

HÓA ĐẠI CƯƠNG

PHẦN I. CẤU TẠO CHẤT

PHẦN II. CÁC QUY LUẬT DIỄN RA CỦA CÁC
QUÁ TRÌNH HÓA HỌC

PHẦN II

CÁC QUY LUẬT DIỄN RA CỦA CÁC QUÁ TRÌNH HÓA HỌC

- CHƯƠNG I. NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC CỦA CÁC
QUÁ TRÌNH HÓA HỌC
- CHƯƠNG II. ĐỘNG HÓA HỌC
- CHƯƠNG III. DUNG DỊCH
- CHƯƠNG IV. ĐIỆN HÓA HỌC

CHƯƠNG I. NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC CỦA CÁC QUÁ TRÌNH HÓA HỌC

- I. CÁC KHÁI NIÊM CƠ BẢN
- II. NGUYÊN LÝ I CỦA NHIỆT ĐỘNG LỰC
HỌC VÀ HIỆU ỨNG NHIỆT
- III. NGUYÊN LÝ II CỦA NHIỆT ĐỘNG LỰC
HỌC VÀ CHIỀU DIỄN RA CỦA CÁC QUÁ
TRÌNH HÓA HỌC
- IV. CÂN BẰNG HÓA HỌC

I. CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN

1. Khái niệm về nhiệt động lực học và
nhiệt động hóa học
2. Một số khái niệm cần thiết

1. Khái niệm về nhiệt động lực học và nhiệt động hóa học

a. Nhiệt động lực học

b. Nhiệt động hóa học

- Xác định năng lượng liên kết
- Dự đoán chiều hướng diễn ra của quá trình hóa học
- Hiệu suất của phản ứng



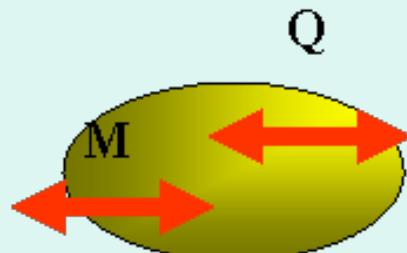
2. Một số khái niệm cần thiết

- a. Hệ hóa học
- b. Pha
- c. Trạng thái và quá trình
- d. Các hàm nhiệt động

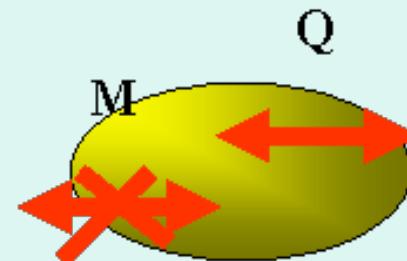
a. Hệ hóa học

➤ Hệ + Môi trường xung quanh = Vũ trụ

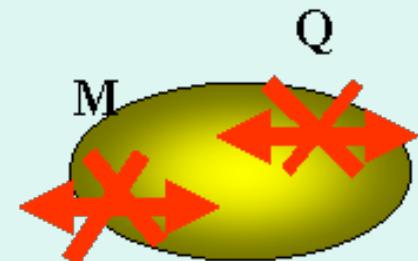
➤ Phân loại hệ:



