = 4$

Gọi x là số mol este tạo thành khi cân bằng mới thiết lập:



Nồng độ ban đầu (mol/l)	3	1	0	0
Nồng độ khi cân bằng (mol/l)	(3-x)	(1-x)	x	x

Ta có,  $K = \frac{x \cdot x}{(3-x)(1-x)} = 4$

Giải phương trình bậc 2 ta được x<sub>1</sub> = 0,9 (nhận) ; x<sub>2</sub> = 4,4 (loại).

Nồng độ este thu được bằng 0,9 > 2/3 chứng tỏ khi tăng nồng độ CH<sub>3</sub>COOH hiệu suất phản ứng tăng, có nghĩa là cân bằng chuyển dịch theo chiều thuận (*chiều làm giảm nồng độ của CH<sub>3</sub>COOH*).

**Tổng quát:** Khi tăng nồng độ của các chất phản ứng cân bằng chuyển dịch từ trái sang phải và ngược lại.

Khi tăng nồng độ của các chất sản phẩm cân bằng sẽ chuyển dịch từ phải sang trái và ngược lại.

- Ảnh hưởng của nhiệt độ đến cân bằng

Từ (III.26) và (IV.5) ta có:

$$\Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0 = -RT \ln K_p \quad (4.15)$$

$$\ln K_p = -\frac{\Delta H^0}{RT} + \frac{\Delta S^0}{R} \quad (4.16)$$

Nếu coi  $\Delta H^0$  và  $\Delta S^0$  là không phụ thuộc vào nhiệt độ, từ (4.16) ta thấy:

- Nếu  $\Delta H^0 > 0$  (phản ứng thu nhiệt): Khi nhiệt độ tăng  $K_p$  sẽ tăng, nghĩa là cân bằng chuyển dịch theo chiều thuận (*chiều thu nhiệt*). Khi nhiệt độ giảm  $K_p$  sẽ giảm, nghĩa là cân bằng chuyển dịch theo chiều nghịch (*Chiều tỏa nhiệt*).

- Nếu  $\Delta H^0 < 0$  (phản ứng tỏa nhiệt): Khi nhiệt độ tăng  $K_p$  sẽ giảm, nghĩa là cân bằng chuyển dịch theo chiều nghịch (*chiều thu nhiệt*). Khi nhiệt độ giảm  $K_p$  sẽ tăng, nghĩa là cân bằng chuyển dịch theo chiều thuận (*chiều tỏa nhiệt*).

**Tổng quát:** Sự tăng nhiệt độ làm cho cân bằng chuyển dịch theo chiều thu nhiệt. Sự giảm nhiệt độ làm cho cân bằng chuyển dịch theo chiều tỏa nhiệt.

- Ảnh hưởng của áp suất đến cân bằng hoá học

Từ (IV.11) ta có:  $K_p = K_{ph} P_{cb}^{\Delta n}$  (4.17)

$K_{ph}$ : Hằng số cân bằng của phản ứng khi thay nồng độ mol/l bằng nồng độ phần mol ( $C_{ph}$ );

$\Delta n$ : Sự biến đổi số mol khí ( $\Delta n = n_{sp} - n_{cpu}$ )

- Nếu  $\Delta n > 0$ : Khi tăng áp suất của hệ thì  $K_{ph}$  giảm, nghĩa là cân bằng chuyển dịch theo chiều nghịch (*chiều làm giảm số mol khí*). Khi giảm áp suất của hệ thì  $K_{ph}$  tăng, nghĩa là cân bằng chuyển dịch theo chiều thuận (*chiều làm tăng số mol khí*).

- Nếu  $\Delta n < 0$ : Khi tăng áp suất của hệ thì  $K_{ph}$  sẽ giảm, nghĩa là cân bằng chuyển dịch theo chiều nghịch (*chiều làm giảm số mol khí*). Khi giảm áp suất thì  $K_{ph}$  sẽ tăng, nghĩa là cân bằng chuyển dịch theo chiều thuận (*chiều làm tăng số mol khí*).

**Tổng quát:** Khi tăng áp suất cân bằng chuyển dịch về phía giảm số mol khí và ngược lại.

- Ứng dụng của hiện tượng chuyển dịch cân bằng hoá học

Hiện tượng chuyển dịch cân bằng hoá học được ứng dụng rộng rãi trong các quá trình công nghệ hoá học.

Ví dụ: Quá trình tổng hợp  $NH_3$  thực hiện theo phản ứng



Để tăng hiệu suất phản ứng người ta thực hiện các biện pháp kĩ thuật:

- Áp suất cao: Khoảng 2000 atm;
- Nhiệt độ: Khoảng 400<sup>0</sup>C, theo nguyên lý Lechatelier thì thực hiện phản ứng ở nhiệt độ càng thấp càng tốt nhưng nếu thấp hơn nữa tốc độ của quá trình sẽ quá bé, rất lâu phản ứng mới đạt được cân bằng;
- Xúc tác: Bột sắt.

## CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP

### 1: Ảnh hưởng của nồng độ đến tốc độ

4.1. Có phản ứng:  $2A + B \rightarrow C$

1. Viết phương trình động học của phản ứng
2. Xác định xem tốc độ phản ứng tăng hay giảm bao nhiêu lần khi:
  - Tăng nồng độ A lên 2 lần
  - Giảm nồng độ chất A 3 lần
  - Tăng áp suất của A, B lên 3 lần
  - Giảm thể tích hỗn hợp xuống 3 lần

4.2. Phản ứng tổng hợp  $NH_3$  xảy ra theo phương trình :  $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$

1. Viết phương trình động học của phản ứng
2. Tốc độ phản ứng sẽ thay đổi thế nào nếu tăng nồng độ của  $H_2$  lên 2 lần đồng thời giảm nồng độ của  $N_2$  xuống 2 lần, các đk khác không đổi.

### 2. Bài tập áp dụng công thức Van Hop

4.3. Một phản ứng xảy ra ở  $110^{\circ}C$  có hệ số nhiệt độ bằng 2. Khi nhiệt độ tăng lên  $150^{\circ}C$  thì tốc độ phản ứng tăng bao nhiêu lần?

- 4 lần  
B. 8 lần  
C. 16 lần  
D. 18lần

4.4. Một phản ứng hoá học xảy ra ở  $80^{\circ}C$  trong 10 phút với hệ số nhiệt là 2. Thời gian phản ứng tiến hành ở  $110^{\circ}C$  là:

- 112,5 giây  
B. 150 giây  
C. 120 giây  
D. 148 giây

4.5. Cho phản ứng  $2A + B \rightarrow C + D$

1. Tốc độ phản ứng tăng bao nhiêu lần khi tăng nhiệt độ phản ứng từ  $20^{\circ}C$  đến  $60^{\circ}C$ ? Biết hệ số nhiệt độ của phản ứng là 3.

2. Cần tăng nồng độ của A lên bao nhiêu lần để tốc độ phản ứng tăng 16 lần?

Các đk khác không đổi.

ĐS: 1. 81 lần 2. 4 lần

**4.6.** Ở nhiệt độ  $150^{\circ}\text{C}$  một phản ứng kết thúc sau 16 phút. Hỏi ở  $120^{\circ}\text{C}$  và  $200^{\circ}\text{C}$  phản ứng đó kết thúc sau bao nhiêu phút? Giả sử hệ số nhiệt độ của phản ứng trong khoảng nhiệt độ đó là bằng 2

ĐS: 128 phút và 0,5 phút

**4.7.** Phản ứng  $A + 2B \rightarrow$  sản phẩm. Lúc đầu  $C_A = 0,03\text{mol/l}$ ;  $C_B = 0,05\text{mol/l}$ . Hằng số tốc độ phản ứng  $k = 0,4$ . Tìm tốc độ phản ứng ở thời điểm ban đầu và ở thời điểm còn  $C_A = 0,01\text{mol/l}$ . Tốc độ phản ứng sẽ thay đổi như thế nào nếu giảm thể tích đi 10 lần.

### 3. Bài tập áp dụng công thức của Arrhenius

**4.8.** Hằng số tốc độ ở  $20^{\circ}\text{C}$  bằng  $3 \cdot 10^{-2}$  còn ở  $50^{\circ}\text{C}$  bằng  $4 \cdot 10^{-1}$ . Hãy tính năng lượng hoạt hoá  $E_a$  và tốc độ phản ứng ở  $30^{\circ}\text{C}$  (coi nồng độ các chất bằng đơn vị).

ĐS:  $E_a = 67,94 \text{ kJ/mol}$ ; tốc độ ở  $30^{\circ}\text{C}$  là  $7,53 \cdot 10^{-2}$

**4.9.** Sunllivan nghiên cứu phản ứng:  $2\text{I}(\text{k}) + \text{H}_2(\text{k}) \rightarrow 2\text{HI}(\text{k})$

Cho thấy rằng hằng số tốc độ phản ứng ở  $417\text{K}$  bằng  $1,12 \cdot 10^{-5} \text{M}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  và ở  $737,9\text{K}$  bằng  $18,54 \cdot 10^{-5} \text{M}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Xác định năng lượng hoạt hóa và hằng số tốc độ phản ứng ở  $633,2\text{K}$ .

**4.10.** Thủy phân  $\text{CH}_3\text{Cl}$  trong  $\text{H}_2\text{O}$  là một phản ứng có bậc động học là một. Ở  $25^{\circ}\text{C}$ , phản ứng có hằng số tốc độ  $k_{298} = 3,32 \times 10^{-10} \text{s}^{-1}$ , và ở  $40^{\circ}\text{C}$  có  $k_{313} = 3,13 \times 10^{-9} \text{s}^{-1}$ . Tính năng lượng hoạt hóa của phản ứng.

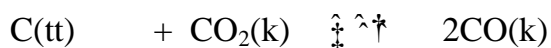
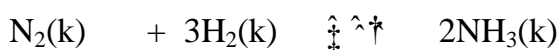
**4.11.** Trong một phản ứng bậc nhất tiến hành ở  $27^{\circ}\text{C}$ , nồng độ chất đầu giảm đi một nửa sau 5000s. Ở  $37^{\circ}\text{C}$  nồng độ giảm đi 2 lần sau 1000s. Xác định năng lượng hoạt hóa của phản ứng.

### 4. Xác định nồng độ các chất, tính hằng số cân bằng

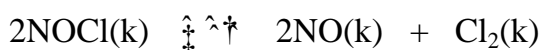
**4.12.** Cho phản ứng:  $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{tt}) + 3\text{CO}(\text{k}) \rightleftharpoons 2\text{Fe}(\text{tt}) + 3\text{CO}_2(\text{k})$

Viết biểu thức hằng số cân bằng  $K_C$ ,  $K_P$  cho phản ứng trên.

**4.13.** Viết biểu thức tính hằng số cân bằng  $K_C$ ,  $K_P$  của các phản ứng sau:



**4.14.** NOCl bị phân huỷ theo phản ứng:



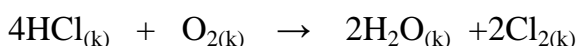
Ở 500K khi cân bằng có 27% NOCl bị phân huỷ và áp suất tổng cộng của hệ là 1 atm. Hãy tính ở 500K

1. Áp suất riêng phần của từng chất trong phản ứng khi cân bằng
2.  $K_p$  và  $\Delta G^0$  của phản ứng
3. Nếu hạ áp suất xuống dưới 1atm thì sự phân huỷ của NOCl tăng hay giảm? vì sao?

ĐS: 1)  $K_p = 1,6 \cdot 10^{-2}$ ,  $\Delta G^0 = 17,112\text{kJ}$

2)  $P_{\text{NOCl}} = 0,643 \text{ atm}$ ,  $P_{\text{NO}} = 0,238\text{atm}$ ,  $P_{\text{Cl}_2} = 0,119\text{atm}$

**4.15.** Cho phản ứng:



Giả sử ban đầu chỉ có HCl và  $\text{O}_2$ . Sau một thời gian phản ứng nồng độ của các chất là: HCl: 0,75mol/l;  $\text{O}_2$ : 0,42mol/l;  $\text{Cl}_2$ : 0,2mol/l. Tính nồng độ ban đầu của HCl và  $\text{O}_2$ .

ĐS: Nồng độ HCl 1,15mol/l

Nồng độ  $\text{O}_2$  0,52mol/l

**4.16.** Ở 850°C phản ứng:  $\text{CO}(\text{k}) + \text{H}_2\text{O}(\text{k}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{k}) + \text{H}_2(\text{k})$

Tại trạng thái cân bằng có hằng số cân bằng  $K_C = 1$ . Cho biết nồng độ ban đầu của các chất:  $[\text{CO}] = 0,2\text{mol/l}$ ;  $[\text{H}_2\text{O}] = 0,1\text{mol/l}$  và  $[\text{CO}_2] = [\text{H}_2] = 0$ . Tính nồng độ các chất ở trạng thái cân bằng.

Đ/s:  $[\text{CO}_2] = [\text{H}_2] = 0,067 \text{ mol/l}$

$[\text{CO}] = 0,133 \text{ mol/l}$ ;  $[\text{H}_2\text{O}] = 0,033 \text{ mol/l}$

**4.17.** Cho phản ứng :  $\text{N}_2(\text{k}) + 3\text{H}_2(\text{k}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{k})$

tiến hành ở nhiệt độ và thể tích không đổi. Biết rằng tại trạng thái cân bằng các chất có nồng độ như sau:

$$C_{N_2} = 0,3 \text{ mol/l}; C_{H_2} = 0,9 \text{ mol/l}; C_{NH_3} = 0,4 \text{ mol/l}$$

1. Tính hằng số cân bằng  $K_C$  của phản ứng.
2. Tính nồng độ ban đầu của nitơ và hiđrô.

$$\text{Đ/s: } K_C = 0,73; [N_2] = 0,5 \text{ mol/l}; [H_2] = 1,5 \text{ mol/l}$$



Tính hằng số cân bằng  $K_C$ , biết rằng ở trạng thái cân bằng có 0,4 mol  $CO_2$ ; 0,4 mol  $H_2$ ; 0,8 mol  $CO$  và 0,8 mol hơi nước trong một bình dung tích 1 lít. Nếu tăng áp suất chung của hệ, cân bằng sẽ dịch chuyển theo chiều nào?

$$\text{ĐS: } K_C = 4$$

## 5. Bài tập tổng hợp

**4.19.** Định nghĩa tốc độ phản ứng. Phân biệt tốc độ trung bình và tốc độ tức thời của phản ứng.

**4.20.** Các yếu tố nồng độ, nhiệt độ có ảnh hưởng như thế nào đến tốc độ phản ứng? Viết biểu thức thể hiện mối liên quan giữa tốc độ và nồng độ, nhiệt độ.

**4.21.** Vai trò của xúc tác trong các phản ứng như thế nào? Cho ví dụ.

**4.22.** Thế nào là phản ứng một chiều, phản ứng thuận nghịch. Cho ví dụ.

**4.23.** Cân bằng hoá học là gì? Cho ví dụ. Viết biểu thức về độ chuyển hoá  $\alpha$ ?

**4.24.** Thế nào là sự chuyển dịch cân bằng hoá học? Cho ví dụ? Các yếu tố nồng độ, nhiệt độ, áp suất ảnh hưởng như thế nào đến sự chuyển dịch cân bằng hoá học? Cho ví dụ.

**4.25.** Cho 8,34(g)  $PCl_5$  trong bình có thể tích 1(lít) ở  $200^\circ C$ , phản ứng xảy ra trong bình:  $PCl_5(k) \rightleftharpoons PCl_3(k) + Cl_2(k)$

Khi cân bằng P tổng cộng là 1,94atm.

1. Tính áp suất riêng phần của các khí ở TTCB? Cho  $M_{PCl_5} = 208,5$ .

2. Tính hằng số  $K_P$ ?

$$\text{ĐS: } P_{PCl_3} = P_{Cl_2} = 0,388(\text{atm}); P_{PCl_5} = 1,164(\text{atm}); K_P = 0,13$$

**4.26.** Cho phản ứng ở  $150^\circ C$ :  $H_2O(k) + CO(k) \rightleftharpoons H_2(k) + CO_2(k)$

có  $[H_2O]$  và  $[CO]$  ban đầu đều bằng 0,03M;  $[H_2]$  và  $[CO_2]$  ban đầu là 0;

$$K_c = 0,25$$

1. Tính nồng độ các chất ở trạng thái cân bằng?

2. Tính  $K_p$  và  $\Delta G$  ở nhiệt độ đó?

ĐS:  $[H_2] = [CO_2] = 0,01(\text{mol/l})$  ;  $[H_2O] = [CO] = 0,02(\text{M})$  ;  $K_p = 0,25$ ;  $\Delta G = 5,45$

(KJ)

**4.27.** Cho phản ứng  $2A + B \rightarrow C$

Ban đầu  $[A] = 0,5\text{M}$  và  $[B] = 0,3\text{M}$ ;  $k = 0,4$ . Tính vận tốc ban đầu và vận tốc tại thời điểm  $[B]$  còn lại 25% lượng ban đầu. Nếu tăng đồng thời  $[A]$  và  $[B]$  lên 2 lần thì tốc độ tăng lên mấy lần?

ĐS:  $v_{\text{bđ}} = 0,03 (\text{mol/l.s})$ ;  $v_{\text{sau}} = 7,5 \cdot 10^{-5} (\text{mol/l.s})$ ; 8 lần

**4.28.** Cho phản ứng:  $H_2O(k) + CO(k) \rightleftharpoons H_2(k) + CO_2(k)$

Khi cân bằng  $P$  tổng cộng là 2 atm,  $K_p = 0,64$ ; Biết số mol ban đầu của  $H_2O$  và  $CO$  lần lượt là 1 và 3.

1. Tính áp suất riêng phần của các khí ở TTCB?

2. Nếu giảm áp suất tổng cộng một nửa thì tỉ lệ  $P_{CO} : P_{CO_2}$  là bao nhiêu?

ĐS:  $p_{H_2} = p_{CO_2} = 0,342 (\text{atm})$ ;  $P_{H_2O} = 0,158 (\text{atm})$ ;  $P_{CO} = 1,158 (\text{atm})$



## CHƯƠNG 5. DUNG DỊCH

### 5.1. Một số khái niệm và định nghĩa

#### 5.1.1. Hệ phân tán

Hệ phân tán là những hệ trong đó có ít nhất một chất phân bố (chất phân tán) vào một chất khác (môi trường phân tán) dưới dạng những hạt có kích thước nhỏ bé.

Ví dụ:

R- R: (Chất rắn phân bố trong chất rắn) như các hợp kim.

R- L: (Chất rắn phân bố trong chất lỏng) như các dung dịch muối.

R- K: (Chất rắn phân bố trong chất khí) như khói nhà máy xi măng.

L- L: (Chất lỏng phân bố trong chất lỏng) như sữa, dầu thô.

L- K: (Chất lỏng phân bố trong chất khí) như sương mù.

L- R: (Chất lỏng phân bố trong chất rắn) như thạch, máu đông.

K- R: (Chất khí phân bố trong chất rắn) như platin hấp phụ hidro.

K- L: (Chất khí phân bố trong chất lỏng) như nước tự nhiên, dung dịch HCl.

K- K: (Chất khí phân bố trong chất khí) như không khí, hỗn hợp khí.

Nếu môi trường phân tán là chất lỏng thì tùy theo kích thước của các phân tử phân tán mà chia ra thành ba hệ:

Hệ khuếch tán thô (hệ lơ lửng): Các phân tử phân tán có kích thước > 100nm.

Huyền phù khi phân tử phân tán là chất rắn.

Nhũ tương khi phân tử phân tán là chất lỏng.

Dung dịch keo: Kích thước của các phân tử phân tán từ 1nm–100nm

Dung dịch thực hay dung dịch: Kích thước của các phân tử <1nm.

Đây là kích thước của các phân tử, vì vậy các dung dịch này còn được gọi là dung dịch phân tử.

Trong chương này sẽ nghiên cứu chủ yếu là dung dịch thực. Một số khái niệm về dung dịch keo được nghiên cứu ở cuối chương.

Đối với dung dịch thực môi trường phân tán được gọi là dung môi, chất phân tán là chất tan.

## 5.1.2. Khái niệm về dung dịch

### a. Dung dịch

Là một hệ đồng thể gồm các phân tử, nguyên tử, hoặc ion của hai hay nhiều chất.

### b. Dung dịch bão hoà. Độ tan

*Dung dịch bão hoà* là dung dịch không thể hoà tan thêm được chất tan ở điều kiện đã cho. Dung dịch này bền về nhiệt độ và có  $\Delta G = 0$ .

*Dung dịch chưa bão hoà* là dung dịch còn có thể hoà tan thêm được chất tan ở điều kiện đã cho.

*Độ tan S*: được biểu diễn bằng số gam chất tan có thể hoà tan trong 100g dung môi tạo thành dung dịch bão hoà ở một nhiệt độ xác định.

Ví dụ: Độ tan của NaCl ở 20°C là 35,8 nghĩa là có 35,8 gam muối trong 100 gam nước.

$S > 10$  là chất dễ tan.

$0,01 < S < 1$  là chất khó tan.

$S < 0,01$  là chất không tan.

Riêng đối với các chất khí độ tan được biểu diễn bằng số mol khí chất tan trong một lít dung môi.

Có một số chất lỏng hoà tan với nhau với lượng không giới hạn (thí dụ như rượu và nước) chúng được gọi là hoà tan vô hạn. Những chất lỏng không hoà tan vào nhau hoặc hầu như không hoà tan vào nhau được gọi là không hoà tan vào nhau.

Độ tan phụ thuộc vào bản chất của chất tan, của dung môi và nhiệt độ. Trong một số trường hợp độ tan còn phụ thuộc vào áp suất.

### c. Dung dịch lí tưởng

Dung dịch lí tưởng là dung dịch mà trong đó lực tương tác giữa tất cả các tiểu phân của cả dung môi và cả chất tan là đồng nhất. Có thể coi dung dịch rất loãng là dung dịch lí tưởng.

## 5.2. Nồng độ dung dịch

### 5.2.1. Nồng độ phần trăm (C%)

Nồng độ phần trăm là số gam chất tan có trong 100 gam dung dịch.

$$C\% = \frac{\text{Khối lượng chất tan}}{\text{Khối lượng dung dịch}} \cdot 100 (\%) \quad (5.6)$$

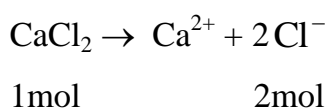
### 5.2.2. Nồng độ mol ( $C_M$ )

Nồng độ mol được biểu diễn bằng số mol chất tan có trong 1 lít dung dịch.

$$C_M = \frac{\text{Số mol chất tan}}{\text{Thể tích dung dịch (l)}} \quad (\text{mol/l}) \quad (5.7)$$

Ví dụ: Hoà tan 16,7g  $\text{CaCl}_2$  bằng nước đến 400 ml dung dịch. Hãy tính nồng độ mol của dung dịch và nồng độ mol của ion  $\text{Cl}^-$ .

Giải: Ta biết rằng  $\text{CaCl}_2$  phân li hoàn toàn trong nước:



$$\text{Số mol CaCl}_2 \text{ là: } n_{\text{CaCl}_2} = \frac{16,7\text{g}}{111,01\text{g}} = 0,15 \text{ mol}$$

$$\text{Số mol của } \text{Cl}^- \text{ là: } 2 \cdot n_{\text{CaCl}_2} = 2 \cdot 0,15 = 0,3 \text{ mol}$$

$$C_{M(\text{CaCl}_2)} = \frac{0,15}{0,4} = 0,375 \text{ mol/l}$$

$$C_{M(\text{Cl}^-)} = \frac{0,30}{0,4} = 0,750 \text{ mol/l}$$

### 5.2.3. Nồng độ molan ( $C_m$ )

Nồng độ molan được biểu diễn bằng số mol chất tan có trong 1000g dung môi.

$$C_m = \frac{m_2 \cdot 1000}{M \cdot m_1} \quad (5.10)$$

Trong đó:  $m_2$  là số gam chất tan;

$m_1$  là số gam dung môi;

$M$  là khối lượng mol phân tử chất tan.

Ví dụ: Tính nồng độ molan của dung dịch saccarozơ ( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ ,  $M = 342,3$ ) 30% trong nước ?

Giải: Trong 100 gam dung dịch, khối lượng saccarozơ là 30g; khối lượng nước là 70g.

Số mol saccarozơ trong 70 gam nước:

$$n_{\text{saccarozơ}} = \frac{30}{342,3} = 0,087 \text{ mol}$$

Nồng độ molan của dung dịch:

$$C_m = \frac{0,087 \text{ (mol)} \cdot 1000 \text{ (g)}}{70 \text{ (g)}} = 1,25$$

#### 5.2.4. Nồng độ phân mol ( $C_{ph}$ )

Nồng độ phân mol được biểu diễn bằng tỉ số giữa số mol một hợp phần trên tổng số mol của tất cả các hợp phần của một dung dịch. Đối với dung dịch gồm  $n_A$  mol chất A và  $n_B$  mol chất B có nồng độ phân mol của chất A và chất B là:

$$C_{ph(A)} = \frac{n_A}{n_A + n_B} \quad (5.11)$$

$$C_{ph(B)} = \frac{n_B}{n_A + n_B} \quad (5.12)$$

Ví dụ: Tính nồng độ phân mol của dung dịch saccarozơ 30%

Giải: Trong 100 gam dung dịch, khối lượng saccarozơ là 30g; khối lượng nước là 70g.

Số mol saccarozơ trong 100 gam dung dịch:

$$n_{\text{saccarozơ}} = \frac{30}{342,3} = 0,087 \text{ mol}$$

Số mol nước trong 100 g dung dịch:

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{70}{18,01} = 3,88 \text{ mol}$$

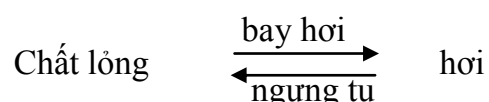
$$\text{Nồng độ phân mol của saccarozơ: } \frac{0,087}{0,087 + 3,88} = 0,22$$

$$\text{Nồng độ phân mol của nước: } \frac{3,88}{0,087 + 3,88} = 0,88$$

### 5.3. Tính chất của dung dịch lỏng chứa chất tan không điện li và không bay hơi

#### 5.3.1. Định luật Raoult 1

Trên bề mặt chất lỏng nguyên chất luôn tồn tại hai quá trình: bay hơi và ngưng tụ.



Các phân tử lỏng bay hơi tạo thành các phân tử hơi và gây ra áp suất trên bề mặt chất lỏng được gọi là *áp suất hơi của chất lỏng*. Tại đây các phân tử hơi chuyển động hỗn loạn và chúng có thể va chạm lên bề mặt chất lỏng và trở thành trạng thái lỏng.

Ở một nhiệt độ xác định, trạng thái cân bằng này được đặc trưng bởi áp suất hơi bão hoà.

Áp suất hơi bão hoà của chất lỏng ở nhiệt độ nào đó là áp suất tạo ra bởi hơi của nó trên bề mặt thoáng khi giữa chất lỏng và hơi đó nằm cân bằng với nhau ( $P_0$ ).

Khi thêm một chất tan không điện li, không bay hơi vào dung môi thì chất tan chỉ có mặt ở pha lỏng, không có mặt ở pha hơi vì thế áp suất hơi bão hoà của nó nhỏ hơn áp suất hơi bão hoà của dung môi nguyên chất. Hiện tượng này gọi là sự giảm áp suất hơi bão hoà.

Độ giảm áp suất hơi bão hoà được xác định bằng biểu thức của định luật Raoult 1:

*“Áp suất hơi bão hoà của dung dịch  $P_1$  bằng áp suất hơi bão hoà của dung môi  $P_0$  nhân với nồng độ phần mol của dung môi”*

$$P_1 = P_0 \cdot C_{ph} \quad (5.13)$$

$C_{ph}$ : Nồng độ phần mol của dung môi

Trong dung dịch phần mol của dung môi  $C_{ph}$  luôn nhỏ hơn 1, do đó *áp suất hơi bão hoà của dung dịch  $P_1$  luôn luôn nhỏ hơn áp suất hơi bão hoà của dung môi ở cùng nhiệt độ.*

Định luật Raoult 1 cũng có thể phát biểu theo cách khác: *Độ giảm áp suất hơi bão hoà tỉ lệ thuận với số mol chất tan trong dung dịch.*

$$\frac{\Delta P}{P_0} = \frac{n_2}{n_1 + n_2} \quad (5.14)$$

$n_1, n_2$ : Số mol của dung môi và chất tan có trong dung dịch.

$\Delta P$ : Độ giảm áp suất hơi bão hoà của dung dịch so với dung môi

$$(\Delta P = P_0 - P_1)$$

### 5.3.2. Định luật Raoult 2

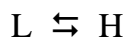
Sự giảm áp suất hơi bão hoà của dung dịch làm cho nhiệt độ sôi của dung dịch tăng lên và nhiệt độ đông đặc của dung dịch giảm xuống so với dung môi nguyên chất.

Định luật Raoult 2 chỉ ra mối quan hệ giữa nhiệt độ sôi và nhiệt độ đông đặc của dung dịch chứa chất tan không bay hơi, không điện li so với dung môi

**a. Độ tăng nhiệt độ sôi của dung dịch chứa chất tan không bay hơi, không điện li so với dung môi nguyên chất**

- *Nhiệt độ sôi của chất lỏng là nhiệt độ ở đó áp suất hơi bão hoà của nó bằng áp suất khí quyển.*

Khi chất lỏng sôi có cân bằng giữa lỏng và hơi:



Nếu áp suất bên ngoài không đổi thì trong quá trình sôi nhiệt độ sôi của chất lỏng nguyên chất không đổi.

Mỗi chất lỏng có nhiệt độ sôi xác định. Nhiệt độ sôi của chất lỏng chỉ phụ thuộc vào áp suất bên ngoài. Ví dụ: Ở áp suất 1 atm, nước sôi ở 100<sup>0</sup>C; ở 0,74 atm nước sôi ở 92<sup>0</sup>C.

- Ở áp suất bên ngoài như nhau, khi dung môi nguyên chất sôi thì dung dịch chứa chất tan không bay hơi sẽ chưa sôi vì áp suất hơi bão hoà của dung dịch luôn nhỏ hơn áp suất hơi bão hoà của dung môi nguyên chất ở cùng nhiệt độ, do đó phải tăng nhiệt độ để tăng áp suất của dung dịch cho bằng áp suất khí quyển thì dung dịch mới sôi.

Như thế, *nhiệt độ sôi của dung dịch cao hơn so với dung môi nguyên chất.*

- *Độ tăng nhiệt độ sôi của dung dịch so với dung môi nguyên chất được tính bằng công thức sau:*

$$\Delta t_s = k_s \cdot C_m \quad (5.15)$$

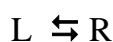
$C_m$ : Nồng độ molan

$k_s$ : Hằng số nghiệm sôi của dung môi, nó chỉ phụ thuộc bản chất của dung môi.

$$\Delta t_s = t_s - t_s^0$$

**b. Độ giảm nhiệt độ đông đặc của dung dịch chứa chất tan không bay hơi không điện li.**

- Nhiệt độ đông đặc của chất lỏng là nhiệt độ ở đó tồn tại bằng cân bằng giữa pha lỏng và rắn:



Áp suất bên ngoài không thay đổi thì trong quá trình đông đặc nhiệt độ đông đặc của chất nguyên chất không đổi.

- Nhiệt độ đông đặc của dung dịch luôn thấp hơn nhiệt độ đông đặc của dung môi nguyên chất.



Thêm chất tan vào nước thì nồng độ của  $H_2O_{(l)}$  trong dung dịch giảm xuống, theo nguyên lý Le Chatelier cân bằng chuyển dịch về phía tạo ra  $H_2O_{(l)}$  nghĩa là nước đã tan ra. Chúng ta cần phải giảm nhiệt độ xuống dưới  $0^{\circ}C$  để nước lỏng kết tinh lại.

- Độ giảm nhiệt độ đông đặc của dung dịch so với dung môi nguyên chất được tính bởi công thức sau:

$$\Delta t_{\text{đđ}} = k_{\text{đđ}} C_m \quad (5.16)$$

$$\Delta t = t_{\text{đđ(dm)}} - t_{\text{đđ(dd)}}$$

$k_{\text{đđ}}$ : Hằng số nghiệm đông, chỉ phụ thuộc vào bản chất dung môi

$C_m$ : Nồng độ molan

Hai biểu thức (5.15), (5.16) là biểu thức toán học của định luật Raoult thứ 2.

Độ tăng nhiệt độ sôi và giảm nhiệt độ đông đặc của dung dịch tỉ lệ thuận với độ giảm áp suất hơi bão hoà, nghĩa là tỉ lệ thuận với nồng độ dung dịch.

Cần chú ý là các phương trình của định luật Raoult chỉ áp dụng cho các dung dịch loãng.

### 5.3.3. Áp suất thẩm thấu

#### a. Hiện tượng thẩm thấu

Hiện tượng khuếch tán hai chiều: Đựng dung dịch  $CuSO_4$  ở nhánh A của ống chữ U, nhánh B đựng nước nguyên chất. Hai nhánh được ngăn cách với nhau bằng khoá ở giữa. Nếu mở khoá thì một lúc sau thấy dung dịch ở hai nhánh đều có cùng một màu xanh nhưng nhạt hơn màu của dung dịch  $CuSO_4$  ban đầu. Điều đó chứng tỏ rằng

các phân tử  $\text{CuSO}_4$  đã khuếch tán sang nhánh B và ngược lại các phân tử  $\text{H}_2\text{O}$  khuếch tán từ nhánh B sang nhánh A.

Hiện tượng khuếch tán một chiều: Nếu thay khoá giữa hai nhánh A và B bằng một màng bán thấm thì chỉ có các phân tử của  $\text{H}_2\text{O}$  khuếch tán từ nhánh B sang nhánh A.

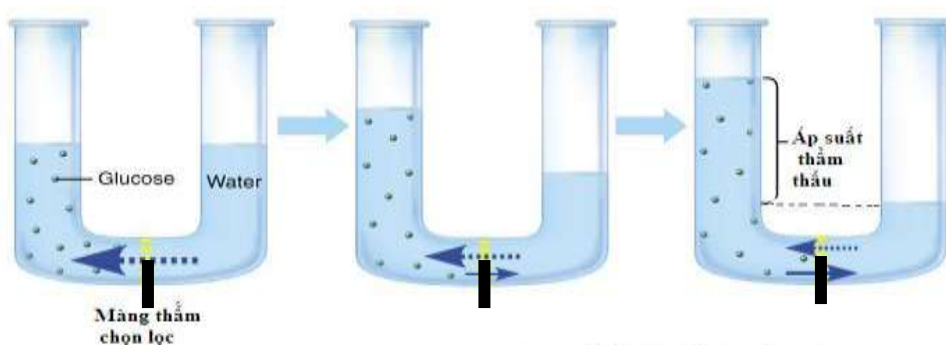
Hiện tượng khuếch tán của các phân tử dung môi qua màng bán thấm vào dung dịch gọi là sự thẩm thấu.

Màng bán thấm có trong tự nhiên: Bong bóng động vật, da ếch, màng các loại củ (màng củ cải) ... Người ta chế tạo màng bán thấm bằng màng xốp đất sét có tẩm muối đồng  $\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  ...

Hiện tượng thẩm thấu đóng một vai trò rất quan trọng trong sự sống của các cơ thể động vật và thực vật. Vỏ tế bào là những màng bán thấm cho các phân tử nước đi qua nhưng các chất tan trong chất lỏng bên trong tế bào hầu như không đi qua được. Nhờ có hiện tượng thẩm thấu mà cây cỏ có thể hút được nước từ đất lên nuôi các tế bào, cây cối, hoa quả héo tưới nước vào lại tươi, cá nước ngọt không sống ở nước mặn và ngược lại.

### **b. Áp suất thẩm thấu.**

Cho một ống chữ U có nhánh A chứa dung dịch đường glucozo và nhánh B chứa nước. Sau một thời gian thấy mức dung dịch trong bình dâng lên đến chiều cao  $h$  thì dừng lại. Nguyên nhân của hiện tượng thẩm thấu là do các phân tử dung môi có nồng độ của nước cao hơn nồng độ của nước trong dung dịch nên các phân tử nước khuếch tán từ dung môi vào dung dịch nhiều hơn. Điều đó làm cho dung dịch ngày càng loãng nên cột dung dịch trong nhánh A dâng lên.



**Hình 5.1.** Sơ đồ thí nghiệm về sự thẩm thấu



Tính chất thẩm thấu của dung dịch loãng, không bay hơi, không điện li được đặc trưng bởi một đại lượng là áp suất thẩm thấu. Trong thí nghiệm trên, áp suất thẩm thấu chính là áp suất thủy tinh của cột dung dịch có chiều cao h. Chiều cao h chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ và nồng độ của dung dịch.

*Áp suất thẩm thấu là áp suất cần tác động vào dung dịch đủ để làm ngừng hiện tượng thẩm thấu.*

Năm 1887 Vant'Hoff thiết lập biểu thức liên quan giữa độ lớn áp suất thẩm thấu và nồng độ chất tan đối với dung dịch loãng.

$$\Pi V = nRT$$

$$\text{Hay } \Pi = \frac{n}{V} RT = C_M RT \quad (5.17)$$

$\Pi$ : Áp suất thẩm thấu

R: Hằng số khí

$C_M$ : Nồng độ mol/l

#### 5.3.4. Xác định phân tử khối của chất tan

Dựa vào định luật Avogadro ta xác định được phân tử khối của chất khí và chất lỏng không bay hơi theo công thức:

$$PV = nRT$$

Căn cứ vào một trong những tính chất của dung dịch chất không bay hơi, không điện li: Sự giảm áp suất hơi, sự tăng nhiệt độ sôi, sự giảm nhiệt độ đông đặc, áp suất thẩm thấu người ta có thể xác định được phân tử khối của chất rắn và chất lỏng không bay hơi.

Dựa vào độ tăng của nhiệt độ sôi, độ giảm nhiệt độ đông đặc của dung dịch người ta dùng phương pháp nghiệm lạnh để xác định phân tử khối chất tan:

Từ công thức (5.15) & (5.16) ta có:

$$\Delta t_s = k_s \cdot \frac{m_{ct} \cdot 1000}{M \cdot m_{dm}} \quad \rightarrow \quad M = \frac{k_s \cdot m_{ct} \cdot 1000}{\Delta t_s \cdot m_{dm}} \quad (5.18)$$

$$\Delta t_{dd} = k_{dd} \cdot \frac{m_{ct} \cdot 1000}{M \cdot m_{dm}} \quad \rightarrow \quad M = \frac{k_d \cdot m_{ct} \cdot 1000}{\Delta t_{dd} \cdot m_{dm}} \quad (5.19)$$

$m_{ct}$ : Khối lượng chất tan

$m_{dm}$ : Khối lượng dung môi

Ví dụ 1: Nhiệt độ hoá rắn của dung dịch chứa 0,244g axit benzoic trong 20g benzen là  $5,232^{\circ}\text{C}$ . Nhiệt độ hoá rắn của benzen tinh khiết là  $5,478^{\circ}\text{C}$ . Xác định dạng tồn tại của axit benzen trong dung dịch. Biết  $k_{\text{đđ}}$  của benzen bằng 4,90.

