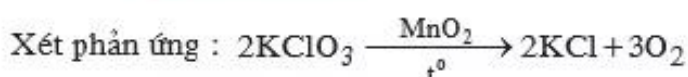


- Hiểu cân bằng hoá học và đại lượng đặc trưng cho nó là hằng số cân bằng.
- Hiểu sự chuyển dịch cân bằng là gì và chuyển dịch như thế nào khi biến đổi nồng độ, áp suất, nhiệt độ.
- Sử dụng biểu thức hằng số cân bằng để làm các bài tập đơn giản.

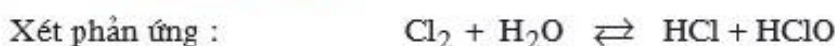
## I- PHẢN ỨNG MỘT CHIỀU, PHẢN ỨNG THUẬN NGHỊCH VÀ CÂN BẰNG HOÁ HỌC

### 1. Phản ứng một chiều



Khi đun nóng các tinh thể  $\text{KClO}_3$  có mặt chất xúc tác  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{KClO}_3$  phân huỷ thành  $\text{KCl}$  và  $\text{O}_2$ . Cũng trong điều kiện đó,  $\text{KCl}$  và  $\text{O}_2$  không phản ứng được với nhau tạo lại  $\text{KClO}_3$ , nghĩa là phản ứng chỉ xảy ra theo một chiều từ trái sang phải. Phản ứng như thế được gọi là *phản ứng một chiều*. Trong phương trình hoá học của phản ứng một chiều, người ta dùng một mũi tên chỉ chiều phản ứng.

### 2. Phản ứng thuận nghịch

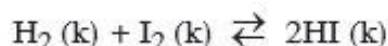


Ở điều kiện thường,  $\text{Cl}_2$  phản ứng với  $\text{H}_2\text{O}$  tạo thành  $\text{HCl}$  và  $\text{HClO}$ , đồng thời  $\text{HCl}$  và  $\text{HClO}$  sinh ra cũng tác dụng được với nhau tạo lại  $\text{Cl}_2$  và  $\text{H}_2\text{O}$ , nghĩa là *trong cùng điều kiện phản ứng xảy ra theo hai chiều trái ngược nhau*. Phản ứng như thế được gọi là *phản ứng thuận nghịch*.

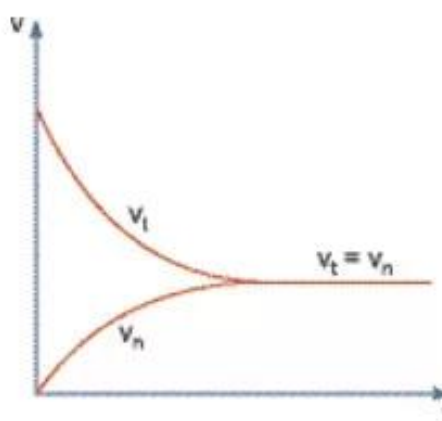
Trong phương trình hoá học của phản ứng thuận nghịch, người ta dùng hai mũi tên ngược chiều nhau thay cho một mũi tên đối với phản ứng một chiều. *Chiều mũi tên từ trái sang phải là chiều phản ứng thuận, chiều mũi tên từ phải sang trái là chiều phản ứng nghịch*.

### 3. Cân bằng hoá học

Xét phản ứng thuận nghịch sau :



Cho  $\text{H}_2$  và  $\text{I}_2$  vào trong một bình kín ở nhiệt độ cao và không đổi. Lúc đầu tốc độ phản ứng thuận ( $v_t$ ) lớn vì nồng độ  $\text{H}_2$  và  $\text{I}_2$  lớn, trong khi đó tốc độ phản ứng nghịch ( $v_n$ ) bằng không, vì nồng độ HI bằng không. Trong quá trình diễn ra phản ứng nồng độ  $\text{H}_2$  và  $\text{I}_2$  giảm dần nên  $v_t$  giảm dần, còn  $v_n$  tăng dần, vì nồng độ HI tăng dần. Đến một lúc nào đó  $v_t$  bằng  $v_n$ , khi đó nồng độ các chất trong phản ứng thuận nghịch trên đây được giữ nguyên, nếu nhiệt độ không biến đổi. Trạng thái này của phản ứng thuận nghịch được gọi là *cân bằng hoá học* (hình 7.4).