Hệ mở

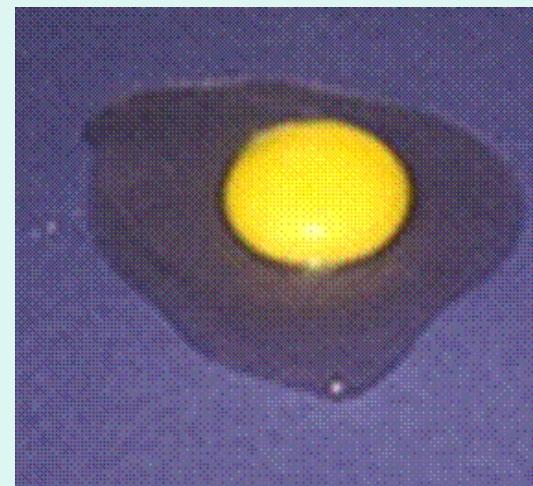


Hệ kín

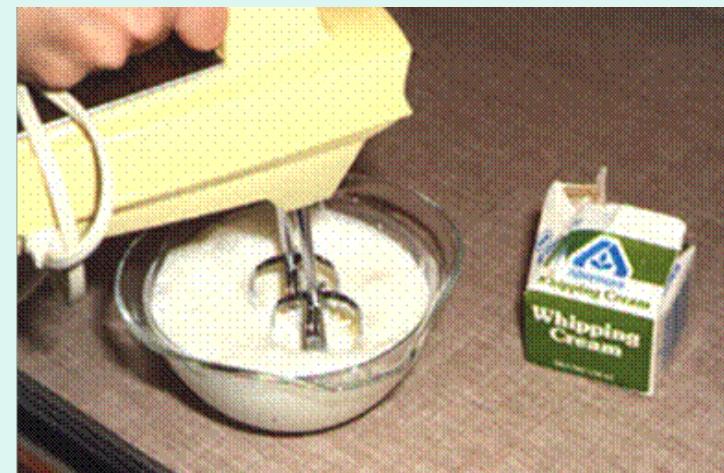


Hệ cô lập

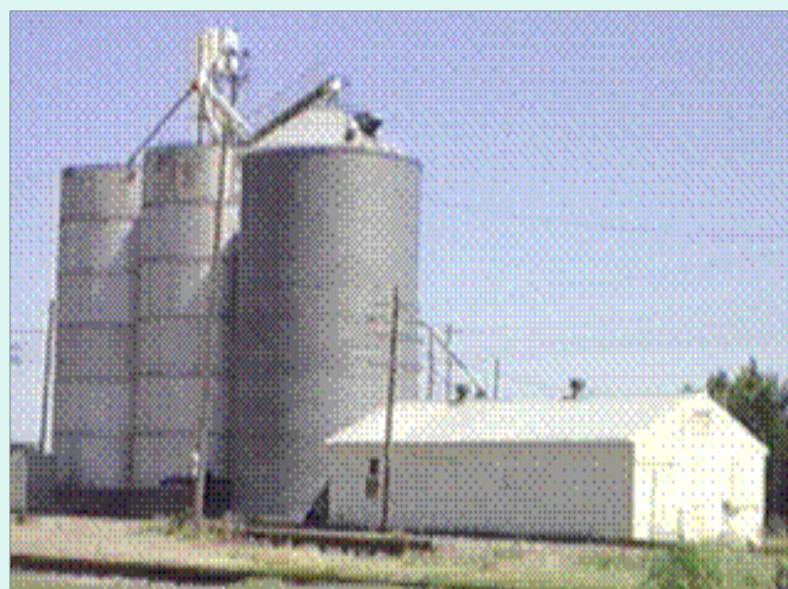
Hệ đoạn nhiệt: $\Delta Q = 0$.



Hệ dị thể



Hệ động thể



b. Pha

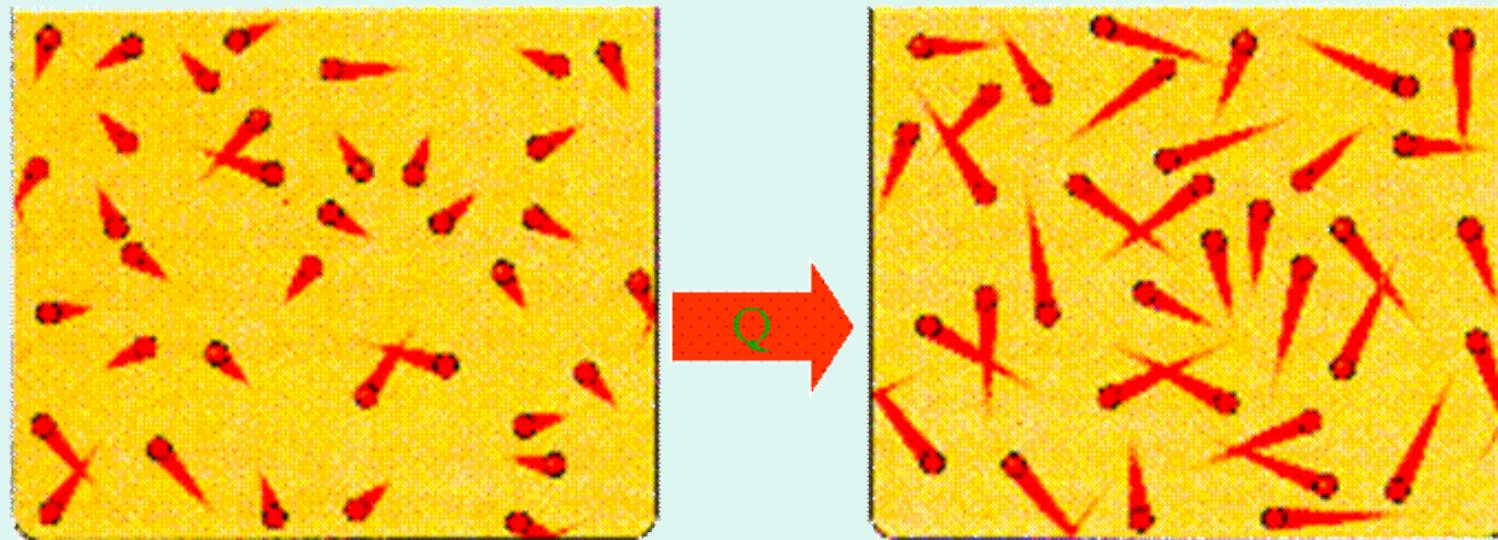
- Là tập hợp những phần đồng thể của hệ
- Giống nhau về thành phần hóa học và tính chất hóa lý.
- Được phân cách với các pha khác bởi bề mặt phân chia pha.
- Hệ 1 pha: hệ đồng thể
- Hệ nhiều pha: hệ dị thể



c. Trạng thái và quá trình

- Trạng thái
- Quá trình
- Các thông số trạng thái

➤ Quá trình



Trạng thái 1 (P_1, V_1, T_1, C_1)

Trạng thái 2 (P_2, V_2, T_2, C_2)

✓ Quá trình thuận nghịch

✓ Quá trình bất thuận nghịch: Tất cả các quá trình tự diễn ra trong tự nhiên đều là bất thuận nghịch.