Giải: Độ hạ nhiệt độ đông đặc của benzen là:

$$\Delta t = 5,478 - 5,232 = 0,246^{\circ}\text{C}$$

$$M_a = 4,9 \cdot \frac{0,244 \cdot 1000}{0,246 \cdot 20} = 242$$

Phân tử khối của  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$  bằng 122,05

Dạng tồn tại của axit benzoic trong benzen là dime:  $\frac{243}{122,05} \approx 2$

Đối với những chất có phân tử khối lớn hơn 1000 người ta áp dụng *phương pháp áp suất thẩm thấu*.

Từ công thức (5.17) ta có:

$$M = \frac{m}{\Pi V} RT \quad (5.20)$$

Ví dụ 2: Khi hoà tan 145g một protein vào 10ml nước ở  $25^{\circ}\text{C}$  thì gây ra áp suất thẩm thấu là 0,00989 atm. Xác định phân tử khối của protein đó ?

$$M = \frac{0,145 \cdot 0,082 \cdot 298}{0,01 \cdot 0,00989} \approx 35826,29 \text{ đvC}$$

Phân tử khối của protein đó là 35826,29 đvC

## 5.4. Dung dịch chất điện li

### 5.4.1. Tính chất bất thường của dung dịch axit, bazơ và muối

Khi nghiên cứu dung dịch của muối, axit, bazơ người ta thấy độ giảm áp suất hơi bão hoà ( $\Delta P^{\text{TN}}$ ), độ tăng nhiệt độ sôi ( $\Delta t_s^{\text{TN}}$ ), độ giảm nhiệt độ đông đặc ( $\Delta t_{\text{đđ}}^{\text{TN}}$ ), áp suất thẩm thấu ( $\Pi^{\text{TN}}$ ) của dung dịch được xác định thực nghiệm luôn luôn lớn hơn các giá trị lý thuyết tính theo các biểu thức của định luật Raoult, Vant'Hoff:

$$\Delta P^{\text{TN}} > \Delta P^{\text{LT}}, \Delta t_s^{\text{TN}} > \Delta t_s^{\text{LT}}, \Delta t_{\text{đđ}}^{\text{TN}} > \Delta t_{\text{đđ}}^{\text{LT}}, \Pi^{\text{TN}} > \Pi^{\text{LT}}$$

Ví dụ: Bằng thí nghiệm người ta đo được độ giảm nhiệt độ đông đặc của dung dịch chứa 0,1 mol KBr trong 1 kg nước là  $0,338^{\circ}\text{C}$  tăng 1,82 lần so với giá trị  $\Delta t_{\text{đđ}}$  tính theo phương trình (5.16).

Năm 1880 Vant'Hoff đã tìm thấy rằng đối với dung dịch muối, axit, bazơ phải thêm hệ số  $i$  (được gọi là hệ số Vant'Hoff) vào phương trình (5.16).

$$\Delta t_{\text{đđ}} = i k_{\text{đđ}} C_m \quad (5.21)$$

Năm 1887, nhà bác học Arrhenius đề xuất *thuyết điện li*. Theo *thuyết điện li*, khi tan trong nước, các axit, bazơ và muối phân li thành các tiểu phân mang điện (các ion) nên chúng được gọi là *chất điện li*. Sự điện li của các chất điện li đã làm cho số tiểu phân của các chất trong dung dịch tăng lên. Do đó phải đưa hệ số  $i$  vào các biểu thức (5.15), (5.17).

$$\Delta t_s = i k_s C_m \quad (5.22)$$

$$\Pi = i C_M RT \quad (5.23)$$

Hệ số Vant'Hoff có thể xác định dễ dàng bằng thực nghiệm. Có thể tính  $i$  như sau:

$$i = \frac{\text{Số phân tử trong dung dịch}}{\text{Số phân tử hoà tan}} \quad (5.24)$$

Ví dụ: KBr trong dung dịch phân li hoàn toàn như sau:



$$i = \frac{2}{1} = 2$$

Tuy nhiên trong ví dụ trên  $i$  đo được gần bằng 2. Hiện tượng này được giải thích như sau: Trong dung dịch đặc tồn tại lực tĩnh điện giữa các ion ngăn trở phần nào sự chuyển động tự do của các ion.

Đối với dung dịch yếu như dung dịch  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $\text{HCN}$ ,  $i$  sẽ nhỏ hơn 2 nhiều vì số ion được phân li ra rất ít. Ví dụ, trong dung dịch  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,043M trong nước,  $i = 1,02$ .

## 5.4.2. Một số định nghĩa và khái niệm

### a. Chất điện li

Chất điện li là chất khi tan trong nước phân li thành các ion

Axit, bazơ và các muối là các chất điện li.

### b. Độ điện li

Độ điện li  $\alpha$  là tỉ số giữa số phân tử bị phân li trên tổng số phân tử đã hoà tan.

Độ điện li được biểu diễn bởi số thập phân hoặc quy ra %.

$$\alpha = \frac{n}{n_0} \quad (5.25)$$

$n$ : Số phân tử bị phân li

$n_0$ : Tổng số phân tử đã hoà tan

Ví dụ: Ở 25°C, trong dung dịch axit axetic  $\alpha = 0,4\%$ .

Người ta chia chất điện li thành chất điện li mạnh, trung bình, yếu theo  $\alpha$ :

$\alpha < 3\%$ : Chất điện li yếu

$\alpha > 30\%$ : Chất điện li mạnh

$3\% \leq \alpha \leq 30\%$ : Chất điện li trung bình

Độ điện li phụ thuộc vào bản chất của chất điện li, bản chất của dung môi, nồng độ và nhiệt độ.

### c. Chất điện li mạnh

*Chất điện li mạnh* là chất khi tan trong nước phân li hoàn toàn thành các ion. Các axit mạnh, bazơ mạnh và đa số các muối là các chất điện li mạnh. Độ điện li của các chất điện li mạnh bằng 1 ( $\alpha = 1$ ). Chẳng hạn 1 mol NaOH cho 2 mol ion, 1 mol  $MgBr_2$  cho 3 mol ion trong dung dịch nước.

### d. Chất điện li yếu

*Chất điện li yếu* là chất khi tan trong nước chỉ phân li một phần thành ion, phần còn lại tồn tại ở dạng phân tử.

Đa số các axit, bazơ hữu cơ, một số axit vô cơ yếu ( $H_2S$ , HCN,  $H_3PO_4$ ...), một số bazơ yếu ( $Cu(OH)_2$ ,  $Fe(OH)_3$ ,  $NH_3$  ...), một số muối của kim loại yếu như  $HgCl_2$ ,  $BeCl_2$ ,  $Fe(SCN)_3$  ... là các chất điện li yếu. Độ điện li của các chất điện li yếu là  $0 < \alpha < 1$ .

### e. Độ điện li biểu kiến

Theo lí thuyết, chất điện li mạnh có  $\alpha = 1$ . Kết quả thực nghiệm cho thấy là  $\alpha$  thường nhỏ hơn 1, chỉ khi dung dịch rất loãng mới đo được  $\alpha = 1$ . Hiện tượng này được giải thích như sau: Trong dung dịch rất loãng, khoảng cách các ion lớn có thể bỏ qua sự tương tác tĩnh điện giữa các ion. Trong dung dịch đặc, các ion gần nhau nên có

sự tương tác tĩnh điện giữa các ion làm giảm sự chuyển động tự do của các ion và được phản ánh ở giá trị  $\alpha$  đo được.

Như vậy giá trị  $\alpha$  đo được bằng thực nghiệm của chất điện li mạnh nhỏ hơn 1 không phải là độ điện li thực của nó, nên được gọi là độ điện li biểu kiến.

### f. Hằng số điện li của chất điện li yếu

Xét sự điện li của chất điện li yếu AB.



Ở trạng thái cân bằng:

$$K_{CB} = \frac{[A^+].[B^-]}{[AB]} \quad (5.26)$$

$[A^+]$   $[B^-]$  và  $[AB]$ : Nồng độ mol/l của ion  $A^+$ ,  $B^-$  và phân tử AB.

Hằng số cân bằng của phản ứng trên được gọi là hằng số điện li. K đặc trưng cho khả năng điện li của chất điện li. K càng lớn thì nồng độ cation và anion tạo ra càng lớn. Hằng số điện li của chất điện li chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ không phụ thuộc vào nồng độ.

Hằng số điện li có thể dùng để đặc trưng cho độ mạnh của chất điện li. K càng nhỏ, khả năng phân li của chất điện li càng yếu.

$$\text{Ví dụ: Ở } 25^{\circ}\text{C, } K_{\text{HNO}_2} = 7,2 \cdot 10^{-4}, K_{\text{HCN}} = 7,2 \cdot 10^{-10}$$

Đối với axit, bazơ nhiều nấc hoặc muối của axit nhiều nấc thì quá trình phân li xảy ra nhiều nấc. Sự phân li ở nấc sau bao giờ cũng yếu hơn nấc trước.

Ví dụ:

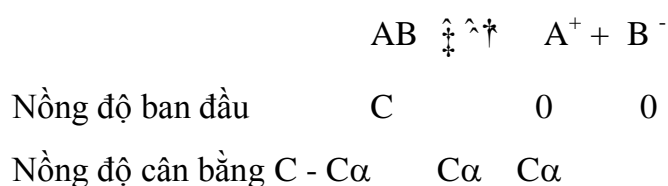


Hằng số điện li liên hệ với biến thiên thế đẳng áp bằng biểu thức:

$$\Delta G^0 = - RT \ln K \quad (5.27)$$

- **Mối liên hệ giữa hằng số điện li và độ điện li.**

Xét sự phân li của chất điện li AB có nồng độ ban đầu là C (mol/l) và  $\alpha$  là độ điện li của nó. Ta có:



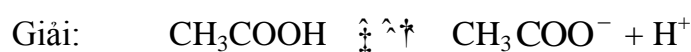
$$K_{CB} = \frac{C\alpha \cdot C\alpha}{C - C\alpha} = \frac{\alpha^2}{1 - \alpha} C \quad (5.28)$$

Đây là biểu thức của định luật pha loãng Ostwald

Nếu  $\alpha \leq 0,05$  thì ta có:

$$\alpha = \sqrt{\frac{K}{C}} \quad (5.29)$$

Ví dụ 1: Tính hằng số điện li của axit axetic, biết rằng trong dung dịch 0,1M,  $\alpha = 0,0132$ .



$$K = 0,1 \cdot \frac{(0,0132)^2}{1 - 0,0132} = 1,7 \cdot 10^{-5}$$

Ví dụ 2: Tính nồng độ điện li của axit xianhidric trong dung dịch nồng độ 0,05M, biết  $K_{HCN} = 7 \cdot 10^{-10}$ .

Giải: Vì dung dịch loãng nên áp dụng công thức 5.29 ta có:  $\alpha = \sqrt{\frac{7 \cdot 10^{-10}}{0,05}} =$

$$1,18 \cdot 10^{-4}$$

### 5.4. 3. Sự điện li của nước. Khái niệm về pH.

Thực nghiệm cho thấy rằng nước cũng điện li, tuy rằng ở mức độ rất nhỏ.



Ở 298K, người ta xác định được hằng số điện li của nước là  $1,8 \cdot 10^{-16}$ . Ta có:

$$K = \frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]} = 1,8 \cdot 10^{-16}$$

Như vậy nước chủ yếu tồn tại dưới dạng phân tử. Nồng độ của nước được tính:

$$[\text{H}_2\text{O}] = \frac{1000}{18} = 55,56 \text{ mol/l}$$

Do đó có thể viết:  $K[\text{H}_2\text{O}] = [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 1,8 \cdot 10^{-16} \cdot 55,56 = 10^{-14}$

Biểu thức  $[\text{H}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14}$  Gọi là tích số ion của nước và kí hiệu là  $K_{\text{H}_2\text{O}}$ .

Tích số ion của nước thực chất là hằng số cân bằng nên chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ. Vì vậy ở 298K:

- Trong nước nguyên chất hoặc môi trường trung tính:

$$[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7} \text{ mol/l}$$

- Trong môi trường axit, nồng độ ion  $[\text{H}^+] > 10^{-7} \text{ mol/l}$

- Trong môi trường bazơ, nồng độ ion  $[\text{OH}^-] > 10^{-7} \text{ mol/l}$  còn nồng độ  $[\text{H}^+] > 10^{-7} \text{ mol/l}$ .

Người ta quy ước:  $\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$

$$\text{pOH} = -\lg[\text{OH}^-]$$

Từ những kết quả trên ta có:

Trong nước nguyên chất  $\text{pH} = 7$

Trong dung dịch axit  $\text{pH} < 7$

Trong dung dịch bazơ  $\text{pH} > 7$

Vì trong dung dịch nước có  $[\text{H}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14}$  nên logarit hoá hai vế ta có:

$$\lg[\text{H}^+] + \lg[\text{OH}^-] = \lg 10^{-14}$$

$$-\lg[\text{H}^+] - \lg[\text{OH}^-] = -\lg 10^{-14}$$

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14$$

#### 5.4.4. Thuyết axit - bazơ

##### a. Thuyết Arrhenius

Axit là những chất điện li khi tan trong nước phân li thành cation  $\text{H}^+$

Bazơ là những chất điện li khi tan trong nước phân li thành anion  $\text{OH}^-$

##### b. Thuyết Bronsted - Lowry

*Axit là các chất (phân tử, ion) có khả năng cho proton.*

*Bazơ là các chất (phân tử, ion) có khả năng nhận proton.*

Ví dụ: dung dịch  $\text{CH}_3\text{COOH}$  là axit vì nó nhường proton cho nước còn phân tử  $\text{H}_2\text{O}$  là bazơ vì nó nhận proton để trở thành  $\text{H}_3\text{O}^+$ :



Trong phản ứng của amoniac với nước,  $\text{NH}_3$  là bazơ vì nó nhận proton của  $\text{H}_2\text{O}$  còn  $\text{H}_2\text{O}$  là axit vì nó nhường proton cho  $\text{NH}_3$ :



Trong phản ứng (a) theo chiều nghịch  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  nhận proton từ  $\text{H}_3\text{O}^+$  để trở thành  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , còn  $\text{H}_3\text{O}^+$  nhường proton cho  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  để trở thành  $\text{H}_2\text{O}$ . Theo định nghĩa của Bronsted  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  là bazơ và  $\text{H}_3\text{O}^+$  là axit. Người ta gọi cặp  $\text{CH}_3\text{COOH} - \text{CH}_3\text{COO}^-$  và cặp  $\text{H}_3\text{O}^+ - \text{H}_2\text{O}$  là những cặp axit - bazơ liên hợp.

Xét tương tự đối với phản ứng (b) người ta thấy theo chiều thuận  $\text{H}_2\text{O}$  là axit và  $\text{NH}_3$  là bazơ, còn theo chiều nghịch  $\text{NH}_4^+$  là axit và  $\text{OH}^-$  là bazơ và cặp  $\text{NH}_4^+ - \text{NH}_3$  và cặp  $\text{H}_2\text{O} - \text{OH}^-$  là những cặp axit - bazơ liên hợp.

Nếu kí hiệu cặp thứ nhất là  $A_1 - B_1$ , cặp thứ hai là  $A_2 - B_2$  thì hai phản ứng axit - bazơ trên đều được viết như sau:

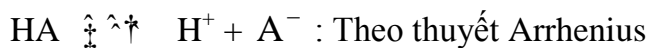
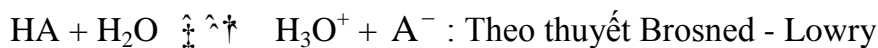


Đây là phương trình tổng quát của phản ứng axit - bazơ theo Bronsted

### 5.4.5. Hằng số điện li axit và hằng số điện li bazơ

#### a. Hằng số điện li axit

Sự điện li của axit yếu là phản ứng thuận nghịch nên có thể xác định hằng số cân bằng  $K_a$  theo định luật cân bằng hoá học:



Ở trạng thái cân bằng:

$$K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+].[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = \frac{[\text{H}^+].[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

$K_a$  là hằng số điện li axit,  $K_a$  chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ.

$K_a$  càng lớn tính axit càng mạnh.

Nếu  $K_a \geq 10^{-1}$  : axit mạnh

$10^{-5} < K_a < 10^{-1}$  : axit trung bình



$K_a < 10^{-5}$  : axit yếu

Người ta quy ước  $pK_a = -\lg K_a$ ,  $pK_a$  bé tính axit mạnh.

Ví dụ:  $K_{a(\text{CH}_3\text{COOH})} = 4,75 \cdot 10^{-5}$ ;  $pK_a = 4,75$

### ***b. Hằng số điện li bazơ***

$\text{NH}_3$  tan trong nước, có phản ứng:



Khi cân bằng:  $K_b = \frac{[\text{NH}_4^+].[\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]}$

$K_b$  là hằng số điện li bazơ.  $K_b$  chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ.

$K_b$  càng lớn, tính bazơ càng mạnh.

Ví dụ:  $K_{b(\text{NH}_3)} = 1,8 \cdot 10^{-5}$ ;  $pK_b = 4,75$

Người ta quy ước  $pK_b = -\lg K_b$ ,  $pK_b$  nhỏ, tính bazơ mạnh.

### ***c. Mối liên hệ giữa $K_a$ và $K_b$ của một cặp axit - bazơ liên hợp***

Xét cặp axit - bazơ liên hợp ta có

$K_a$  được tính theo cân bằng:



$$K_a = \frac{[\text{H}^+].[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

$K_b$  được tính theo cân bằng:



$$K_b = \frac{[\text{HA}].[\text{OH}^-]}{[\text{A}^-]}$$

$$\Rightarrow K_a K_b = \frac{[\text{H}^+].[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} \cdot \frac{[\text{HA}].[\text{OH}^-]}{[\text{A}^-]}$$

$$= [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = K_{(\text{H}_2\text{O})} = 10^{-14} \text{ (ở } 25^\circ\text{C)}$$

Tích số của hằng số axit và hằng số bazơ của một cặp axit - bazơ liên hợp bằng tích số ion của nước.  $K_a$  của axit càng lớn thì  $K_b$  của bazơ liên hợp với axit đó càng nhỏ và ngược lại.

### 5.4.6. Tính pH của dung dịch

#### a. Dung dịch axit

- Dung dịch axit mạnh, một nấc: Axit loại này chỉ có thể phân li ra một ion  $H^+$  như HCl.



Axit mạnh điện li hoàn toàn trên  $[H_3O^+] = C_a \text{ mol/l}$

$$\text{Vậy: } pH = -\lg C_a \quad (5.30)$$

- Dung dịch axit yếu một nấc.

Xét trường hợp dung dịch axit yếu, một nấc có nồng độ  $C_a \text{ mol/l}$



Nồng độ ban đầu $C_a$	0	0
Nồng độ cân bằng $C_a - x$	x	x

$$K_a = \frac{x^2}{C_a - x} \rightarrow x^2 + K_a x + K_a C_a = 0$$

Khi biết  $K_a$  và  $C_a$  sẽ tìm được  $x = [H_3O^+]$  với  $0 < x < C_a$ . Nếu  $x$  quá nhỏ so với  $C_a$  ( $x \leq 5\% C_a$ ) có thể coi  $C_a - x \approx C_a$ . Từ đó:  $x = \sqrt{K_a \cdot C_a}$

$$\text{Do đó: } pH = -\lg x = -\lg \sqrt{K_a \cdot C_a} \quad (5.31)$$

Ví dụ 1: Tính pH của dung dịch  $CH_3COOH$  0,1M, biết  $pK_{(CH_3COOH)} = 4,75$

$$\text{Giải: } pH = \frac{1}{2} \cdot 4,75 - \frac{1}{2} \lg 0,1 = 2,375 + 0,5 = 2,875$$

#### b. Dung dịch bazơ

- Dung dịch bazơ mạnh, một nấc.

Bazơ một nấc là bazơ mà một phân tử (hoặc ion) chỉ có thể nhận một  $H^+$  (theo thuyết Bronsted - Lowry) hoặc chỉ có thể phân li ra một ion  $OH^-$ . Ví dụ: NaOH, KOH ...

Ví dụ: bazơ mạnh MOH nồng độ  $C_b \text{ mol/l}$





$$C_b = [OH^-] \rightarrow pOH = -\lg C_b \rightarrow pH = 14 + \lg C_b \quad (5.32)$$

- Dung dịch bazơ yếu, một nấc. B có nồng độ  $C_b$  mol/l



Nồng độ ban đầu	$C_b$	0	0
-----------------	-------	---	---

Nồng độ cân bằng	$C_b - x$	x	x
------------------	-----------	---	---

$$K_b = \frac{x^2}{C_b - x} \rightarrow x^2 + K_b x - K_b C_b = 0, \quad 0 < x < C_b$$

$x = [OH^-]$ . Biết  $K_b$ ,  $C_b$  xác định được  $x$

Nếu  $x \leq 5\% C_b$  thì có thể coi  $C_b - x \approx C_b \rightarrow x = \sqrt{K_b \cdot C_b}$

Do đó:  $pOH = \frac{1}{2} pK_b - \frac{1}{2} \lg C_b \rightarrow pH = 14 + \lg \sqrt{K_b \cdot C_b} \quad (5.33)$

Ví dụ: Tính pH của dung dịch  $NH_3$  0,01 M, biết  $pK_{NH_3} = 4,77$ .

Giải:  $pH = 14 - \frac{4,77}{2} + \frac{1}{2} \lg 0,01 \approx 10,6$

### 5.4.7. Dung dịch đệm

#### a. Khái niệm dung dịch đệm

Dung dịch đệm là dung dịch có giá trị pH không đổi khi pha loãng hay làm đặc hoặc thay đổi rất ít khi thêm một lượng nhỏ axit mạnh hay bazơ mạnh.

Các dung dịch đệm có thành phần như sau:

- Axit yếu và muối của nó, chẳng hạn như dung dịch của  $CH_3COOH$  và  $NaCH_3COO$ .

- Bazơ yếu và muối của nó, chẳng hạn như dung dịch của  $NH_3$  và  $NH_4Cl$ .

- Một muối trung tính và một muối axit, chẳng hạn như dung dịch của  $Na_2CO_3$  và  $NaHCO_3$ .

Cứ hai chất trộn với nhau tạo thành một dung dịch đệm được gọi là một cặp đệm.

#### b. Tính chất của dung dịch đệm

Một tính chất quan trọng của dung dịch đệm là làm giảm sự biến động pH của dung dịch khi thêm axit hay bazơ vào dung dịch.

Xét trường hợp hệ đệm chứa đồng thời một axit yếu HA và một bazơ liên hợp  $A^-$  của nó dưới dạng muối NaA với nồng độ  $C_m = C_b$ . Ví dụ dung dịch hỗn hợp  $CH_3COOH$  và  $NaCH_3COO$ .

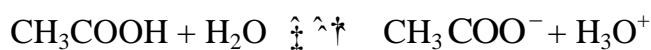
Theo kết quả tính toán pH của dung dịch đệm này được tính theo phương trình:

$$pH = pK_a - \lg \frac{C_a}{C_m} \quad (5.34)$$

Đối với dung dịch đệm trên khi  $C_{CH_3COOH}$  và  $C_{NaCH_3COO} = 0,1 \text{ mol/l}$  thì:

$$pH = pK_{CH_3COOH} - \lg \frac{C_{CH_3COOH}}{C_{NaCH_3COO}} = 4,75 - \lg \frac{0,1}{0,1} = 4,75$$

Nếu thêm HCl vào dung dịch này sao cho nồng độ của nó đến  $0,01 \text{ mol/l}$  thì cân bằng:



sẽ chuyển dịch về phía trái. Giả sử toàn bộ lượng  $H_3O^+$  thêm vào kết hợp với  $CH_3COO^-$  có trong dung dịch để tạo thành  $CH_3COOH$ , ta có:

$$[CH_3COOH] = 0,11 \text{ mol/l}$$

$$[CH_3COO^-] = 0,1 - 0,01 = 0,09 \text{ mol/l}$$

thì theo (V.35)

$$pH = 4,75 - \lg \frac{0,11}{0,09} = 4,67$$

Sự biến động của pH chia là  $4,75 - 4,67 = 0,08$  đơn vị.

Cần lưu ý là nếu thêm lượng axit tương tự vào nước nguyên chất ( $pH=7$ ) thì pH của dung dịch là 2, sự biến động về pH là 5 đơn vị.

Nếu thêm vào dung dịch đệm trên  $0,01 \text{ mol NaOH}$  vào  $1 \text{ lít}$  dung dịch trên thì bằng cách tính như trên cũng thu được kết quả là: Sự thay đổi pH cũng chỉ là  $0,08$  đơn vị.

### c. Vai trò của dung dịch đệm trong tự nhiên

Dung dịch đệm có vai trò quan trọng trong phòng thí nghiệm và trong công nghiệp hoá học. Nó có khả năng duy trì pH dung dịch ổn định để phản ứng tổng hợp vô cơ, tổng hợp hữu cơ đặc biệt là các phản ứng sinh hoá chỉ được thực hiện khi pH được duy trì trong những giới hạn rất hẹp.

Ví dụ, pH của máu chỉ được dao động trong khoảng từ 7,0 đến 7,9; pH của nước bọt bằng 6,8, còn pH của dịch dạ dày nằm giữa 1,6 và 1,8. Các hệ đệm có trong máu: axit cacbonic và  $\text{MHCO}_3$  ( $\text{M} = \text{K}, \text{Na}$ );  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 - \text{Na}_2\text{HPO}_4$ ; Protein và natri proteinat; Hemoglobin và kali hemoglobinat; Axit hữu cơ và muối của axit hữu cơ.

#### 5.4.8. Sự thủy phân của muối

##### a. Những muối bị thủy phân

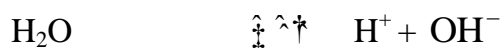
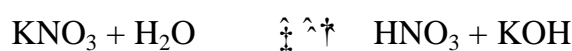
Theo thuyết Bronsted các ion tạo ra muối đều là axit hay bazơ. Vì vậy, khi hoà tan muối vào nước các ion này có thể tương tác được với nước. Hiện tượng này được gọi là sự thủy phân của muối.

Chúng ta xét sự thủy phân của 4 loại muối và xét phản ứng thủy phân tạo ra môi trường gì.

- Muối tạo ra từ bazơ mạnh và axit mạnh.

Muối loại này có các muối peclorat, clorat, nitrat, clorua, bromua, iodua của các cation kim loại kiềm, kiềm thổ (trừ Be), họ Lantan, họ Actini ...

Ví dụ: Hoà tan  $\text{KNO}_3$  trong nước có phản ứng:

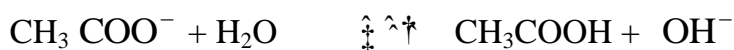


Môi trường là trung tính,  $\text{pH} = 7$

- Muối tạo thành từ bazơ mạnh và axit yếu.

Các muối xianua, axetat, cacbonat, sunfua, photphat, fomiat ... của cation kim loại kiềm, kiềm thổ (trừ be), họ Lantan, họ Actini.

Ví dụ: KCN,  $\text{Ba}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ,  $\text{Na}_2\text{S}$ ,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO})_2$



Môi trường bazơ,  $\text{pH} > 7$

- Muối tạo thành từ axit mạnh và bazơ yếu

Điển hình của muối loại này là các muối peclorat, clorat, natri, clorua, bromua, iôđua của amoni và đa số các kim loại ở phía phải của bảng hệ thống tuần hoàn.

Ví dụ:  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{BeBr}_2$ ,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{Fe}(\text{ClO})_3$ ,  $\text{CrCl}_3$  ...

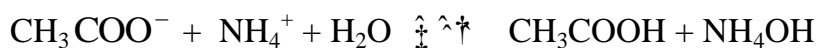
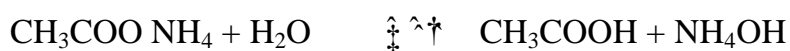


Môi trường có tính axit,  $\text{pH} < 7$

- Muối tạo thành từ axit yếu, bazơ yếu

Thuộc loại này có xianua, axetat, cacbonat, sunfua, ... của các kim loại ở bên phải bảng hệ thống tuần hoàn và của muối amoni. Ví dụ:  $\text{Al}_2\text{S}_3$ ,  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{NH}_4\text{CH}_3\text{COO}$ ,  $\text{NH}_4\text{CN}$  ...

Ví dụ: Sự thủy phân của  $\text{NH}_4\text{CH}_3\text{COO}$ :



Phản ứng tạo ra axit yếu, bazơ yếu có  $\text{pK}_a$ ,  $\text{pK}_b$ , xấp xỉ nhau (4,75) nên môi trường là trung tính.

Phản ứng tạo ra axit có  $\text{K}_a > \text{K}_b$  thì môi trường hơi axit. Phản ứng tạo ra bazơ có  $\text{K}_b > \text{K}_a$  thì môi trường hơi bazơ.

### ***b. Tính pH của dung dịch muối.***

- pH của dung dịch tạo bởi axit mạnh và bazơ yếu.

Muối loại này bị thủy phân, môi trường có tính axit, vì vậy pH của dung dịch được tính như pH dung dịch axit yếu:

$$\text{pH} = -\lg \sqrt{K_a \cdot C_m} \quad (5.35)$$

Ví dụ: Tính pH của dung dịch  $\text{NH}_4\text{Cl}$  0,1M, biết  $\text{pK}_{\text{NH}_4^+} = 9,23$

$$\text{pH} = \frac{1}{2} \cdot 9,23 - \frac{1}{2} \lg 0,1 = 5,11$$

- pH của dung dịch tạo bởi bazơ mạnh và axit yếu.

Muối loại này bị thủy phân, môi trường có tính axit, vì vậy pH của dung dịch được tính như pH của dung dịch bazơ yếu.

$$\text{pH} = 14 + \lg \sqrt{K_b \cdot C_m} \quad (5.36)$$

Ví dụ: Tính pH của dung dịch  $\text{CH}_3\text{COONa}$  0,1M, biết  $\text{pK}_b = 9,25$

$$\text{pH} = 14 - \frac{1}{2} \cdot 9,25 - \frac{1}{2} \cdot 0,5 \approx 8,9$$

#### 5.4.9. Chất chỉ thị màu axit - bazơ

##### a. Khái niệm

Chất chỉ thị màu thường là axit hữu cơ hoặc bazơ hữu cơ yếu có màu biến đổi theo pH của dung dịch.

##### b. Đặc điểm

Dạng phân tử và ion của chất chỉ thị màu có màu khác nhau.

Ví dụ: Phenolftalein là một axit hữu cơ yếu có cấu tạo phân tử phức tạp được ký hiệu HP.



HP: Không màu,  $\text{P}^-$  có màu đỏ thẫm

$$\text{pH} = \text{pK}_a - \lg \frac{[\text{HP}]}{[\text{P}^-]} \quad (5.37)$$

$\text{pK}_a$  là hằng số, khi nồng độ HP gấp 10 lần nồng độ  $\text{P}^-$  hoặc ngược lại thì dung dịch thay đổi 1 đơn vị pH, màu của dung dịch sẽ thay đổi rõ rệt.

Khoảng pH làm chất chỉ thị thay đổi màu từ màu dạng phân tử sang màu dạng ion hoặc ngược lại gọi là khoảng chuyển màu.

**Bảng 5.1:** Giới thiệu một số chất chỉ thị màu thông dụng

Tên chỉ thị	pH													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Metyl	đỏ		3,1-4,4 da cam				vàng							
Quỳ tím	đỏ		4-6,4 tím				xanh							
Phenolftalein	không màu							8-10 hơi hồng		đỏ thắm				

Metyl da cam chỉ nhận được môi trường từ axit. Phenolftalein chỉ nhận được môi trường kiềm, quỳ tím nhận được môi trường axit và môi trường kiềm.

#### 5.4.10. Cân bằng trong dung dịch chất điện li ít tan. Tích số tan.

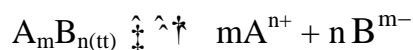
##### a. Xét dung dịch chất điện li ít tan

Khi hoà tan AgCl vào trong nước ta có cân bằng:



với hằng số cân bằng  $K = [\text{Ag}^+][\text{Cl}^-]$

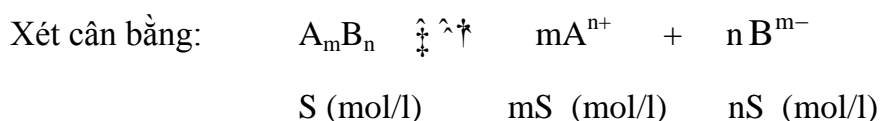
K phụ thuộc vào bản chất điện li ít tan và nhiệt độ. K càng lớn thì chất đó tan càng nhiều và ngược lại. K đặc trưng cho tính tan của các chất điện li, do đó còn được gọi là tích số hoà tan T.



$$T = [\text{A}^{n+}]^m [\text{B}^{m-}]^n \quad (5.38)$$

$[\text{A}^{n+}], [\text{B}^{m-}]$  : nồng độ mol/l của các ion  $\text{A}^{n+}$  và  $\text{B}^{m-}$

##### b. Quan hệ giữa độ hoà tan và tích số tan



Ta có  $T = [\text{A}^{n+}]^m \cdot [\text{B}^{m-}]^n = (mS)^m \cdot (nS)^n = m^m n^n S^{m+n}$



$$\Rightarrow S = \sqrt[m+n]{\frac{T}{m^m n^n}} \quad (5.39)$$

Ví dụ: Trong dung dịch AgCl có cân bằng:  $\text{AgCl} \rightleftharpoons \text{Ag}^+ + \text{Cl}^-$

S            S            S

$$T = [\text{Ag}^+] [\text{Cl}^-] = S^2$$

$$S = \sqrt{T}$$

Mối liên hệ giữa S và T không giống nhau đối với mọi trường hợp.

Ví dụ:  $\text{CaF}_2 \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + 2\text{F}^-$

S            2S

$$T = [\text{Ca}^{2+}] [\text{F}^-]^2 = S(2S)^2 = 4S^3$$

$$S = \sqrt[3]{\frac{T}{4}}$$

Ví dụ: Tính độ tan và tích số tan của  $\text{PbCrO}_4$  biết rằng ở  $20^\circ\text{C}$  trong 100ml dung dịch bão hoà của nó có chứa  $4 \cdot 10^{-6}$  gam  $\text{PbCrO}_4$ .

Giải: Nồng độ  $C_M$  của  $\text{PbCrO}_4$

$$C_M = S = \frac{4 \cdot 10^{-6}}{M} \cdot \frac{1000}{100} = 1,24 \cdot 10^{-7} \text{ mol/l}$$

$$(M_{\text{PbCrO}_4} = 323,18)$$



Độ tan của  $\text{Pb}^{2+}$  và  $\text{CrO}_4^{2-}$  là  $1,24 \cdot 10^{-7}$  iong/l

$$T = [\text{Pb}^{2+}] [\text{CrO}_4^{2-}] = (1,24 \cdot 10^{-7})^2 = 1,54 \cdot 10^{-14}$$

### c. Điều kiện tạo thành kết tủa và hoà tan kết tủa

- Một chất điện li ít tan chỉ có thể kết tủa khi tích số nồng độ các ion của nó tính theo biểu thức (5.38) lớn hơn tích số tan.

Ví dụ 1: Trộn hai dung dịch  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  0,01M với KI 0,01M với thể tích bằng nhau, có kết tủa không? Cho  $T_{\text{PbI}_2} = 1,1 \cdot 10^{-9}$ .

Giải: Khi trộn hai chất có thể tích bằng nhau nên nồng độ các ion trong hỗn hợp là:

$$[\text{Pb}^{2+}] = \frac{0,01}{2} = 0,005 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$$

$$[\text{I}^{-}] = \frac{0,01}{2} = 0,005 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$$

Tích số nồng độ các ion trong dung dịch là:

$$[\text{Pb}^{2+}] [\text{I}^{-}]^2 = (5 \cdot 10^{-3}) (5 \cdot 10^{-3})^2 = 125 \cdot 10^{-9}$$

Như vậy,  $[\text{Pb}^{2+}] [\text{I}^{-}]^2 > T_{\text{PbI}_2}$  nên có kết tủa  $\text{PbI}_2$

- Muốn hoà tan một chất điện li ít tan phải làm cho tích số nồng độ ion của nó nhỏ hơn tích số tan.

Ví dụ 2: Nếu pha loãng dung dịch KI 0,01M 100 lần với dung dịch  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  0,01M như trên có kết quả không ?

Giải: Khi pha loãng KI ra 100 lần, nồng độ  $[\text{I}^{-}] = \frac{0,01}{100} = 10^{-4}$ . Khi trộn hai

dung dịch với thể tích bằng nhau, nồng độ các ion trong hỗn hợp là:

$$[\text{Pb}^{2+}] = \frac{0,01}{2} = 0,005 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$$

$$[\text{I}^{-}] = \frac{0,0001}{2} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ mol/l}$$

Tích số nồng độ các ion trong dung dịch là:

$$[\text{Pb}^{2+}] [\text{I}^{-}]^2 = (5 \cdot 10^{-3}) (5 \cdot 10^{-5})^2 = 125 \cdot 10^{-13}$$

Như vậy,  $[\text{Pb}^{2+}] [\text{I}^{-}]^2 < T_{\text{PbI}_2}$  nên không có kết tủa  $\text{PbI}_2$

## 5.5. Dung dịch keo

### 5.5.1. Những tính chất cơ bản của dung dịch keo

#### a. Khái niệm dung dịch keo

Ở phần trên ta đã biết dung dịch keo có kích thước các phân tử phân tán trong khoảng  $1 \div 10\text{nm}$ . Đó là những tập hợp phân tử hay những đại phân tử (protit, lipid, glucit) có thể đi qua giấy lọc thường nhưng bị giữ bởi những vật liệu siêu lọc

(xenlophan, pecganen ...), không tự sa lắng và không nhìn thấy được bằng kính hiển vi quang học.

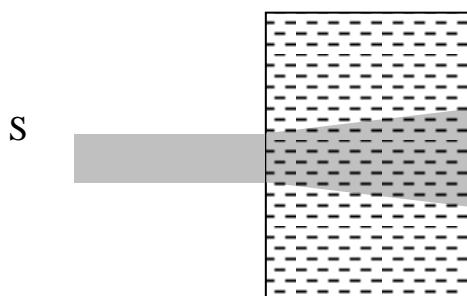
### **b. Khả năng hoạt động bề mặt của dung dịch keo**

Các nguyên tử hay phân tử nằm trong lòng chất bị hút đồng đều ở mọi phía, trong khi các phân tử trên bề mặt bị hút bởi các phân tử bên trong. Hiện tượng này tạo nên sức căng bề mặt hay năng lượng bề mặt. Các hệ keo, do có độ phân tán cao nên có diện tích bề mặt lớn và do đó có năng lượng bề mặt lớn.