Hình 7.4. Sự biến thiên tốc độ phản ứng thuận và phản ứng nghịch theo thời gian

Ở trạng thái cân bằng, phản ứng không dừng lại, mà phản ứng thuận và phản ứng nghịch vẫn xảy ra, nhưng với tốc độ bằng nhau ( $v_t = v_n$ ). Điều này có nghĩa là trong cùng một đơn vị thời gian, nồng độ các chất phản ứng giảm đi bao nhiêu theo phản ứng thuận lại được tạo ra bấy nhiêu theo phản ứng nghịch. Do đó, *cân bằng hoá học là cân bằng động*.

*Kết luận : Cân bằng hoá học là trạng thái của phản ứng thuận nghịch khi tốc độ phản ứng thuận bằng tốc độ phản ứng nghịch.*

Đặc điểm của phản ứng thuận nghịch là các chất phản ứng không chuyển hoá hoàn toàn thành các sản phẩm, nên trong hệ cân bằng luôn luôn có mặt các chất phản ứng và các sản phẩm.

Thí dụ, cho  $0,500 \text{ mol/l}^{(*)} \text{H}_2$  và  $0,500 \text{ mol/l} \text{I}_2$  vào trong một bình kín ở nhiệt độ  $430^\circ\text{C}$ . Nếu phản ứng là một chiều thì  $\text{H}_2$  và  $\text{I}_2$  sẽ phản ứng hết tạo thành  $1,000 \text{ mol/l} \text{HI}$ . Nhưng đây là phản ứng thuận nghịch, nên chỉ thu được  $0,786 \text{ mol/l} \text{HI}$  và còn lại  $0,107 \text{ mol/l} \text{H}_2$ ,  $0,107 \text{ mol/l} \text{I}_2$ .

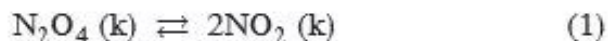
Tình hình tương tự khi đun nóng  $1,000 \text{ mol/l} \text{HI}$  trong bình kín ở  $430^\circ\text{C}$ . Kết quả cũng chỉ tạo thành  $0,107 \text{ mol/l} \text{H}_2$ ,  $0,107 \text{ mol/l} \text{I}_2$  và còn lại  $0,786 \text{ mol/l} \text{HI}$ .

(\*) Đối với chất khí, nồng độ mol/l là số mol khí có trong 1 lít khí

## II - HẰNG SỐ CÂN BẰNG

### 1. Cân bằng trong hệ đồng thể(\*)

Xét hệ cân bằng sau :



Nghiên cứu bằng thực nghiệm hệ cân bằng này ở 25°C, người ta đã thu được các số liệu trong bảng 7.2.

**Bảng 7.2**

#### Hệ cân bằng $\text{N}_2\text{O}_4 (\text{k}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2 (\text{k})$ ở 25°C

Nồng độ ban đầu, mol/l		Nồng độ ở trạng thái cân bằng, mol/l		Tỉ số nồng độ lúc cân bằng
$[\text{N}_2\text{O}_4]_0$	$[\text{NO}_2]_0$	$[\text{N}_2\text{O}_4]$	$[\text{NO}_2]$	$\frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]}$
0,6700	0,0000	0,6430	0,0547	$4,65 \cdot 10^{-3}$
0,4460	0,0500	0,4480	0,0457	$4,66 \cdot 10^{-3}$
0,5000	0,0300	0,4910	0,0475	$4,60 \cdot 10^{-3}$
0,6000	0,0400	0,5940	0,0523	$4,60 \cdot 10^{-3}$
0,0000	0,2000	0,0898	0,0204	$4,63 \cdot 10^{-3}$