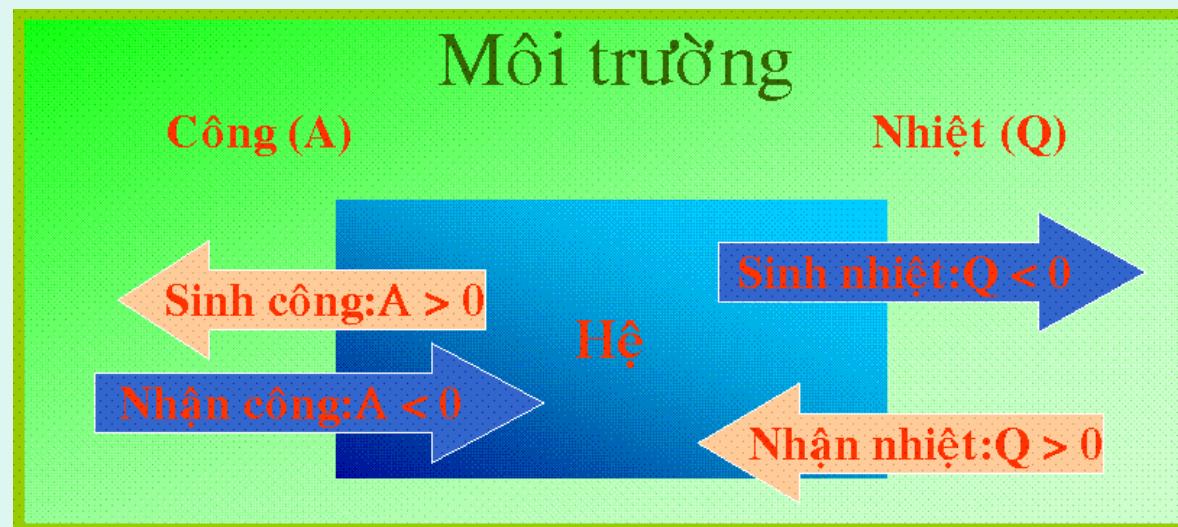
➤ Các thông số trạng thái

- ✓ Định nghĩa: là các đại lượng vật lý và nhiệt động biểu diễn trạng thái của hệ
- ✓ Phân loại:
 - Thông số **khuyếch độ** (dung độ) (có tính cộng): là các thông số phụ thuộc vào lượng chất: V, m, năng lượng...
 - Thông số **cường độ** (đặc trưng cho hệ): là các thông số không phụ thuộc vào lượng chất: T, p, d, C, thể tích riêng, thể tích mol ...



d. Các hàm nhiệt động

- Hàm nhiệt động là các hàm số đặc trưng cho các trạng thái và quá trình nhiệt động.
- Phân loại hàm nhiệt động
 - ✓ *Hàm trạng thái*: chỉ phụ thuộc vào các thông số trạng thái của hệ chứ không phụ thuộc vào cách biến đổi hệ: P, V, T, U...
 - ✓ *Hàm quá trình*: phụ thuộc cách biến đổi của hệ: A, Q...



II. NGUYÊN LÝ I CỦA NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC VÀ HIỆU ỨNG NHIỆT

- 1. Nguyên lý I của nhiệt động lực học và các
đại lượng nhiệt động** 
- 2. Hiệu ứng nhiệt của các quá trình hóa học và
phương trình nhiệt hóa học** 
- 3. Định luật Hess và các hệ quả** 
- 4. Tính hiệu ứng nhiệt và năng lượng liên kết** 

1. Nguyên lý I và các đại lượng nhiệt động

- a. Nguyên lý I của nhiệt động lực học
- b. Các đại lượng nhiệt động

- Nội năng U
- Entanpi H
- Nhiệt dung C

➤ Nội năng U

- ✓ Nội năng: dự trữ năng lượng của chất

$$U = E_{\text{tổng}} - (\text{động năng} + \text{thể năng}).$$

- ✓ Đơn vị đo: J/mol, cal/mol

- ✓ Không thể xác định được U: $\Delta U = U_2 - U_1$

- ✓ Xác định ΔU : $Q = \Delta U + A = \Delta U + p \Delta V$

Trong quá trình đẳng tích: $\Delta V = 0$

$$Q_V = \Delta U$$



➤ Entanpi H

$$Q = \Delta U + p \Delta V$$

Trong quá trình đẳng áp: $p = \text{const}$

$$\Delta U = U_2 - U_1$$

$$\Delta V = V_2 - V_1$$

$$\begin{aligned} Q_P &= (U_2 - U_1) + p(V_2 - V_1) \\ &= (U_2 + pV_2) - (U_1 + pV_1) \\ &= H_2 - H_1 \end{aligned}$$