Tính hoạt động bề mặt quyết định tính bám dính của các loại keo dán, tính tẩy rửa của xà phòng và chất tẩy rửa tổng hợp, điện tích của hạt keo và nhiều hiện tượng khác.

### **c. Hiện tượng Tindan**

Chiếu chùm tia sáng vào dung dịch keo ta thấy xuất hiện vùng ánh sáng mờ đục trong dung dịch có dạng hình nón. Đó là hiện tượng Tindan.



*Hình 5.1. Thí nghiệm hiện tượng tin đăn*

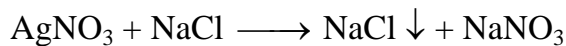
Nguyên nhân của hiện tượng Tindan là do các hạt keo có kích thước lớn hơn nhiều so với kích thước phân tử. Khi chiếu sáng các hạt keo sẽ khuếch tán ánh sáng đi mọi phương. Lúc này hạt keo trở thành nguồn sáng thứ cấp. Hiện tượng Tindan được dùng để nhận biết dung dịch keo. Trong thực tế, hiện tượng Tindan quan sát được khi chiếu đèn pha lên bầu trời có sương mù hay chiếu chùm tia sáng vào căn phòng có bụi hay khói.

### **5.5.2. Cấu tạo của hạt keo**

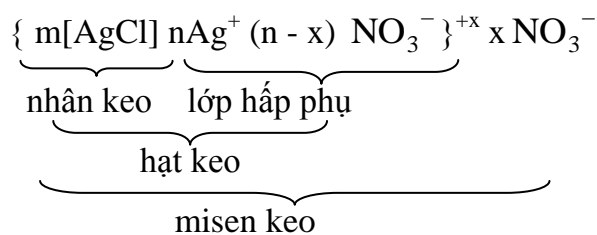
Hạt keo cấu tạo rất phức tạp. Ở giữa có nhân keo gồm hàng trăm hoặc hàng nghìn phân tử. Bề mặt riêng của nhân keo rất lớn nên nhân keo có khả năng hấp phụ mạnh và hấp phụ chọn lọc những ion có trong thành phần nhân keo ... Tùy theo loại ion hấp phụ sẽ thu được keo âm hoặc keo dương. Khi đó nhân keo và lớp ion bề sát

mang điện và hút những ion ngược dấu bao quanh (sinh ra lớp đối ion) tạo thành hạt keo. Hạt keo còn hút những ion ngược dấu ở xa hơn (sinh ra lớp khuếch tán) tạo ra misen keo. Misen keo trung hoà điện.

Ví dụ, phản ứng trao đổi giữa hai dung dịch:



Tập hợp nhiều phân tử AgCl tạo thành nhân keo. Nếu dung dịch dư ion Ag<sup>+</sup> sẽ tạo thành hạt keo dương:



Nếu nồng độ NaCl lớn hơn nồng độ AgNO<sub>3</sub> sẽ thu được keo âm có cấu trúc misen keo: { m[AgCl] nCl<sup>-</sup> (n - x) Na<sup>+</sup> }<sup>-x</sup> xNa<sup>+</sup>

### 5.5.3. Vai trò của các dung dịch keo

Trạng thái keo của vật chất rất đa dạng và rất phong phú.

Những thành phần chính của cơ thể như máu, dịch tế bào, các cơ, xương, da, tóc đều chứa chất keo.

Hầu như tất cả các thực phẩm và các hợp phần của chúng (chất béo, protein, glucit) là các chất keo. Những thành phần chính của cơ thể như máu, dịch tế bào, các cơ, xương, da, tóc ... đều chứa các chất keo. Do đó, việc nghiên cứu sinh hoá liên quan chặt chẽ với việc nghiên cứu các chất ở trạng thái keo.

Khói, sương mù, không khí bị ô nhiễm, nước tự nhiên, nước thải ... những hiện tượng gắn liền với môi trường sống cũng liên quan đến tính chất vật lí và hoá học của hệ keo.

Nên lưu ý rằng màu sắc đẹp đẽ của nhiều đá quý được tạo nên bởi trạng thái keo của một số kim loại và các chất màu trong các tinh thể trong suốt được tạo thành trong thiên nhiên. Keo dán, xà phòng, chất tẩy rửa tổng hợp ... đều tạo thành những hệ keo.

Như vậy, việc nghiên cứu các hệ keo là có ý nghĩa cả về phương diện khoa học cũng như về phương diện thực tiễn.

## CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP

### 1. Lý thuyết

**5.1.** Độ hòa tan của một chất phụ thuộc vào những yếu tố nào? Thế nào là dung dịch bão hòa và dung dịch chưa bão hòa?

**5.2.** Nhiệt độ sôi, nhiệt độ đông đặc và áp suất hơi bão hòa của dung dịch loãng chứa chất tan không điện li, không bay hơi khác dung môi nguyên chất như thế nào?

**5.3.** Tại sao nói thuyết axit- bazơ của Bronsted - Lowry tổng quát hơn thuyết axit-bazơ của Arrhenius? Cho ví dụ?

**5.4.** Sự thủy phân của muối là gì? Những muối nào bị thủy phân là ? Cho ví dụ? Cách tránh thủy phân của các muối? Công thức tính pH của các muối?

**5.5.** Biết tích số hòa tan của chất điện li ít tan có thể tính được độ hòa tan của nó không? Mối liên hệ đó như thế nào?

**5.6.** Chọn phát biểu đúng:

250ml dung dịch chứa 3g đường có áp suất thẩm thấu 0,82 atm ở khối 12<sup>0</sup>C.

Khối lượng phân tử của đường là:

- A. 171      B. 34,2      C. 17,1      D. 342

**5.7.** Chọn phát biểu đúng:

Hoà tan 6g một chất tan không điện li X vào 50ml nước, nhiệt độ đông đặc của dung dịch là - 3,72<sup>0</sup>C, hằng số nghiệm lạnh của nước là 1,86.

Khối lượng phân tử của X là:

- A. 50      B. 60      C. 70      D. 80

**5.8.** Một axit yếu có hằng số điện li  $K = 10^{-5}$ . Tính độ điện li  $\alpha$  khi nồng độ của axit là 10<sup>-1</sup> mol/l.

- A. 0,001      B. 0,01      C. 0,1      D. 1

**5.9.** Độ điện li 3 dung dịch: CH<sub>3</sub>COOH 0,1M ; CH<sub>3</sub>COOH 0,001M và HCl được xếp tăng dần theo dãy sau:

A. CH<sub>3</sub>COOH 0,1M < CH<sub>3</sub>COOH 0,001M < HCl

B. CH<sub>3</sub>COOH 0,001M < CH<sub>3</sub>COOH 0,1M < HCl

C. HCl < CH<sub>3</sub>COOH 0,1M < CH<sub>3</sub>COOH 0,001M

D. CH<sub>3</sub>COOH 0,001M < HCl < CH<sub>3</sub>COOH 0,1M

**5.10.** Chọn phát biểu sai:

Trong các tiểu phân  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}^+$  theo thuyết Bronsted:

- A. Axit là tiểu phân:  $\text{NH}_4^+$
- B. Bazơ là tiểu phân:  $\text{CO}_3^{2-}$
- C. Trung tính là tiểu phân:  $\text{Na}^+$
- D. Lưỡng tính là tiểu phân:  $\text{H}_2\text{O}$

**5.11.** Chọn phát biểu đúng:

Một dung dịch có  $[\text{H}^+]$  bằng 0,01 mol/l, pH và  $[\text{OH}^-]$  của dung dịch này bằng:

- A. pH = 3 ;  $[\text{OH}^-] = 10^{-10}$  M
- B. pH = 2 ;  $[\text{OH}^-] = 10^{-11}$  M
- C. pH = 2 ;  $[\text{OH}^-] = 10^{-10}$  M
- D. pH = 3 ;  $[\text{OH}^-] = 10^{-11}$  M

**5.12.** Chọn phát biểu đúng:

Độ tan S của  $\text{BaSO}_4$  ở  $20^\circ\text{C}$  là  $1 \cdot 10^{-5}$  mol

Vậy tích số tan của  $\text{BaSO}_4$  tại nhiệt độ đó:

- A.  $10^{-8}$
- B.  $10^{-9}$
- C.  $10^{-10}$
- D.  $10^{-11}$

**2. Tính áp suất hơi bão hòa, nhiệt độ sôi, nhiệt độ đông đặc của dung dịch loãng chứa chất tan không bay hơi, không điện li**

**5.13.** Ở  $28^\circ\text{C}$ , áp suất hơi nước là 28,35 mmHg. Tính áp suất hơi của dung dịch tạo thành khi hoà tan 68g đường saccarozơ  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$  trong 1000g nước, tại nhiệt độ trên.

ĐS: 28,24 mmHg.

**5.14.** Áp suất hơi nước bão hoà ở  $70^\circ\text{C}$  bằng 233,8 mmHg. Ở cùng nhiệt độ này áp suất hơi của dung dịch chứa 12g chất tan trong 270g nước là 230,68 mmHg. Xác định khối lượng phân tử của chất tan.

ĐS:  $M = 60$

**5.15.** Khi hoà tan 4,6g một chất không điện li vào 250ml nước thu được một dung dịch có nhiệt độ sôi là  $100,104^\circ\text{C}$ . Xác định khối lượng phân tử của chất đó. Biết  $K_{s(\text{H}_2\text{O})} = 0,52$

ĐS:  $M = 92$

**5.16.** Xác định nhiệt độ đông đặc và nhiệt độ sôi của dung dịch đường  $C_{12}H_{22}O_{11}$ , nồng độ 5%. Biết  $K_d$  và  $K_s$  của nước là 1,86 và 0,52.

ĐS:  $t_d = - 0,286^{\circ}C$

**5.17.** Khi hoà tan 3,24g lưu huỳnh vào 40g benzen nhiệt độ sôi của dung dịch của dung dịch tăng lên  $0,81^{\circ}C$ . Tính xem trong dung dịch này, một phân tử lưu huỳnh gồm mấy nguyên tử. Cho  $K_s = 2,53$

ĐS:  $S_8$

**5.18.** Một dung dịch chứa 17,1g chất tan không bay hơi, không điện li trong 500g nước đông đặc ở  $- 0,186^{\circ}C$ . Tính phân tử khối của chất tan và nhiệt độ sôi của dung dịch.

Cho  $K_d(H_2O) = 1,86$  ;  $K_s(H_2O) = 0,52$

ĐS:  $M = 342$  ;  $t_s^0 = 100,052^{\circ}C$

**5.19.** Trong 1 lít dung dịch phải có bao nhiêu gam glucozơ  $C_{12}H_{22}O_{11}$  để cho áp suất thẩm thấu của nó bằng áp suất thẩm thấu của dung dịch chứa 3gam anđehit fomic HCHO trong 1 lít nước ở cùng nhiệt độ.

ĐS: 18g

**5.20.** Áp suất thẩm thấu một dung dịch chứa 0,66g ure trong 250ml dung dịch ở  $33^{\circ}C$  là 836 mmHg. Xác định phân tử khối của ure.

ĐS:  $M = 60,22$

### 3. Tính nồng độ ion, pH, độ tan, tích số tan

**5.21.** Tính pH của các dung dịch sau:

1. Dung dịch  $HNO_2$  0,2M ;  $\alpha = 4\%$
2. Dung dịch  $NH_3$  0,01M ;  $pK_b = 9,25$
3. Dung dịch  $NH_4Cl$  0,1M ;  $pK_b = 9,25$
4. Dung dịch  $CH_3COONa$  0,1M ;  $K_{CH_3COOH} = 1,7 \cdot 10^{-5}$
5. Dung dịch  $CH_3COOH$  0,1M ;  $K_{CH_3COOH} = 1,7 \cdot 10^{-5}$

ĐS: 1. pH = 2,097 ; 2. pH = 8,375 ; 3. pH = 2,875  
4. pH = 8,8785 ; 5. pH = 2,885

**5.22.** Xác định nồng độ  $[H^+]$  và  $[OH^-]$  trong các trường hợp sau:

1. Dung dịch có pH = 4,5

2. Dung dịch có pH = 8,7

ĐS: 1.  $[H^+] = 3,2 \cdot 10^{-4} M$ ;  $[OH^-] = 3,2 \cdot 10^{-11} M$

2.  $[H^+] = 5 \cdot 10^{-8} M$ ;  $[OH^-] = 2 \cdot 10^{-5} M$

**5.23.** Xác định hằng số điện li của axit HX, biết rằng trong 1 lít dung dịch đó có chứa 0,1 mol HX và 0,1 mol muối NaX. Dung dịch đó có pH  $\approx 3,398$ . Giả thiết NaX điện li hoàn toàn.

ĐS:  $K_a = 4 \cdot 10^{-14}$

**5.24.** Trong dung dịch nồng độ 0,1M, độ điện li của axit axetic bằng 1,32%. Ở nồng độ nào của dung dịch để độ điện li của nó bằng 90%.

ĐS:  $C = 2,15 \cdot 10^{-6} M$

**5.25.** Ở 35°C, axit cloaxetic  $CH_2ClCOOH$  0,5M có hằng số điện li là  $1,4 \cdot 10^{-3}$ . Hãy tính:

1. Độ điện li của dung dịch  $CH_2ClCOOH$  0,5M.

2. pH của dung dịch.

ĐS: 1.  $\alpha = 5,18 \cdot 10^{-2}$ ; 2. pH = 1,59

**5.26.** Độ tan của  $PbI_2$  ở 18°C bằng  $1,5 \cdot 10^{-3}$  mol/l. Hãy tính:

1. Nồng độ của ion  $[Pb^{2+}]$  và  $[I^-]$  ở 18°C.

2. Tích số tan của  $PbI_2$

3. Khi thêm KI vào độ tan của  $PbI_2$  tăng hay giảm. Tại sao ?

ĐS: 1.  $[Pb^{2+}] = 1,5 \cdot 10^{-3}$ ;  $[I^-] = 3 \cdot 10^{-3}$ ; 2.  $T = 1,35 \cdot 10^{-8}$

**5.27.** Trộn 10ml dung dịch  $AgNO_3$  0,01M với 40ml dung dịch NaCl 0,02M. Phản ứng có tạo thành kết tủa không ? Cho  $T_{AgCl} = 1,8 \cdot 10^{-10}$ .

ĐS: Có tạo thành kết tủa

#### 4. Bài tập tổng hợp:

**5.28.** Cho tích số tan của FeS ở 25°C là  $4 \cdot 10^{-20}$ .

1. Tính độ hoà tan của FeS ở nhiệt độ này?

2. Nếu thêm 0,1mol  $Fe^{2+}$  vào 1(lít) dung dịch bão hoà FeS ở cùng nhiệt độ thì độ hoà tan của FeS giảm bao nhiêu lần? Biết  $T_{FeS}$  không đổi.

ĐS:  $s = 2 \cdot 10^{-10}$  (mol/l); giảm 5 lần



**5.29.** Tính pH của các dung dịch sau:

1. KCN 0,1M có  $K_a = 10^{-6}$  ;
2.  $\text{CH}_3\text{COOH}$   $10^{-2}\text{M}$  có  $\alpha = 1,34\%$ ;
3.  $\text{NH}_3$  0,01M có  $\text{p}K_a = 9,23$ ;

ĐS: 1. 9,5;      2. 3,87;      3. 10,615;

**5.30.** Cho dung dịch  $\text{NH}_3$  0,01M có  $K_b = 10^{-5}$

1. Tính pH của dung dịch?

2. Nếu thêm vào 1(lít) dung dịch  $\text{NH}_3$  0,01M một lượng 0,1mol  $\text{NH}_4\text{Cl}$  thì pH của dung dịch là bao nhiêu? Coi thể tích dung dịch không biến đổi.

ĐS: 1. 10,5;      2. 8;

**5.31.** Cho biết tính chất môi trường (là axit, bazơ hay trung tính) của các dung dịch muối sau:  $\text{FeCl}_3$ ;  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ;  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  ;  $\text{NaCl}$

Giải thích bằng phương pháp hoá học (nếu có). Nếu đun nóng các dung dịch trên thì pH của môi trường thay đổi thế nào ? Biết rằng muối nào thủy phân được đều thu nhiệt.

**5.32.** Khi pha loãng các dung dịch  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  và  $\text{SnCl}_2$  thì thấy xuất hiện kết tủa. Giải thích nguyên nhân. Muốn tránh tạo thành kết tủa ta phải làm thế nào?

## CHƯƠNG 6. ĐIỆN HÓA HỌC

### 6.1. Phản ứng oxi hoá - Khử

#### 6.1.1. Một số khái niệm

##### a. Số oxi hoá

Số oxi hoá của một nguyên tố trong hợp chất là điện tích của nguyên tố đó trong phân tử của hợp chất, giả thiết rằng các liên kết trong phân tử đều là liên kết ion.

Từ khái niệm trên, người ta quy ước về *cách tính oxi hoá như sau*:

- Các nguyên tố ở trạng thái tự do thì số oxi hoá của chúng bằng không. Ví dụ: Số oxi hoá của Na, Ca, Zn bằng không, số oxi hoá của  $O_2$ ,  $O_3$  bằng không.

- Đối với các hợp chất ion thì số oxi hoá của nguyên tố bằng điện tích của ion đó. Ví dụ: Trong hợp chất  $CaCl_2$  thì số oxi hoá của Ca là +2, của Cl là -1.

- Đối với các hợp chất cộng hoá trị thì số oxi hoá của các nguyên tố bằng điện tích của các nguyên tử. Ví dụ: Trong  $H_2O$ , số oxi hoá của H là +1, của O là -2, còn trong  $F_2O$  số oxi hoá của F là -1, của O là +2.

- Trong đa số các hợp chất ta áp dụng quy tắc sau: Tổng đại số các số oxi hoá của các nguyên tố trong một tiểu phân (phân tử hoặc ion phức tạp) bằng điện tích của tiểu phân.

Ví dụ: Số oxi hoá Cr trong ion  $Cr_2O_7^{-2}$  là - 6.

Như vậy, khái niệm: "số oxi hoá" chỉ có tính chất hình thức, không đặc trưng cho trạng thái thực của nguyên tố trong phân tử nhưng vẫn có những ý nghĩa thực tế nhất định.

##### b. Phản ứng oxi hoá khử:

Dựa vào sự thay đổi số oxi hoá của các nguyên tố trong các chất tham gia phản ứng có thể phân chia phản ứng hoá học ra thành hai loại:

- *Phản ứng trao đổi* : là phản ứng trong đó không có sự thay đổi số oxi hoá của các nguyên tố

- *Phản ứng oxi hoá - khử*: là phản ứng hoá học trong đó số oxi hoá của các nguyên tố bị thay đổi.

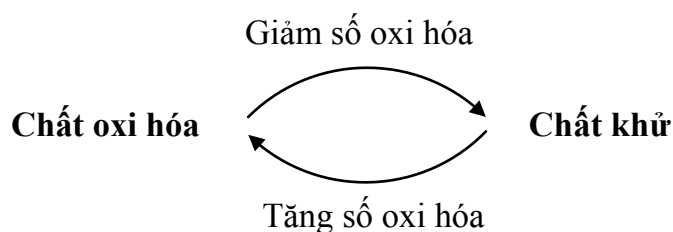
Trong phản ứng oxi hoá - khử bao giờ cũng gồm hai quá trình: *quá trình oxi hoá* (sự oxi hoá) và *quá trình khử* (sự khử).

*Quá trình oxi hoá một chất:* là một quá trình làm tăng số oxi hoá của các nguyên tố ở trong thành phần của chất đó.

Chất mà trong thành phần của nó có các nguyên tố tăng số oxi hoá gọi là chất khử.

*Quá trình khử một chất:* là quá trình làm giảm số oxi hoá của nguyên tố trong thành phần của chất đó.

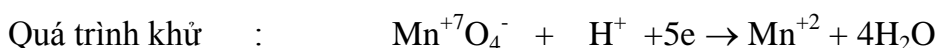
Chất mà trong thành phần của nó có nguyên tố giảm số oxi hoá được gọi là chất oxi hóa.



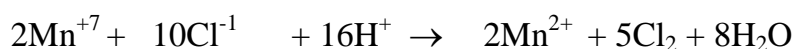
Ví dụ: Đối với phản ứng:



Chất oxi hoá      Chất khử



Phản ứng tổng cộng:

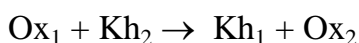


Trong mỗi phản ứng, quá trình oxi hoá và quá trình khử được gọi là hai nửa phản ứng. Khi cộng hai nửa phản ứng ta sẽ được phản ứng oxi hoá - khử.

Trong quá trình khử, chất oxi hoá chuyển thành chất khử. Ở quá trình oxi hoá, chất khử bị oxi hoá chuyển thành chất oxi hoá. Chất oxi hoá và chất khử của cùng một quá trình hợp thành *một cặp oxi hoá - khử*. (kí hiệu là: *Ox/ Kh*)

Ví dụ: Trong phản ứng trên có 2 cặp oxi hoá - khử là:  $\text{MnO}_4^- / \text{Mn}^{2+}$  và  $\text{Cl}_2 / 2\text{Cl}^-$

Nếu dạng oxi hoá  $\text{Ox}_1$  của một cặp  $(\text{Ox}/ \text{Kh})_1$  oxi hoá dạng khử của cặp  $(\text{Ox}/\text{Kh})_2$  người ta viết phương trình phản ứng oxi hoá - khử dạng tổng quát:



Người ta đã chứng tỏ rằng: Trong phản ứng oxi hoá- khử, sự thay đổi số oxi hoá của các nguyên tố xảy ra do sự chuyển các electron hoặc chuyển các nguyên tử từ phân tử này đến phân tử khác.

### 6.1.2. Cân bằng phương trình phản ứng oxi hoá - khử

Có nhiều phương pháp cân bằng phương trình phản ứng oxi hoá - khử, ở đây ta áp dụng hai phương pháp phổ biến:

- Phương pháp cân bằng số oxi hoá
- Phương pháp ion – electron

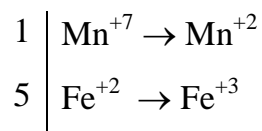
#### a. Phương pháp cân bằng số oxi hoá

Phương pháp này dựa vào quy luật là trong phản ứng hoá học, nếu nguyên tố này tăng số oxi hoá thì nguyên tố khác giảm số oxi hoá. Tổng đại số các độ biến thiên số oxi hoá trong một phản ứng bằng không. Do đó tìm được hệ số cho chất oxi hoá và chất khử. Tiếp đó cân bằng số nguyên tử ở hai vế sẽ tìm được đầy đủ các hệ số.

Ví dụ: Cân bằng phương trình phản ứng sau:



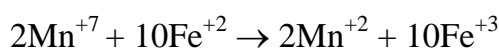
Trong phản ứng chỉ có ion Mn và Fe thay đổi số oxi hoá. Độ biến thiên số oxi hoá của sắt là 1 đơn vị, của Mn là 5 đơn vị. Bội số chung nhỏ nhất của của độ biến thiên số oxi hoá là 5 do đó hệ số  $\text{KMnO}_4$  là 1 và của  $\text{FeSO}_4$  là 5.



Từ phản ứng trên ta thấy:  $\text{Mn}^{+7}$  là chất giảm số oxi hoá,  $\text{Fe}^{+2}$  tăng số oxi hoá. Do đó,  $\text{KMnO}_4$  là chất oxi hoá, cứ 1 mol nguyên tử  $\text{Mn}^{+7}$  thay đổi số oxi hoá đòi hỏi 5mol nguyên tử  $\text{Fe}^{+2}$ , do đó có thể viết được phương trình:



Trong phương trình (a) có hai nguyên tử Fe nên ta phải nhân đôi các hệ số của các chất trong phương trình (b)



Điền hệ số vào phương trình (a) ta được:



Tiếp theo tìm hệ số còn lại bằng cách cân bằng các nguyên tử của các nguyên tố khác và cuối cùng là cân bằng các nguyên tử hydro và oxi.



Như thế, phương pháp cân bằng số oxi hoá về căn bản giống phương pháp thăng bằng electron.

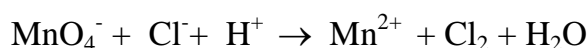
### ***b. Phương pháp ion - electron***

Phương pháp này dựa trên việc lập những phương trình riêng của các quá trình khử và quá trình oxi hoá, sau đó cộng chúng lại ta được phương trình phản ứng oxi hoá - khử. Muốn vậy cần lập sơ đồ ion của phản ứng theo quy tắc: Viết các chất điện li dưới dạng ion, các chất điện li yếu, các chất khí hoặc chất kết tủa dưới dạng phân tử. Các ion không thay đổi trong quá trình phản ứng không được đưa vào sơ đồ ion.

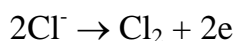
Ví dụ: Cân bằng phương trình phản ứng:



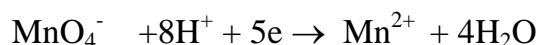
Sơ đồ ion của phản ứng:



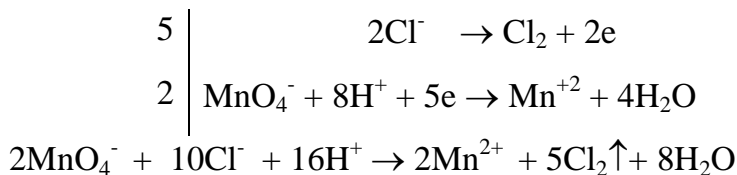
Phương trình phản ứng riêng của quá trình oxi hoá ion  $\text{Cl}^-$  là:



Để lập phương trình riêng của quá trình khử ion  $\text{MnO}_4^-$  thành ion  $\text{Mn}^{2+}$  ta cần thêm ion  $\text{H}^+$  để liên kết với oxi tạo thành nước và để cân bằng điện tích, ta phải cộng thêm 5 electron vào về trái của phương trình:



Để tìm các hệ số chính của phương trình tổng cộng cần phải nhân những phương trình riêng với các hệ số sao cho tổng số electron chất khử mất đi phải bằng tổng electron mà chất oxi hoá thu vào.



Cuối cùng ta cân bằng các nguyên tử không tham gia vào quá trình oxi hoá và quá trình khử như ion  $\text{K}^+$  và  $\text{Cl}^-$  ta được:



Cân bằng phương trình oxi hoá - khử theo phương pháp ion - electron ưu việt là không cần biết chính xác số oxi hoá của các nguyên tố, phản ánh đầy đủ hơn, rõ ràng hơn điều kiện xảy ra phản ứng oxi hoá - khử.

Tuy nhiên, phương pháp này bị hạn chế là chỉ áp dụng được cho quá trình oxi hoá khử của các ion.

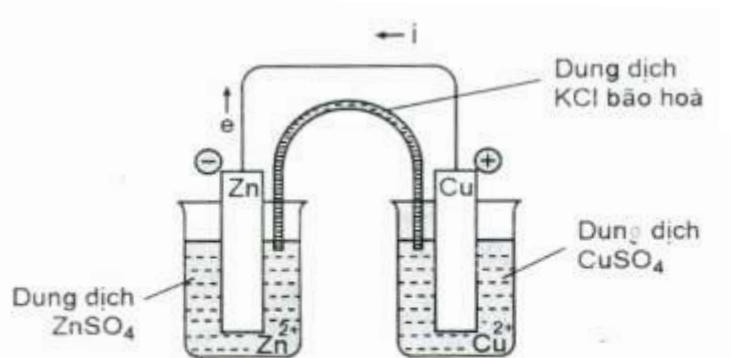
## 6.2. Nguyên tắc biến hoá năng thành điện năng

Trong phản ứng oxi hoá - khử, thông thường electron chuyển trực tiếp từ chất khử sang chất oxi hoá và năng lượng của phản ứng hoá học biến thành nhiệt.

Ví dụ: Phản ứng:



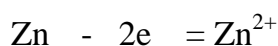
Nếu bằng cách nào đó ta thực hiện sự oxi hoá Zn ở một nơi và khử ion  $\text{Cu}^{2+}$  ở một nơi khác và cho electron chuyển động từ Zn sang ion  $\text{Cu}^{2+}$  qua một dây dẫn nghĩa là cho electron chuyển động theo một dòng nhất định thì năng lượng của phản ứng hoá học sẽ biến thành điện năng. Đó là quá trình xảy ra trong pin. Pin Daniel- Jacobi gồm một cực là thanh kẽm nhúng vào trong dung dịch  $\text{ZnSO}_4$  và một cực là thanh đồng nhúng vào dung dịch  $\text{CuSO}_4$ .



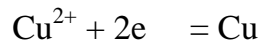
**Hình 6.1.** Sơ đồ pin kẽm- đồng

Hai dung dịch này được nối với nhau bằng một ống chứa dung dịch KCl bão hòa. Khi nối điện cực kẽm với điện cực đồng bằng một sợi dây dẫn ta sẽ thấy một dòng điện chạy từ cực đồng sang cực kẽm.

Trong quá trình hoạt động của pin, điện cực kẽm bị mòn dần, điện cực đồng được dày thêm nghĩa là trên điện cực kẽm xảy ra sự oxi hoá kẽm.



Trên cực đồng đã xảy ra sự khử ion  $\text{Cu}^{2+}$



Năng lượng của phản ứng  $\text{Cu}^{2+} + \text{Zn} = \text{Cu} + \text{Zn}^{2+}$  đã biến thành điện năng.

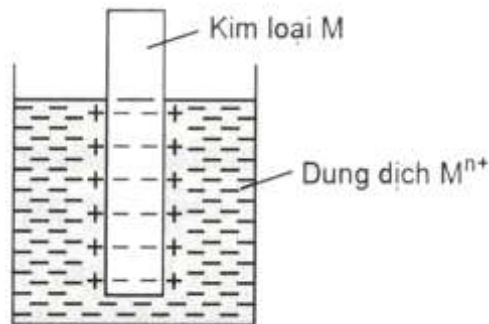
Vậy, muốn biến hoá năng thành điện năng ta phải thực hiện sự oxi hoá ở một nơi và sự khử ở một nơi và cho electron chuyển từ chất khử sang chất oxi hoá qua một dây dẫn. Đó cũng chính là nguyên tắc hoạt động của mọi pin và acquy.

### 6.3. Thế điện cực

#### 6.3.1. Các loại điện cực – thế điện cực

##### a. Điện cực kim loại

Khi nhúng thanh kim loại M (không phải kim loại trơ và không phản ứng mạnh với nước) vào dung dịch muối của nó (dung dịch chứa ion  $\text{M}^{n+}$ ) thì giữa bề mặt kim loại và lớp dung dịch bao quanh nó phát sinh lớp điện tích kép dẫn đến một điện thế cân bằng. Điện thế này được gọi là thế điện cực kim loại



**Hình 6.2.** Lớp điện tích kép ở ranh giới kim loại và dung dịch

Ví dụ: nhúng thanh kim loại Zn trong dung dịch  $\text{ZnSO}_4$ .

Điện cực kim loại được ký hiệu là  $\text{M} | \text{M}^{n+}$

Phản ứng điện cực được viết như sau:



Khi đó trên bề mặt điện cực xuất hiện một thế điện cực  $E_{\text{OXH/KH}}$

$$E_{\text{M}^{n+}/\text{M}} = E_{\text{M}^{n+}/\text{M}}^0 + \frac{RT}{nF} \ln[\text{M}^{n+}] \quad (6.1)$$

$E_{\text{M}^{n+}/\text{M}}^0$  là thế điện cực chuẩn, được xác định trong điều kiện  $[\text{M}^{n+}] = 1\text{M}$

### **b. Điện cực oxi hoá - khử**

Điện cực oxi hoá - khử gồm một thanh kim loại trơ (Pt hay Au) hay thanh chì nhúng trong dung dịch chứa cả dạng oxi hoá và dạng khử của cặp oxi hoá - khử. Hiệu điện thế cân bằng phát sinh giữa bề mặt điện cực trơ và lớp dung dịch bao quanh điện cực được gọi là *thế điện cực oxi hoá - khử* (thường gọi tắt là thế oxi hoá - khử). Trị số thế oxi hoá - khử phụ thuộc vào khả năng nhận electron của dạng oxi hoá và khả năng nhường electron của dạng khử, nhiệt độ, nồng độ của dạng oxi hoá và dạng khử ở trong dung dịch.

Điện cực oxi hoá - khử được kí hiệu là: Pt | Ox, Kh

Phản ứng điện cực được viết như sau:



Khi đó trên bề mặt điện cực xuất hiện một thế điện cực  $E_{\text{OXH/KH}}$

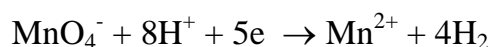
$$E_{\text{OXH/KH}} = E_{\text{OXH/KH}}^0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[\text{OXH}]}{[\text{KH}]} \quad (6.2)$$

$E_{\text{OXH/KH}}^0$  là thế điện cực chuẩn, được xác định trong điều kiện  $\frac{[\text{OXH}]}{[\text{KH}]} = 1$

Ví dụ: Điện cực oxi hoá - khử có kí hiệu là Pt |  $\text{Fe}^{+3}$ ,  $\text{Fe}^{+2}$  gồm một thanh platin nhúng trong dung dịch chứa đồng thời cả 2 ion  $\text{Fe}^{+3}$  và  $\text{Fe}^{+2}$  nghĩa là chứa cặp oxi hoá - khử  $\text{Fe}^{+3}/\text{Fe}^{+2}$ .

Phản ứng ở điện cực là:  $\text{Fe}^{+3} + e \rightarrow \text{Fe}^{+2}$

Đối với điện cực oxi hoá - khử kí hiệu là Pt |  $\text{MnO}_4^-$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  thì phản ứng ở điện cực xảy ra như sau:



### **c. Điện cực phi kim**

Điện cực phi kim gồm một tấm phi kim nhúng vào dung dịch chứa ion của nó và hiệu điện thế cân bằng phát sinh giữa bề mặt phi kim và lớp dung dịch bao quanh phi kim được gọi là *thế điện cực*.

Điện cực phi kim được ký hiệu là: X |  $\text{X}^{n-}$  và phản ứng ở điện cực được viết như sau:



Khi đó trên bề mặt điện cực xuất hiện một thế điện cực  $E_{\text{OXH/KH}}$



$$E_{X/X^{n-}} = E_{X/X^{n-}}^0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[X]}{[X^{n-}]} \quad (6.3)$$

$E_{X/X^{n-}}^0$  là thế điện cực chuẩn, được xác định trong điều kiện  $\frac{[X]}{[X^{n-}]} = 1$

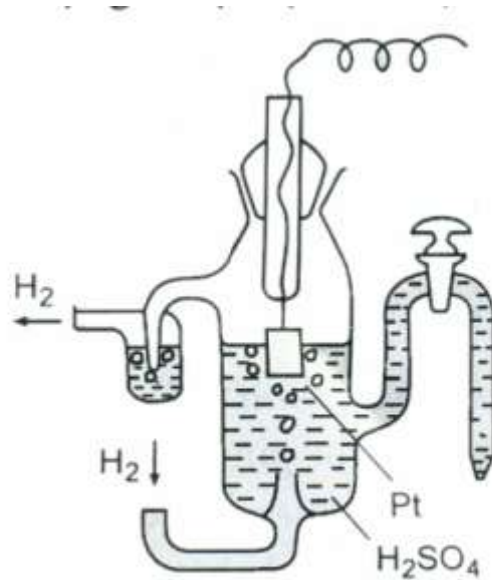
Ví dụ: Điện cực Selen được ký hiệu là  $\text{Se} | \text{Se}^{2-}$

Phản ứng xảy ra ở điện cực như sau:  $\text{Se} + 2e \rightarrow \text{Se}^{2-}$

#### d. Điện cực khí

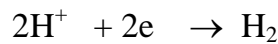
Điện cực khí thường gồm một thanh platin có phủ một lớp platin xốp được hấp thụ khí trên bề mặt và nhúng trong dung dịch chứa ion của chất khí đó.

Ví dụ: Điện cực hydro



**Hình 6.3.** Điện cực hydro

Phản ứng ở điện cực như sau:



Khi đó trên bề mặt điện cực xuất hiện một thế điện cực  $E_{\text{OXH/KH}}$

$$E_{2\text{H}^+/\text{H}_2} = E_{2\text{H}^+/\text{H}_2}^0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[\text{H}^+]^2}{P_{\text{H}_2}} \quad (6.4)$$

Khi áp suất của khí hydro bằng 1at, nhiệt độ 298K, nồng độ  $\text{H}^+$  trong dung dịch bằng 1mol/ lít ta được *điện cực hydro chuẩn*. Thế điện cực hydro được quy ước bằng 0.

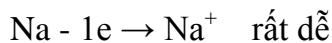
$$E_{2\text{H}^+/\text{H}_2}^0 = 0\text{V}$$

### 6.3.2. Thế điện cực chuẩn

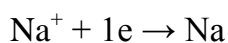
Hiệu điện thế cân bằng xảy ra ở các điện cực (hay được gọi là thế điện cực) được biểu thị bằng Von (V). Để xác định thế điện cực chuẩn của một điện cực người ta thiết lập một pin gồm điện cực chuẩn cần xác định thế điện cực và điện cực hydro rồi đo hiệu số điện thế lớn nhất giữa hai điện cực. Hiệu số điện thế lớn nhất này là thế điện cực chuẩn của điện cực cần xác định hay còn gọi là thế khử chuẩn (vì thế của điện cực hydro chuẩn được quy ước bằng 0,00V) Thế khử chuẩn được kí hiệu là  $E^0(\text{ox/kh})$ .

• Thế điện cực tiêu chuẩn của điện cực nào càng nhỏ trị số đại số thì dạng khử của nó hoạt động càng mạnh còn dạng oxi hoá của nó hoạt động càng kém và ngược lại.

Ví dụ: Thế điện cực tiêu chuẩn của Na rất nhỏ (-2,714V) nên kim loại Na (dạng khử) hoạt động rất mạnh.



Nhưng ion  $\text{Na}^+$  (dạng oxi hoá) thu electron rất khó

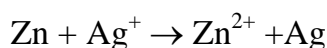


• Cặp oxi hoá - khử nào có thế điện cực tiêu chuẩn lớn thì dạng oxi hoá của nó có thể oxi hoá được dạng khử của cặp có thế điện cực tiêu chuẩn nhỏ hơn.

Ví dụ:

$$E^0_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}} = -0,76\text{V}; \quad E^0_{\text{Ag}^+/\text{Ag}} = -0,779\text{V}$$

Ion  $\text{Ag}^+$  có thể oxi hoá kẽm kim loại:



Từ nhận xét này có thể suy ra: Chỉ những kim loại nào có thế điện cực tiêu chuẩn nhỏ hơn không mới đẩy được hydro ra khỏi dung dịch axit loãng.

Ví dụ: Zn có thể đẩy được hydro ra khỏi dung dịch axit HCl nhưng Cu không thể đẩy được.