Từ các số liệu trong bảng 7.2 ta thấy tỉ số nồng độ lúc cân bằng :  $\frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]}$  hầu như không đổi với giá trị trung bình là  $4,63 \cdot 10^{-3}$ , dù cho nồng độ ban đầu của  $\text{N}_2\text{O}_4$  và  $\text{NO}_2$  biến đổi. Giá trị không đổi này được xác định ở 25°C và nồng độ các chất lúc cân bằng, nên được gọi là *hằng số cân bằng* của phản ứng ở 25°C. Hằng số cân bằng được kí hiệu bằng chữ K. Đối với phản ứng (1) ta có biểu thức hằng số cân bằng như sau :

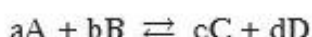
(\*) Hệ đồng thể là hệ không có bề mặt phân chia trong hệ. Thí dụ : hệ gồm các chất khí ; hệ gồm các chất tan trong dung dịch.

$$K_c^{(*)} = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]} = 4,63 \cdot 10^{-3} \text{ ở } 25^\circ\text{C}$$

Trong đó :  $[\text{NO}_2]$  và  $[\text{N}_2\text{O}_4]$  là nồng độ mol/l của  $\text{NO}_2$  và  $\text{N}_2\text{O}_4$  ở trạng thái cân bằng. Số mũ 2 ở nồng độ  $\text{NO}_2$  và số mũ 1 ở nồng độ  $\text{N}_2\text{O}_4$  ứng đúng với hệ số tỉ lượng của chúng trong phương trình hoá học của phản ứng (1).

*Hằng số cân bằng  $K_c$  của phản ứng xác định chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ.*

Một cách tổng quát, nếu có phản ứng thuận nghịch sau :



A, B, C và D là những chất khí hoặc những chất tan trong dung dịch.

Khi phản ứng ở trạng thái cân bằng, ta có :

$$K_c = \frac{[\text{C}]^c [\text{D}]^d}{[\text{A}]^a [\text{B}]^b}$$

Trong đó :  $[\text{A}]$ ,  $[\text{B}]$ ,  $[\text{C}]$  và  $[\text{D}]$  là nồng độ mol/l của các chất A, B, C và D ở trạng thái cân bằng ; a, b, c và d là hệ số tỉ lượng các chất trong phương trình hoá học của phản ứng. Nồng độ các chất ở vế phải phương trình hoá học được đặt ở tử số, còn nồng độ các chất ở vế trái phương trình hoá học được đặt ở mẫu số.

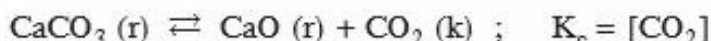
## 2. Cân bằng trong hệ dị thể(\*)

Xét hệ cân bằng sau :  $\text{C(r)} + \text{CO}_2(\text{k}) \rightleftharpoons 2\text{CO}(\text{k})$

Nồng độ của chất rắn được coi là hằng số, nên nó không có mặt trong biểu thức hằng số cân bằng  $K_c$ . Đối với cân bằng trên ta có :

$$K_c = \frac{[\text{CO}]^2}{[\text{CO}_2]}$$

Giá trị hằng số cân bằng có ý nghĩa rất lớn, vì nó cho biết lượng các chất phản ứng còn lại và lượng các sản phẩm được tạo thành ở vị trí cân bằng, do đó biết được hiệu suất của phản ứng. Thí dụ :



(\*) Kí hiệu là  $K_c$  vì giá trị của nó được tính bằng nồng độ các chất ở trạng thái cân bằng (c là chữ viết tắt của từ concentration, nghĩa là nồng độ).

(\*\*) Hệ dị thể là hệ có bề mặt phân chia trong hệ, qua bề mặt này có sự thay đổi đột ngột tính chất. Thí dụ : hệ gồm chất rắn và chất khí ; hệ gồm chất rắn và chất tan trong dung dịch.