$H = U + PV$ - entanpi - E + khả năng sinh công tiềm ẩn của hệ
- hàm trạng thái

- Đơn vị đo: kJ/mol

$$Q_P = \Delta H$$



➤ Nhiệt dung C

✓ *Nhiệt dung*: lượng nhiệt cần dùng để nâng nhiệt độ của chất lên thêm 10°

✓ *Nhiệt dung riêng* - nhiệt dung của 1 mol chất

✓ Đơn vị đo: J/mol.K

✓

$$C_p = \frac{dQ_p}{dT} \qquad C_V = \frac{dQ_V}{dT}$$

$$Q_p = \Delta H \qquad Q_V = \Delta U$$

$$C_p = \frac{d\Delta H}{dT} \qquad C_V = \frac{d\Delta U}{dT}$$

✓ Đối với các khí lý tưởng: $C_p - C_V = R$



2. Hiệu ứng nhiệt của các quá trình hóa học và phương trình nhiệt hóa

- a. Hiệu ứng nhiệt của các quá trình hóa học 
- b. Phương trình nhiệt hóa 
- c. Nhiệt tạo thành và nhiệt đốt cháy 
- d. Sự phụ thuộc của hiệu ứng nhiệt vào nhiệt độ 

a. Hiệu ứng nhiệt của các quá trình hóa học

- *Hiệu ứng nhiệt*: lượng nhiệt Q mà hệ thu vào/phát ra trong quá trình hóa học
- Thông thường p₀ diễn ra trong điều kiện đẳng áp: $Q_p = \Delta H$
- Hiệu ứng nhiệt $Q = \Delta U + p\Delta V = \Delta U$ nếu $\Delta V = 0$
 - ✓ Trong các phản ứng chỉ có chất lỏng và chất rắn tham gia
 - ✓ Trong các phản ứng có chất khí:

$$pV = nRT$$

$$p \Delta V = RT \Delta n$$

$$\Delta n = 0$$

$$\Delta H = \Delta U$$

$$\Delta n \neq 0$$

$$\Delta H \neq \Delta U$$



b. Phương trình nhiệt hóa học

- Phương trình nhiệt hóa học là phương trình phản ứng hóa học thông thường có ghi kèm hiệu ứng nhiệt của phản ứng và trạng thái tập hợp của các chất
- Quy ước: Phản ứng thu nhiệt có $\Delta H > 0$

Phản ứng tỏa nhiệt có $\Delta H < 0$

→ Trong **điều kiện bình thường**, phản ứng tỏa nhiệt ($\Delta H < 0$) là phản ứng có khả tự xảy ra

- *Hiệu ứng nhiệt tiêu chuẩn:*

Lượng chất: 1 mol

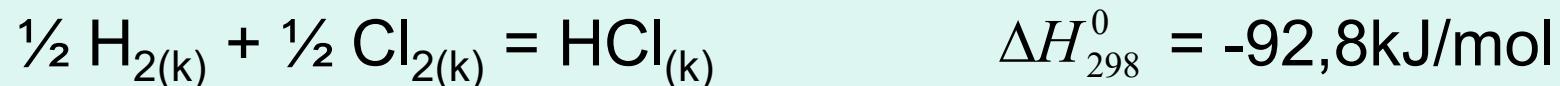
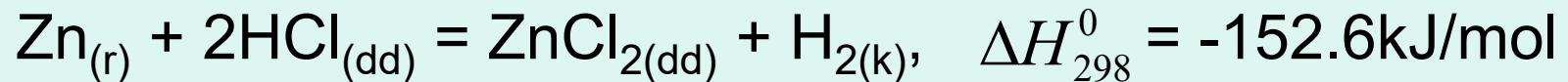
Áp suất: 1 atm

(Nhiệt độ: $25^{\circ}\text{C} = 298\text{K}$)

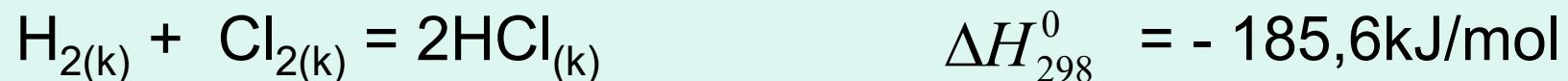
Ký hiệu ΔH_{298}^0



➤ Ví dụ:



➤ Chú ý: hiệu ứng nhiệt tỷ lệ với lượng chất phản ứng và sản phẩm



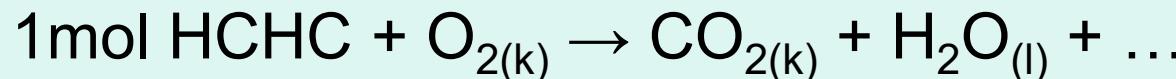
c. Nhiệt tạo thành và nhiệt đốt cháy

➤ **Nhiệt tạo thành:** hiệu ứng nhiệt của phản ứng tạo thành 1 mol chất từ các đơn chất tương ứng bền

✓ Ký hiệu nhiệt tạo thành tiêu chuẩn: $\Delta H_{298.tt}^0$

✓ $\Delta H_{298.tt}^0$ của mọi đơn chất bền = 0

➤ **Nhiệt đốt cháy:** hiệu ứng nhiệt của phản ứng:



✓ Ký hiệu nhiệt đốt cháy tiêu chuẩn $\Delta H_{298.dc}^0$

➤ Nhiệt tạo thành và nhiệt đốt cháy của các chất là đại lượng tra bảng



d. Sự phụ thuộc của hiệu ứng nhiệt vào nhiệt độ

- pt Kirchhoff

$$\Delta H_1 = \Delta H_2 + \int_{T_1}^{T_2} \Delta C_p dT$$

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

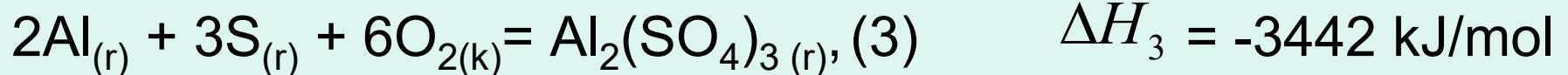
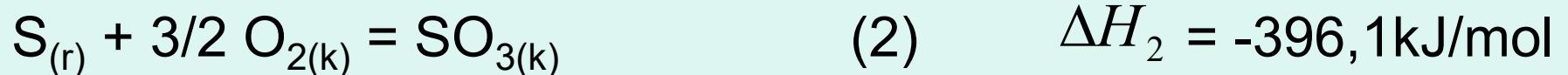
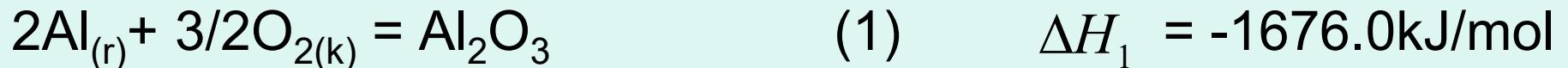


3. Định luật Hess và các hệ quả

a. **Định luật Hess:** *Hiệu ứng nhiệt của phản ứng hóa học chỉ phụ thuộc vào bản chất và trạng thái của các chất đầu và sản phẩm cuối chứ không phụ thuộc vào đường đi của quá trình, nghĩa là không phụ thuộc vào số lượng và đặc điểm của các chất giai đoạn trung gian.*

→ có thể cộng hay trừ những phương trình nhiệt hóa như những phương trình đại số.

Ví dụ



$$(4) = (3) - [(1) + 3 \times (2)] \quad \rightarrow \quad \Delta H_4 = \Delta H_3 - (\Delta H_1 + 3\Delta H_2)$$

b. Hệ quả

➤ Hệ quả 1

$$\Delta H_{pu} = \sum \Delta H_{sp}^{tt} - \sum \Delta H_{cd}^{tt}$$

➤ Hệ quả 2

$$\Delta H_{pu} = \sum \Delta H_{cd}^{dc} - \sum \Delta H_{sp}^{dc}$$

➤ Hệ quả 3 (định luật Laviosier La Plase)

$$\Delta H_t + \Delta H_n = 0 \quad \rightarrow \quad \Delta H_t = -\Delta H_n$$



4. Tính hiệu ứng nhiệt và năng lượng liên kết

a. Tính hiệu ứng nhiệt

- Ở 25°C
 - ✓ Áp dụng định luật Hess
 - ✓ Áp dụng các hệ quả
- Ở $T \neq 25^{\circ}\text{C}$: áp dụng phương trình Kirchhoff

b. Tính năng lượng liên kết

Ví dụ 1: Áp dụng định luật Hess

- $C_{(gr)} + O_{2(k)} = CO_{2(k)}$ (1), $\Delta H_{298}^0 = -393.5 \text{ kJ/mol}$
- $CO_{(k)} + \frac{1}{2}O_{2(k)} = CO_{2(k)}$ (2), $\Delta H_{298}^0 = -283.0 \text{ kJ/mol}$
- (1) – (2): $C_{(gr)} + \frac{1}{2} O_{2(k)} = CO_{(k)}$
 $\Delta H_{298}^0 = -393.5 + 283.0 = -110.5 \text{ kJ/mol}$



Ví dụ 2: Áp dụng các hệ quả

Phản ứng:

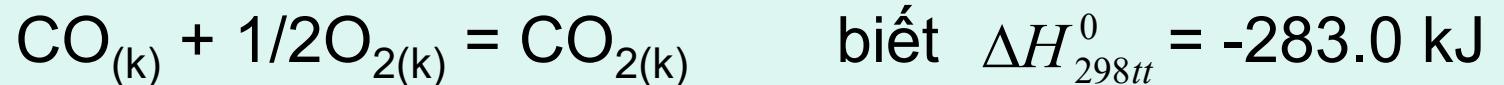


$\Delta H_{298\text{ }tt}^0$ (kJ/mol): -1206.9 -635.5 -393.5 kJ/mol

$$\Delta H_{298\text{ }pu}^0 = (-635.5 - 393.5) - (-1206.9) = + 177.9 \text{ kJ/mol}$$



Ví dụ 3: Tính ΔH ở điều kiện khác chuẩn: Áp dụng pt Kirchhoff



$$C_p(\text{cal/mol.K}) \quad 6.97 \quad 7.05 \quad 8.96 \quad \Delta H_{398} = ?$$

Giải: $\Delta C_p = 8.96 - (6.97 + 7.05:2) = -1.535 \text{ cal/K} = -6.42 \text{ J/K}$

$$\Delta H_{398}^0 = \Delta H_{298}^0 + \Delta C_p (398 - 298) = -283.642 \text{ kJ}$$



b. Tính năng lượng liên kết.