### 6.3.3. Các yếu tố ảnh hưởng đến thế khử của một cặp oxi hoá - khử

Xét cặp oxi hoá - khử:



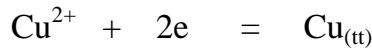
$$E_{(\text{Ox}/\text{Kh})} = E^0_{\text{Ox}/\text{Kh}} + \frac{TR}{nF} \ln \frac{[\text{Ox}]^a}{[\text{Kh}]^b} \quad (6.5)$$

ở 25°C (298K):

$$E_{\text{Ox/Kh}} = E^0_{\text{Ox/Kh}} + \frac{0.059}{n} \lg \frac{[\text{Ox}]^a}{[\text{Kh}]^b} \quad (6.6)$$

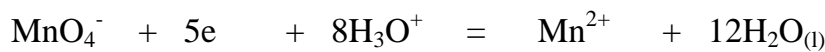
Công thức (6.5) là công thức Nernst biểu thị ảnh hưởng của nồng độ đến thế khử của một cặp oxi hoá - khử.

Ví dụ: Thế khử của cặp oxi hoá - khử:



$$E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} = E^0_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} + \frac{0,059}{2} \lg[\text{Cu}^{2+}]$$

Ví dụ: Thế khử của cặp oxi hoá - khử:



$$E_{\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}} = E^0_{\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}} + \frac{0,059}{5} \lg \frac{[\text{MnO}_4^-][\text{H}_3\text{O}^+]^8}{[\text{Mn}^{2+}]}$$

## 6.4. Chiều và hằng số cân bằng của phản ứng Oxi hoá - khử trong dung dịch nước

### 6.4.1. Chiều của phản ứng

Trong dung dịch nước, chiều của phản ứng oxi hoá - khử dựa vào thế đẳng áp - đẳng nhiệt  $\Delta G$ :

$$\Delta G = -nFE \quad (6.7)$$

Trong đó: F: Hằng số Faraday,  $F = 96500 \text{ C/mol}$ .

n: Số electron trao đổi giữa chất khử và chất oxi hoá của phản ứng.

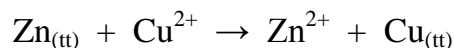
$$E = E_{\text{OXH}} - E_{\text{KH}}$$

Để phản ứng  $\text{Ox}_1 + \text{Kh}_2 \rightarrow \text{Kh}_1 + \text{Ox}_2$  xảy ra theo chiều thuận thì  $\Delta G < 0$  nghĩa là:  $E > 0$

Nếu phản ứng xảy ra trong điều kiện chuẩn, thì  $\Delta G^0 = -nFE^0$

với  $E^0 = E^0_{\text{OXH}} - E^0_{\text{KH}}$

Ví dụ 1: Phản ứng dưới đây xảy ra theo chiều nào?

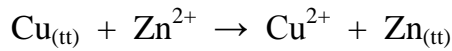


$$E^0_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}} = -0,76\text{V}; E^0_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} = 0,34\text{V}$$

Giải:  $E = E^0_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} - E^0_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}} = 1,1 \text{ (V)} > 0$

$\Rightarrow \Delta G^0 < 0 \rightarrow$  phản ứng xảy ra theo chiều thuận.

Ví dụ 2: Phản ứng dưới đây xảy ra theo chiều nào ở điều kiện chuẩn  $25^0\text{C}$ ?

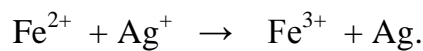


Giải:  $\Delta G^0 = -2 \cdot 96500 \cdot (-0,76 - 0,34) > 0$ .

Vậy phản ứng trên xảy ra theo chiều nghịch.

**Chú ý:** Nếu phản ứng ở điều kiện khác điều kiện chuẩn, phải dùng công thức (6.11).

Ví dụ 3: Có phản ứng sau:



a) Cho biết chiều của phản ứng ở điều kiện chuẩn  $25^0\text{C}$ ?

b) Một dung dịch có chứa  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  0,1M ;  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$  0,01M;  $\text{AgNO}_3$  0,01M và Ag kim loại dư. Phản ứng xảy ra theo chiều nào?

Giải:

a)  $\Delta G = -1 \cdot 96500 (0,80 - 0,77) < 0 \rightarrow$  phản ứng theo chiều thuận.

b) Áp dụng công thức (6.11)

$$\Delta G = -1 \cdot 96500 [E^0_{\text{Ag}^+/\text{Ag}} - E^0_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}}] =$$

$$E^0_{(\text{Ag}^+/\text{Ag})} = 0,80 + \frac{0,059}{1} \lg 0,01 = 0,68\text{V}$$

$$E^0_{(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+})} = 0,77 + \frac{0,059}{1} \lg \frac{0,1}{0,01} = 0,83\text{V}$$

$$\rightarrow E^0_{\text{Ag}^+/\text{Ag}} - E^0_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}} = 0,68 - 0,83 = -0,15 \text{ V}$$

$$\rightarrow \Delta G = -96500 \cdot (-0,15) > 0 \rightarrow$$
 phản ứng xảy ra theo chiều nghịch

#### 6.4.2. Hằng số cân bằng của phản ứng oxi hoá - khử

Từ công thức:  $\Delta G^0 = -nFE^0 = -RT \ln K$

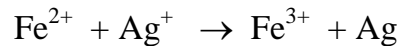
$$\rightarrow n \cdot E^0 = \frac{RT}{F} \ln K \tag{6.8}$$

Ở  $25^0\text{C}$  trở thành:

$$\lg K = \frac{nE^0}{0,059} \tag{6.9}$$

$n$  là số e trao đổi trong phản ứng,  $E^0 = E^0_{\text{OXH}} - E^0_{\text{KH}}$

Ví dụ: Tính hằng số cân bằng ở 25°C của phản ứng:



Giải:

$$\lg K = \frac{1(0,8 - 0,77)}{0,059} = 0,058$$

$$\rightarrow K = 3,22$$

## 6.5. Pin và ắc quy

### 6.5.1. Khái niệm

Giống nhau: Pin và ắc quy đều được cấu tạo từ hai điện cực có điện thế khác nhau, được nhúng vào một hay nhiều dung dịch chất điện li. Nếu hai cực nhúng vào hai dung dịch điện li khác nhau thì phải được ngăn bằng miếng xốp hay nối với nhau bằng cầu muối.

Khác nhau: Phản ứng xảy ra trong pin chỉ xảy ra theo một chiều (phóng điện) còn phải ứng xảy ra trong ắc quy có thể xảy ra theo chiều ngược lại khi có tác động của dòng điện bên ngoài ( nạp điện).

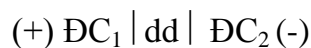
Sơ đồ cấu tạo:

- Nếu hai cực được nhúng vào hai dung dịch điện li khác nhau:



Ví dụ pin Zn-Cu:  $(+)\text{Cu} \mid \text{CuSO}_4\ 0.5\text{M} \parallel \text{ZnSO}_4\ 0.1\text{M} \mid \text{Zn} (-)$

- Nếu hai điện cực được nhúng vào cùng một dung dịch điện li:



Ví dụ ắc quy chì:  $(-)\text{Pb} \mid \text{H}_2\text{SO}_4\ 1\text{M} \mid \text{PbO}_2 (+)$

### 6.5.2. Suất điện động của pin điện hoá

#### a. Định nghĩa

Suất điện động của pin là giá trị (trị tuyệt đối) của hiệu số điện lớn nhất giữa hai điện cực của pin. Công thức tính sức điện động của pin:

$$E = E_+ - E_- > 0 \quad (6.10)$$

$E$  : Sức điện động của pin, (V)

$E_+$  : Thế điện cực của điện cực dương, (V)

$E_{-}$  : Thế điện cực của điện cực âm, (V)

Nếu pin được cấu tạo bởi 2 điện cực ở điều kiện chuẩn thì suất điện động là chuẩn và được xác định:

$$E^0 = E_{+}^0 - E_{-}^0 > 0 \quad (6.11)$$

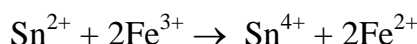
Ví dụ: Đối với pin Cu - Zn, ở điều kiện tiêu chuẩn là:

$$E = 0,34 - (-0,76) = 1,1V$$

**b. Các yếu tố ảnh hưởng đến suất điện động của pin:** (Công thức Nernst)

Xét một pin sau: (-) Pt |  $Sn^{4+}, Sn^{2+}$  ||  $Fe^{2+}, Fe^{3+}$  | Pt (+)

Phản ứng xảy ra trong pin khi làm việc:



Giả sử pin làm việc một cách thuận nghịch, nhiệt động học ở áp suất và nhiệt độ không đổi thì sự biến thiên thế đẳng áp  $\Delta G$  bằng công có ích lớn nhất (công điện) mà pin có thể thực hiện và được tính bằng biểu thức:

$$\Delta G = -nFE \rightarrow E = \frac{-\Delta G}{nF} \quad (6.12)$$

Trong đó: F: Hằng số Faraday,  $F = 96500 \text{ C/mol}$ .

n: số electron trao đổi giữa chất khử và chất oxi hoá của phản ứng trong pin.

E: Suất điện động của pin (V),  $E > 0$

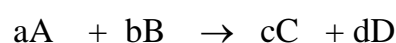
Nếu pin được cấu tạo bởi hai điện cực ở điều kiện chuẩn thì:

$$\Delta G^0 = -nFE^0 \rightarrow E^0 = \frac{\Delta G^0}{nF} \quad (6.13)$$

Suất điện động của pin được tính theo công thức:

$$E = E^0 + \frac{TR}{nF} \ln \frac{[Sn^{2+}][Fe^{3+}]^2}{[Sn^{4+}][Fe^{2+}]^2}$$

Một cách tổng quát: Nếu phản ứng xảy ra trong pin như sau:



A, B, C, D là những chất tan trong dung dịch (có thể dạng ion) thì

$$E = E^0 + \frac{TR}{nF} \ln \frac{[A]^a [B]^b}{[C]^c [D]^d} \quad (6.14)$$

Nếu nhiệt độ  $T = 298K$  thì:

$$E = E^0 + \frac{0.059}{n} \lg \frac{[A]^a [B]^b}{[C]^c [D]^d} \quad (6.15)$$

Công thức (6.8) là công thức Nernst về ảnh hưởng của nồng độ và nhiệt độ đến suất điện động của pin điện hoá.

Ví dụ: Cho pin thiết lập ở  $25^\circ C$ .

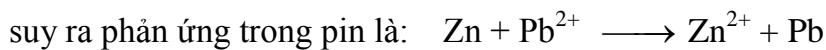


Viết phương trình hóa học của các quá trình điện cực. Tính sức điện động của pin khi pin làm việc? Biết:

$$E^0_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}} = -0,76V \quad ; \quad E^0_{\text{Pb}^{2+}/\text{Pb}} = -0,13V$$

Giải

Các quá trình điện cực:

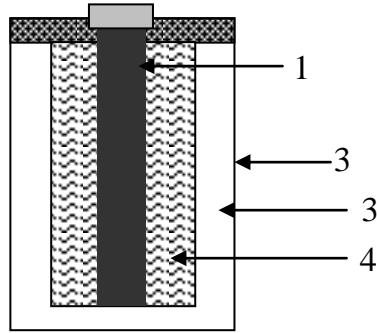


$$\begin{aligned} \text{vậy } E_{(\text{Pb-Zn})} &= E_+ - E_- = E^0 + \frac{0,059}{2} \lg \frac{C_{\text{Pb}^{2+}}}{C_{\text{Zn}^{2+}}} \\ &= -0,13 + 0,76 - \frac{0,059}{2} = 0,50 \text{ (V)} \end{aligned}$$

### 6.5.3. Giới thiệu một số loại pin và Acquy

#### a. Pin mangan - kẽm (pin khô)

Là loại pin quen thuộc thông dụng nhất hiện nay. Catot là một lõi than chì(1), bao quanh là hỗn hợp  $\text{MnO}_2$  và bột than chì (4) (bột than chì làm tăng độ dẫn điện). Tiếp theo là lớp chất điện giải ở dạng hỗn hợp nhão gồm:  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  và tinh bột (3). Ngoài cùng được bao bởi anot chế tạo từ kẽm lá (2) (hình 6.4.)

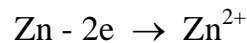


Hình 6.4. Sơ đồ cấu tạo pin Mn-Zn

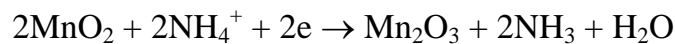
Sơ đồ cấu tạo đơn giản của pin:



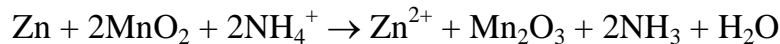
Khi pin hoạt động, ở anot xảy ra sự oxi hoá:



ở catot xảy ra sự khử:



Phản ứng khi pin làm việc là:



Phương trình tính sức điện động của pin là:

$$E_{\text{pin}} = E_{\text{MnO}_2/\text{Mn}_2\text{O}_3}^0 - E_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}}^0 + \frac{RT}{2F} \ln \frac{[\text{Zn}^{2+}] P_{\text{NH}_3}^2 [\text{H}_2\text{O}]}{[\text{NH}_4^+]^2}$$

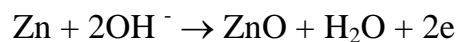
Điện thế của pin là 1,5V. Pin được dùng trong radio, đèn pin, đồ chơi.

Loại pin này có ưu điểm là rẻ, sạch, nhiều kích cỡ. Nhược điểm của pin là  $\text{NH}_3$  được tạo ra có thể làm ngắt mạch, thời gian sống ngắn.

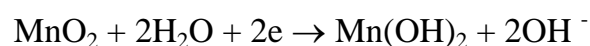
### b. Pin kiềm

Pin kiềm cũng là pin khô quan trọng. Cấu tạo của pin cũng tương tự như pin mangan - kẽm, chỉ khác chất điện giải là KOH.

Khi pin hoạt động ở anot Zn bị oxi hoá:



ở catot  $\text{MnO}_2$  bị khử:



Điện thế của pin là 1,5V. Pin kiềm cũng được sử dụng như pin mangan - kẽm. Ưu điểm của pin là không bị ngắt mạch, thời gian sống lâu hơn, sạch, nhiều kích



cỡ. Đắt hơn pin mangan - kẽm.

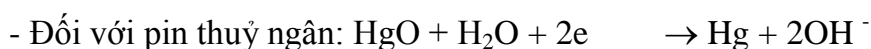
### c. Pin thủy ngân và pin bạc

Pin thủy ngân và pin bạc rất giống nhau. Cả hai đều dùng anot là kẽm trong môi trường bazơ và catot làm thép. Pin thủy ngân dùng HgO làm chất oxi hoá còn pin bạc dùng Ag<sub>2</sub>O. Các chất phản ứng rắn được ngăn cách với KOH bởi lớp giấy ẩm làm cầu muối.

Trong khi pin hoạt động, ở anot xảy ra sự oxi hoá:



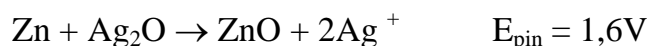
ở catot xảy ra sự khử:



Phản ứng tổng hợp đối với pin thủy ngân:



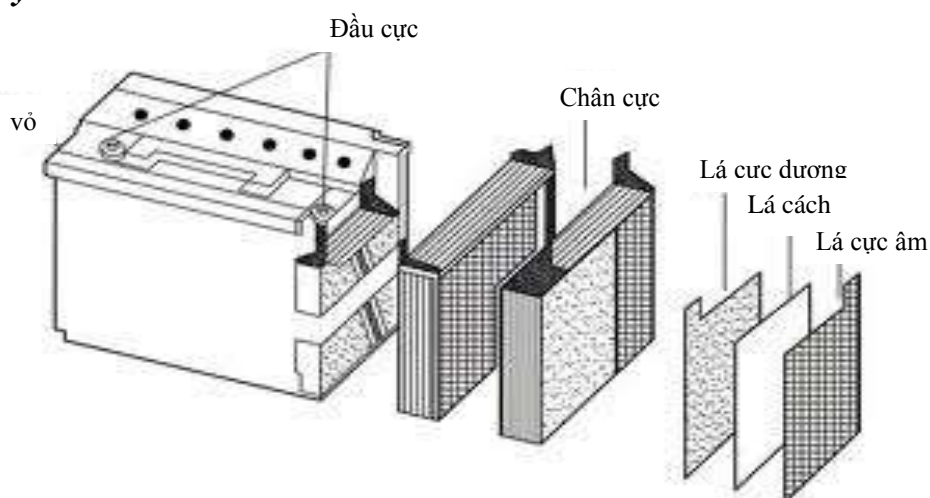
Phản ứng tổng hợp đối với pin bạc:



Pin thủy ngân được dùng trong đồng hồ, máy tính. Loại pin này có kích thước nhỏ, thải ra thủy ngân độc hại.

Pin bạc được dùng trong máy ghi hình, máy trợ tim, máy trợ thính. Pin bạc có kích thước nhỏ, điện thế ổn định, không độc nhưng đắt.

### d. Ắc quy chì



Hình 6.5. Sơ đồ cấu tạo ắc quy chì

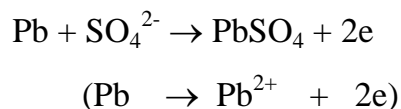
Anot của ắc quy được chế tạo từ các tấm lưới chì phủ kín bởi chì xốp, Catot

cũng được làm bằng tấm lưới chì nhưng lại phủ kín PbO<sub>2</sub>. Cả hai cực được nhúng trong dung dịch axit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> loãng.

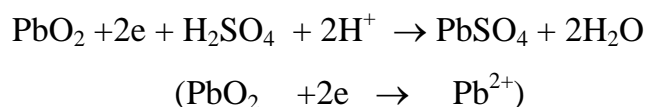
Sơ đồ cấu tạo của ắc quy chì:



Khi ắc quy làm việc (phóng điện), ở anot xảy ra quá trình oxi hoá chì:



ở catot xảy ra quá trình khử chì đioxit:



Sơ đồ phản ứng tổng cộng:



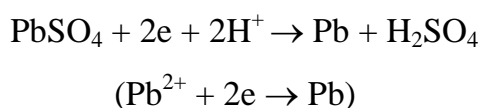
Các electron chuyển động từ chì (ở anot) sang chì đioxit (ở catot) theo mạch ngoài tạo thành dòng điện, còn mạch trong (trong dung dịch H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) các ion SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> chuyển về anot và các ion H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> chuyển về catot.

Suất điện động của ắc quy chì bằng 2V, khi mắc nối tiếp các ngăn ắc quy chì với nhau ta sẽ được các điện áp cần thiết (6V, 12V).

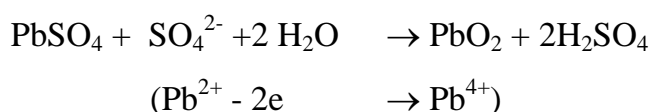
Vì các phản ứng ở mỗi điện cực đều tạo thành chất PbSO<sub>4</sub> khó tan, kết tủa trên điện cực, nên cực dương và cực âm đều biến thành những tấm lưới chì phủ lớp PbSO<sub>4</sub> xốp. Nồng độ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> giảm đi. Điện áp bị tụt xuống để ắc quy hoạt động trở lại cần phải nạp điện.

Khi nạp điện, ở các điện cực xảy ra các phản ứng ngược với phản ứng đã nêu ở trên:

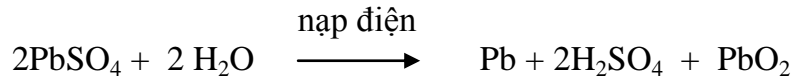
ở cực âm (anot)



ở cực dương (catot)

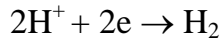


Sơ đồ phản ứng chung là:



Quá trình nạp điện được tiến hành cho đến khi toàn bộ  $\text{PbSO}_4$  biến thành  $\text{Pb}$ .

Khi đó đến lượt  $\text{H}^+$  bị khử.

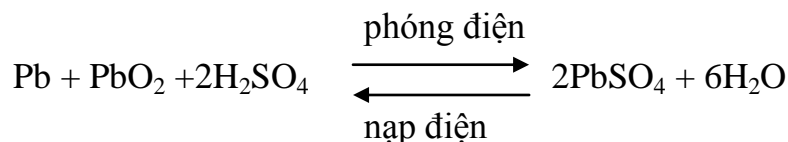


Bọt khí  $\text{H}_2$  và  $\text{O}_2$  thoát ra khỏi dung dịch tạo thành bọt làm ắc quy sôi ở cuối giai đoạn nạp điện.

Sau khi được nạp điện, cực âm của ắc quy lại trở thành tấm  $\text{Pb}$  xốp, cực dương của ắc quy trở thành tấm  $\text{PbO}_2$  xốp, nồng độ  $\text{H}_2\text{SO}_4$  trở về giá trị ban đầu, và ắc quy hoạt động trở lại.

Như vậy, ắc quy chì và pin giống nhau là đều nhờ phản ứng oxi hoá - khử ở các điện cực mà ta được dòng điện một chiều, nhưng ắc quy khác pin là người ta dùng dòng điện một chiều làm cho các phản ứng oxi hoá - khử ở các điện cực xảy ra ngược với chiều tự diễn biến của chúng, nghĩa là đã biến điện năng thành hoá năng.

Như thế, nguyên tắc hoạt động của ắc quy chì là dựa vào hai phản ứng hoá học sau:



Khi pin hoạt động phóng điện, xảy ra quá trình hoá năng biến thành điện năng, còn khi nạp điện thì ngược lại, điện năng chuyển thành hoá năng.

Ắc quy được sử dụng trong xe hơi, toa tàu .....

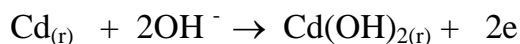
Ắc quy chì có ưu điểm là cung cấp dòng điện lớn để khởi động động cơ, thấp sáng, chạy quạt, thời gian sống dài.

Tuy nhiên, có những nhược điểm sau: Do sức căng, do rung động lớp  $\text{PbSO}_4$  có thể bị bong ra làm mất khả năng tải, nạp. Trong quá trình nạp điện, một phần  $\text{H}_2\text{O}$  bị điện phân thành  $\text{H}_2$  và  $\text{O}_2$ , nên có thể gây nổ, làm trào  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , làm mất nước cho nên cần bổ xung nước sau khi sử dụng một thời gian. vì vậy, ở các ắc quy hiện đại, người ta người ta dùng hợp kim chì có tính kìm hãm sự điện phân nước.

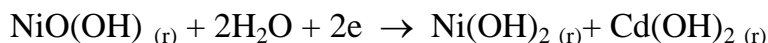
#### *e. Ắc quy niken - cadimi*

Ắc quy niken - cadimi gồm kim loại cadimi làm anot,  $\text{Ni}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  hoặc  $\text{NiOH}$  là catot. Dung dịch điện li là dung dịch  $\text{KOH}$  có chứa một lượng nhỏ  $\text{LiOH}$ .

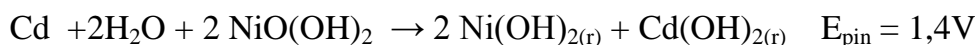
*Khi phóng điện, ở ca tot xảy ra sự oxi hoá cadimi:*



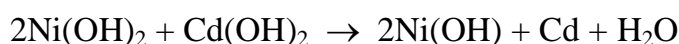
*ở catot xảy ra sự khử  $\text{NiO}(\text{OH})$*



Phản ứng tổng cộng:



*Khi nạp điện xảy ra quá trình ngược lại và có phản ứng cộng:*



Ắc quy này được sử dụng trong đèn chụp ảnh, các công cụ nhỏ như khoan, dụng cụ cạo râu.

#### **f. Ắc quy liti (pin liti rắn)**

Ắc quy liti là sự tổ hợp mới mẻ giữa anot liti với catot là oxit hoặc sunfua kim loại chuyển tiếp (Ví dụ:  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{V}_6\text{O}_{13}$  hoặc  $\text{TiS}_2$ ). Chất điện giải là một polime cho phép ion  $\text{Li}^+$  đi qua mà không cho electron đi qua. Sức điện động của pin:  $E = 3\text{V}$ . Sử dụng cho máy tính, đồng hồ, máy ghi hình, máy tính xách tay

Ưu điểm: Tỷ lệ điện lượng/ khối lượng cao.

Nhược điểm: Tương đối đắt, thời gian sống ngắn, điện thế biến đổi.

#### **g. Pin nhiên liệu**

Pin nhiên liệu sử dụng phản ứng oxi hoá - khử để sản ra điện năng.

Ví dụ: Pin nhiên liệu oxi - hydro gồm các cực điện cacbon có thấm xúc tác kim loại và chất điện giải  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  nóng chảy. Sức điện động của pin là 1,2V.

Ngoài hydro người ta còn dùng  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{H}_4$ ,  $\text{CH}_4$ , làm nhiên liệu.

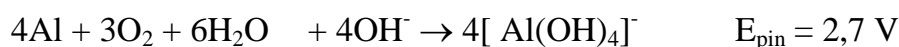
Sử dụng: Cung cấp điện năng và nước tinh khiết trong các chuyến bay vũ trụ.

*Ưu điểm:* Sạch, nhiều pin nhiên liệu không gây ô nhiễm môi trường, tạo nguồn điện năng di động. Pin nhiên liệu rất hữu hiệu, nó biến khoảng 75% hoá năng thành điện năng trong khi động cơ ô tô chỉ biến khoảng 25% hoá năng thành năng lượng chuyển động xe.

*Nhược điểm:* Pin nhiên liệu không tích trữ được điện năng, nó chỉ hoạt động khi dòng nhiên liệu được nạp vào liên tục, điện cực nhanh hỏng.

Ngoài những ắc quy kể trên, người ta nghiên cứu sản xuất các loại pin có thể vận hành xe hơi gia đình để giảm ô nhiễm môi trường. Ví dụ:

- Pin nhôm - không khí: Phản ứng tổng cộng như sau:



## h. Pin nồng độ

Giả sử chúng ta có hai điện cực kim loại của cùng một kim loại nhúng trong dung dịch của ion kim loại đó với nồng độ khác nhau thì sức điện động của pin là:

$$E = E_1 - E_2 = \frac{0,059}{n} \ln \frac{C_1}{C_2} \quad (6.16)$$

Như vậy, pin hoạt động do sự chênh lệch nồng độ giữa hai điện cực. Vì vậy, chúng được gọi là pin nồng độ. Pin nồng độ là cơ sở của phương pháp điện thế trong phân tích định lượng và xác định pH của các dung dịch. Các tế bào thần kinh điều khiển mọi hoạt động tư duy, vận động và các chức năng khác dựa theo nguyên tắc pin nồng độ.

## 6.6. Điện phân

### 6.6.1. Định nghĩa

*Điện phân là quá trình oxi hoá - khử xảy ra trên bề mặt các điện cực khi có dòng điện một chiều chạy qua hợp chất nóng chảy hay dung dịch chất điện li.*

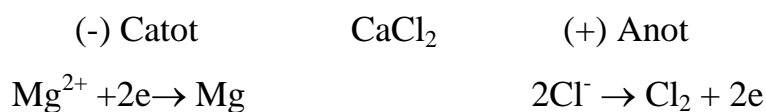
Sự điện phân là quá trình biến điện năng thành hoá năng.

### 6.6.2. Điện phân các chất nguyên chất nóng chảy

Quy tắc chung trong sự điện phân là: Tiểu phân nào dễ bị oxi hoá hơn (chất khử mạnh hơn) sẽ phản ứng phóng điện ở anot trước, tiểu phân nào dễ bị khử (chất oxi hóa mạnh hơn) sẽ phản ứng phóng điện ở catot trước.

Để biết chất nào dễ bị oxi hoá hoặc dễ bị khử hơn ta căn cứ vào sự biến đổi tuần hoàn tính chất của các nguyên tố.

Ví dụ 1: Điện phân  $\text{CaCl}_2$  nóng chảy



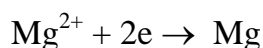
Ví dụ 2: Điện phân hỗn hợp muối  $\text{NaBr}$  và  $\text{MgCl}_2$  nóng chảy sẽ được những gì? Viết

các nửa phản ứng và phản ứng tổng cộng.

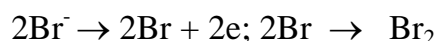
Giải: Ion có thể bị khử ở catot:  $\text{Na}^+$  và  $\text{Mg}^{2+}$

Ion có thể bị oxi hoá ở anot:  $\text{Br}^-$  và  $\text{Cl}^-$ .

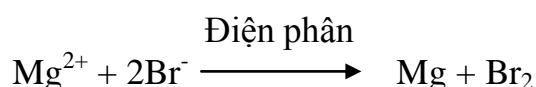
Mg có năng lượng ion hoá lớn hơn Na nên  $\text{Mg}^{2+}$  dễ bị khử hơn  $\text{Na}^+$ , vì vậy:



Br có độ âm điện nhỏ hơn Cl nên  $\text{Br}^-$  dễ bị oxi hoá hơn  $\text{Cl}^-$ , vì thế:



Phương trình phản ứng tổng cộng trong bình điện phân:



Nếu thực hiện tiếp quá trình điện phân, sau khi  $\text{Mg}^{2+}$  điện phân hết sẽ đến  $\text{Na}^+$  và sau khi  $\text{Br}^-$  hết sẽ đến  $\text{Cl}^-$ .

### 6.6.3. Điện phân dung dịch chất điện li trong nước

Trong dung dịch chất điện li ngoài các ion của chất điện li còn có ion  $\text{H}^+$  và  $\text{OH}^-$  của nước. Do đó, trong quá trình điện phân có thể có các ion của chất điện li hay các ion của nước bị phóng điện ở các điện cực. Quá trình nào xảy ra khi điện phân phụ thuộc trước hết vào điện cực chuẩn của cặp oxi hoá - khử: Dạng oxi hoá của cặp oxi hoá có thể khử lớn nhất sẽ bị khử ở catot và dạng khử của cặp oxi hoá - khử nào có thể khử nhỏ nhất sẽ bị oxi hoá ở anot. Bên cạnh đó, các yếu tố vật liệu điện cực, mật độ dòng điện, thành phần dung dịch, nhiệt độ cũng ảnh hưởng đến sự tạo thành sản phẩm của quá trình điện phân.

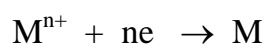
#### a. Quá trình khử ở catot

Trong phạm vi quá trình khử ở catot ta chỉ xét trường hợp sự khử cation kim loại  $\text{M}^{n+}$  thành kim loại M. Để xét xem cation kim loại  $\text{M}^{n+}$  hay cation  $\text{H}^+$  của  $\text{H}_2\text{O}$  bị khử ở catot ta so sánh thế khử chuẩn của hai cặp:  $\text{M}^{n+}/\text{M}$  và  $2\text{H}^+/\text{H}_2$ .

Trong môi trường trung tính  $\text{pH} = 7$

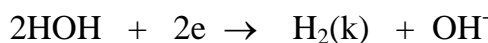
$$E_{2\text{H}^+/\text{H}_2} = -0,413\text{V}$$

Nếu kim loại có  $E_{\text{M}^{n+}/\text{M}}$  lớn hơn nhiều so với  $-0,413\text{V}$  thì ion  $\text{M}^{n+}$  bị khử ở catot:



Đó là trường hợp các kim loại ở vào khoảng từ thiếc và sau nó trong dãy thế khử chuẩn.

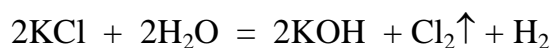
Nếu cation kim loại có  $E_{M^{n+}/M}$  nhỏ hơn nhiều so với  $-0,413V$  thì ion  $H^+$  của nước bị khử thành  $H_2$ :



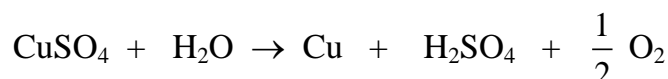
Đó là trường hợp của những kim loại đầu dãy thế khử chuẩn khoảng trước Mn.

Những ion kim loại có  $E_{M^{n+}/M}$  gần với giá trị  $-0,413V$  như Mn, Zn, Cr, thì tùy thuộc vào nồng độ dung dịch và điều kiện điện phân mà kim loại hay  $H_2$  thoát ra ở catot.

Ví dụ 1: Khi điện phân dung dịch KCl trong nước có màng ngăn ta thu được dung dịch KOH,  $Cl_2$ , và  $H_2$ :

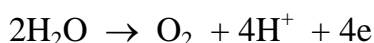
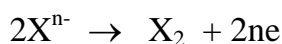


Ví dụ 2: Khi điện phân dung dịch  $CuSO_4$  trong nước ta thu được Cu, dung dịch  $H_2SO_4$  và  $O_2$  là. Phương trình điện phân là:



### **b. Quá trình oxi hoá ở anot**

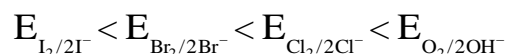
Ở anot, xảy ra quá trình oxi hoá anion gốc axit hoặc  $H_2O$ :



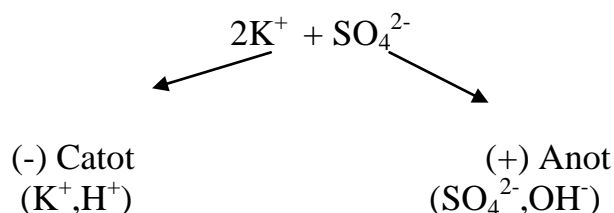
Thực nghiệm cho thấy ở anot là quá trình oxi hoá của anion nào phụ thuộc cặp có điện thế càng dễ phóng điện.

Giả sử, ở anot có mặt nhiều anion thì thứ tự phóng điện trước tuân theo dãy:  $I^-$ ,  $Br^-$ ,  $Cl^-$ ,  $OH^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$

Nguyên nhân thứ tự trên do điện thế oxi hoá - khử được sắp xếp theo thứ tự:



Ví dụ 1: Viết sơ đồ điện phân dung dịch  $K_2SO_4$





Phản ứng tổng cộng:  $2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{đp}} 2\text{H}_2 + \text{O}_2$

Thực chất của quá trình này là điện phân  $\text{H}_2\text{O}$

Ví dụ 2: Viết sơ đồ điện phân dung dịch  $\text{NaI}$  trong nước.

Phương trình phản ứng điện phân:



### c. Quá trình xảy ra ở anot tan

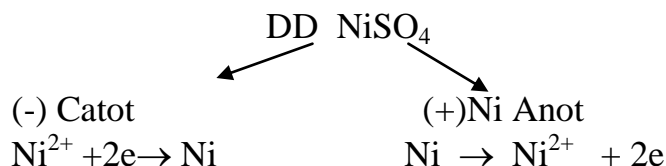
Anot tan là anot mà vật liệu làm ra nó bị oxi hoá khi điện phân. Kim loại không trơ thường được làm điện cực.

Khi điện phân với anot tan bên cạnh quá trình oxi hoá anion gốc axit, nước còn có quá trình oxi hoá kim loại làm anot. Nếu kim loại làm anot có thế khử chuẩn nhỏ hơn cặp oxi hoá - khử sẽ thấy có sự oxi hoá kim loại:



Ví dụ: Điện phân dung dịch  $\text{NiSO}_4$  với anot  $\text{Ni}$  ở  $\text{pH} = 7$  sẽ thu được chất gì?

Giải: Ở anot xảy ra sự oxi hoá niken kim loại vì thế khử của cặp  $\text{Ni}^{2+}/\text{Ni}$  nhỏ hơn nhiều so với thế khử của cặp  $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$  và cũng nhỏ hơn nhiều so với thế khử của cặp  $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}/\text{SO}_4^{2-}$ :



### 6.6.4. Định luật điện phân

Nhà bác học Faraday đã thiết lập được định luật điện phân sau đây:

Khối lượng chất tạo thành ở điện cực khi điện phân tỉ lệ với lượng điện đi qua chất điện phân và tuân theo công thức:

$$m = \frac{A}{n} \cdot \frac{Q}{F} = \frac{AIt}{nF} \quad (6.17)$$

Trong đó:  $m$ : Khối lượng chất thoát ra ở điện cực khảo sát (g);

$A$ : Khối lượng mol nguyên tử của chất thoát ra ở điện cực;

$n$ : Số oxi hoá của ion bị khử điện tích ở điện cực khảo sát;

$Q$ : Lượng điện đi qua chất điện cực (C);



F: Hằng số Faraday,  $F = 96500\text{C/mol}$ ;

I: Cường độ dòng điện (A)

t: Thời gian điện phân (s);

Ví dụ: Tính khối lượng Cu thoát ra ở catot khi cho dòng điện 5A đi qua trong dung dịch  $\text{CuSO}_4$  trong 1 giờ.

$$\text{Giải: } m_{\text{Cu}} = \frac{64.5.3600}{2.96500} = 5,43\text{g}$$

## 6.7. Sự ăn mòn kim loại và hợp kim

### 6.7.1. Khái niệm về sự ăn mòn kim loại

Quá trình phá huỷ cấu trúc kim loại và hợp kim dưới tác dụng của môi trường xung quanh gọi là sự ăn mòn kim loại và hợp kim.

#### a. Sự ăn mòn hoá học

Là sự phá huỷ kim loại do tương tác trực tiếp giữa kim loại với các chất hoá học có trong môi trường như:  $\text{O}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , các axit, ba zơ....

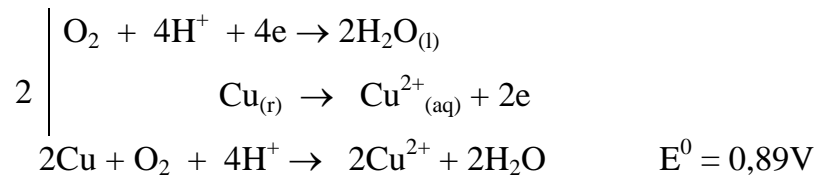
Sự ăn mòn hoá học xảy ra ở nhiệt độ cao hơn ở mức bình thường. Các thiết bị lò, các chi tiết động cơ đốt trong, các tuốc bin khí, vật liệu kim loại khi nhiệt luyện kim...vv...đều chịu sự ăn mòn hoá học.

#### b. Sự ăn mòn điện hoá học

*Sự ăn mòn điện hoá học là sự phá huỷ kim loại hoặc hợp kim do có sự tạo thành các pin điện hoá vi mô.*

Nguyên nhân của sự ăn mòn điện hoá là do kim loại không nguyên chất có chứa cấu tử hợp kim hoặc tạp chất kém hoạt động hơn hoặc kim loại không nguyên chất tiếp xúc với cấu tử khác có tính khử yếu hơn (mối hàn, mối nối vv..). Những kim loại này ở trong không khí ẩm hay trong môi trường nước có hoà tan chất điện li sẽ tạo thành những vi pin điện hoá. Kim loại bị ăn mòn đóng vai trò anot còn cấu tử hoặc tạp chất kia sẽ là catot của pin.

Ví dụ: Sự ăn mòn những đồ đồng thành rỉ màu xanh là do hai nửa phản ứng oxi hoá - khử:



Vì vậy, quá trình ăn mòn diễn ra không đáng kể trong khí quyển. Ion  $\text{Cu}^{2+}$  sinh ra kết hợp với các anion có mặt trong nước ( $\text{HCO}_3^-$ ) tạo thành gỉ đồng màu xanh.