Ở  $820^{\circ}\text{C}$ ,  $K_c = 4,28 \cdot 10^{-3}$ , do đó  $[\text{CO}_2] = 4,28 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$  ;

Ở  $880^{\circ}\text{C}$ ,  $K_c = 1,06 \cdot 10^{-2}$ , nên  $[\text{CO}_2] = 1,06 \cdot 10^{-2} \text{ mol/l}$ .

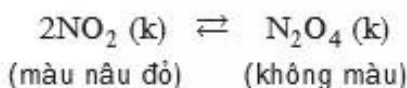
Vậy ở nhiệt độ cao hơn, khi phản ứng ở trạng thái cân bằng, lượng  $\text{CO}_2$  (đồng thời lượng  $\text{CaO}$ ) tạo thành theo phản ứng nhiều hơn nghĩa là ở nhiệt độ cao hơn hiệu suất chuyển hoá  $\text{CaCO}_3$  thành  $\text{CaO}$  và  $\text{CO}_2$  lớn hơn.

### III - SỰ CHUYỂN DỊCH CÂN BẰNG HOÁ HỌC

#### 1. Thí nghiệm

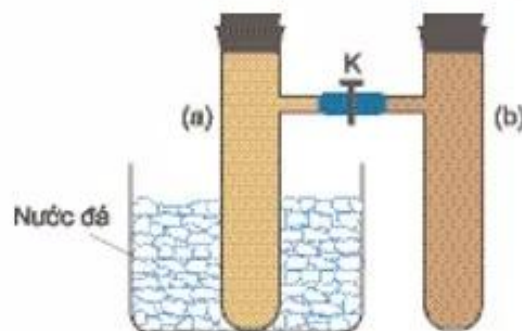
Lắp một dụng cụ gồm hai ống nghiệm có nhánh (a) và (b), được nối với nhau bằng một ống nhựa mềm, có khoá K mở (hình 7.5).

Nạp đầy khí  $\text{NO}_2$  vào cả hai ống (a) và (b) ở nhiệt độ thường. Nút kín cả hai ống, trong đó có cân bằng sau :



Màu của hỗn hợp khí trong cân bằng ở cả hai ống (a) và (b) là như nhau.

Đóng khoá K lại ngăn không cho khí ở hai ống khuếch tán vào nhau. Ngâm ống (a) vào nước đá. Một lát sau lấy ra so sánh màu ở ống (a) với ống (b), ta thấy màu ở ống (a) nhạt hơn. Như vậy, khi ta làm lạnh ống (a), các phân tử  $\text{NO}_2$  trong ống đó đã phản ứng thêm để tạo ra  $\text{N}_2\text{O}_4$ , làm nồng độ  $\text{NO}_2$  giảm bớt và nồng độ  $\text{N}_2\text{O}_4$  tăng thêm. Hiện tượng đó được gọi là sự chuyển dịch cân bằng hoá học.



Hình 7.5. Thí nghiệm để nhận biết sự chuyển dịch cân bằng của phản ứng  $2\text{NO}_2 (\text{k}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4 (\text{k})$

#### 2. Định nghĩa

Sự chuyển dịch cân bằng hoá học là sự di chuyển từ trạng thái cân bằng này sang trạng thái cân bằng khác do tác động của các yếu tố từ bên ngoài lên cân bằng.

Những yếu tố làm chuyển dịch cân bằng là nồng độ, áp suất và nhiệt độ. Chúng được gọi là các yếu tố ảnh hưởng đến cân bằng hoá học.

## IV - CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN CÂN BẰNG HOÁ HỌC

### 1. Ảnh hưởng của nồng độ

Xét hệ cân bằng sau trong một bình kín ở nhiệt độ cao và không đổi :



$$K_c = \frac{[\text{CO}]^2}{[\text{CO}_2]}$$

Ở 800°C, hằng số cân bằng  $K_c$  không biến đổi và bằng  $9,2 \cdot 10^{-2}$ .