Ví dụ: $2\text{H}_{(\text{k})} + \text{O}_{(\text{k})} = \text{H}_2\text{O}_{(\text{k})}$, $\Delta H^0 = -924.2\text{kJ}$ \rightarrow

$$E_{H-O} = \frac{924.2}{2} = 462.1\text{kJ}$$



III. NGUYÊN LÝ II VÀ CHIỀU DIỄN RA CỦA CÁC QUÁ TRÌNH HÓA HỌC

- 1. Đại lượng entropi**
- 2. Thế đẳng áp - đẳng nhiệt và chiều diễn
ra của phản ứng hóa học**
- 3. Sự thay đổi thế đẳng áp và điều kiện
diễn ra của các quá trình hóa học**

1. Đại lượng entropi

- a. Mức độ hỗn loạn và chiều hướng diễn ra của các quá trình hóa học
- b. Entropi và xác suất nhiệt động học
- c. Mối liên hệ giữa biến thiên entropi và hiệu ứng nhiệt của quá trình
- d. Tính sự biến đổi entropi của các quá trình

1. Đại lượng entropi

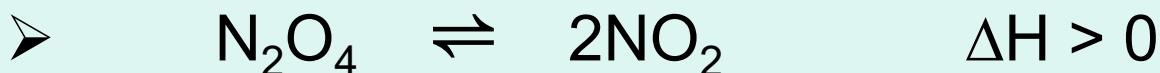
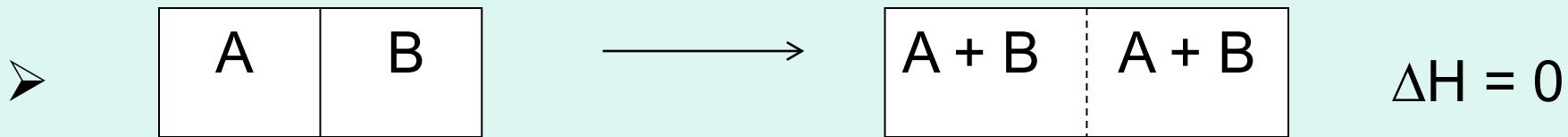
Nguyên lý I: quá trình tự diễn ra khi $\Delta H < 0$. Tuy nhiên:

- Quá trình khuyếch tán của các khí: tự diễn ra, $\Delta H = 0$
- Quá trình nóng chảy, bay hơi: tự diễn ra, $\Delta H > 0$



a. Mức độ hỗn loạn và chiều hướng diễn ra của các quá trình hóa học

Quá trình tự diễn ra có $\Delta H = 0$ hay $\Delta H > 0$: mức độ hỗn loạn của hệ tăng



$$\Delta S = S_2 - S_1 \approx R \ln \frac{\text{mức độ hỗn loạn 2}}{\text{mức độ hỗn loạn 1}}$$

→ Trong hệ cô lập, quá trình tự diễn ra thì $\Delta S > 0$

→ Entropi là thước đo độ hỗn loạn của hệ



b. Entropy và xác suất nhiệt động học:

- Xác suất nhiệt động học của một hệ là số cách sắp xếp của các phân tử trong hệ.
 - \Rightarrow Entropi là thước đo xác suất của trạng thái của hệ
 - Biểu thức Boltzmann: $S = K \ln W = \frac{R}{N} \ln W$
- **Định luật Nernst (nguyên lý III)**: Entropi của các nguyên chất dưới dạng tinh thể hoàn hảo ở nhiệt độ không tuyệt đối bằng không.
- có thể xác định được entropi tuyệt đối của các chất ở bất kỳ nhiệt độ nào.



c. Mối liên hệ giữa biến thiên entropi và hiệu ứng nhiệt của quá trình

- Trong quá trình mà hệ thực hiện lượng nhiệt mà hệ phát ra hay thu vào được dùng để thay đổi entropi của hệ:

$$\Delta S \geq \int_{T_1}^{T_2} \frac{dQ}{T}$$

- Đơn vị đo: J/mol.K
- Trong hệ cô lập: $Q = 0$ nên $\Delta S \geq 0$
- Entropi tiêu chuẩn:

✓ Lượng chất: 1 mol

✓ Nhiệt độ: 250C

✓ Áp suất: 1atm

Ký hiệu S_{298}^0



d. Tính sự biến đổi entropi trong các quá trình

➤ Quá trình hóa học $\Delta S_{T(pu)} = \sum S_{T(sp)} - \sum S_{T(cd)}$

➤ Quá trình vật lý

✓ Quá trình đẳng nhiệt

- Quá trình chuyển pha đẳng nhiệt thuận nghịch $\Delta S = \frac{Q}{T}$
- Quá trình dẫn nở đẳng nhiệt $\Delta S = R \ln \frac{V_2}{V_1} = -R \ln \frac{p_2}{p_1}$