### **c. Sự ăn mòn sinh học**

Sự ăn mòn sinh học xảy ra ở những nơi vật liệu kim loại tiếp xúc với vật liệu không phải kim loại nhưng là môi trường dinh dưỡng cho các loại nấm và vi sinh vật. Trong quá trình sống các vi sinh vật bài tiết ra các axit hữu cơ tạo điều kiện cho sự ăn mòn. Sự ăn mòn đường ống trong lòng đất là trường hợp nghiêm trọng nhất của sự ăn mòn sinh học vì ở đó có điều kiện thuận lợi cho vi sinh vật phát triển.

### **6.7.2. Các phương pháp chống ăn mòn kim loại và hợp kim**

Sự ăn mòn kim loại gây thiệt hại rất lớn về kinh tế. Khoảng 25% thép sản xuất ở Mỹ dùng để thay thế cho thép đã bị ăn mòn trong quá trình sử dụng. Do đó, việc chống ăn mòn kim loại, hợp kim là vấn đề lớn mang tính chất quốc tế đặc biệt đối với những nước có khí hậu nóng ẩm như nước ta. Dưới đây là một số phương pháp chống ăn mòn:

#### **a. Cách li kim loại, hợp kim với các yếu tố ăn mòn**

Người ta phủ lên bề mặt kim loại một lớp dầu mỡ, sơn, véc ni, chất dẻo, men hoặc một lớp mạ (Cr, Ni, Cu, Cd, Sn, Zn, Au.. vv...) để ngăn không cho Fe tiếp xúc với oxi, hơi nước.

Ví dụ: các vật dụng gia đình, công cụ máy móc bằng thép được sơn hoặc bôi dầu mỡ. Sắt làm vỏ đồ hộp được mạ thiếc. Các dụng cụ cần bảo vệ tốt hơn được mạ bằng Cr, Ni. Nếu dùng lớp mạ kẽm (bảo vệ điện hoá) thì sắt được bảo vệ giống như tráng kẽm. Còn nếu dùng lớp mạ đồng, thiếc, niken thì chỉ bảo vệ cho thép không bị ăn mòn khi lớp mạ chưa bị thủng. Khi lớp mạ bị thủng thì sắt lại bị phá huỷ trước. Một số kim loại lại được phủ một lớp oxit trên bề mặt kim loại để bảo vệ. Lớp này trở trong điều kiện không khí và nước ở nhiệt độ thường.

Ví dụ: Sắt được phủ một lớp oxit ( $\text{FeO}$  hoặc  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), nhôm được phủ một lớp oxit nhôm.

### ***b. Phương pháp điện hoá (phương pháp bảo vệ anot)***

Phương pháp này được dùng để bảo vệ sắt thép dùng làm đường ống, tàu thủy, xe tăng, cầu, cột điện, cột đèn..vv...

Vật bảo vệ thường là những tấm hợp kim của magie, nhôm hay tấm kẽm. Những kim loại thường hoạt động hơn sắt nên đóng vai trò anot, còn sắt (đường ống, tàu thủy...) trở thành catot. Khi sự ăn mòn điện hoá học xảy ra, anot nhôm magie hoặc kẽm sẽ bị oxi hoá và bị ăn mòn. Các kim loại Mg, Al, Zn còn có ưu điểm tạo ra oxit, hidroxit bám chắc trên bề mặt làm chậm quá trình ăn mòn của chính nó.

### ***c. Phương pháp làm thay đổi môi trường ăn mòn***

Loại oxi hoà tan trong môi trường và làm cho môi trường bớt đi axit. Để loại oxi, người ta thường dùng các chất khử như:  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ,  $\text{N}_2\text{H}_4$ , Hoặc dùng phương pháp gia nhiệt để làm giảm độ tan của oxi.

Đưa thêm các chất ức chế làm giảm tốc độ ăn mòn. Tùy theo điều kiện môi trường người ta sử dụng chất ức chế khác nhau. Ví dụ: Để bảo vệ gang thép trong nước là các dung dịch muối, người ta dùng  $\text{NaNO}_2$ . Để làm tăng tốc độ đóng rắn bê tông người ta thêm  $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ . Chất này có tác dụng ức chế không gây ra sự ăn mòn thép trong bê tông. Ngoài các chất ức chế là các chất vô cơ, còn có chất ức chế là hợp chất hữu cơ thường là các amin như: Urotropin  $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$ ; octadecylamin  $(\text{C}_{18}\text{H}_{37}\text{NH}_2)$ ; dioctadecylamin  $(\text{C}_{18}\text{H}_{37})_2\text{NH}$ ; các hợp chất dị vòng chứa nito: Urê, thiourê ...vv...

Để chống ăn mòn sinh học, người ta trộn các phé phẩm có tính chống nấm, chống vi sinh vật vào các vật liệu dùng để cách li vật phẩm kim loại với môi trường.

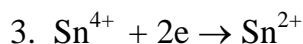
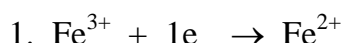
## CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP

### 1. Lý thuyết

**6.1.** Để thiết lập một pin cần những gì? Tại sao nói pin là dụng cụ biến hóa năng thành điện năng?

**6.2.** Suất điện động của pin là gì? Tính và đo suất điện động của pin như thế nào? Các yếu tố làm ảnh hưởng đến suất điện động?

**6.3.** Công thức Nernst cho biết những yếu tố gì ảnh hưởng đến thế khử? Hãy viết công thức Nernst để tính thế khử của các cặp sau:



Tra  $E^0$  của các cặp oxi hóa khử ở phụ lục 5

**6.4.** Viết sơ đồ điện phân dung dịch các chất sau:

1. Dung dịch  $\text{CuCl}_2$  với điện cực than chì.

2. Dung dịch  $\text{CuSO}_4$  với điện cực đồng.

3. Dung dịch  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  với điện cực Pt.

4. Dung dịch  $\text{H}_2\text{SO}_4$  với điện cực than chì.

5. Dung dịch  $\text{KOH}$  với điện cực Pt.

6. Dung dịch  $\text{KNO}_3$  với điện cực Ni.

7. Dung dịch  $\text{LiCl}$  khi có màng ngăn và không có màng ngăn.

**6.5.** Chọn phát biểu đúng cho sơ đồ nguyên tố Gavanii sau:



Biểu thức tính suất điện động của các nguyên tố là:

A.  $E = E^0 - \frac{0,059}{6} \lg \frac{[\text{Cu}^{2+}]}{[\text{Al}^{3+}]}$

B.  $E = E^0 - \frac{0,059}{6} \lg \frac{[\text{Al}^{3+}]}{[\text{Cu}^{2+}]}$

C.  $E = E^0 + \frac{0,059}{2} \lg \frac{[\text{Al}^{3+}]}{[\text{Cu}^{2+}]}$

D. Tất cả đều sai

**6.6.** Chọn phát biểu đúng:

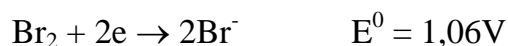
Cho thế khử chuẩn:  $E^0_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}} = 0,77$  và  $E^0_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} = 0,34$

Phản ứng tự diễn biến theo chiều:

- A.  $2\text{Fe}^{2+} + \text{Cu} \rightarrow 2\text{Fe}^{3+} + \text{Cu}^{2+}$   
 B.  $2\text{Fe}^{2+} + \text{Cu}^{2+} \rightarrow 2\text{Fe}^{3+} + \text{Cu}\downarrow$   
 C.  $2\text{Fe}^{3+} + \text{Cu}^{2+} \rightarrow 2\text{Fe}^{2+} + \text{Cu}\downarrow$   
 D.  $2\text{Fe}^{3+} + \text{Cu} \rightarrow 2\text{Fe}^{2+} + \text{Cu}^{2+}$

**6.7. Chọn phát biểu đúng**

Biết thế khử chuẩn của các nửa phản ứng:

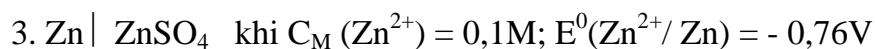
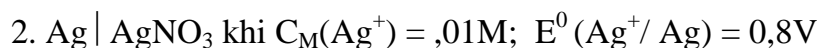
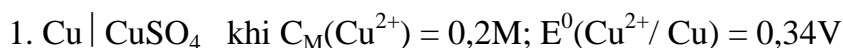


Các chất khử được xếp thành dãy:

- A.  $\text{I}_2 < \text{Br}_2 < \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} < \text{Cl}_2 < \text{MnO}_4^-$   
 B.  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} < \text{Cl}_2 < \text{Br}_2 < \text{MnO}_4^- < \text{I}_2$   
 C.  $\text{Cr}^{3+} < \text{Cl}^- < \text{Br}^- < \text{Mn}^{2+} < \text{I}^-$   
 D.  $\text{Mn}^{2+} < \text{Cl}_2 < \text{Cr}^{3+} < \text{Br}^- < \text{I}^-$

**2. Tính thế điện cực và suất điện động của pin**

**6.8. Tính thế điện cực ở 25°C:**



ĐS: 1. 0,3V; 2. 0,794V ; 3. - 0,789V

**6.9. Tính thế khử của các cặp:  $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$  và  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/\text{Cr}^{3+}$  ở pH = 0 và pH = 5, cho biết nồng độ của các ion = 1M, t = 25°C;**



ĐS: 1,51V; 1,038V và 1,33V; 0,6417V

**6.10. Cho pin thiết lập ở 25°C:**



Viết phương trình phản ứng xảy ra trong pin và tính suất điện động của pin ở 25°C biết độ tan của  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  trong nước nguyên chất tại nhiệt độ đó là  $1,4 \cdot 10^{-2} \text{ mol/l}$  và  $E^0(\text{Ag}^+/\text{Ag}) = 0,8\text{V}$ .

$$\text{ĐS: } E = 0,11\text{V}$$

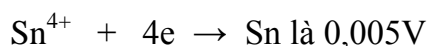
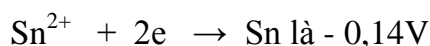
**6.11.** Cho pin có cấu tạo như sau:



áp suất của  $\text{H}_2$  ở 2 điện cực đều bằng 1 atm,  $K_a$  của  $\text{NH}_4^+ = 5,36 \cdot 10^{-10}$ , hãy tính suất điện động của pin ở 25°C?

$$\text{ĐS: } 0,303\text{V}$$

**6.12.** Cho biết thế khử chuẩn ở 25°C của các cặp sau:



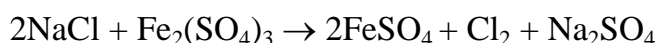
Tính thế khử chuẩn ở 25°C của cặp  $\text{Sn}^{4+}/\text{Sn}^{2+}$  ?

$$\text{ĐS: } 0,15\text{V}$$

### 3. Xét chiều phản ứng và tính hằng số cân bằng

**6.13.** Ở 25°C, Zn và Cu có phản ứng với axit HCl hay không? Tại sao Fe phản ứng với axit HCl chỉ cho sản phẩm là  $\text{FeCl}_2$  mà không phải là  $\text{FeCl}_3$ ?

**6.14.** Phản ứng sau có thể xảy ra theo chiều thuận được không?



$$\text{Biết: } E^0(\text{Cl}_2/\text{Cl}^-) = 1,36\text{V}; E^0(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) = 0,77\text{V}$$

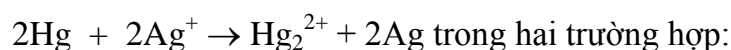
**6.15.** 1. Tính thế oxi hoá - khử của các cặp:  $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$ ;  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$

Biết:  $E^0(\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}) = 1,51\text{V}$ ;  $E^0(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) = 0,77\text{V}$ ;  $C_M(\text{H}^+) = 2\text{M}$ ; Nồng độ các ion khác bằng nhau và bằng 1 mol/l.

$$\text{ĐS: } E^0(\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}) = 1,548\text{V}; E^0(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) = 0,77\text{V}$$

2. Khi trộn 2 cặp chất trên với nhau thì phản ứng xảy ra theo chiều nào?

**6.16.** Hãy xác định chiều của phản ứng sau ở 25°C:

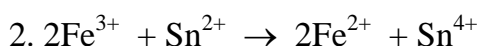
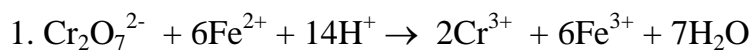


$$1. \text{ Khi } [\text{Ag}^+] = 10^{-4}\text{M}; [\text{Hg}_2^{2+}] = 10^{-1}\text{M};$$

$$2. \text{ Khi } [\text{Ag}^+] = 10^{-1}\text{M}; [\text{Hg}_2^{2+}] = 10^{-4}\text{M};$$

$$\text{Biết } E^0(\text{Hg}_2^{2+}/2\text{Hg}) = 0,79\text{V}; E^0(\text{Ag}^+/\text{Ag}) = 0,8\text{V}$$

**6.17.** Tính hằng số cân bằng của phản ứng ở 25°C:



Biết:  $E^0(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/2\text{Cr}^{3+}) = 1,33\text{V}$ ;  $E^0(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) = 0,77\text{V}$ ;  $E^0(\text{Sn}^{4+}/\text{Sn}^{2+}) = 0,15\text{V}$

ĐS: 1.  $K = 10^{56,95}$ ; 2.  $K = 9,92 \cdot 10^{20}$ ;

**6.18.** Có 2 cặp dung dịch:

1. Dung dịch  $\text{SnCl}_2$  và  $\text{FeCl}_3$ ;

2. Dung dịch  $\text{SnCl}_4$  và  $\text{FeCl}_2$ ;

Cho biết phản ứng xảy ra với trường hợp nào?

Biết  $E^0(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) = 0,77\text{V}$ ;  $E^0(\text{Sn}^{4+}/\text{Sn}^{2+}) = 0,15\text{V}$

#### 4. Bài tập tổng hợp

**6.19.** Để nghiên cứu cân bằng sau ở  $25^\circ\text{C}$ :



Người ta chuẩn bị một dung dịch gồm  $\text{CuSO}_4$  0,5M,  $\text{FeSO}_4$  0,025M,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  0,125M và thêm vào một ít mảnh kim loại Cu

Cho biết chiều của phản ứng?

Tính hằng số cân bằng của phản ứng?

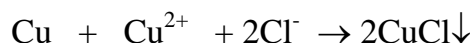
Tính tỉ lệ  $[\text{Fe}^{3+}]/[\text{Fe}^{2+}]$  có giá trị tối thiểu để phản ứng đổi chiều?

Biết  $E^0(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) = 0,77\text{V}$ ;  $E^0(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}) = 0,34\text{V}$

ĐS:  $K = 3,77 \cdot 10^{14}$ ;  $[\text{Fe}^{3+}]/[\text{Fe}^{2+}] < 3,6 \cdot 10^{-8}$

**6.20.** Một dung dịch chứa  $\text{CuSO}_4$  0,1M;  $\text{NaCl}$  0,2M; Cu dư và  $\text{CuCl}$  dư.

Chứng minh rằng xảy ra phản ứng sau ở  $25^\circ\text{C}$ :



Biết  $T_{\text{CuCl}} = 10^{-7}$  và  $E^0(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^+) = 0,15\text{V}$ ;  $E^0(\text{Cu}^+/\text{Cu}) = 0,52\text{V}$

**6.21.** Cho pin có cấu tạo như sau ở  $25^\circ\text{C}$ :



Tính  $\Delta G$  của phản ứng xảy ra trong pin?

Tính nồng độ của ion  $\text{Fe}^{3+}$  và  $\text{Fe}^{2+}$  ở các điện cực khi cân bằng?

Biết  $E^0(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) = 0,77\text{V}$

ĐS:  $\Delta G = - 3472 \text{ (J)}$ ;  $[\text{Fe}^{3+}] = [\text{Fe}^{2+}] = 0,15\text{M}$

**6.22.** Cho pin có sơ đồ sau: (-) Cu | CuSO<sub>4</sub> 0,1M || AgNO<sub>3</sub> 0,001M | Ag (+)

1. Tính suất điện động của pin ở 25°C?
2. Tính hằng số cân bằng ở điều kiện chuẩn?

$$\text{Biết: } E^{\circ}_{\text{Ag}^+/\text{Ag}} = 0,80\text{V} ; E^{\circ}_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} = 0,34\text{V};$$

$$\text{ĐS: } 0,3125\text{V và } 10^{15,6}$$

**6.23.** Cho phản ứng sau ở 25°C:



1. Xét chiều của phản ứng ở điều kiện chuẩn?

2. Chiều của phản ứng có thay đổi không khi cho [Cr<sup>3+</sup>] = 0,01M; [Cu<sup>2+</sup>] = 0,1M; [Cr<sup>2+</sup>] = 0,1M ? Biết  $E^{\circ}_{\text{Cr}^{3+}/\text{Cr}^{2+}} = -0,41\text{V}$  ;  $E^{\circ}_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} = 0,34\text{V}$ ;

[ ]



## CHƯƠNG 7. ĐẠI CƯƠNG VỀ CÁC CHẤT VÔ CƠ

### 7.1. kim loại và phi kim

#### 7.1.1. Kim loại

##### *a. Đặc điểm cấu tạo của kim loại*

Hơn ba phần tư các nguyên tố đã biết là kim loại.

*Nguyên tử của các kim loại có số electron lớp ngoài cùng nhỏ hơn 4 (trừ bo, hidro, heli có bốn electron lớp ngoài cùng). Một số nguyên tử kim loại có số electron ngoài cùng lớn hơn ba đó là gecmani, thiếc, chì. Một số nguyên tử kim loại có năm electron ở lớp ngoài cùng như antimoan, bitmut và poloni có sáu electron ở lớp ngoài cùng.*

##### *Liên kết hoá học trong tinh thể.*

Dựa vào bản chất các mối liên kết hoá học trong tinh thể người ta phân biệt các dạng mạng lưới sau: mạng lưới ion, mạng lưới nguyên tử - mạng lưới cộng hoá trị - mạng lưới phân tử và mạng lưới kim loại.

*Liên kết giữa các nguyên tử trong kim loại là liên kết kim loại, nó có bản chất cộng hoá trị, nhưng khác liên kết cộng hoá trị thông thường ở chỗ các electron hoá trị của các nguyên tử trong tinh thể thuộc sở hữu chung của toàn khối kim loại, chúng rất linh động. Do đặc điểm cấu tạo như trên nên kim loại có những tính chất vật lí giúp chúng ta phân biệt được với phi kim.*

##### *b. Tính chất lí học chung của kim loại*

Ở nhiệt độ thường, các kim loại đều dạng *chất rắn tinh thể (trừ thủy ngân ở thể lỏng)*.

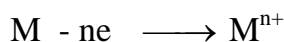
Nhiều kim loại có thể *tồn tại ở một số dạng thù hình* tùy theo nhiệt độ hoặc điều kiện kết tinh. Ví dụ: Sắt có cấu trúc tinh thể lập phương tâm khối ở nhiệt độ thấp hơn  $912^{\circ}\text{C}$  (Fe -  $\alpha$ ). Từ nhiệt độ  $912^{\circ}\text{C}$  đến  $1394^{\circ}\text{C}$  sắt có cấu trúc lập phương tâm mặt (Fe-  $\gamma$ ). Cao hơn nhiệt độ  $1394^{\circ}\text{C}$  cho đến nhiệt độ nóng chảy sắt trở lại cấu trúc lập phương khối.

*Những tính chất lí học đặc trưng của kim loại là tính dẻo, rắn, dẫn điện và dẫn nhiệt tốt, có ánh kim, nhiệt độ nóng chảy và nhiệt độ sôi cao.*

*Ở trạng thái lỏng, nhiều kim loại có thể hoà tan vào nhau tạo ra hợp kim.*

### **c. Tính chất hoá học của kim loại**

*Tính chất hoá học đặc trưng của kim loại là tính khử*



Những kim loại có tính khử mạnh nhất là các kim loại kiềm, rồi đến các kim loại kiềm thổ (Ba, Sr, Ca), tiếp đến là Mg, các kim loại nhóm IIIA và nhóm IIIB. Các kim loại có tính khử yếu là: hầu hết các kim loại nhóm B còn lại, đặc biệt là kim loại ở cuối các nhóm B.

*Đặc trưng cho tính khử của kim loại là thế điện cực tiêu chuẩn ( $E^0$ ) của nó. Kim loại càng hoạt động thì thế điện cực tiêu chuẩn của nó càng nhỏ.*

*Đa số kim loại hoá hợp trực tiếp với oxi, với halogen và một số phi kim.*

*Hầu hết các kim loại phản ứng với lưu huỳnh ở điều kiện khác nhau.*

*Nitơ là phi kim trơ về phương diện hoá học. Ở nhiệt độ thường, hầu như chỉ có liti phản ứng được với nitơ. Khi đun nóng nhiều kim loại nhóm IIA, IIIA, IIIB, IVB, VB, VIB, VIIB, Zn... phản ứng được với nitơ.*

*Ở nhiệt độ thường, các kim loại không phản ứng với cacbon. Ở nhiệt độ cao nhiều kim loại tác dụng được với cacbon, như kim loại các nhóm IIA, IVB, VB, VIB, các lantanoid, các actinoid, liti, nhôm, magie, sắt, coban, đồng...*

*Ở nhiệt độ cao, một số kim loại tác dụng được với hiđro như các kim loại kiềm, kiềm thổ, kim loại các nhóm IIIB, VB, crom... Nhiều kim loại có khả năng hấp thụ hay hoà tan khí hiđro, nhưng không tạo thành hợp chất hoá học như các kim loại họ platin.*

*Nhiều kim loại tác dụng được với nước, dung dịch axit và kiềm tạo thành khí hiđro.*

*Để biết được một số kim loại có thể đẩy được hiđro ra khỏi nước, dung dịch axit hay kiềm ta căn cứ vào hai điều kiện:*

*- Thế khử chuẩn của cặp  $2H^+/H_2$*

*- Hợp chất của kim loại sinh ra do phản ứng không tạo thành lớp bảo vệ*

*ngăn cách kim loại với chất phản ứng*

Thế khử chuẩn ở 25°C của cặp  $2H^+/H_2$  ( $P_{H_2} = 1\text{atm}$ ) ở các môi trường khác nhau:

Môi trường	pH = 0	pH = 7	pH = 14
$E^\circ_{2H^+/H_2}$	0,000	- 0,413	- 0,828

Hầu hết các kim loại có thể khử âm đều đẩy được hidro khỏi  $H_2SO_4$  loãng,  $HCl$ ,  $CH_3COOH$ .

Một số kim loại có thể khử chuẩn âm nhưng không phản ứng hoặc phản ứng hạn chế với  $H_2SO_4$  loãng,  $HCl$  loãng như chì, tali vì tạo thành các hợp chất ít tan bảo vệ cho kim loại.

Một số kim loại có thể khử chuẩn âm như magie, nhôm nhưng khi tác dụng với nước tạo thành  $Mg(OH)_2$ ,  $Al(OH)_3$  ít tan trên bề mặt kim loại bảo vệ cho kim loại.

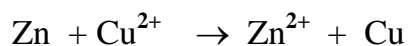
Một số kim loại tác dụng với axit sunfuric đặc và nitric đặc không giải phóng hidro.  $H_2SO_4$  đặc, nóng khi tác dụng với kim loại cho khí  $SO_2$ . Nếu kim loại hoạt động thì ngoài  $SO_2$  còn tạo thành  $S$ ,  $H_2S$ .  $HNO_3$  đặc tác dụng với kim loại có thể tạo thành các sản phẩm  $NO_2$ ,  $NO$ ,  $N_2O$ ,  $N_2$ ,  $NH_4^+$  (cũng có thể tạo thành hỗn hợp sản phẩm) tùy thuộc vào nồng độ, độ hoạt động của kim loại.

$H_2SO_4$  đặc nguội và đặc biệt  $HNO_3$  đặc nguội gây thụ động cho một số kim loại như sắt, nhôm, crom... do tạo thành lớp oxit bên ngoài bền chắc bảo vệ kim loại.

Một số kim loại kém hoạt động như vàng, ruteni, rođi, iridi, vonfram, niobi, tantan... không tác dụng được với các axit riêng biệt nhưng hoà tan trong nước cường toan (hỗn hợp  $HNO_3 + HCl$  đặc hoặc trong hỗn hợp dung dịch  $HF + HNO_3$ )

Nhiều kim loại có thể khử chuẩn bé đẩy được kim loại có thể khử chuẩn lớn hơn ra khỏi dung dịch muối của nó.

Ví dụ:  $E^\circ_{Zn^{2+}/Zn} = - 0,736\text{ V} < E^\circ_{Cu^{2+}/Cu} = 0,337\text{ V}$  nên có phản ứng:



Oxit và hidroxit kim loại có tính bazơ, trong đó một số có tính lưỡng tính ( $Al_2O_3$ ,  $ZnO$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $SeO_2$ ...). Nếu là nguyên tố đa hoá trị thì oxit và hidroxit ứng với số oxi hoá cao nhất của kim loại thường có tính axit. Ví dụ:  $Cr_2O_3$ ,  $Mn_2O_7$ ,  $Cl_2O_7$ ...

## 7.1.2. Phi kim

### a. Đặc điểm cấu tạo của phi kim

Nguyên tử của phi kim có số electron ở lớp ngoài cùng lớn hơn ba (*trừ những trường hợp đã kể ở trên*) trong bảng hệ thống tuần hoàn các phi kim ở góc bên phải. Hiện nay đã biết 16 phi kim trừ các khí hiếm. Các phi kim gồm hidro và một số nguyên tố p.

### b. Tính chất vật lý chung

Ở nhiệt độ thường, phi kim có thể ở *thể khí* (như oxi, nitơ, clo...), ở *thể lỏng dễ bay hơi* (như brom...), ở *thể rắn* (như iot, photpho, lưu huỳnh...). Ở thể rắn phi kim không có tính dẻo, đa số không dẫn điện, nhiệt vì trong tinh thể phi kim không có electron chuyển động tự do. Nhiều tinh thể phi kim dễ nóng chảy, đó là những tinh thể phân tử (halogen). Liên kết trong tinh thể phân tử là liên kết giữa các phân tử (bởi lực Van de Van) rất yếu so với liên kết kim loại trong tinh thể kim loại.

*Hiện tượng thù hình khá phổ biến* ở các phi kim, như oxi có hai dạng thù hình là O<sub>2</sub> và O<sub>3</sub> (ozon). Photpho trắng, photpho đỏ, photpho đen là 3 dạng thù hình của photpho. Cacbon có các dạng thù hình: Kim cương, than chì, cacbon vô định hình. Lưu huỳnh có 2 dạng thù hình: Lưu huỳnh tà phương (S $\alpha$ ) và lưu huỳnh đơn tà (S $\beta$ ).

Tính chất lí học, tính chất hoá học của các phi kim của một số chất phụ thuộc nhiều dạng thù hình.

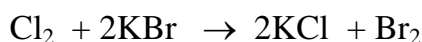
### c. Tính chất hoá học chung

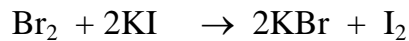
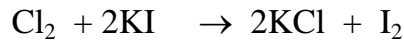
*Tính chất hoá học cơ bản của phi kim là tính oxi hoá*  $A + ne \rightarrow A^{n-}$  (trong đó n tính bằng hiệu số giữa 8 và số thứ tự nhóm của phi kim - trừ trường hợp nguyên tử phi kim liên kết với nhau thành “dây” như -O-O-; >N-N< ...

*Gặp chất oxi hoá mạnh, phi kim cũng có thể nhận electron nhưng chỉ tạo liên kết cộng hoá trị vì độ âm điện của phi kim lớn.* Do đó, phi kim nói chung có cả tính oxi hoá và tính khử. Trong hợp chất, nguyên tử phi kim có thể có số oxi hoá dương và âm.

Đặc trưng cho tính oxi hoá - khử của phi kim là thế điện cực chuẩn (E<sup>0</sup>) của nó. *Thế điện cực tiêu chuẩn của phi kim càng lớn, tính oxi hoá càng mạnh.*

Ví dụ: Thế khử chuẩn của clo, brom và iot lần lượt là 1,36V; 1,07V và 0,54V nên clo oxi hoá được Br<sup>-</sup>, I<sup>-</sup>, còn brom oxi hoá được I<sup>-</sup>.





Đa số phi kim kết hợp trực tiếp với *kim loại* tạo thành muối (halogenua, sunfua...), với *hiđro* thành chất khí hoặc chất lỏng dễ bay hơi (hiđrohalogenua, hiđrosunfua...), với *oxi* tạo thành oxit.

Đa số *oxit phi kim có tính axit* (như  $\text{N}_2\text{O}_5$ ,  $\text{SO}_3$ ...) ứng với các axit (như  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ...). Ngoài *tính axit*, các *oxit axit còn có tính khử, tính oxi hoá hoặc cả tính oxi hoá và tính khử* tùy thuộc vào số oxi hoá của phi kim trong hợp chất.

Các hợp chất của phi kim với hiđro như  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HCl}$ ... đều có *tính khử* vì trong các hợp chất đó phi kim có số oxi hoá âm. Các hợp chất loại này có thể là *trung tính*, hoặc có *tính bazơ* hay *tính axit*.

*Phi kim thường là nguyên tố đa hoá trị, nên các hợp chất của nó có thể có tính khử, tính oxi hoá hoặc cả hai tính đó.*

## 7.2. Một vài nét về các bộ nguyên tố

Căn cứ vào các đặc điểm cấu tạo nguyên tử của các nguyên tố, người ta chia các nguyên tố thành các bộ: nguyên tố bộ s, bộ p, bộ d và bộ f.

### 7.2.1. Các nguyên tố bộ s

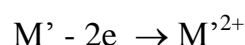
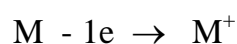
Các nguyên tố bộ s gồm: H, He, các nguyên tố kim loại kiềm (nhóm IA) và các nguyên tố kim loại kiềm thổ (IIA). He là khí trơ, H là nguyên tố s như là phi kim. Như thế, có thể coi bộ s gồm các nguyên tố kim loại kiềm (kí hiệu M) và kiềm thổ (kí hiệu M').

#### a. Đặc điểm cấu tạo vỏ electron

Cấu hình electron lớp vỏ nguyên tử của các nguyên tố M là  $ns^1$ , các nguyên tố M' là  $ns^2$ . Lớp electron bên trong sát lớp vỏ là lớp electron của khí hiếm. Do đó electron hoá trị của các nguyên tố s chỉ là 1 hoặc 2.

#### b. Tính chất hoá học

Tính chất cơ bản của nguyên tố bộ s là *tính khử mạnh* nên các kim loại M và M' là những kim loại hoạt động mạnh, chúng là những kim loại điển hình:



*Thế điện cực tiêu chuẩn của các kim loại M và M' nhỏ hơn so với đa số kim loại đã biết.*

• **Các kim loại kiềm M**

Các kim loại kiềm gồm liti (Li), natri (Na), kali (K), Rubiđi (Rb), xesi (Cs) và franxi (Fr). Fr là nguyên tố phóng xạ tự nhiên.

Do có một electron hoá trị, các nguyên tử kim loại kiềm rất dễ mất một electron hoá trị biến thành ion dương  $M^+$ . *Chúng là những kim loại rất hoạt động.* Điều đó thể hiện ở năng lượng ion hoá thứ nhất rất thấp của những nguyên tử kim loại kiềm.

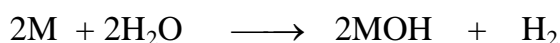
Ở điều kiện thường và trong không khí khô, kim loại Li bị *phủ một lớp màu xám* gồm  $Li_2O$  và  $Li_3N$ , natri bị phủ lớp  $Na_2O_2$  và có lẫn một ít  $Na_2O$ , Kali bị phủ lớp  $KO_2$  ở lớp ngoài và bên trong là lớp  $K_2O$ , Rubiđi và xesi tự bốc cháy tạo thành  $RbO_2$ ,  $CsO_2$ .

Các kim loại kiềm bốc cháy trong khí *clo* khi có mặt hơi ẩm ở nhiệt độ thường.

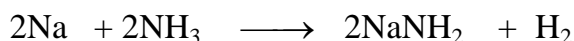
Phản ứng nổ cũng xảy ra khi nghiền kim loại kiềm với *bột lưu huỳnh*.

Khi đun nóng hỗn hợp nitơ, cacbon và silic, chỉ có Li tác dụng trực tiếp tạo nên  $Li_3N$ ,  $LiC_2$  và  $Li_6Si_2$ .

Khi đun nóng các kim loại kiềm với *hiđro* tạo nên các hiđrua ion:  $NaH$ ,  $LiH$ . Các kim loại kiềm tương tác mạnh mẽ với *nước* vì có thế điện cực rất thấp:



Khi đun nóng trong *khí amoniac*, các kim loại kiềm dễ tạo thành amidua.



(natri amidua)

Các kim loại kiềm có thể thay thế H trong các *axit hữu cơ* tạo nên muối ion như natri axetat, kali benzoat.

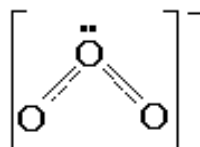
Các kim loại kiềm phản ứng mạnh với nước và nhiều chất trong không khí, nên người ta thường bảo quản chúng trong dầu hoá.

Các *oxit kim loại* kiềm gồm oxit thường ( $M_2O$ ), peoxit  $M_2O_2$  và supeoxit  $MO_2$  và ozonit.

Các *oxit thường* của *kim loại kiềm* là *oxit bazơ*. Tất cả các oxit kim loại kiềm - trừ  $Li_2O$  - tương tác với oxi ngay ở nhiệt độ tạo nên peoxit.

Các peoxit  $M_2O_2$  và supeoxit  $MO_2$  đều là *chất oxi mạnh*. Trong số các peoxit và supeoxit thì quan trọng nhất đối với thực tế là natri peoxit ( $Na_2O_2$ ). Còn trong supeoxit, hợp chất thường được xét kĩ là kali supeoxit ( $KO_2$ ).

*Ozonit* là oxit có chứa ion  $O^{3-}$  ở trong mạng lưới tinh thể. Ion này có cấu tạo tương tự ozon nhưng thuận từ.



Người ta đã biết được ozonit của kim loại kiềm như  $KO_3$ ,  $RbO_3$  và của ion amoni  $NH_4O_3$ .

*Hiđroxit của các kim loại kiềm MOH* là những chất kiềm mạnh.

*Muối của các kim loại kiềm*, người ta biết được muối kim loại kiềm của tất cả các axit. Phần lớn là hợp chất ion, ở dạng tinh thể. Trong dung dịch nước, hầu hết các muối kim loại kiềm đều phân li hoàn toàn thành ion.

#### • Các kim loại kiềm thổ $M'$

Các kim loại kiềm thổ gồm các nguyên tố: berili (Be), magie (Mg), canxi (Ca), stronti (Sr), bari (Ba) và radi (Ra). Ra là nguyên tố phóng xạ.

Do có hai electron hoá trị  $ns^2$ , các nguyên tử kim loại kiềm thổ thường *dễ mất hai electron* để biến thành ion  $M'^{2+}$ , nghĩa là chúng là những *kim loại hoạt động* và khả năng *hoạt động tăng dần từ Be đến Ra*. So với kim loại kiềm trong cùng một chu kì, kim loại kiềm thổ kém hoạt động hơn.

*Oxit của kim loại kiềm thổ* cũng có oxit thường  $M'O$  và peoxit  $M'O_2$ .

*Các hiđroxit  $M'(OH)_2$*  đều bao gồm hoàn toàn những ion kim loại và ion  $OH^-$ . Trong dung dịch nước là những bazơ và tính bazơ đó tăng lên từ Be đến Ba.

*Các muối của kim loại kiềm thổ* ở dạng tinh thể, trong dung dịch nước phân li hoàn toàn.

#### 7.2.2. Các nguyên tố bộ p

Bộ p gồm có các nguyên tố p có electron sau cùng điền vào orbital p, chúng ở các nhóm IIIA, IVA, VA, VIA, VIIA và nhóm khí hiếm. Ta không xem xét các khí hiếm, nên trong mỗi chu kì - trừ chu kì I - đều có 5 nguyên tố từ  $ns^2np^1$  đến  $ns^22p^5$

### a. Đặc điểm cấu tạo vỏ electron của nguyên tử

Lớp vỏ electron hoá trị của các nguyên tố p chưa bão hoà, nhưng lớp electron bên trong sát lớp đó là lớp electron giống khí hiếm hoặc lớp electron bão hoà tương đối bền. Do đó số electron hoá trị của nguyên tố p bằng số thứ tự nhóm của nó hoặc bằng tổng số electron s và p ở lớp vỏ electron hoá trị của nguyên tử.

### b. Tính chất hoá học

Một số nguyên tố p là phi kim, vì chúng có xu hướng nhận electron để có lớp vỏ electron ngoài cùng bền  $ns^2np^6$ . Tính chất đó đặc trưng ở các nguyên tố O, N, S và các halogen.

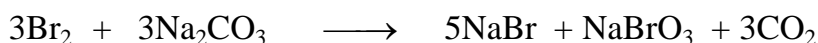
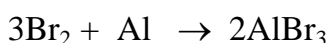
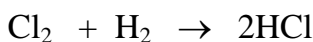
#### • Nhóm halogen gồm flo (F), clo (Cl), brom(Br) và iot (I)

Nhóm halogen ở nhóm VIIA, có 7 electron hoá trị. Trong các hợp chất, F chỉ có số oxi hoá là -1, các nguyên tố khác có số oxi hoá là -1, +1, +3, +5, +7.

Các halogen là những phi kim điển hình có tính oxi hoá rất mạnh và giảm dần từ F đến I, nên halogen trước có thể đẩy được halogen sau ra khỏi dung dịch muối.

Flo là phi kim hoạt động mạnh nhất, phản ứng được với hầu hết các đơn chất và nhiều hợp chất. Flo kết hợp với oxi tạo thành  $F_2O$ .

Các halogen hoá hợp trực tiếp với nhiều đơn chất và hợp chất, ví dụ:



Các halogen tan ít trong nước, nhưng phản ứng một phần với nước:



Các hidrohaleogenua HX dễ tan trong nước tạo thành các axit mạnh và có tính khử, trong đó  $I^-$  có tính khử mạnh nhất. Ví dụ:



Hợp chất với oxi của clo, Clo tạo ra một số oxit như  $Cl_2O$ ,  $ClO_2$ ,  $Cl_2O_7$ .

Clo tạo ra các oxi axit:  $HOCl$ ,  $HOClO$ ,  $HOClO_2$ ,  $HOClO_3$ . Trong dãy oxiaxit này tính axit và tính bền của các dung dịch axit tăng dần. Do đó axit hipoclorơ ( $HOCl$ ) là axit yếu nhưng tính oxi hoá mạnh, còn dung dịch axit pecloric  $HOClO_3$  là axit mạnh, nhưng tính oxi hoá yếu.



Trong thực tế, người ta sử dụng tính oxi hoá mạnh của HOCl dưới dạng nước Javen, clorua vôi  $\text{CaOCl}_2$  để tẩy màu và sát trùng.