Nếu ta cho thêm khí  $\text{CO}_2$  vào hệ cân bằng thì nồng độ  $\text{CO}_2$  tăng lên làm cho tỉ lệ  $\frac{[\text{CO}]^2}{[\text{CO}_2]}$  sẽ nhỏ hơn  $9,2 \cdot 10^{-2}$ . Vì giá trị  $K_c$  là hằng số, nên lượng  $\text{CO}_2$  được thêm vào phải giảm bớt và lượng  $\text{CO}$  phải tăng thêm, nghĩa là  $\text{CO}_2$  phải phản ứng thêm với  $\text{C}$  tạo ra  $\text{CO}$  cho tới khi đạt được cân bằng mới, ứng với giá trị  $K_c$  bằng  $9,2 \cdot 10^{-2}$ . Vậy khi thêm  $\text{CO}_2$  vào hệ cân bằng, cân bằng sẽ chuyển dịch từ trái sang phải (theo chiều thuận). Hiện tượng sẽ xảy ra tương tự như trên khi ta lấy bớt khí  $\text{CO}$  ra khỏi hệ cân bằng.

Ngược lại, nếu ta cho thêm một lượng khí  $\text{CO}$  vào hệ cân bằng (2), hoặc lấy bớt khí  $\text{CO}_2$  ra, thì cân bằng sẽ chuyển dịch từ phải sang trái (theo chiều nghịch).

*Nhận xét : Khi tăng hoặc giảm nồng độ một chất trong cân bằng, thì cân bằng bao giờ cũng chuyển dịch theo chiều làm giảm tác động của việc tăng hoặc giảm nồng độ của chất đó.*

Lưu ý rằng, nếu trong hệ cân bằng có chất rắn (ở dạng nguyên chất) thì việc thêm hoặc bớt lượng chất rắn không ảnh hưởng đến cân bằng, nghĩa là cân bằng không chuyển dịch<sup>(\*)</sup>.

### 2. Ảnh hưởng của áp suất

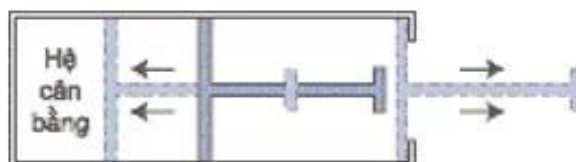
Xét lại hệ cân bằng (1) trong xi lanh kín có pittông (hình 7.6) ở nhiệt độ thường và không đổi :



$$K_c = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]}$$

(\*) Trừ trường hợp việc thêm hoặc bớt này gây ra sự biến đổi áp suất chung của hệ.

Khi hệ đang ở trạng thái cân bằng, nếu ta tăng áp suất chung của hệ, thí dụ tăng hai lần, bằng cách đẩy pít tông vào để cho thể tích chung của hệ giảm hai lần, ngay lúc đó nồng độ của  $\text{NO}_2$  và  $\text{N}_2\text{O}_4$  đều tăng hai lần. Kết quả là tử số trong biểu thức tính  $K_c$  tăng 4 lần trong khi mẫu số chỉ tăng 2 lần. Ở nhiệt độ xác định, hằng số cân bằng  $K_c$  không đổi, nên để bù lại việc tăng ít của mẫu số, số mol khí  $\text{N}_2\text{O}_4$  phải được tạo thêm, đồng thời số mol khí  $\text{NO}_2$  phải giảm bớt, nghĩa là cân bằng chuyển dịch theo chiều nghịch.



Hình 7.6. Thí nghiệm chứng minh ảnh hưởng của áp suất đến cân bằng sau:  $\text{N}_2\text{O}_4(\text{k}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{k})$ .

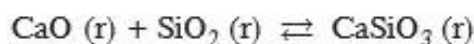
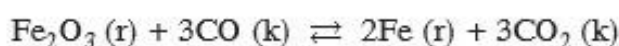
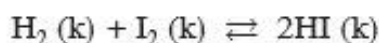
**Nhận xét :** Từ phản ứng (1) ta thấy, cứ hai mol khí  $\text{NO}_2$  phản ứng tạo ra một mol khí  $\text{N}_2\text{O}_4$ , nghĩa là phản ứng nghịch làm giảm số mol khí trong hệ, do đó làm giảm áp suất chung của hệ.