✓ Quá trình không đẳng nhiệt

- Quá trình đẳng áp $\Delta S = C_p \ln \frac{T_2}{T_1}$
- Quá trình đẳng tích $\Delta S = C_V \ln \frac{T_2}{T_1}$



Ví dụ

C _(gr)	+	CO _{2(k)}	=	2CO _(k)	Tính: ΔS_{298}^0 , ΔS_{1500}
S_{298}^0	5.74	213.68		197.54	(J/mol.K)
S_{1500}^0	33.44	291.76		248.71	(J/mol.K)

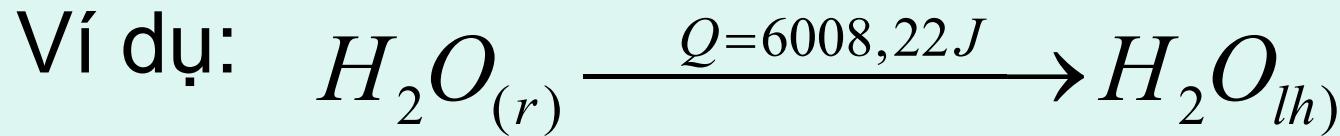
$$\begin{aligned}\Delta S_{298}^0 &= 2 \times S_{298}^0(CO) - [S_{298}^0(C) + S_{298}^0(CO_2)] \\ &= 2 \times 197.54 - [5.74 + 213.68] \\ &= 175.66 J/K\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta S_{1500} &= 2 \times \Delta S_{1500}(CO) - [\Delta S_{1500}(C) + \Delta S_{1500}(CO_2)] \\ &= 2 \times 248.71 - [33.44 + 291.76] \\ &= 172.22 J/K\end{aligned}$$



• Qtrình chuyển pha đẳng nhiệt thuận nghịch

$$\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{dQ}{T} \xrightarrow{T=const} \Delta S = \frac{Q}{T}$$



ở $T = 273.15K$, $p = 101.325kPa$

$$\Delta S = \frac{\Delta H_{nc}^0}{T} = \frac{6008,22(J/mol)}{273,15(K)} = 22(J/molK)$$



• Quá trình dẫn nở đẳng nhiệt

$$\Delta S = S_2 - S_1 = R \ln \frac{W_2}{W_1} \rightarrow \Delta S = R \ln \frac{V_2}{V_1} = -R \ln \frac{p_2}{p_1}$$

- *Ví dụ:* Tính ΔS khi trộn lẫn n_A mol khí A với n_B mol khí B trong điều kiện $T, p = \text{const}$
- *Giải:* Tổng thể tích hai khí: $V = V_A + V_B$

$$\Delta S = \Delta S_A + \Delta S_B = n_A R \ln \frac{V}{V_A} + n_B R \ln \frac{V}{V_B} = -n_A R \ln x_A - n_B R \ln x_B$$

Vì: $n_A = x_A \cdot n$ và $n_B = x_B \cdot n$, với $n = n_A + n_B$,
nên: $\Delta S = -nR(x_A \ln x_A + x_B \ln x_B)$



• Quá trình đẳng áp

$$\partial Q_p = dH = C_p dT$$

$$\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{dQ}{T} = \int_{T_1}^{T_2} C_p \frac{dT}{T} = \int_{T_1}^{T_2} C_p d \ln T \quad \xrightarrow{C_p \neq f(T)} \Delta S = C_p \ln \frac{T_2}{T_1}$$

Ví dụ $S_{298}^0(H_2O) = 69,89 J/molK$ $C_p(H_2O) = 75,24 J/molK$

$$S_{273}^0(H_2O)?$$

$$\Delta S_{273-298}^0 = S_{298}^0 - S_{273}^0 = C_p \ln \frac{298}{273} = 6.59 (J/mol.K)$$

$$\rightarrow S_{273}^0 = S_{298}^0 - \Delta S_{273-298}^0 = 69.89 - 6.59 = 63.3 J/mol.K$$



2. Thể đẳng áp – đẳng nhiệt và chiều diễn ra của phản ứng hóa học

- a. Tác động của các yếu tố entanpi và entropi lên chiều hướng diễn ra của các quá trình hóa học
- b. Thể đẳng áp – đẳng nhiệt

3. Sự thay đổi thế đằng áp và điều kiện diễn ra của các quá trình hóa học

- a. Điều kiện diễn ra của các quá trình hóa học
- b. Tác dụng của các yếu tố entanpi và entropi đến chiều hướng diễn ra của các quá trình hóa học
- c. Xác định ΔG của các quá trình hóa học

a. Tác động của các yếu tố entanpi và entropi lên chiều diễn ra của các qt HH

Có 2 yếu tố tác động lên chiều diễn ra các qt: ΔH , ΔS

- Trong điều kiện bình thường quá trình tự diễn ra khi $\Delta H < 0$
- Trong hệ cô lập, quá trình tự diễn ra khi $\Delta S > 0$.