### • Oxi và lưu huỳnh

Oxi ở nhóm VIA, là một phi kim điển hình, số oxi hoá phổ biến của oxi là -2 trong peoxit (như  $\text{H}_2\text{O}_2$ ), số oxi hoá là -1, còn trong hợp chất  $\text{F}_2\text{O}$  có số oxi hoá là +2.

Oxi có thể tác dụng trực tiếp ở nhiệt độ thường và nhất là ở nhiệt độ cao với hầu hết các nguyên tố trừ các halogen, khí hiếm và một số kim loại quý.

Hiđropeoxit là chất lỏng, dễ tan nhưng dễ bị phân huỷ

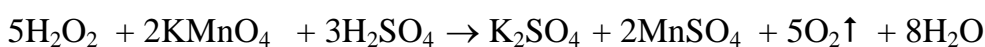
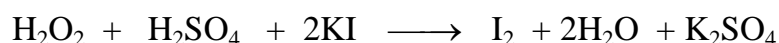


Hiđro peoxit là axit yếu:



Sự phân li nấc thứ 2 hầu như không xảy ra.

$\text{H}_2\text{O}_2$  có “dây” oxi hoặc có gốc  $\text{O}_2^{2-}$ , nên  $\text{H}_2\text{O}_2$  có cả tính oxi hoá và tính khử. Ví dụ:



Lưu huỳnh S cũng ở nhóm VIA là phi kim. Lưu huỳnh là nguyên tố tương đối hoạt động: Ở nhiệt độ thường kém hoạt động, khi đun nóng tương tác với hầu hết các nguyên tố trừ khí hiếm, iốt, vàng và platin.

Hiđrosunfua  $\text{H}_2\text{S}$  có mùi đặc trưng, ít tan trong nước. Dung dịch  $\text{H}_2\text{S}$  là axit hai lần nhưng rất yếu.  $\text{H}_2\text{S}$  có tính khử.

Anhiđrit sunfuro  $\text{SO}_2$  dễ tan trong nước tạo thành axit sunfuro  $\text{H}_2\text{SO}_3$ . Đó là axit 2 lần nhưng rất yếu.  $\text{SO}_2$  và  $\text{H}_2\text{SO}_3$  có cả tính oxi hoá và tính khử.

Anhiđrit sunfuric  $\text{SO}_3$  tồn tại ở trạng thái hơi, khi tan vào nước tạo thành dung dịch Axit sunfuric là axit mạnh.



$\text{H}_2\text{SO}_4$  đặc có tính oxi hoá mạnh.

Axit pesunfuric  $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_8$  là axit mạnh và có tính oxi hóa mạnh.

### • Nitơ và các hợp chất của nitơ

Cấu hình lớp vỏ electron hoá trị của nguyên tử nitơ N là  $2s^2 2p^3$ . Nitơ là một phi kim, trong các hợp chất, nitơ có số oxi hoá là -3, +3 và +5. Ở nhiệt độ thường, nitơ là một trong những chất trơ nhất nhưng ở nhiệt độ cao nó trở nên hoạt động hơn, nhất là khi có xúc tác. Nguyên nhân là do ở đk thường nitơ tồn tại trạng thái phân tử gồm 2 nguyên tử, liên kết giữa hai nguyên tử N có năng lượng rất lớn, phân tử  $N_2$  rất bền với nhiệt, ở  $3000^\circ\text{C}$  chưa phân huỷ rõ rệt thành nguyên tử.

Amoniac  $NH_3$  là chất khí, dễ tan trong nước tạo ra bazơ yếu,  $NH_3$  có tính chất khử

Axit nitric là axit mạnh và có tính oxi hoá mạnh.

### • Một số kim loại thuộc bộ p

Một số nguyên tố p là kim loại vì chúng có khả năng nhường electron. Một số đặc điểm quan trọng của kim loại bộ p:

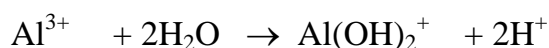
- Một số oxit và hiđroxit của chúng có tính chất lưỡng tính

- Ion có số hoá trị thấp ( $Sn^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$  ...) có tính khử, còn khi có oxi hoá cao nhất chỉ có tính oxi hoá

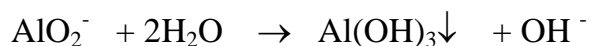
Nhôm Al có cấu trúc lớp vỏ electron hoá trị là  $3s^1 3p^2$ .

Nhôm là kim loại hoạt động. Al tác dụng được với các phi kim, tác dụng với dung dịch axit (trừ  $HNO_3$ ,  $H_2SO_4$  đặc nguội),  $H_2O$  (nhưng phản ứng chậm vì tạo ra  $Al(OH)_3$  khó tan). Al còn phản ứng với dung dịch kiềm mạnh.

Oxit nhôm và nhôm hiđroxit là hợp chất lưỡng tính. Đa số muối nhôm dễ tan và bị phân huỷ vì tính axit  $Al(OH)_3$  rất yếu. Ví dụ, dung dịch muối  $Al^{3+}$  có tính axit, ion  $Al^{3+}$  có thể bị thủy phân theo phản ứng:

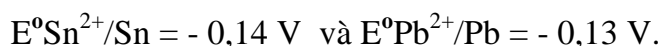


Dung dịch  $NaAlO_2$  có tính bazơ vì ion  $AlO_2^-$  có thể bị phân huỷ như sau:



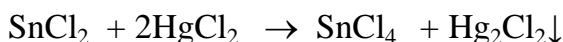
Ion  $Al^{3+}$  bị thủy phân khá mạnh trong nước thành keo  $Al(OH)_3$

Thiếc Sn có cấu hình lớp vỏ electron hoá trị là  $5s^2 5p^2$  và của chì là  $6s^2 6p^2$ . Cả hai nguyên tố đều có tính kim loại, có thế điện cực tiêu chuẩn là:



Các oxit  $MO$ ,  $MO_2$  và hidroxit  $M(OH)_2$ ,  $M(OH)_4$  của thiếc và của chì là những hợp chất lưỡng tính nên dễ tan trong dung dịch axit mạnh và trong dung dịch kiềm mạnh.

Các muối halogen của  $Sn^{2+}$  (như  $SnCl_2$ ) dễ tan và bị thủy phân, chúng có *tính khử*. Ví dụ:



Các hợp chất  $Sn^{4+}$  có *tính oxi hoá rất yếu*.

Các hợp chất  $Pb^{4+}$  có *tính oxi hoá mạnh*. Ví dụ:



Các hợp chất của Sn và Pb đều rất độc

### 7.2.3. Các nguyên tố bộ d

Bộ d gồm các nguyên tố d. Ta chỉ xét nguyên tố d ở các chu kì 4, 5, 6. Mỗi chu kì có 10 nguyên tố d từ nguyên tố  $(n-1)d^1ns^2$  đến nguyên tố  $(n-1)d^{10}ns^2$  – trừ nguyên tố Pd  $4d^{10}5s^0$

#### a. Đặc điểm cấu tạo vỏ electron của nguyên tử

Nguyên tử các nguyên tố d chỉ có 1 hoặc 2 electron s ở lớp ngoài cùng. Lớp sát lớp ngoài cùng có phân lớp d chưa bão hoà hoặc vừa mới bão hoà. Năng lượng electron ns và  $(n-1)d$  nêu trên gần nhau nên electron hoá trị của các nguyên tố ngoài các electron phân lớp ns có một số electron ở phân lớp  $(n-1)d$ . Vì vậy, *hầu hết các nguyên tố d là nguyên tố đa hoá trị, nhiều nguyên tố có số hoá trị cao bằng số thứ tự nhóm, ví dụ Mn, Cr, Mo.*

#### b. Tính chất hoá học

*Tính chất hoá học cơ bản của các nguyên tố bộ d là tính khử, có tính kim loại nhưng yếu hơn kim loại bộ s. Do đặc điểm trên nên ion các nguyên tố d có một số đặc điểm quan trọng:*

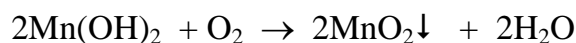
*Ion có số hoá trị thấp (như  $Fe^{3+}$ ,  $Cr^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ...) luôn có tính khử, nhưng khi có số oxi hoá cao nhất (có thể ở dạng anion như  $MnO_4^-$ ,  $Cr_2O_7^{2-}$ ,...) thì luôn có tính oxi hoá. Ion có số oxi hoá trung gian có cả tính khử và tính oxi hoá.*

*Ion có khả năng tạo phức chất với nhiều phối tử khác nhau. Thường gặp các phức chất của  $Cu^{2+}$  và  $Ag^+$  với  $NH_3$ , của  $Fe^{3+}$  và  $Fe^{2+}$  với ion  $CN^-$*



Mn tạo được các oxit:  $MnO$ ,  $Mn_2O_3$ ,  $MnO_2$ ,  $Mn_2O_7$  theo chiều tăng số oxi hoá của mangan thì tính bazơ giảm dần, tính axit tăng dần.  $MnO$  và  $Mn_2O_3$  là oxit bazơ,  $MnO_2$  là oxit lưỡng tính,  $Mn_2O_7$  là oxit axit tương ứng với axit pemanganic  $HMnO_4$ .

Hợp chất của  $Mn^{2+}$  có tính khử:



Ion  $Mn^{2+}$  có thể tạo phức chất với  $NH_3$  và  $CN^-$ ...

Hợp chất của  $Mn^{4+}$  có cả tính oxi hoá và tính khử.

Hợp chất của  $Mn^{7+}$  có tính oxi hoá mạnh. Trong hoá học dùng  $KMnO_4$  để định lượng chất khử như:



#### • Crom và một số hợp chất của Crom

Crom có cấu hình vỏ electron hoá trị có dạng  $(n-1)d^5ns^1$

Crom là kim loại, trong đó các hợp chất thường các số oxi hoá +3 và +6.

Crom tạo với oxi tạo thành 3 oxit:  $CrO$  (oxit bazơ),  $Cr_2O_3$  (oxit lưỡng tính),  $CrO_3$  (oxit axit). Tương ứng với các oxit đó là  $Cr(OH)_2$  có tính bazơ;  $Cr(OH)_3$  lưỡng tính,  $H_2CrO_4$  là axit mạnh.

Các hợp chất  $Cr^{2+}$  có tính khử mạnh, ví dụ:



Các hợp chất  $Cr^{6+}$  như  $K_2CrO_4$ ,  $K_2Cr_2O_7$  có tính oxi hoá. Ví dụ:



#### • Kẽm, thuỷ ngân và một số hợp chất của chúng

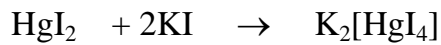
Cấu hình vỏ electron hoá trị của nguyên tử kẽm (Zn) và thuỷ ngân (Hg) có dạng  $(n-1)d^{10}ns^2$ . Cả hai nguyên tố ở nhóm IIB. Kẽm và thuỷ ngân đều là kim loại, trong đó thuỷ ngân kém hoạt động ( $E^0_{Hg^{2+}/Hg} = 0,854V$ ). Trong các hợp chất Zn chỉ có số oxi hoá +2, còn Hg có số oxi hoá +1 (do có "đây" - Hg - Hg-) và +2

Các oxit  $ZnO$ ,  $HgO$  có tính bazơ.

Hiđroxit  $Zn(OH)_2$  có tính lưỡng tính, có khả năng tan trong  $NH_4OH$  do ion  $Zn^{2+}$  tạo phức với  $NH_3$

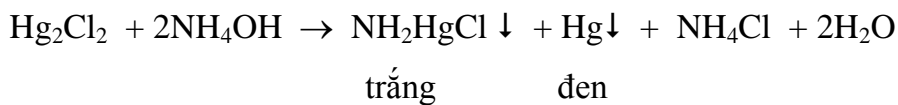
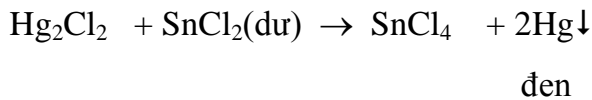
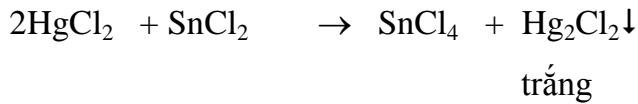
$Hg(OH)_2$  coi như không có vì nó bị phân tích thành  $HgO$  ngay khi vừa tạo thành.

Các ion  $Zn^{2+}$  và  $Hg^{2+}$  có khả năng tạo phức chất. Ví dụ:



(đỏ son) (không màu)

Ion  $\text{Hg}^{2+}$  có tính oxi hoá, ion  $\text{Hg}_2^{2+}$  có tính khử và tính oxi hoá. Ví dụ:



• **Đồng, bạc và một số hợp chất của đồng, bạc**

Cấu hình vỏ electron hoá trị của nguyên tử đồng (Cu) và bạc (Ag) có dạng  $(n-1)d^{10}ns^1$ . Hai nguyên tố đều ở nhóm IB.

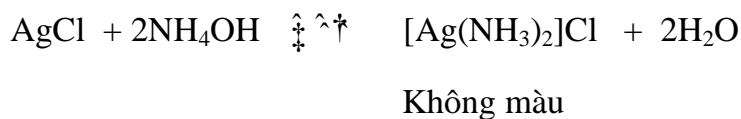
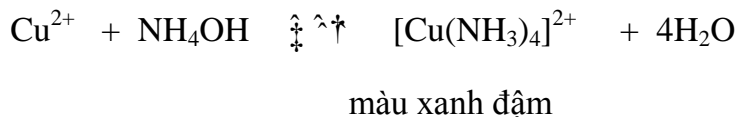
Đồng, bạc đều là kim loại kém hoạt động. Trong các hợp chất thường gặp Ag có số oxi hoá +1, Cu có số oxi hoá +1 và +2.

Các oxit  $\text{CuO}$ ,  $\text{Ag}_2\text{O}$  có tính bazơ

$\text{Cu}(\text{OH})_2$  khó tan, có tính bazơ

Thực tế không có  $\text{AgOH}$  vì nó bị phân tích thành  $\text{Ag}_2\text{O}$  ngay khi vừa tạo thành.

Các ion  $\text{Cu}^{2+}$  và  $\text{Ag}^+$  dễ tạo phức chất. Ví dụ:



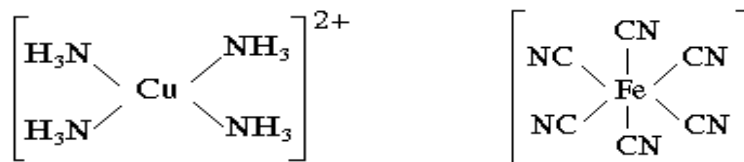
**7.3. Khái niệm về phức chất**

Khi nghiên cứu các nguyên tố bộ d chúng ta đã thấy các nguyên tố bộ d có khả năng tạo phức chất  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ ,  $\text{K}_2[\text{HgI}_4]$ ,  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ...

Người ta chia cấu tạo của phức chất gồm cầu nội phức chất và cầu ngoại phức chất. Cầu nội phức chất (còn gọi là ion phức) gồm *chất tạo phức chất* và *phối tử* được viết trong dấu móc vuông. *Chất tạo phức* thường là *ion dương kim loại*, đặc biệt là các

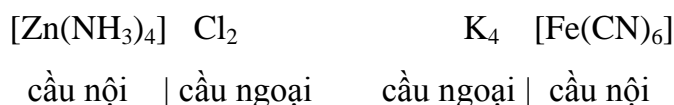
ion kim loại chuyển tiếp như  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{3+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ... *Phối tử* có thể là ion âm ( $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{OH}^-$ ) hoặc phân tử ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ).

Các ion phức có cấu tạo như sau:



Điện tích của cầu nội là tổng điện tích của các ion ở trong cầu nội.

Những ion nằm ngoài và ngược dấu với cầu nội tạo nên *cầu ngoại*.



Số phối tử bao quanh chất tạo phức xác định *số phối tử của chất tạo phức*.

Ví dụ: Số phối tử của ion  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  trong hai chất phức trên là 4 và 6. Một số chất tạo phức có số phối tử cố định trong tất cả các phức chất, ví dụ như  $\text{Cr}^{3+}$  và  $\text{Pt}^{4+}$  luôn luôn có số phối tử là 6. Đa số chất tạo phức có thể có số phối tử khác nhau tùy thuộc vào bản chất của phối tử và điều kiện tạo thành phức chất, ví dụ ion  $\text{Ni}^{2+}$  trong phức chất có thể có các số phối tử 4 và 6.

Trong ion phức số các phối tử vượt quá số cần thiết ứng với hoá trị cổ điển của nhân trung tâm trong các hợp chất thông thường. Ví dụ:  $\text{Ag}^+$  có hoá trị 1, nhưng liên kết được hai phân tử  $\text{NH}_3$ ;  $\text{Fe}^{2+}$  có hoá trị 2, nhưng liên kết được 6 ion  $\text{CN}^-$ . Đây là dấu hiệu chính để nhận biết một phức chất.

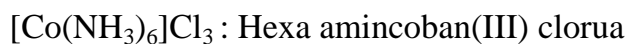
Người ta cũng gặp những phức chất không có cầu ngoại, như  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_3\text{Cl}_3]$ , phức chất có nhiều hơn một nhân trung tâm, như  $[\text{Co}_2(\text{NH}_3)_8(\text{OH})_2](\text{NO}_3)_2$  hoặc một phân tử phức chất chứa hai ion phức, như  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4][\text{PtCl}_4]$ .

• **Tên gọi của phức chất.**

Giống với hợp chất đơn giản, tên gọi của phức chất bao gồm *tên của cation* và *tên của anion*.

Tên gọi của ion phức gồm có: số phối tử và tên phối tử là anion, số phối tử và tên của phối tử là phân tử trung hoà, tên của nguyên tử trung tâm và số oxi hoá.

Ví dụ: tên gọi của một số phức chất:

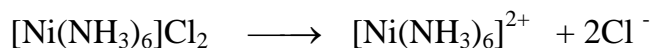


$\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4]$ : Natri tera hidrozoцинat

$\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  : Kali hexa xianoferrat(II)

Khi phức chất tan trong nước, phân tử của nó phân li hoàn toàn ra ion phức và cầu ngoại của phức chất. Sau đó ion phức phân li không hoàn toàn ra từng phối tử.

Ví dụ:



Mỗi phương trình phân li không hoàn toàn ra phối tử ứng với hằng số điện li của ion phức. Từ các hằng số này ta có thể biết được mức độ phân li của ion phức trong dung dịch.

Một số phối tử là hợp chất hữu cơ có thể tạo phức chất vòng càng với ion kim loại. Ví dụ, etylendiamin tạo nên vòng 5 cạnh, còn axetylaxetom tạo nên vòng 6 cạnh:



Trong hoá học phân tích, người ta dùng trilon B (muối dinatri của EDTA) để định lượng các cation kim loại;

Để nhận biết các peptit có từ hai liên kết peptit trở lên người ta cho protein tác dụng với  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  trong môi trường kiềm cho phức chất có màu xanh tím.

Trong y học, người ta dùng muối Na-Ca của EDTA để loại những ion kim loại nặng như  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  và  $\text{Cd}^{2+}$  ra khỏi cơ thể khi bị ngộ độc bởi những kim loại đó. Điều đáng chú ý là một số muối khó tan như  $\text{BaSO}_4$  có thể tan trong dung dịch trilon B. Tương tự như vậy, các cặn trong nồi hoá hơi có thể tan trong dung dịch trilon B.

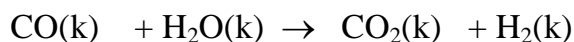


## CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP

- 7.1.** Nêu các tính chất vật lí và hoá học thể hiện sự khác nhau giữa kim loại và phi kim ?
- 7.2.** Giải thích tại sao các kim loại kiềm có tính khử mạnh nhất so với các kim loại khác trong bảng tuần hoàn và tính chất này tăng dần từ trên xuống dưới trong nhóm. Lấy ví dụ minh họa.
- 7.3.** Điều kiện để một kim loại đẩy được hiđro ra khỏi axit ( $H_2SO_4$  loãng, HCl) ra khỏi nước (ở pH = 7) là gì? Lấy ví dụ minh họa.
- 7.4.** Tại sao một kim loại tác dụng với  $H_2SO_4$  đặc, nóng và  $HNO_3$  không cho hiđro? Sản phẩm của phản ứng là gì? Lấy ví dụ minh họa.
- 7.5.** Viết các phương trình phản ứng sau:
1.  $Fe + Cl_2$  ;
  2.  $Fe + HCl$
  3.  $Fe + Fe^{3+}$  ;
  4.  $Fe^{2+} + Ag^+$
  5.  $Fe + S$  ;
  6.  $Fe + C$
- 7.6.** Giải thích vì sao hiđro vừa có tính khử, vừa có tính oxi hoá. Trong hai khuynh hướng đó khuynh hướng nào là điển hình?
- 7.7.** Tại sao flo không có số oxi hoá dương trong các hợp chất và chỉ có hoá trị 1, trong khi đó các halogen khác lại có cả số oxi hoá dương và có các hoá trị 1, 3, 5, 7?
- 7.8.** 1. So sánh cấu tạo phân tử hiđrosunfua với cấu tạo phân tử nước.  
2. Tại sao ở điều kiện thường  $H_2S$  là chất khí, nhưng  $H_2O$  lại là chất lỏng?
- 7.9.** Điện phân hiđrua LiH nóng chảy sẽ thu được khí hiđro ở anot hay catot? Giải thích.
- 7.10.** Giải thích tại sao HF,  $NH_3$  lại có nhiệt độ nóng chảy và sôi cao bất thường và độ tan trong nước lớn hơn nhiều so với các hợp chất cùng loại trong nhóm?
- 7.11.** Viết các phương trình phản ứng sau:
- $$Cl_2 + KBr \rightarrow \dots\dots\dots$$
- $$Br_2 + KI \rightarrow \dots\dots\dots$$
- Từ hai ví dụ trên hãy cho biết tính oxi hoá của  $Cl_2$ ,  $Br_2$ ,  $I_2$  và tính khử của  $Cl^-$ ,  $Br^-$ ,  $I^-$  biến đổi như thế nào trong nhóm halogen. Giải thích.

**7.12.** Tại sao khi trộn hai dung dịch  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$  và  $\text{Na}_2\text{S}$  không thu được  $\text{Cr}_2\text{S}_3$  mà thu được  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  và  $\text{H}_2\text{S}$ .

**7.13.** Phản ứng:



Ở  $850^\circ\text{C}$  có  $K = 1$ .

1. Tính tỉ lệ chuyển hoá của CO nếu xuất phát từ hỗn hợp đồng phân tử của CO và  $\text{H}_2\text{O}$  ở  $850^\circ\text{C}$ .

2. Nếu dùng số mol  $\text{H}_2\text{O}$  gấp 99 lần số mol CO thì tỉ lệ chuyển hoá của CO là bao nhiêu?

ĐS: 1.  $\alpha = 0,5$ ; 2.  $\alpha = 0,99$ .

**7.14.** Độ hoà tan của  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  trong nước nguyên chất ở  $25^\circ\text{C}$  và  $100^\circ\text{C}$  lần lượt là  $8,99 \cdot 10^{-3}$  và  $4,002 \cdot 10^{-2}$  g/l.

1. Tính tích số của  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  ở hai nhiệt độ trên.

2. Tính pH của dung dịch bão hoà ở  $25^\circ\text{C}$

ĐS: 1.  $T_{\text{Mg}(\text{OH})_2} = 1,49 \cdot 10^{-11}$

2.  $\text{pH} = 10,49$

**7.15.** Dung dịch bão hoà  $\text{AgCl}$  có  $\text{pH} = 7$ . Trộn 950 ml bão hoà  $\text{AgCl}$  với 50 ml dung dịch  $\text{HCl}$  1M. Tính pH của dung dịch và nồng độ của  $\text{Ag}^+$  sau khi trộn, biết rằng  $T_{\text{AgCl}} = 1,77 \cdot 10^{-10}$ .

ĐS:  $\text{pH} = 1,3$ ;  $s = 3,54 \cdot 10^{-9}$  M

**7.16.** Trong số các kim loại kiềm dưới đây, kim loại nào có năng lượng ion hoá cao nhất.

A. Cesi;

B. Liti;

C. Kali;

D. Rubidi

**7.17.** Cho sơ đồ sau:



Hãy cho biết X là chất nào trong số các chất sau đây?

A. Fe

B. FeS

C.  $\text{FeSO}_3$

D. cả A, B, C

**7.18.** Hoà tan hoàn toàn 10 g oxit kim loại có công thức RO vào 125 ml dung dịch  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1M. Vậy công thức của oxit là:

A. MgO

B. CaO

C. FeO

D. CuO

## PHẦN 2. THỰC HÀNH HÓA HỌC ĐẠI CƯƠNG

### BÀI 1. BÀI MỞ ĐẦU

#### 1. Nội quy và các thao tác cơ bản

##### 1.1. Giới thiệu nội quy phòng thí nghiệm

1. Những người không có nhiệm vụ không được vào phòng thí nghiệm.
2. Vật dụng cá nhân để đúng nơi quy định.
3. Khi vào phòng thí nghiệm phải mặc áo Blouse, đeo khẩu trang, mang găng tay, cột tóc gọn gàng.
4. Không ăn uống, hút thuốc trong phòng thí nghiệm.
5. Không sử dụng trang thiết bị trong phòng thí nghiệm khi chưa được hướng dẫn cụ thể.
6. Không được mang hoá chất, dụng cụ ra ngoài khi chưa được sự đồng ý của trưởng phòng thí nghiệm.
7. Khi rời phòng thí nghiệm phải kiểm tra điện, nước, khoá cửa.
8. Không đùa giỡn, gây mất trật tự trong phòng thí nghiệm gây đổ bể dụng cụ, hóa chất.
9. Giữ gìn vệ sinh sạch sẽ nơi mình làm thí nghiệm và xung quanh. Tiết kiệm điện, nước, hóa chất.

##### 1.2. Quy tắc bảo hiểm khi làm thí nghiệm

###### 1.2.1. Thí nghiệm với chất độc

Thí nghiệm với các khí độc phải tiến hành trong tủ hút hoặc nơi thoáng gió, mở rộng cửa phòng. Khi ngửi các hoá chất, không để mũi gần miệng lọ, mà dùng tay phẩy nhẹ.

###### 1.2.2. Với các chất dễ ăn da và gây bỏng.

Các axit đặc, kiềm đặc, photpho trắng, brom lỏng... dễ ăn da, gây bỏng nặng, không để rơi vào người, đặc biệt là mắt.

Khi pha loãng  $H_2SO_4$  phải đổ axit vào nước, rót chậm từng lượng nhỏ và khuấy đều, tuyệt đối không được đổ nước vào axit.

### **1.2.3. Với các chất dễ cháy, dễ nổ.**

Khi cần đun nóng, không đun trực tiếp mà đun cách thuỷ.

Làm thí nghiệm với các chất dễ nổ phải thận trọng và theo đúng hướng dẫn trong tài liệu.

### **1.2.4. Không được làm việc với nguồn nóng gần một chất lỏng dễ cháy**

Khi đun nóng chất lỏng dễ cháy, phải đun bình cách thuỷ có nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ tự bốc cháy của hoá chất.

Khi đun nóng bình, cốc thuỷ tinh bằng ngọn lửa trực tiếp, phải dùng lưới tản nhiệt.

Khi đun ống nghiệm, dùng kẹp gỗ kẹp thân 1/5 ống từ đầu ống nghiệm.

Dùng quả bóp cao su để lấy hoá chất lỏng vào pipet; không hút bằng miệng đối với hoá chất độc. Không dùng pipet để lấy chất lỏng trực tiếp từ bình chứa mà đổ qua cốc đót. Dùng cốc đo để lấy axit đặc và bazơ đậm đặc. Chỉ dùng nước cất trong pha chế các dung dịch. Khi pha chế dung dịch axit, bao giờ cũng đổ axit vào nước, vừa đổ từng lượng nhỏ vừa khuấy đều.

## **1.3. Cách tổ chức và tiến hành thực nghiệm**

### **1.3.1. Tổ chức thực nghiệm**

Mỗi lớp sinh viên được chia thành các tổ, mỗi tổ từ 15÷20 sinh viên. Để thực nghiệm có kết quả tốt, mỗi tổ sinh viên được chia thành nhiều nhóm từ 2÷3 người. Đối với những bài thực nghiệm mà dụng cụ và thao tác phức tạp thì cả nhóm (hoặc cả tổ) cùng làm một thí nghiệm; những bài thí nghiệm đơn giản thì mỗi sinh viên phải tự làm.

Khi đến làm thí nghiệm, tổ trưởng (hay nhóm trưởng) phải nhận công cụ, hoá chất của cán bộ phòng thí nghiệm và phải kiểm tra lại nếu hỏng phải báo ngay với cán bộ phòng thí nghiệm. Cuối buổi thí nghiệm phải xếp lại hoá chất, dụng cụ và bàn giao với các bộ phòng thí nghiệm.

Tổ trưởng có trách nhiệm duy trì và đôn đốc các tổ viên của mình thực hiện nghiêm chỉnh nội quy do phòng thí nghiệm đề ra.

### **1.3.2 Tiến hành thí nghiệm.**

Mỗi buổi thí nghiệm phải qua 3 giai đoạn:

### ***Giai đoạn 1. Chuẩn bị trước bài thí nghiệm ở nhà***

Trước khi đến làm thí nghiệm sinh viên phải chuẩn bị trước bài thí nghiệm ở nhà (viết ra giấy) các phần:

- Lý thuyết vận dụng cho bài thí nghiệm
- Dự kiến các hiện tượng xảy ra, tính toán số liệu, viết và cân bằng các phương trình phản ứng.
- Giải thích và kết luận những vấn đề sẽ làm thí nghiệm.

Sinh viên nào chưa chuẩn bị bài thí nghiệm kỹ ở nhà thì chưa được làm thí nghiệm của hôm đó.

### ***Giai đoạn 2. Tiến hành thí nghiệm***

Làm thí nghiệm Hóa học đòi hỏi sinh viên phải có ý thức tự rèn luyện mình một cách nghiêm khắc để nâng cao trình độ thao tác, xây dựng cho mình một kỹ năng, kỹ xảo về thí nghiệm Hoá học. Tuyệt đối không làm ẩu, làm qua loa, đại khái. Mỗi sinh viên phải chú ý một số điểm sau đây:

- Tất cả dụng cụ thủy tinh trước khi đem dùng cần phải rửa sạch (nếu cần phải tráng bằng nước cất, sấy khô)
- Các lọ hoá chất phải luôn được đặt trên giá, không xáo trộn vị trí, không được mang đi mang lại lung tung. Mỗi lọ hoá chất có một ống nhỏ giọt riêng, không cầm nhầm sang lọ khác.
- Khi sử dụng thiết bị, máy móc phải có sự hướng dẫn của cán bộ phụ trách. Không tự động điều chỉnh khi chưa nắm được quy trình hoạt động của thiết bị máy móc.
- Mỗi nhóm làm thí nghiệm tại một chỗ quy định, không đi lại lộn xộn, không gây ồn ào mất trật tự.

### ***Giai đoạn 3. Viết bài báo cáo thí nghiệm***

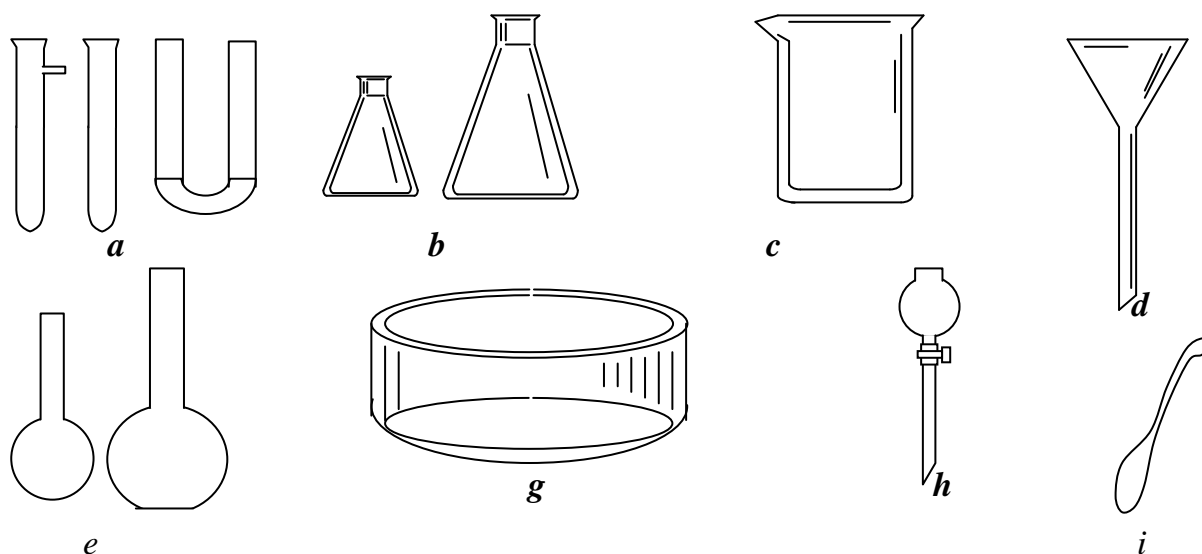
Khi thí nghiệm xong, sinh viên phải tự rửa sạch ống nghiệm, dụng cụ; thu dọn sạch sẽ chỗ làm việc; sau đó làm báo cáo thí nghiệm nộp cho giảng viên.

Báo cáo thí nghiệm làm theo mẫu sau:

<b>STT</b>	<b>Tên TN</b>	<b>Hóa chất, dụng cụ</b>	<b>Cách tiến hành</b>	<b>Hiện tượng</b>	<b>Giải thích</b>	<b>Ghi chú</b>

## 2. Một số dụng cụ thí nghiệm hóa học

### 2.1. Một số dụng cụ thí nghiệm bằng thủy tinh không chia độ



Hình 1. Một số dụng cụ thủy tinh không chia độ

**Ống nghiệm** (hình 1a): Được dùng để tiến hành các thí nghiệm với lượng nhỏ hóa chất, có nhiều loại ống nghiệm với kích thước khác nhau, có loại có nhánh để tiến hành các thí nghiệm có khí thoát ra, có loại hình chữ u để tiến hành các thí nghiệm điện phân dung dịch. Ống nghiệm có thể được làm bằng thủy tinh thường hoặc thủy tinh chịu nhiệt tùy vào mục đích sử dụng.

**Bình nón** (hình 1b): Dùng để chuẩn độ các chất

**Cốc thủy tinh** (hình 1c): Thường dùng để lấy nước cất, pha hóa chất hoặc tiến hành các phản ứng với lượng lớn hóa chất. Cốc thủy tinh có loại có mỏm, có loại không có mỏm.

**Phễu** (hình 1d): Dùng để lọc và rót chất lỏng, khi dùng phễu được đặt trên giá hay trực tiếp trên dụng cụ hứng.

**Bình cầu** (hình 1e): Có hai loại bình cầu, bình cầu đáy bằng và bình cầu đáy tròn, có loại có nhánh và có loại không có nhánh.

- Bình cầu đáy bằng dùng để pha hóa chất, để đun các chất lỏng, dùng làm bình rửa...

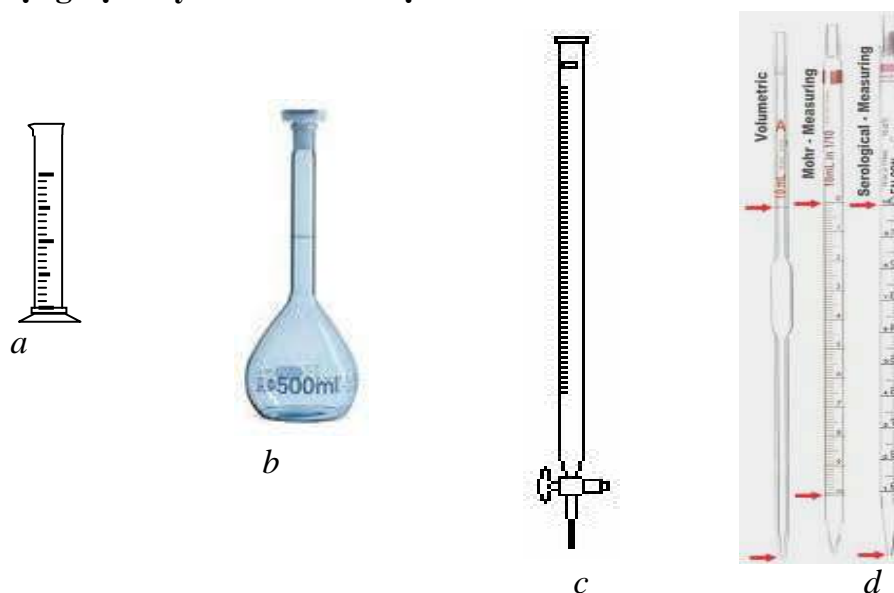
- Bình cầu đáy tròn dùng để cất, đun sôi hoặc làm những thí nghiệm cần đun nóng. Bình cầu có nhánh dùng để điều chế các chất khí.

**Chậu thủy tinh** (hình 1g): Thường được dùng để đựng nước, hóa chất thừa sau các thí nghiệm.

**Phễu chiết** (hình 1h): Phễu chiết có nút đậy và khóa nhám, dùng cho các thí nghiệm cần thêm từ từ các dung dịch hoặc dùng để chiết các dung dịch.

**Thìa tủy tinh** (hình 1i): Dùng để lấy hóa chất.

## 2.2. Một số dụng cụ thủy tinh có chia độ



Hình 2. Một số dụng cụ thủy tinh có chia độ

**Ống đong** (hình 2a): Dùng để lấy hóa chất, có nhiều loại ống đong với kích thước khác nhau từ 5ml đến 1lit.

**Bình định mức** (Hình 2b): Dùng để pha các dung dịch có nồng độ xác định hay để đong một thể tích chất lỏng tương đối chính xác. Có nhiều loại bình định mức với các dung tích khác nhau, trên thành bình người ta ghi thể tích của bình và nhiệt độ mà bình chịu đựng được.

**Buret** (hình 2c): Dùng để lấy một lượng nhỏ dung dịch với độ chính xác cao cỡ 0.1ml hoặc dùng để chuẩn độ các chất.

**Pipet** (hình 2d): Dùng để lấy hóa chất chính xác một thể tích chất lỏng. Có hai loại: loại pipet có dung tích cố định và loại pipet có chia độ. Pipet thường có dung tích 10, 20, 25, 50 ml và những micro pipet có dung tích 1, 2 và 5 ml.

Cách sử dụng pipet: Muốn lấy chất lỏng vào pipet phải dùng quả bóp cao su. Trước hết ta dùng tay bóp quả bóp cao su để tạo nên sự chênh lệch về áp suất, tay trái

cầm pipet chú ý ngón tay trở luôn để gần miệng trên của pipet để có thể sẵn sàng bịt lại khi đã lấy xong hóa chất.

Đặt đầu hở quả bóp cao su vào pipet, nhúng đầu còn lại của pipet vào chất lỏng và thả lỏng từ từ quả bóp cao su để chất lỏng đi vào pipet một cách từ từ. Sau đó dùng ngón tay trở bịt lại, đưa pipet lên khỏi mặt chất lỏng, dùng giấy lau khô chất lỏng bên ngoài pipet. Sau đó nâng ngón trên của pipet lên ngang mắt sau đó hé nhẹ ngón trở cho chất lỏng xuống từ từ đồng thời quan sát lượng chất lỏng cho tới lượng thể tích cần lấy thì dừng lại.

### 2.3. Một số dụng cụ thủy tinh đặc biệt



Hình 3. Một số dụng cụ thủy tinh có hình đặc biệt

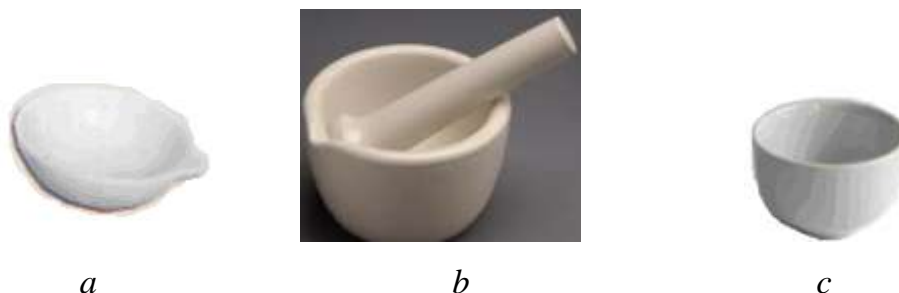
**Bình hút ẩm** (hình 3a): Dùng làm khô các chất bằng phương pháp hóa học. Người ta thường để các chất hút ẩm như: CaO, CaCl<sub>2</sub> khan, ... ở phía dưới và để các chất cần làm khô lên trên như hình vẽ.

**Bình kíp** (hình 3b): Là dụng cụ dùng điều chế chất khí từ chất rắn và chất lỏng. Khi sử dụng bình kíp cần lưu ý như sau:

- Chất rắn cho vào bình quả cầu giữa không quá 1/3;
- Cho chất lỏng vào quả cầu trên cùng cho tới khi chất lỏng trong quả cầu dưới gần với chất rắn thì khóa lại.



## 2.4. Một số dụng cụ bằng sứ



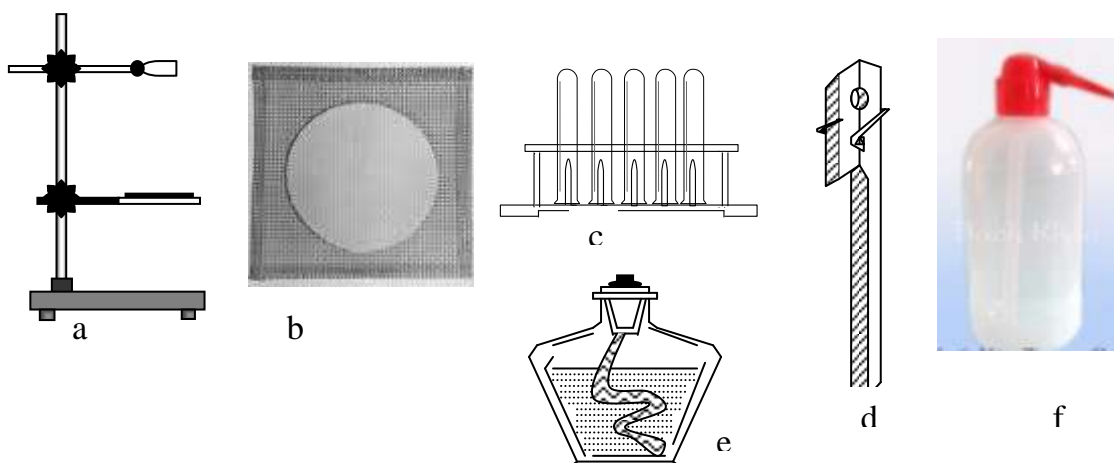
Hình 4. Các dụng cụ bằng sứ

**Chén sứ** (hình 4a): Dùng để nung các chất, đốt cháy các chất hữu cơ khi xác định tro... Chén sứ nung có thể chịu đến nhiệt độ  $1200^{\circ}\text{C}$  trong lò nung.

**Chày, cối sứ** (hình 4b): Dùng để nghiền các hóa chất rắn.

**Bát sứ** (hình 4c): Dùng để cô cạn các dung dịch, trộn các hóa chất rắn với nhau, đun chảy các chất....

## 2.5 Một số dụng cụ khác



Hình 5. Một số dụng cụ khác

**Giá sắt** (hình 5a): Đi cùng với giá sắt còn có con bọ, các vòng, kẹp. Khi cặp ống nghiệm hay các loại bình phải có cao su lót nơi tiếp xúc giữa kẹp sắt và dụng cụ thủy tinh để tránh nứt vỡ.

**Lưới amiăng** (hình 5b): Khi đun nóng các bình thủy tinh bằng đèn cồn người ta thường dùng lưới amiăng để tránh không cho bình thủy tinh tiếp xúc trực tiếp với ngọn lửa.

**Giá đựng ống nghiệm** (hình 5c): Giá đựng ống nghiệm thường làm bằng gỗ, thép không gỉ hay nhựa, dùng để úp ống nghiệm hoặc giá đỡ ống nghiệm khi tiến hành các thí nghiệm.

**Kẹp gỗ** (hình 5d) : Dùng để kẹp ống nghiệm, khi đã cho ống nghiệm vào kẹp rồi thì không nên dùng bàn tay nắm cả hai nhánh của kẹp mà chỉ cần cầm chắc một nhánh dài là được.

**Đèn cồn** (hình 5e): Dùng để đun nóng khi làm thí nghiệm. Khi dùng đèn cồn lưu ý là không được dùng miệng để thổi tắt đèn cồn mà phải dùng nắp úp vào, không được dùng đèn cồn này châm lửa cho đèn khác, không được đổ cồn quá đầy.

**Bình tia** (hình 5f): Bình thường được dùng để rửa kết tủa bám trên thành ống nghiệm; để rửa kết tủa trên giấy lọc; để rửa ống nghiệm bằng nước cất.

### **3. Những thao tác thực hành cơ bản trong phòng thí nghiệm**

#### **3.1. Rửa dụng cụ thí nghiệm**

##### **3.1.1. Phương pháp cơ học**

Dụng cụ rửa là chổi lông. Tùy kích thước của bình, ống mà chọn chổi cho phù hợp.

Đối với các chất bẩn tan được trong nước thì chỉ cần dùng nước thường hay nước nóng là được. Đối với các chất không tan trong nước như chất béo,.. thì cần cho thêm các dung môi hữu cơ hay dầu rửa chén bát.

Khi rửa ống nghiệm chú ý không va chạm mạnh đầu và đuôi cuối chổi (bằng sắt) vào miệng và đáy ống nghiệm.

##### **3.1.2. Phương pháp hóa học**

- Ngâm (hoặc rửa) trong hỗn hợp sunfôcrômíc

Cách điều chế hỗn hợp sunfôcrômíc: nghiền nhỏ 5g  $K_2Cr_2O_7$  rồi cho vào 100ml  $H_2SO_4$  đặc, đun nhẹ 60 ÷ 700 đến tan hết.

- Nếu dụng cụ dính dầu mỡ hay hợp chất hữu cơ thì rửa dụng cụ này bằng dung dịch  $KMnO_4$ . Đợi 10 phút tại chỗ bám các chất hữu cơ sẽ có kết tủa  $MnO_2$ , sau đó rửa sạch kết tủa ngay bằng  $HCl$  đặc hay dung dịch  $H_2C_2O_4$ .

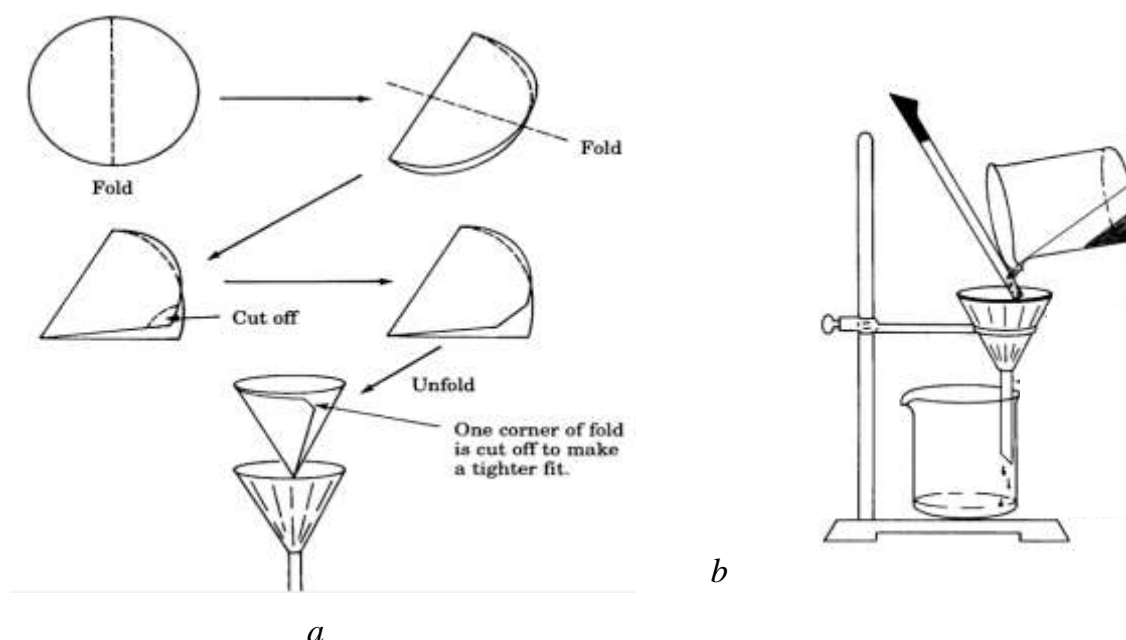
### 3.2. Lọc và rửa kết tủa

Muốn tách kết tủa ra khỏi dung dịch ra phải lọc và rửa kết tủa: dùng phễu lọc.

Các bước tiến hành như sau:

- Rửa sạch phễu lọc;
- Gấp giấy lọc đặt vào phễu, dùng nước tẩm ướt đều giấy lọc áp sát vào thành phễu;
- Đổ dung dịch chảy theo đĩa thủy tinh vào giấy lọc, chất lỏng sẽ chui qua giấy lọc, kết tủa được giữ lại.

Muốn rửa kết tủa trên giấy lọc: đổ dung dịch rửa chảy theo đĩa thủy tinh rưới đều bề mặt kết tủa



Hình 6. cách gấp giấy lọc (a), cách rót chất lỏng vào phễu có giấy lọc (b)

### 3.3. Cân và phương pháp cân

Cân là dụng cụ quan trọng nhất trong phòng thí nghiệm Hoá học. Tùy mức độ chính xác của công việc mà cân được chia thành nhiều loại với độ chính xác khác nhau. Thông thường trong phòng thí nghiệm Hoá học dùng hai loại cân chính sau:

- Cân kỹ thuật: độ chính xác 0,01g;
- Cân phân tích: độ chính xác 0,0001g.

Trong các loại cân nêu trên đang được sử dụng tại các phòng thí nghiệm Hoá học bao gồm nhiều chủng loại nhiều thể hệ như:

- Cân cơ học: (quang treo);
- Cân cơ học dùng điện (quang treo);
- Cân điện tử (hiện số).

Hiện nay thế hệ của cân điện tử hiện số đang được sử dụng rộng rãi với ưu điểm nổi trội là: Dễ sử dụng, kết quả cân có độ ổn định cao.

Sau đây là một số qui tắc chính trong sử dụng cân điện tử hiệu số:

- Đặt cân ngay ngắn trên bàn ở trong phòng không có gió (tốt nhất là trong phòng điều hoà nhiệt độ  $20^{\circ}\text{C}$ ). Độ thăng bằng của cân được kiểm tra bằng bột nước trong cân (nếu có).

- Cắm điện vào nguồn 220V; bật công tắc (ON/OFF) cho cân làm việc; đợi khoảng 1÷2 phút cho cân ổn định là có thể cân được.

- Hoá chất đem cân phải có bao bì mà không để trực tiếp lên đĩa cân (thí dụ: cân hoá chất rắn phải gói vào giấy không hút ẩm).

- Vật đem cân không được nóng quá hoặc lạnh quá. Nếu không phải chờ vật đạt đến nhiệt độ phòng mới đặt lên đĩa cân.

- Không cân vật có khối lượng lớn hơn trọng tải cho phép của cân.

- Không được dùng tay cân thử (đè lên đĩa cân). Không được đặt vật nặng lên cân (kể cả khi cân không cắm điện).

## **CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP**

1. Hãy nêu các bước làm sạch dụng cụ thủy tinh trong phòng thí nghiệm hoá học.
2. Quá trình đun nóng các phản ứng hoá học bằng ống nghiệm hoặc các dụng cụ thủy tinh khác phải làm như thế nào?
3. Hãy trình bày các nguyên tắc sử dụng cân điện tử hiện số.
4. Hãy tính lượng tinh thể  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , cần pha 500ml dung dịch  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  1M

## BÀI 2. CÂN BẰNG HÓA HỌC-TỐC ĐỘ PHẢN ỨNG HÓA HỌC

### 1. Phần lý thuyết

Xem chương 4: Tốc độ phản ứng và cân bằng hóa học trong phần lý thuyết

### 2. Phần thực hành

#### **Thí nghiệm 2.1.** Ảnh hưởng của nồng độ tới cân bằng.

**Hóa chất:** dung dịch  $\text{FeCl}_3$ ;  $\text{KSCN}$  hoặc  $\text{NH}_4\text{SCN}$  bão hòa;  $\text{KCl}$  hoặc  $\text{NH}_4\text{Cl}$  tinh thể.

**Dụng cụ:** 4 ống nghiệm; cốc; pipet...

#### **Cách tiến hành:**

Rót 30ml nước cất vào cốc 50ml; thêm dung dịch bão hòa  $\text{FeCl}_3$  và  $\text{KSCN}$ , mỗi thứ 1- 2 giọt, quan sát màu đỏ sáng của hỗn hợp (nếu cần có thể pha loãng hỗn hợp bằng nước cất); chia đều hỗn hợp lỏng vào bốn ống nghiệm:

ống 1 giữ nguyên (dùng để so sánh),

ống 2 cho thêm vài giọt dung dịch  $\text{FeCl}_3$ ,

ống 3 cho thêm vài hạt tinh thể  $\text{KCl}$  và lắc đều,

ống 4 cho thêm vài giọt  $\text{KSCN}$ .

Quan sát và giải thích sự thay đổi cường độ màu sắc trong các ống nghiệm. Cân bằng chuyển dịch theo chiều nào?

#### **Thí nghiệm 2.2.** Ảnh hưởng của nhiệt độ tới cân bằng

**Hóa chất:** axit  $\text{HNO}_3$  đặc;  $\text{Cu}$  kim loại.

**Dụng cụ:** bình cầu; phễu nhỏ giọt; ống cao su...

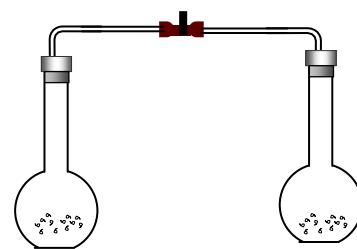
#### **Cách tiến hành:**

Tiến hành điều chế  $\text{NO}_2$  từ axit  $\text{HNO}_3$  đặc và  $\text{Cu}$ .

Thu khí  $\text{NO}_2$  đỏ nâu vào hai bình cầu đáy tròn được thông với nhau bằng ống thủy tinh có khóa.

Đóng khóa, sau đó nhúng một bình vào cốc chứa nước đá và muối; bình kia nhúng vào cốc nước nóng già. Quan sát màu sắc ở hai bình. Giải thích?

Mở khóa và quan sát màu sắc ở hai bình và giải thích?



Hình 8. Thiết bị khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ tới cân bằng

**Thí nghiệm 2.3.** Ảnh hưởng của nồng độ chất phản ứng đến tốc độ phản ứng trong hệ đồng thể.

**Hóa chất:** dung dịch  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  0,2M;  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,2M

**Dụng cụ:** ống nghiệm; pipet...

**Cách tiến hành:**

Dùng pipet cho vào 3 ống nghiệm mỗi ống 3ml axit sunfuric 0,2M.

Lấy 3 ống nghiệm khô khác đánh số thứ tự 1, 2, 3. Dùng pipet cho vào ống thứ nhất 1ml natri thiosunfat 0,2M và 2ml nước cất; ống thứ hai cho 2ml natri thiosunfat và 1ml nước cất; ống thứ 3 cho 3ml natri thiosunfat 0,2M. Lắc đều các ống nghiệm.

Đổ nhanh dung dịch axit sunfuric từ một trong 3 ống nghiệm đã chuẩn bị ở trên vào ống nghiệm 1, lắc đều. Dùng đồng hồ bấm giây theo dõi thời gian từ lúc đổ hai dung dịch vào nhau cho đến khi xuất hiện kết tủa đục sữa.

Tiến hành thí nghiệm với ống nghiệm 2 và 3 tương tự như ống nghiệm 1.

**Chú ý** quan sát kết tủa đục sữa như nhau trong các lần thí nghiệm, ghi kết quả vào bảng. Nhận xét và giải thích?

STT	Thể tích (ml)				Tỉ lệ nồng độ $\text{Na}_2\text{SO}_3$ $C_1; C_2; C_3$	$\Delta t(\text{s})$	$v = \frac{1}{\Delta}$	$V_1; V_2;$ $V_3$
	$\text{H}_2\text{SO}_4$	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	$\text{H}_2\text{O}$	Tổng				
1								
2								
3								

*Thí nghiệm này có thể làm một cách định tính bằng cách tiến hành đổ đồng thời ống đựng axit sunfuric vào 3 ống nghiệm rồi quan sát mà không cần đo thời gian.*

**Thí nghiệm 2.4.** Ảnh hưởng của nhiệt độ đến tốc độ phản ứng

**Hóa chất:** dung dịch  $\text{KMnO}_4$  0,05M;  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  0,1M;  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,1M.

**Dụng cụ:** ống nghiệm khô; pipet; đồng hồ bấm giây...

**Cách tiến hành:**

Dùng pipet lấy vào ống nghiệm khô 2ml dung dịch kali pemanganat 0,05M và vào ống nghiệm khô khác 2ml dung dịch axit oxalic 0,1M, 2ml dung dịch  $\text{H}_2\text{SO}_4$

0,1M. Sau đó trộn 2 dung dịch ở hai ống nghiệm vào nhau, dùng đồng hồ bấm giây ghi thời gian từ lúc trộn đến khi dung dịch mất màu hoàn toàn.

Tiến hành thí nghiệm tương tự như trên ở các nhiệt độ khác:

- Nhiệt độ phòng 30°C;

- Nhiệt độ phòng 40°C;

- Nhiệt độ phòng 50°C

Các thí nghiệm được tiến hành trong bình điều nhiệt. Trước khi trộn hai dung dịch phải ngâm các ống nghiệm đựng các chất phản ứng trong bình điều nhiệt khoảng 10 phút để cho nhiệt độ của chúng bằng nhiệt độ của bình. Sau khi trộn 2 dung dịch không nhắc ống nghiệm ra khỏi bình điều nhiệt.

Ghi kết quả vào bảng, nhận xét và giải thích.

STT	Nhiệt độ phản ứng (°C)	Thời gian $\Delta t$ (s)	Tốc độ phản ứng $v = \frac{1}{\Delta t}$

Vẽ đồ thị sự phụ thuộc nhiệt độ của tốc độ phản ứng vào nhiệt độ. Nhận xét đồ thị thu được.

**Thí nghiệm 2.5.** Ảnh hưởng của chất xúc tác đồng thể đến tốc độ phản ứng

**Hóa chất:** C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 0,1M; H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1M; KMnO<sub>4</sub> 0,1M; MnSO<sub>4</sub> 0,1M.

**Dụng cụ:** ống nghiệm; buret; pipet

**Cách tiến hành:**

Lấy vào 2 ống nghiệm mỗi ống 2ml dung dịch axit oxalic 0,1M; 2ml axit sunfuric 0,1M.

Thêm vào ống nghiệm 1 vài giọt MnSO<sub>4</sub> 0,1M.

Cho vào cả hai ống nghiệm, mỗi ống 1ml dung dịch kali pemanganat 0,05M.

Quan sát sự mất màu trong hai ống nghiệm. Cho biết chất xúc tác ảnh hưởng như thế nào tới tốc độ phản ứng?

**Thí nghiệm 2.6.** Ảnh hưởng của chất xúc tác dị thể đến tốc độ phản ứng

**Hóa chất:** I<sub>2</sub> tinh thể; bột Al.

**Dụng cụ:** Chày cối sứ; bình tia....

**Cách tiến hành:**

Cho vào cối sứ khô một ít tinh thể iot; dùng chày sứ nghiền nhỏ sau đó thêm bột nhôm; trộn đều bằng đũa thủy tinh. Nhận xét có phản ứng xảy ra không?

Sau đó cho thêm vào vài giọt nước. Nhận xét phản ứng, nêu vai trò của nước đến tốc độ phản ứng. Viết phương trình phản ứng.

## CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP

### Câu 1.

1. Dựa vào nguyên lý Le-Sa-Tơ-Li-ê, hãy giải thích vai trò của sự thêm KSCN, FeCl<sub>3</sub> tới sự thay đổi vị trí cân bằng của phản ứng.



2. Cân bằng hóa học của phản ứng  $2\text{NO}_2 \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4$  sẽ dịch chuyển theo chiều nào khi tăng nhiệt độ? Biết  $\Delta H^0 = -61,44\text{kJ}$ .

3. Tính hằng số cân bằng K<sub>p</sub>, K<sub>c</sub> đối với phản ứng đã cho ở (2) tại 50<sup>0</sup>C, biết hỗn hợp cân bằng chứa 60% N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> về số mol.

### Câu 2.

1. Tính hệ số nhiệt độ (hệ số Van Hop) của phản ứng trong những trường hợp sau đây:

- Ở 393K phản ứng kết thúc sau 18 phút; ở 453K phản ứng kết thúc sau 16 giây.
- Khi hạ nhiệt độ xuống 45<sup>0</sup>, phản ứng chậm đi 25 lần.

2. Tại sao trong các lần tiến hành đo tốc độ phản ứng ở thí nghiệm 1, 2, 3 tổng thể tích của các dung dịch phản ứng phải cố định?

3. Giải thích như thế nào về vai trò chất xúc tác trong phản ứng xúc tác đồng thể và xúc tác dị thể.



## BÀI 3. DUNG DỊCH

### 1. Phần lí thuyết

Xem chương 5 phần lí thuyết

### 2. Phần thực hành

**Thí nghiệm 3.1.** Cân bằng trong dung dịch bazơ yếu

**Hóa chất:**  $\text{NH}_3$  đậm đặc; dung dịch phenolphthalein;  $\text{NH}_4\text{Cl}$  tinh thể.

**Dụng cụ:** ống nghiệm; pipet; thìa nhựa.

**Cách tiến hành:**

Cho vào 2 ống nghiệm mỗi ống 4 - 5ml nước cất, sau đó thêm vào mỗi ống 1 giọt dung dịch amoniac đậm đặc và 2 giọt phenolphthalein. Một ống để so sánh, ống thứ hai thêm vài tinh thể amoni clorua, lắc đều, so sánh màu trong 2 ống nghiệm. Giải thích hiện tượng quan sát được?

**Thí nghiệm 3.2.** Cân bằng trong dung dịch axit yếu

**Hóa chất:**  $\text{CH}_3\text{COOH}$  đậm đặc; metyl da cam;  $\text{CH}_3\text{COONa}$ .

**Dụng cụ:** ống nghiệm; pipet; thìa nhựa....

**Cách tiến hành:**

Cho vào 2 ống nghiệm mỗi ống 4 -5 ml nước cất, sau đó thêm vào mỗi ống 1 giọt axit axetic đậm đặc và 2 giọt metyl da cam. Một ống để so sánh, ống thứ hai thêm vài tinh thể natri axetat, lắc đều so sánh màu trong 2 ống nghiệm trên. Giải thích?

**Thí nghiệm 3.3.** Điều kiện tạo thành kết tủa

**Hóa chất:**  $\text{SrCl}_2$ ;  $\text{CaCl}_2$ ;  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

**Dụng cụ:** ống nghiệm; pipet

**Cách tiến hành:**

Cho vào hai ống nghiệm lần lượt 2ml dung dịch bão hoà  $\text{SrCl}_2$  và  $\text{CaCl}_2$  Thêm vào mỗi ống 2ml dung dịch bão hoà natri sunfat. Nhận xét, viết phương trình phản ứng. Dựa vào bảng độ tan của muối  $\text{SrCl}_2$ ;  $\text{CaCl}_2$ ;  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ở nhiệt độ nghiên cứu và tính số tan của  $\text{SrSO}_4$ ;  $\text{CaSO}_4$  (tra ở phần phụ lục), hãy giải thích kết quả thí nghiệm trong 2 trường hợp trên.

### **Thí nghiệm 3.4.** Sự thủy phân của muối

**Hóa chất:** NaCl tinh thể; Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> tinh thể; FeCl<sub>3</sub> tinh thể; CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub>

**Dụng cụ:** ống nghiệm; thìa nhựa; bình tia...

#### ***Cách tiến hành:***

Lấy 5 ống nghiệm đánh số từ 1- 5. Cho lần lượt vào mỗi ống nghiệm một ít (bằng hạt ngô) tinh thể của các muối sau: natri clorua; natri cacbonat; sắt (III) clorua; amoni axetat. Thêm vào mỗi ống 2ml nước cất, lắc cho các muối tan hết. Thử môi trường trong các ống nghiệm bằng giấy quỳ.

Lặp lại thí nghiệm trên nhưng thử môi trường bằng cách thêm vào mỗi ống nghiệm một giọt phenolphthalein. Kết quả ghi vào bảng:

STT	Muối	Màu phenolphthalein	Màu giấy quỳ	Môi trường

Viết các phương trình phản ứng thủy phân nếu có.

### **Thí nghiệm 3.5.** Ảnh hưởng của nhiệt độ đến sự thủy phân

**Hóa chất:** dung dịch CH<sub>3</sub>COONa; phenolphthalein

**Dụng cụ:** ống nghiệm; pipet; đèn cồn

#### ***Cách tiến hành:***

Cho vào ống nghiệm 4ml dung dịch natri axetat và 2 giọt phenolphthalein, lắc đều, nhận xét. Chia dung dịch trong ống nghiệm cho vào hai ống: ống (1) để nguyên, ống (2) đem đun nóng. Sau đó để ống (2) về nhiệt độ phòng. So sánh màu sắc trong hai ống. Giải thích?

## **CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP**

1. Tính nồng độ ion H<sup>+</sup>, pH của dung dịch axit axetic 0,1 M. Tính độ điện li của axit ở điều kiện đã cho.

2. Tính pH của dung dịch amoni clorua 0,1M bằng 2 phương pháp:

- Theo quan điểm axit, bazơ của Bronsted.
- Phương pháp có tính đến sự thủy phân.

## BÀI 4. ĐIỆN HÓA HỌC

### 1. Phần lí thuyết

Xem chương 6 phần lí thuyết

### 2. Phần thực hành

**Thí nghiệm 4.1.** Kim loại phản ứng với dung dịch muối

**Hóa chất:** dây Fe ; CuSO<sub>4</sub> 1M ; dây Cu ; FeSO<sub>4</sub> 1M

**Dụng cụ:** ống nghiệm ; pipet

**Cách tiến hành:**

Lấy 2 ống nghiệm, ống 1 cho 2ml dung dịch đồng sunfat 1M, ống 2 cho 2ml dung dịch FeSO<sub>4</sub> 1M.

Cho dây Fe vào ống 1, dây đồng vào ống 2. Quan sát và giải thích hiện tượng?

**Thí nghiệm 4.2.** Kim loại tác dụng với dung dịch axit thường

**Hóa chất:** dây Fe; dây Cu; dung dịch HCl 1M

**Dụng cụ:** ống nghiệm; pipet

**Cách tiến hành:**

Lấy 2 ống nghiệm, mỗi ống cho vào 2ml dung dịch axit HCl 1M

Cho dây Fe và Cu vào mỗi ống nghiệm. Quan sát và giải thích hiện tượng?

**Thí nghiệm 4.3.** Sự thụ động của kim loại

**Hóa chất:** dây Al; H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> đặc; Cu; H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1M

**Dụng cụ:** ống nghiệm; đèn cồn

**Cách tiến hành:**

Lấy hai ống nghiệm, cho vào ống thứ nhất 1ml axit sunfuric đặc, ống thứ hai 1ml axit sunfuric 0,1M.

Thêm vào ống nghiệm 1 một mảnh Al, quan sát hiện tượng. Đun nóng cẩn thận ống nghiệm 1 đến khi sôi, quan sát và giải thích hiện tượng.

Thêm vào ống nghiệm 2 một mảnh Cu, quan sát hiện tượng. Đun nóng cẩn thận đến sôi ống nghiệm 2, quan sát và giải thích hiện tượng.

#### **Thí nghiệm 4.4.** Pin Zn - Cu

**Hóa chất:** thanh Zn; thanh Cu; dung dịch  $\text{CuSO}_4$  1M;  $\text{ZnSO}_4$  1M

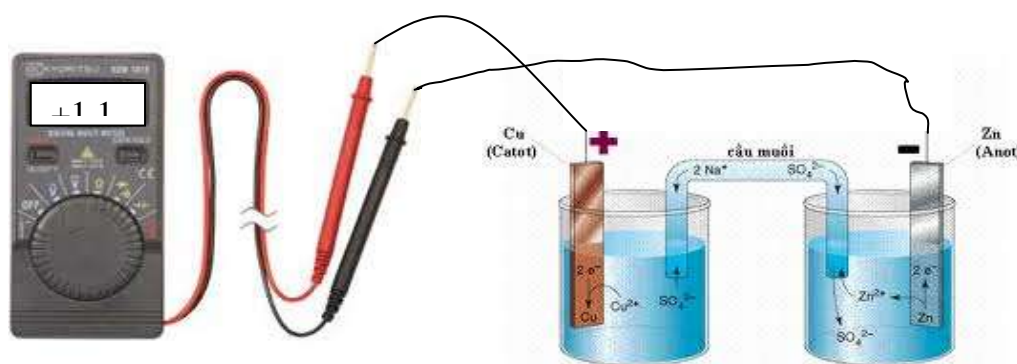
**Dụng cụ:** cốc thủy tinh; đồng hồ vạn năng; dây điện

#### **Cách tiến hành:**

Chuẩn bị điện cực:

+ Điện cực đồng: Nhúng 1 tấm đồng đã đánh sạch bề mặt bằng giấy ráp vào cốc 100ml chứa 50 ml dung dịch đồng sunfat 1M.

+ Điện cực kẽm: Nhúng một tấm kẽm đã đánh sạch bề mặt vào cốc 100ml chứa 50ml dung dịch kẽm sunfat 1M.



Hình 9. Sơ đồ pin Zn-Cu

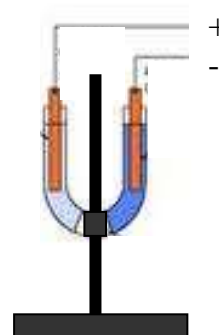
Nối 2 cốc bằng " cầu muối" là ống thủy tinh hình chữ U chứa đầy dung dịch KCl bão hòa. Nối 2 thanh kim loại bằng dây dẫn với máy đo vạn năng (cực đồng với cực dương, cực kẽm với cực âm). Đọc và ghi chỉ số sức điện động. So sánh kết quả thực nghiệm với lí thuyết. Viết sơ đồ mạch và giải thích sự hoạt động của pin.

#### **Thí nghiệm 4.5** Điện phân dung dịch KI

**Hóa chất:** dung dịch KI; hồ tinh bột; phenolphthalein

**Dụng cụ:** ống nghiệm chữ U; điện cực graphit; nguồn điện 1 chiều

#### **Cách tiến hành:**



Hình 10. Sơ đồ điện phân dung dịch

Cho dung dịch KI loãng có thêm vài giọt hồ tinh bột và vài giọt phenolphtalein vào trong ống chữ U. Cắm vào mỗi nhánh một điện cực bằng graphit và nối với nguồn điện một chiều có hiệu điện thế 5 - 10V.

Quan sát hiện tượng xảy ra trong ống chữ U. Giải thích? Viết các phương trình phản ứng xảy ra ở điện cực.

**Thí nghiệm 4.6.** Điện phân dung dịch  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

**Hóa chất:** dung dịch  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  1M; metyl da cam

**Dụng cụ:** ống nghiệm chữ U; điện cực graphit; nguồn điện 1 chiều

**Cách tiến hành:**

Rót vào gần đầy ống chữ U dung dịch  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  1M, thêm vào đó vài giọt metyl da cam. Cắm vào ống chữ U hai điện cực bằng graphit và cho dòng điện một chiều đi qua khoảng 7 phút. Quan sát sự biến đổi màu của dung dịch và giải thích bằng sơ đồ điện phân.

**Thí nghiệm 4.7.** Điện phân dung dịch  $\text{CuSO}_4$  với điện cực trơ

**Hóa chất:** dung dịch  $\text{CuSO}_4$

**Dụng cụ:** ống nghiệm chữ U; điện cực graphit; nguồn điện 1 chiều

**Cách tiến hành:**

Rót vào gần đầy ống chữ U dung dịch  $\text{CuSO}_4$  1M. Tiến hành điện phân tương tự như thí nghiệm trên với điện cực graphit. Quan sát hiện tượng xảy ra và giải thích? Lập sơ đồ điện phân (Chú ý: Không cho chất chỉ thị vào ống chữ U).

**Thí nghiệm 4.8.** Điện phân dung dịch  $\text{CuSO}_4$  với điện cực bằng đồng

**Hóa chất:** dung dịch  $\text{CuSO}_4$

**Dụng cụ:** ống nghiệm chữ U; điện cực Cu; nguồn điện 1 chiều

**Cách tiến hành:**

Sử dụng ống chữ U ở thí nghiệm trên nhưng bây giờ thay điện cực graphit bằng điện cực Cu.

Quan sát hiện tượng xảy ra và giải thích. Lập sơ đồ điện phân. Hiện tượng này được ứng dụng làm gì?

## BÀI 5. TÍNH CHẤT MỘT SỐ CHẤT VÔ CƠ

### 1. Phần lí thuyết

Xem chương 7 phần lí thuyết

### 2. Phần thực hành

**Thí nghiệm 5.1.** Điều chế và thử tính chất lưỡng tính của  $\text{Al}(\text{OH})_3$

**Hóa chất:** dung dịch  $\text{AlCl}_3$ ;  $\text{NH}_3$ ;  $\text{NaOH}$ ;  $\text{HCl}$ ;  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .

**Dụng cụ:** ống nghiệm; pipet

**Cách tiến hành:**

1. Lấy vào 2 ống nghiệm mỗi ống 5÷6 giọt dung dịch muối nhôm, thêm từ từ từng giọt dung dịch  $\text{NH}_3$  vào ống thứ nhất, và thêm từng giọt dung dịch  $\text{NaOH}$  loãng đến dư vào ống thứ hai.

Quan sát và giải thích hiện tượng xảy ra trong hai ống nghiệm.

Viết phương trình của các phản ứng. Từ hai thí nghiệm này hãy xét xem nên dùng dung dịch  $\text{NaOH}$  hay dung dịch  $\text{NH}_3$  để điều chế  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ?

2. Lấy 1÷2 ml dung dịch muối nhôm vào ống nghiệm sau đó thêm dung dịch  $\text{NH}_3$  đến kết tủa hoàn toàn  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Gạn lấy kết tủa rồi chia lượng kết tủa đó ra làm 3 phần. Đem hoà tan một phần trong dung dịch  $\text{HCl}$  loãng, một phần trong dung dịch  $\text{NH}_4\text{Cl}$  bão hoà, phần còn lại trong dung dịch  $\text{NaOH}$  dư. Quan sát và giải thích hiện tượng xảy ra.

Chia dung dịch trong ống nghiệm có  $\text{NaOH}$  dư ở trên vào 2 ống nghiệm: cho khí  $\text{CO}_2$  lội qua một ống và cho thêm 2ml dung dịch  $\text{NH}_4\text{Cl}$  bão hoà vào ống còn lại. Quan sát và giải thích các hiện tượng xảy ra trong hai ống nghiệm.

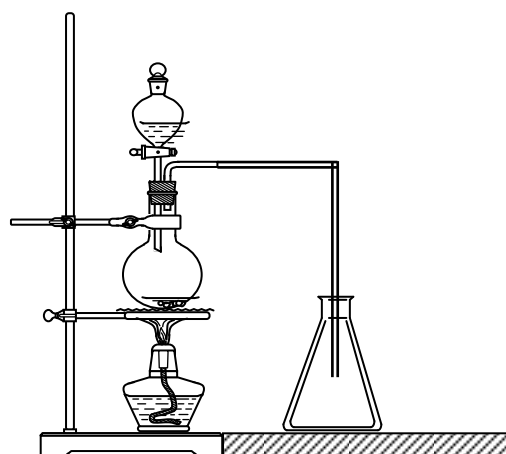
Viết phương trình của các phản ứng.

Từ các thí nghiệm đã làm hãy rút ra kết luận về tính chất của nhôm hydroxit.

**Thí nghiệm 5.2.** Điều chế và tính chất của hidro clorua

**Hóa chất:**  $\text{NaCl}$  tinh thể;  $\text{H}_2\text{SO}_4$  đặc;  $\text{NaOH}$  0,1M; phenolphtalein

**Dụng cụ:** bộ dụng cụ như hình vẽ; bình cầu; chậu nước; ống vuốt nhọn



Hình 11. Bộ dụng cụ điều chế HCl

**Cách tiến hành:**

Lắp dụng cụ điều chế HCl như hình vẽ. Bỏ vào bình cầu khoảng 5g muối ăn, rót vào phễu nhỏ giọt khoảng 20 ml dung dịch axit sunfuric đậm đặc.

Mở khóa phễu nhỏ giọt cho dung dịch  $H_2SO_4$  chảy xuống từng giọt một, đun nhẹ bình cầu khi điều chế khí HCl.

Thu khí HCl điều chế được ở trên vào một bình tam giác nhỏ (hoàn toàn khô) bằng cách đẩy không khí. Đậy bình cầu bằng nút cao su có gắn ống dẫn khí vuốt nhọn, ống dẫn khí này dài khoảng 8÷10 cm và phần cắm vào trong bình khoảng 5÷6 cm, đầu vuốt nhọn của ống cắm vào phía trong bình .