Chúng tác động đồng thời lên hệ, nhưng ngược nhau.

- $\Delta H < 0$: nguyên tử \rightarrow phân tử $\Rightarrow n \downarrow \Rightarrow$ độ hỗn loạn $\downarrow \Rightarrow \Delta S < 0$
- $\Delta S > 0$ khi hệ +E để phá vỡ các lk $\Rightarrow \Delta H > 0$
 \rightarrow Chiều hướng của qt sẽ được định bởi yếu tố nào chiếm ưu thế hơn.



b. Thể đẳng áp – đẳng nhiệt

- Nglý I: $Q = \Delta U + A$ $A = p\Delta V + A'$
- Nglý II, $T = \text{const}$: $\Delta S \geq \frac{Q}{T}$,
$$T\Delta S \geq \Delta U + P\Delta V + A'$$
$$-A' \geq \Delta U + P\Delta V - T\Delta S$$
$$\geq (U_2 + PV_2 - TS_2) - (U_1 + PV_1 - TS_1)$$
$$\geq (H_2 - TS_2) - (H_1 - TS_1)$$
- Đặt: $G = H - TS \Leftrightarrow \Delta G = \Delta H - T\Delta S$
$$-A' \geq G_2 - G_1 = \Delta G$$
$$\text{hay } A' \leq -\Delta G$$
- khi quá trình là thuận nghịch: $A'_{\max} = -\Delta G$

➤ *Thế đẳng áp tiêu chuẩn:*

✓ Lượng chất: 1 mol

✓ Áp suất: 1 atm

✓ Các chất ở dạng định hình bền

➤ *Đơn vị đo:* kJ/mol

} Ký hiệu ΔG_{298}^0



a. Điều kiện diễn ra của các qt hóa học

$$A'_{\max} = -\Delta G$$

- Qt sinh A' ($A' > 0$) khi xảy ra là qt tự xảy ra
- Qt phải tiêu tốn A' ($A' < 0$) mới xảy ra được là qt không tự xảy ra

→ *Chiều diễn ra của quá trình thuận nghịch:*

- $\Delta G < 0$: qt tự xảy ra; p ν xảy ra theo chiều thuận
- $\Delta G > 0$: qt không tự xảy ra; p ν xảy ra theo chiều nghịch
- $\Delta G = 0$: quá trình đạt trạng thái cân bằng



b. Tdụng của các yếu tố entanpi và entropi đến chiều hướng diễn ra của các qt hóa học

Khi $T, p = \text{const}$ phản ứng sẽ tự xảy ra khi:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$$

ΔH	ΔS	ΔG	Khả năng phản ứng
-	+	-	Tự xảy ra ở mọi T
+	-	+	Không tự xảy ra ở mọi T
-	-	+/-	Tự xảy ra ở T thấp
+	+	+/-	Tự xảy ra ở T cao



c. Xác định ΔG của các quá trình hóa học

- Theo định luật Hess: $\Delta G_T = \sum \Delta G_{T(sp)} - \sum \Delta G_{T(cd)}$
- Theo phương trình: $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$
- Theo hằng số cân bằng: $\Delta G = -RT \ln K_p$
- Theo sức điện động của nguyên tố Ganvanic:

$$\Delta G = -nFE$$

Ví dụ



$$\Delta H_{298\text{tt}}^0 (\text{kJ/mol}) \quad -1205.93 \quad -634.94 \quad -392.92$$

$$S_{298}^0 (\text{J/mol.K}) \quad 92.63 \quad 39.71 \quad 213.31$$

$$\Delta G_{298}^0 (\text{kJ/mol}) \quad -1129 \quad -604 \quad -394.38$$

$$\begin{aligned}\Delta G_{298}^0 &= [\Delta G_{298}^0(\text{CaO}) + \Delta G_{298}^0(\text{CO}_2)] - \Delta G_{298}^0(\text{CaCO}_3) \\ &= [-604 + (-394.38)] - (-1129) = 130.62 \text{ kJ}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H_{298}^0 &= [\Delta H_{298}^0(CaO) + \Delta H_{298}^0(CO_2)] - \Delta H_{298}^0(CaCO_3) \\ &= [-634.94 + (-392.92)] - (-1205.93) \\ &= 178.07 \text{ kJ} = 178070 \text{ J}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta S_{298}^0 &= [S_{298}^0(CaO) + S_{298}^0(CO_2)] - S_{298}^0(CaCO_3) \\ &= [39.71 + 213.31] - 92.63 = 160.39 \text{ J/K}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta G_{298}^0 &= \Delta H_{298}^0 - 298\Delta S_{298}^0 \\ &= 178070 - 298 \times 160.39 = 130273.78 \text{ J}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta G_{1500} &= \Delta H_{1500} - 1500\Delta S_{1500} \approx \Delta H_{298}^0 - 1500\Delta S_{298}^0 \\ &= 178070 - 1500 \times 160.39 \\ &= -62515 \text{ J} = -62.52 \text{ kJ}\end{aligned}$$