Dùng ngón tay bịt đầu ống dẫn khí và úp ngược bình tam giác đã thu đầy khí HCl vào một chậu thủy tinh đựng nước có thêm vài giọt dung dịch NaOH và vài giọt chỉ thị phenolphthalein. Mở ngón tay, quan sát và giải thích hiện tượng xảy ra. Viết phương trình của các phản ứng.

**Thí nghiệm 5.3.** Thuộc thử của các ion halogenua

**Hóa chất:** dung dịch  $Ag^+$ ;  $Cl^-$ ;  $Br^-$ ;  $I^-$ ;

**Dụng cụ:** ống nghiệm; pipet

**Cách tiến hành:**

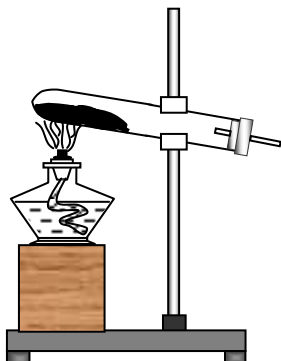
Lấy 4 ống nghiệm, cho riêng vào mỗi ống 3÷4 giọt các dung dịch  $F^-$ ,  $Cl^-$ ,  $Br^-$  và  $I^-$ . Thêm vào mỗi ống 1÷2 giọt dung dịch  $AgNO_3$ .

Quan sát màu sắc của các kết tủa tạo thành. Viết phương trình của các phản ứng.

**Thí nghiệm 5.4.** Điều chế khí amoniac từ amoni clorua và vôi bột

**Hóa chất:**  $\text{NH}_4\text{Cl}$  tinh thể,  $\text{CaO}$ ,  $\text{HCl}$  đặc, giấy quỳ

**Dụng cụ:** bộ dụng cụ như hình vẽ, đĩa thủy tinh



Hình 12. Bộ dụng cụ điều chế  $\text{NH}_3$

**Cách tiến hành:**

Lấy khoảng 2 g  $\text{NH}_4\text{Cl}$  và 1 g vôi bột vào cối sứ, trộn đều rồi đổ hỗn hợp thu được vào ống nghiệm chịu nhiệt, khô. Đun nhẹ ống nghiệm trên ngọn lửa đèn cồn.

a. Nhận xét mùi khí thoát ra.

b. Đưa một mẫu giấy quỳ đã được tẩm ướt vào luồng khí thoát ra ở miệng ống nghiệm. Quan sát sự đổi màu của giấy.

c. Lấy đĩa thủy tinh sạch nhúng một đầu vào dung dịch  $\text{HCl}$  đặc rồi đưa vào gần miệng ống nghiệm. Quan sát và giải thích hiện tượng xảy ra.

Viết phương trình phản ứng.



||  
**PHỤ LỤC**

*Phụ lục 1. Tích số tan một số chất ở 25<sup>0</sup>C*

<b>Tên</b>	<b>Công thức</b>	<b>T<sub>tt</sub></b>
Strontium phosphate	Sr <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	1 × 10 <sup>-31</sup>
Strontium sulfate	SrSO <sub>4</sub>	3.44 × 10 <sup>-7</sup>
Tin(II) hydroxide	Sn(OH) <sub>2</sub>	5.45 × 10 <sup>-27</sup>
Tin(II) sulfide	SnS	1 × 10 <sup>-26</sup>
Zinc carbonate	ZnCO <sub>3</sub>	1.46 × 10 <sup>-10</sup>
Zinc hydroxide	Zn(OH) <sub>2</sub>	3 × 10 <sup>-17</sup>
Zinc oxalate	ZnC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	2.7 × 10 <sup>-8</sup>
Zinc sulfide	ZnS	2 × 10 <sup>-25</sup>
Aluminum hydroxide	Al(OH) <sub>3</sub>	1.3 × 10 <sup>-33</sup>
Aluminum phosphate	AlPO <sub>4</sub>	9.84 × 10 <sup>-21</sup>
Barium carbonate	BaCO <sub>3</sub>	2.58 × 10 <sup>-9</sup>
Barium chromate	BaCrO <sub>4</sub>	1.17 × 10 <sup>-10</sup>
Barium fluoride	BaF <sub>2</sub>	2.45 × 10 <sup>-5</sup>
Barium hydroxide	Ba(OH) <sub>2</sub>	5.0 × 10 <sup>-3</sup>
Barium oxalate	BaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1.6 × 10 <sup>-6</sup>
Barium phosphate	Ba <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	6 × 10 <sup>-39</sup>
Barium sulfate	BaSO <sub>4</sub>	1.07 × 10 <sup>-10</sup>
Cadmium carbonate	CdCO <sub>3</sub>	1.0 × 10 <sup>-12</sup>
Cadmium hydroxide	Cd(OH) <sub>2</sub>	7.2 × 10 <sup>-15</sup>
Cadmium sulfide	CdS	8 × 10 <sup>-28</sup>
Calcium carbonate	CaCO <sub>3</sub>	4.96 × 10 <sup>-9</sup>
Calcium chromate	CaCrO <sub>4</sub>	7.1 × 10 <sup>-4</sup>
Calcium fluoride	CaF <sub>2</sub>	1.46 × 10 <sup>-10</sup>
Copper(I) cyanide	CuCN	3.47 × 10 <sup>-20</sup>
Copper(II) carbonate	CuCO <sub>3</sub>	2.4 × 10 <sup>-10</sup>
Copper(II) hydroxide	Cu(OH) <sub>2</sub>	2.2 × 10 <sup>-20</sup>
Copper(II) phosphate	Cu <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	1.40 × 10 <sup>-37</sup>
Copper(II) sulfide	CuS	1.27 × 10 <sup>-36</sup>

Calcium hydroxide	$\text{Ca(OH)}_2$	$4.68 \times 10^{-6}$
Calcium hydrogen phosphate	$\text{CaHPO}_4$	$1 \times 10^{-7}$
Calcium oxalate	$\text{CaC}_2\text{O}_4$	$2.32 \times 10^{-9}$
Calcium phosphate	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	$2.07 \times 10^{-33}$
Calcium sulfate	$\text{CaSO}_4$	$7.10 \times 10^{-5}$
Chromium(III) hydroxide	$\text{Cr(OH)}_3$	$6.3 \times 10^{-31}$
Cobalt(II) carbonate	$\text{CoCO}_3$	$1.0 \times 10^{-10}$
Cobalt(II) hydroxide	$\text{Co(OH)}_2$	$5.92 \times 10^{-15}$
Cobalt(II) sulfide	$\text{CoS}$	$5 \times 10^{-22}$
Copper(I) bromide	$\text{CuBr}$	$6.27 \times 10^{-9}$
Copper(I) chloride	$\text{CuCl}$	$1.72 \times 10^{-7}$
Iron(II) carbonate	$\text{FeCO}_3$	$3.07 \times 10^{-11}$
Iron(II) hydroxide	$\text{Fe(OH)}_2$	$4.87 \times 10^{-17}$
Iron(II) sulfide	$\text{FeS}$	$3.72 \times 10^{-19}$
Iron(III) hydroxide	$\text{Fe(OH)}_3$	$2.79 \times 10^{-39}$
Lanthanum fluoride	$\text{LaF}_3$	$2 \times 10^{-19}$
Lanthanum iodate	$\text{La(IO}_3)_3$	$7.50 \times 10^{-12}$
Lead(II) bromide	$\text{PbBr}_2$	$4.67 \times 10^{-6}$
Lead(II) carbonate	$\text{PbCO}_3$	$7.40 \times 10^{-14}$
Lead(II) chloride	$\text{PbCl}_2$	$1.17 \times 10^{-5}$
Lead(II) chromate	$\text{PbCrO}_4$	$2.8 \times 10^{-13}$
Lead(II) fluoride	$\text{PbF}_2$	$3.3 \times 10^{-8}$
Lead(II) hydroxide	$\text{Pb(OH)}_2$	$1.43 \times 10^{-20}$
Lead(II) iodide	$\text{PbI}_2$	$9.8 \times 10^{-9}$
Lead(II) phosphate	$\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$	$1 \times 10^{-54}$
Lead(II) sulfate	$\text{PbSO}_4$	$1.82 \times 10^{-8}$
Lead(II) sulfide	$\text{PbS}$	$9.04 \times 10^{-29}$
Magnesium carbonate	$\text{MgCO}_3$	$6.82 \times 10^{-6}$
Magnesium fluoride	$\text{MgF}_2$	$5.16 \times 10^{-11}$
Magnesium hydroxide	$\text{Mg(OH)}_2$	$2.06 \times 10^{-13}$
Magnesium oxalate	$\text{MgC}_2\text{O}_4$	$4.83 \times 10^{-6}$
Manganese(II) carbonate	$\text{MnCO}_3$	$2.24 \times 10^{-11}$
Manganese(II) hydroxide	$\text{Mn(OH)}_2$	$1.6 \times 10^{-13}$
Manganese(II) sulfide	$\text{MnS}$	$2.3 \times 10^{-13}$
Mercury(I) bromide	$\text{Hg}_2\text{Br}_2$	$6.40 \times 10^{-23}$
Mercury(I) carbonate	$\text{Hg}_2\text{CO}_3$	$3.6 \times 10^{-17}$
Mercury(I) chloride	$\text{Hg}_2\text{Cl}_2$	$1.43 \times 10^{-18}$

Mercury(I) chromate	$\text{Hg}_2\text{CrO}_4$	$2 \times 10^{-9}$
Mercury(I) cyanide	$\text{Hg}_2(\text{CN})_2$	$5 \times 10^{-40}$
Mercury(I) iodide	$\text{Hg}_2\text{I}_2$	$5.2 \times 10^{-29}$
Mercury(II) hydroxide	$\text{Hg}(\text{OH})_2$	$3.1 \times 10^{-26}$
Mercury(II) sulfide	$\text{HgS}$	$1.6 \times 10^{-54}$
Nickel(II) carbonate	$\text{NiCO}_3$	$1.42 \times 10^{-7}$
Nickel(II) hydroxide	$\text{Ni}(\text{OH})_2$	$5.48 \times 10^{-16}$
Nickel(II) sulfide	$\text{NiS}$	$3 \times 10^{-20}$
Silver bromate	$\text{AgBrO}_3$	$5.38 \times 10^{-5}$
Silver bromide	$\text{AgBr}$	$5.35 \times 10^{-13}$
Silver carbonate	$\text{Ag}_2\text{CO}_3$	$8.46 \times 10^{-12}$

*Phụ lục 2. Hằng số phân ly một số bazơ yếu ở 25<sup>0</sup>C*

Tên	công thức	$K_b$
Ammonia	$\text{NH}_3$	$1.76 \times 10^{-5}$
Aniline	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$	$3.9 \times 10^{-10}$
Bicarbonate ion	$\text{HCO}_3^-$	$1.7 \times 10^{-9}$
Carbonate ion	$\text{CO}_3^{2-}$	$1.8 \times 10^{-4}$
Codeine	$\text{C}_{18}\text{H}_{21}\text{NO}_3$	$1.6 \times 10^{-6}$
Diethylamine	$(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{NH}$	$6.9 \times 10^{-4}$
Dimethylamine	$(\text{CH}_3)_2\text{NH}$	$5.4 \times 10^{-4}$
Ethylamine	$\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$	$5.6 \times 10^{-4}$
Ethylenediamine	$\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_2$	$8.3 \times 10^{-5}$
Hydrazine	$\text{H}_2\text{NNH}_2$	$1.3 \times 10^{-6}$
Hydroxylamine	$\text{HONH}_2$	$1.1 \times 10^{-8}$
Ketamine	$\text{C}_{13}\text{H}_{16}\text{ClNO}$	$3 \times 10^{-7}$
Methylamine	$\text{CH}_3\text{NH}_2$	$4.4 \times 10^{-4}$
Morphine	$\text{C}_{17}\text{H}_{19}\text{NO}_3$	$1.6 \times 10^{-6}$
Nicotine	$\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2$	$1.0 \times 10^{-6}$
Piperidine	$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{NH}$	$1.33 \times 10^{-3}$
Propylamine	$\text{C}_3\text{H}_7\text{NH}_2$	$3.5 \times 10^{-4}$
Pyridine	$\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$	$1.7 \times 10^{-9}$
Strychnine	$\text{C}_{21}\text{H}_{22}\text{N}_2\text{O}_2$	$1.8 \times 10^{-6}$
Triethylamine	$(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{N}$	$5.6 \times 10^{-4}$
Trimethylamine	$(\text{CH}_3)_3\text{N}$	$6.4 \times 10^{-5}$



*Phụ lục 3. Hằng số phân li một số axit ở 25<sup>0</sup>C*

Tên	công thức	K <sub>a1</sub>	K <sub>a2</sub>	K <sub>a3</sub>
Acetic	HC <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	1.8 × 10 <sup>-5</sup>		
Acetylsalicylic	HC <sub>9</sub> H <sub>7</sub> O <sub>4</sub>	3.3 × 10 <sup>-4</sup>		
Adipic	H <sub>2</sub> C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub>	3.9 × 10 <sup>-5</sup>	3.9 × 10 <sup>-6</sup>	
Arsenic	H <sub>3</sub> AsO <sub>4</sub>	5.5 × 10 <sup>-3</sup>	1.7 × 10 <sup>-7</sup>	5.1 × 10 <sup>-12</sup>
Arsenous	H <sub>3</sub> AsO <sub>3</sub>	5.1 × 10 <sup>-10</sup>		
Ascorbic	H <sub>2</sub> C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>6</sub>	8.0 × 10 <sup>-5</sup>	1.6 × 10 <sup>-12</sup>	
Benzoic	HC <sub>7</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub>	6.5 × 10 <sup>-5</sup>		
Boric	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	5.4 × 10 <sup>-10</sup>		
Butanoic	HC <sub>4</sub> H <sub>7</sub> O <sub>2</sub>	1.5 × 10 <sup>-5</sup>		
Carbonic	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	4.3 × 10 <sup>-7</sup>	5.6 × 10 <sup>-11</sup>	
Chloroacetic	HC <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Cl	1.4 × 10 <sup>-3</sup>		
Chlorous	HClO <sub>2</sub>	1.1 × 10 <sup>-2</sup>		
Citric	H <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O <sub>7</sub>	7.4 × 10 <sup>-4</sup>	1.7 × 10 <sup>-5</sup>	4.0 × 10 <sup>-7</sup>
Cyanic	HCNO	2 × 10 <sup>-4</sup>		
Formic	HCHO <sub>2</sub>	1.8 × 10 <sup>-4</sup>		
Hydrazoic	HN <sub>3</sub>	2.5 × 10 <sup>-5</sup>		
Hydrocyanic	HCN	4.9 × 10 <sup>-10</sup>		
Hydrofluoric	HF	3.5 × 10 <sup>-4</sup>		
Hydrogen chromate ion	HCrO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	3.0 × 10 <sup>-7</sup>		
Hydrogen peroxide	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	2.4 × 10 <sup>-12</sup>		
Hydrogen selenate ion	HSeO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	2.2 × 10 <sup>-2</sup>		
Hydrosulfuric	H <sub>2</sub> S	8.9 × 10 <sup>-8</sup>	1 × 10 <sup>-19</sup>	
Hydrotelluric	H <sub>2</sub> Te	2.3 × 10 <sup>-3</sup>	1.6 × 10 <sup>-11</sup>	
Hypobromous	HBrO	2.8 × 10 <sup>-9</sup>		
Hypochlorous	HClO	2.9 × 10 <sup>-8</sup>		
Hypoiodous	HIO	2.3 × 10 <sup>-11</sup>		
Iodic	HIO <sub>3</sub>	1.7 × 10 <sup>-1</sup>		
Lactic	HC <sub>3</sub> H <sub>5</sub> O <sub>3</sub>	1.4 × 10 <sup>-4</sup>		
Maleic	H <sub>2</sub> C <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1.2 × 10 <sup>-2</sup>	5.9 × 10 <sup>-7</sup>	
Malonic	H <sub>2</sub> C <sub>3</sub> H <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1.5 × 10 <sup>-3</sup>	2.0 × 10 <sup>-6</sup>	
Nitrous	HNO <sub>2</sub>	4.6 × 10 <sup>-4</sup>		
Oxalic	H <sub>2</sub> C <sub>4</sub> O <sub>4</sub>	5.9 × 10 <sup>-2</sup>	6.4 × 10 <sup>-5</sup>	
Paraperiodic	H <sub>5</sub> IO <sub>6</sub>	2.8 × 10 <sup>-2</sup>	5.3 × 10 <sup>-9</sup>	

Phụ lục 4. Giá trị thế nhiệt động của một số chất ở 298K

Hợp chất	$\Delta H^0$ (kJ / mol)	$\Delta G^0$ (kJ / mol)	$S^0$ (J / mol.K)
<b>Aluminum</b>			
Al(s)	0	0	28.32
Al(g)	330.0	289.4	164.6
Al <sup>3+</sup> (aq)	-538.4	-483	-325
AlCl <sub>3</sub> (s)	-704.2	-628.8	109.3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	-1675.7	-1582.3	50.9
<b>Barium</b>			
Ba(s)	0	0	62.5
Ba(g)	180.0	146.0	170.2
Ba <sup>2+</sup> (aq)	-537.6	-560.8	9.6
BaCO <sub>3</sub> (s)	-1213.0	-1134.4	112.1
BaCl <sub>2</sub> (s)	-855.0	-806.7	123.7
BaO(s)	-548.0	-520.3	72.1
Ba(OH) <sub>2</sub> (s)	-944.7		
BaSO <sub>4</sub> (s)	-1473.2	-1362.2	132.2
<b>Beryllium</b>			
Be(s)	0	0	9.5
BeO(s)	-609.4	-580.1	13.8
Be(OH) <sub>2</sub> (s)	-902.5	-815.0	45.5
<b>Bismuth</b>			
Bi(s)	0	0	56.7
BiCl <sub>3</sub> (s)	-379.1	-315.0	177.0
Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	-573.9	-493.7	151.5
Bi <sub>2</sub> S <sub>3</sub> (s)	-143.1	-140.6	200.4
BCl <sub>3</sub> (g)	-403.8	-388.7	290.1
BF <sub>3</sub> (g)	-1136.0	-1119.4	254.4
B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (g)	36.4	87.6	232.1
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	-1273.5	-1194.3	54.0
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (s)	-1094.3	-968.9	90.0
<b>Bromine</b>			
Br(g)	111.9	82.4	175.0
Br <sub>2</sub> (l)	0	0	152.2
Br <sub>2</sub> (g)	30.9	3.1	245.5
Br <sup>-</sup> (aq)	-121.4	-102.8	80.71

HBr(g)	-36.3	-53.4	198.7
<b>Cadmium</b>			
Cd(s)	0	0	51.8
Cd(g)	111.8	77.3	167.7
Cd <sup>2+</sup> (aq)	-75.9	-77.6	-73.2
CdCl <sub>2</sub> (s)	-391.5	-343.9	115.3
CdO(s)	-258.4	-228.7	54.8
CdS(s)	-161.9	-156.5	64.9
CdSO <sub>4</sub> (s)	-933.3	-822.7	123.0
<b>Calcium</b>			
Ca(s)	0	0	41.6
Ca(g)	177.8	144.0	154.9
Ca <sup>2+</sup> (aq)	-542.8	-553.6	-53.1
CaC <sub>2</sub> (s)	-59.8	-64.9	70.0
CaCO <sub>3</sub> (s)	-1207.6	-1129.1	91.7
CaCl <sub>2</sub> (s)	-795.4	-748.8	108.4
CaF <sub>2</sub> (s)	-1228.0	-1175.6	68.5
CaH <sub>2</sub> (s)	-181.5	-142.5	41.4
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (s)	-938.2	-742.8	193.2
CaO(s)	-634.9	-603.3	38.1
Ca(OH) <sub>2</sub> (s)	-985.2	-897.5	83.4
CaSO <sub>4</sub> (s)	-1434.5	-1322.0	106.5
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (s)	-4120.8	-3884.7	236.0
<b>Carbon</b>			
C(s, graphite)	0	0	5.7
C(s, diamond)	1.88	2.9	2.4
C(g)	716.7	671.3	158.1
CH <sub>4</sub> (g)	-74.6	-50.5	186.3
CH <sub>3</sub> Cl(g)	-81.9	-60.2	234.6
CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> (g)	-95.4		270.2
CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> (l)	-124.2	-63.2	177.8
CHCl <sub>3</sub> (l)	-134.1	-73.7	201.7
CCl <sub>4</sub> (g)	-95.7	-62.3	309.7
CCl <sub>4</sub> (l)	-128.2	-66.4	216.4

CH <sub>2</sub> O(g)	-108.6	-102.5	218.8
CH <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (l, formic acid)	-425.0	-361.4	129.0
CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub> (g, methylamine)	-22.5	32.7	242.9
CH <sub>3</sub> OH(l)	-238.6	-166.6	126.8
CH <sub>3</sub> OH(g)	-201.0	-162.3	239.9
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (g)	227.4	209.9	200.9
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (g)	52.4	68.4	219.3
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (g)	-84.68	-32.0	229.2
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH(l)	-277.6	-174.8	160.7
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH(g)	-234.8	-167.9	281.6
C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl(g, vinyl chloride)	37.2	53.6	264.0
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub> (l, dichloroethane)	-166.8	-79.6	208.5
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O(g, acetaldehyde)	-166.2	-133.0	263.8
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> (l, acetic acid)	-484.3	-389.9	159.8
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (g)	-103.85	-23.4	270.3
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O(l, acetone)	-248.4	-155.6	199.8
C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH(l, isopropanol)	-318.1		181.1
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (l)	-147.3	-15.0	231.0
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (g)	-125.7	-15.71	310.0
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (l)	49.1	124.5	173.4
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>2</sub> (l, aniline)	31.6	149.2	191.9
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH(s, phenol)	-165.1	-50.4	144.0
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> (s, glucose)	-1273.3	-910.4	212.1
C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> (s, naphthalene)	78.5	201.6	167.4
C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> (s, sucrose)	-2226.1	-1544.3	360.24
CO(g)	-110.5	-137.2	197.7
CO <sub>2</sub> (g)	-393.5	-394.4	213.8
CO <sub>2</sub> (aq)	-413.8	-386.0	117.6
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (aq)	-677.1	-527.8	-56.9
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (aq)	-692.0	-586.8	91.2
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (aq)	-699.7	-623.2	187.4
CN <sup>-</sup> (aq)	151	166	118
HCN(l)	108.9	125.0	112.8
HCN(g)	135.1	124.7	201.8



HCN(g)	135.1	124.7	201.8
CS <sub>2</sub> (l)	89.0	64.6	151.3
CS <sub>2</sub> (g)	116.7	67.1	237.8
COCl <sub>2</sub> (g)	-219.1	-204.9	283.5
C <sub>60</sub> (s)	2327.0	2302.0	426.0
<b>Cesium</b>			
Cs(s)	0	0	85.2
Cs(g)	76.5	49.6	175.6
Cs <sup>+</sup> (aq)	-258.0	-292.0	132.1
CsBr(s)	-400	-387	117
CsCl(s)	-438	-414	101.2
CsF(s)	-553.5	-525.5	92.8
CsI(s)	-342	-337	127
<b>Chlorine</b>			
Cl(g)	121.3	105.3	165.2
Cl <sub>2</sub> (g)	0	0	223.1
Cl <sup>-</sup> (aq)	-167.1	-131.2	56.6
HCl(g)	-92.3	-95.3	186.9
HCl(aq)	-167.2	-131.2	56.5
ClO <sub>2</sub> (g)	102.5	120.5	256.8
Cl <sub>2</sub> O(g)	80.3	97.9	266.2
<b>Chromium</b>			
Cr(s)	0	0	23.8
Cr(g)	396.6	351.8	174.5
Cr <sup>3+</sup> (aq)	-1971		
CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (aq)	-872.2	-717.1	44
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	-1139.7	-1058.1	81.2
Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup> (aq)	-1476	-1279	238
<b>Cobalt</b>			
Co(s)	0	0	30.0
Co(g)	424.7	380.3	179.5
CoO(s)	-237.9	-214.2	53.0
Co(OH) <sub>2</sub> (s)	-539.7	-454.3	79.0
<b>Copper</b>			
Cu(s)	0	0	33.2



Cu(g)	337.4	297.7	166.4
Cu <sup>+</sup> (aq)	51.9	50.2	-26
Cu <sup>2+</sup> (aq)	64.9	65.5	-98
CuCl(s)	-137.2	-119.9	86.2
CuCl <sub>2</sub> (s)	-220.1	-175.7	108.1
CuO(s)	-157.3	-129.7	42.6
CuS(s)	-53.1	-53.6	66.5
CuSO <sub>4</sub> (s)	-771.4	-662.2	109.2
Cu <sub>2</sub> O(s)	-168.6	-146.0	93.1
Cu <sub>2</sub> S(s)	-79.5	-86.2	120.9
<b>Fluorine</b>			
F(g)	79.38	62.3	158.75
F <sub>2</sub> (g)	0	0	202.79
F <sup>-</sup> (aq)	-335.35	-278.8	-13.8
HF(g)	-273.3	-275.4	173.8
<b>Gold</b>			
Au(s)	0	0	47.4
Au(g)	366.1	326.3	180.5
<b>Helium</b>			
He(g)	0	0	126.2
<b>Hydrogen</b>			
H(g)	218.0	203.3	114.7
H <sup>+</sup> (aq)	0	0	0
H <sup>+</sup> (g)	1536.3	1517.1	108.9
H <sub>2</sub> (g)	0	0	130.7
<b>Iodine</b>			
I(g)	106.76	70.2	180.79
I <sub>2</sub> (s)	0	0	116.14
I <sub>2</sub> (g)	62.42	19.3	260.69
I <sup>-</sup> (aq)	-56.78	-51.57	106.45
HI(g)	26.5	1.7	206.6
<b>Iron</b>			
Fe(s)	0	0	27.3
Fe(g)	416.3	370.7	180.5

$\text{Fe}^{2+}(aq)$	-87.9	-84.94	113.4
$\text{Fe}^{3+}(aq)$	-47.69	-10.54	293.3
$\text{FeCO}_3(s)$	-740.6	-666.7	92.9
$\text{FeCl}_2(s)$	-341.8	-302.3	118.0
$\text{FeCl}_3(s)$	-399.5	-334.0	142.3
$\text{FeO}(s)$	-272.0	-255.2	60.75
$\text{Fe}(\text{OH})_3(s)$	-823.0	-696.5	106.7
$\text{FeS}_2(s)$	-178.2	-166.9	52.9
$\text{Fe}_2\text{O}_3(s)$	-824.2	-742.2	87.4
$\text{Fe}_3\text{O}_4(s)$	-1118.4	-1015.4	146.4
<b>Lead</b>			
$\text{Pb}(s)$	0	0	64.8
$\text{Pb}(g)$	195.2	162.2	175.4
$\text{Pb}^{2+}(aq)$	0.92	-24.4	18.5
$\text{PbBr}_2(s)$	-278.7	-261.9	161.5
$\text{PbCO}_3(s)$	-699.1	-625.5	131.0
$\text{PbCl}_2(s)$	-359.4	-314.1	136.0
$\text{PbI}_2(s)$	-175.5	-173.6	174.9
$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2(s)$	-451.9		
$\text{PbO}(s)$	-217.3	-187.9	68.7
$\text{PbO}_2(s)$	-277.4	-217.3	68.6
$\text{PbS}(s)$	-100.4	-98.7	91.2
$\text{PbSO}_4(s)$	-920.0	-813.0	148.5
<b>Lithium</b>			
$\text{Li}(s)$	0	0	29.1
$\text{Li}(g)$	159.3	126.6	138.8
$\text{Li}^+(aq)$	-278.47	-293.3	12.24
$\text{LiBr}(s)$	-351.2	-342.0	74.3
$\text{LiCl}(s)$	-408.6	-384.4	59.3
$\text{LiF}(s)$	-616.0	-587.7	35.7
$\text{LiI}(s)$	-270.4	-270.3	86.8
$\text{LiNO}_3(s)$	-483.1	-381.1	90.0
$\text{LiOH}(s)$	-487.5	-441.5	42.8
$\text{Li}_2\text{O}(s)$	-597.9	-561.2	37.6
<b>Magnesium</b>			
$\text{Mg}(s)$	0	0	32.7
$\text{Mg}(g)$	147.1	112.5	148.6

*Phụ lục 5. Thế oxi hóa-khử tiêu chuẩn ở 298K của một số cặp chất*

Phản ứng điện cực	E <sup>0</sup> (V)
$F_2(g) + 2 e^- \longrightarrow 2 F^-(aq)$	2.87
$O_3(g) + 2 H^+(aq) + 2 e^- \longrightarrow O_2(g) + H_2O(l)$	2.08
$Ag^2+(aq) + e^- \longrightarrow Ag^+(aq)$	1.98
$Co^{3+}(aq) + e^- \longrightarrow Co^{2+}(aq)$	1.82
$H_2O_2(aq) + 2 H^+(aq) + 2 e^- \longrightarrow 2 H_2O(l)$	1.78
$PbO_2(s) + 4 H^+(aq) + SO_4^{2-}(aq) + 2 e^- \longrightarrow$ $PbSO_4(s) + 2 H_2O(l)$	1.69
$MnO_4^-(aq) + 4 H^+(aq) + 3 e^- \longrightarrow MnO_2(s) + 2 H_2O(l)$	1.68
$2 HClO(aq) + 2 H^+(aq) + 2 e^- \longrightarrow Cl_2(g) + 2 H_2O(l)$	1.61
$MnO_4^-(aq) + 8 H^+(aq) + 5 e^- \longrightarrow Mn^{2+}(aq) + 4 H_2O(l)$	1.51
$Au^{3+}(aq) + 3 e^- \longrightarrow Au(s)$	1.50
$2 BrO_3^-(aq) + 12 H^+(aq) + 10 e^- \longrightarrow Br_2(l) + 6 H_2O(l)$	1.48
$PbO_2(s) + 4 H^+(aq) + 2 e^- \longrightarrow Pb^{2+}(aq) + 2 H_2O(l)$	1.46
$Cl_2(g) + 2 e^- \longrightarrow 2 Cl^-(aq)$	1.36
$Cr_2O_7^{2-}(aq) + 14 H^+(aq) + 6 e^- \longrightarrow 2 Cr^{3+}(aq) + 7 H_2O(l)$	1.33
$O_2(g) + 4 H^+(aq) + 4 e^- \longrightarrow 2 H_2O(l)$	1.23
$MnO_2(s) + 4 H^+(aq) + 2 e^- \longrightarrow Mn^{2+}(aq) + 2 H_2O(l)$	1.21
$IO_3^-(aq) + 6 H^+(aq) + 5 e^- \longrightarrow \frac{1}{2} I_2(aq) + 3 H_2O(l)$	1.20
$Br_2(l) + 2 e^- \longrightarrow 2 Br^-(aq)$	1.09
$AuCl_4^-(aq) + 3 e^- \longrightarrow Au(s) + 4 Cl^-(aq)$	1.00
$VO_2^+(aq) + 2 H^+(aq) + e^- \longrightarrow VO^{2+}(aq) + H_2O(l)$	0.99
$HNO_2(aq) + H^+(aq) + e^- \longrightarrow NO(g) + 2 H_2O(l)$	0.98
$NO_3^-(aq) + 4 H^+(aq) + 3 e^- \longrightarrow NO(g) + 2 H_2O(l)$	0.96
$ClO_2(g) + e^- \longrightarrow ClO_2^-(aq)$	0.95
$2 Hg^{2+}(aq) + 2 e^- \longrightarrow 2 Hg_2^{2+}(aq)$	0.92
$Ag^+(aq) + e^- \longrightarrow Ag(s)$	0.80
$Hg_2^{2+}(aq) + 2 e^- \longrightarrow 2 Hg(l)$	0.80
$Fe^{3+}(aq) + e^- \longrightarrow Fe^{2+}(aq)$	0.77
$PtCl_4^{2-}(aq) + 2 e^- \longrightarrow Pt(s) + 4 Cl^-(aq)$	0.76
$O_2(g) + 2 H^+(aq) + 2 e^- \longrightarrow H_2O_2(aq)$	0.70
$MnO_4^-(aq) + e^- \longrightarrow MnO_4^{2-}(aq)$	0.56
$I_2(s) + 2 e^- \longrightarrow 2 I^-(aq)$	0.54
$Cu^+(aq) + e^- \longrightarrow Cu(s)$	0.52
$O_2(g) + 2 H_2O(l) + 4 e^- \longrightarrow 4 OH^-(aq)$	0.40
$Cu^{2+}(aq) + 2 e^- \longrightarrow Cu(s)$	0.34

$\text{BiO}^+(aq) + 2 \text{H}^+(aq) + 3 e^- \longrightarrow \text{Bi}(s) + \text{H}_2\text{O}(l)$	0.32
$\text{Hg}_2\text{Cl}_2(s) + 2 e^- \longrightarrow 2 \text{Hg}(l) + 2 \text{Cl}^-(aq)$	0.27
$\text{AgCl}(s) + e^- \longrightarrow \text{Ag}(s) + \text{Cl}^-(aq)$	0.22
$\text{SO}_4^{2-}(aq) + 4 \text{H}^+(aq) + 2 e^- \longrightarrow \text{H}_2\text{SO}_3(aq) + \text{H}_2\text{O}(l)$	0.20
$\text{Cu}^{2+}(aq) + e^- \longrightarrow \text{Cu}^+(aq)$	0.16
$\text{Sn}^{4+}(aq) + 2 e^- \longrightarrow \text{Sn}^{2+}(aq)$	0.15
$\text{S}(s) + 2 \text{H}^+(aq) + 2 e^- \longrightarrow \text{H}_2\text{S}(g)$	0.14
$\text{AgBr}(s) + e^- \longrightarrow \text{Ag}(s) + \text{Br}^-(aq)$	0.071
$2 \text{H}^+(aq) + 2 e^- \longrightarrow \text{H}_2(g)$	0.00
$\text{Fe}^{3+}(aq) + 3 e^- \longrightarrow \text{Fe}(s)$	-0.036
$\text{Pb}^{2+}(aq) + 2 e^- \longrightarrow \text{Pb}(s)$	-0.13
$\text{Sn}^{2+}(aq) + 2 e^- \longrightarrow \text{Sn}(s)$	-0.14
$\text{AgI}(s) + e^- \longrightarrow \text{Ag}(s) + \text{I}^-(aq)$	-0.15
$\text{N}_2(g) + 5 \text{H}^+(aq) + 4 e^- \longrightarrow \text{N}_2\text{H}_5^+(aq)$	-0.23
$\text{Ni}^{2+}(aq) + 2 e^- \longrightarrow \text{Ni}(s)$	-0.23
$\text{Co}^{2+}(aq) + 2 e^- \longrightarrow \text{Co}(s)$	-0.28
$\text{PbSO}_4(s) + 2 e^- \longrightarrow \text{Pb}(s) + \text{SO}_4^{2-}(aq)$	-0.36
$\text{Cd}^{2+}(aq) + 2 e^- \longrightarrow \text{Cd}(s)$	-0.40
$\text{Fe}^{2+}(aq) + 2 e^- \longrightarrow \text{Fe}(s)$	-0.45
$2 \text{CO}_2(g) + 2 \text{H}^+(aq) + 2 e^- \longrightarrow \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4(aq)$	-0.49
$\text{Cr}^{3+}(aq) + e^- \longrightarrow \text{Cr}^{2+}(aq)$	-0.50
$\text{Cr}^{3+}(aq) + 3 e^- \longrightarrow \text{Cr}(s)$	-0.73
$\text{Zn}^{2+}(aq) + 2 e^- \longrightarrow \text{Zn}(s)$	-0.76
$2 \text{H}_2\text{O}(l) + 2 e^- \longrightarrow \text{H}_2(g) + 2 \text{OH}^-(aq)$	-0.83
$\text{Mn}^{2+}(aq) + 2 e^- \longrightarrow \text{Mn}(s)$	-1.18
$\text{Al}^{3+}(aq) + 3 e^- \longrightarrow \text{Al}(s)$	-1.66
$\text{H}_2(g) + 2 e^- \longrightarrow 2 \text{H}^-(aq)$	-2.23
$\text{Mg}^{2+}(aq) + 2 e^- \longrightarrow \text{Mg}(s)$	-2.37
$\text{La}^{3+}(aq) + 3 e^- \longrightarrow \text{La}(s)$	-2.38
$\text{Na}^+(aq) + e^- \longrightarrow \text{Na}(s)$	-2.71
$\text{Ca}^{2+}(aq) + 2 e^- \longrightarrow \text{Ca}(s)$	-2.76

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. NX. Acmetop. Hoá vô cơ phần I, II. Nhà xuất bản Đại học và trung học chuyên nghiệp - 1976. (bản tiếng việt).
2. L. Paling. Obsaia khimia I<sub>2</sub>đ. Mir -1974.
3. Nguyễn Duy Ái. Một số phản ứng trong hoá học vô cơ. Nhà xuất bản Giáo dục - 2005.
4. Nguyễn Đình Chi. Cơ sở lí thuyết hoá học phần I. Nhà xuất bản Giáo dục -2003.
5. Nguyễn Đức Chung. Bài tập và trắc nghiệm Hoá học đại cương. Nhà xuất bản thành phố Hồ chí Minh -1997.
6. Kiều Dinh. Hoá học đại cương. Nhà xuất bản Đại học và trung học chuyên nghiệp - 1976.
7. Dương Văn Đảm. Bài tập Hoá học đại cương. Nhà xuất bản giáo dục - 2006.
8. Trần Thị Đà-Nguyễn Thế Ngân. Hoá học vô cơ tập 1, tập 2. Nhà xuất bản Đại học Sư phạm -2007.
9. Trần Thị Đà-Đặng Trần Phách. Cơ sở lí thuyết các phản ứng hoá học. Nhà xuất bản Giáo dục -2004.
10. Vũ Đăng Độ. Cơ sở lí thuyết các quá trình hoá học. Nhà xuất bản Giáo dục - 1994.
11. Vũ Đăng Độ (CB). Bài tập cơ sở lí thuyết các quá trình hoá học. Nhà xuất bản Giáo dục -2005.
12. Trần Hiệp Hải (CB). Bài tập cơ sở lí thuyết các quá trình hoá học. Nhà xuất bản Đại học Sư phạm -2004.
13. Nguyễn Hạnh. Cơ sở lí thuyết hoá học phần II. nhà xuất bản Giáo dục - 2003.
14. Trần Thành Huế. Hoá học đại cương I. Cấu tạo chất. Nhà xuất bản Đại học Sư phạm -2004.
15. Hoàng Nhâm. Hoá học vô cơ tập 1, 2, 3. Nhà xuất bản Giáo dục -2004.
16. Đặng Trần Phách. Hoá cơ sở tập 1, 2. Nhà xuất bản Giáo dục- 1992.
17. Lê Mậu Quyền. Hoá học đại cương. Nhà xuất bản Giáo dục-2005.
18. Lê Mậu Quyền. Cơ sở lí thuyết hoá học phần bài tập. Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật -1999.
19. Nguyễn Văn Tấu (CB). Hoá học đại cương. Nhà xuất bản Giáo dục - 2003.