Như vậy, khi tăng áp suất chung của hệ cân bằng trên, cân bằng chuyển dịch theo chiều nghịch, chiều làm giảm áp suất chung của hệ, nghĩa là chuyển dịch về phía làm giảm tác động của việc tăng áp suất chung.

Bây giờ nếu ta làm giảm áp suất chung của hệ cân bằng trên bằng cách kéo pít tông ra để cho thể tích chung của hệ tăng lên, cân bằng sẽ chuyển dịch theo chiều thuận, chiều làm tăng số mol khí trong hệ, nghĩa là về phía làm giảm tác động của việc giảm áp suất chung.

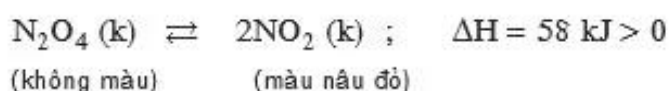
**Kết luận :** Khi tăng hoặc giảm áp suất chung của hệ cân bằng thì bao giờ cân bằng cũng chuyển dịch theo chiều làm giảm tác động của việc tăng hoặc giảm áp suất đó.

Từ việc khảo sát ở trên ta suy ra rằng, khi hệ cân bằng có số mol khí ở hai vế của phương trình hoá học bằng nhau hoặc trong hệ không có chất khí thì việc tăng hoặc giảm áp suất chung không làm cho cân bằng chuyển dịch. Thí dụ, áp suất không ảnh hưởng đến các cân bằng sau :



### 3. Ảnh hưởng của nhiệt độ

Hằng số cân bằng  $K_c$  của phản ứng xác định chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ, nên khi nhiệt độ biến đổi, cân bằng sẽ chuyển dịch sang một trạng thái cân bằng mới với giá trị mới của hằng số cân bằng. Thí dụ :



Giá trị 58 kJ là nhiệt của phản ứng thuận, phản ứng thu nhiệt. Phản ứng nghịch là phản ứng toả nhiệt với  $\Delta H = -58 \text{ kJ} < 0$ .

Khi hỗn hợp khí trên đang ở trạng thái cân bằng, nếu đun nóng hỗn hợp khí bằng cách ngâm bình đựng hỗn hợp vào nước sôi, màu nâu đỏ của hỗn hợp khí đậm lên, nghĩa là cân bằng chuyển dịch theo chiều thuận, chiều của phản ứng thu nhiệt.

Nếu làm lạnh bằng cách ngâm bình đựng hỗn hợp khí vào nước đá, màu của hỗn hợp khí nhạt đi, nghĩa là cân bằng chuyển dịch theo chiều nghịch, chiều của phản ứng toả nhiệt (\*)

*Kết luận : Khi tăng nhiệt độ, cân bằng chuyển dịch theo chiều phản ứng thu nhiệt, nghĩa là chiều làm giảm tác động của việc tăng nhiệt độ và khi giảm nhiệt độ, cân bằng chuyển dịch theo chiều phản ứng toả nhiệt, chiều làm giảm tác động của việc giảm nhiệt độ.*

Các yếu tố nồng độ, áp suất và nhiệt độ ảnh hưởng đến cân bằng hoá học đã được Lơ Sa-tơ-li-ê (nhà hoá học Pháp – tác giả của nguyên lí chuyển dịch cân bằng) tổng kết thành nguyên lí được gọi là nguyên lí Lơ Sa-tơ-li-ê như sau :

*Một phản ứng thuận nghịch đang ở trạng thái cân bằng khi chịu một tác động từ bên ngoài, như biến đổi nồng độ, áp suất, nhiệt độ, thì cân bằng sẽ chuyển dịch theo chiều làm giảm tác động bên ngoài đó.*

### 4. Vai trò của chất xúc tác

Chất xúc tác không làm biến đổi nồng độ các chất trong cân bằng và cũng không làm biến đổi hằng số cân bằng, nên *không làm cân bằng chuyển dịch*. Chất xúc tác làm tăng tốc độ phản ứng thuận và tốc độ phản ứng nghịch với số lần bằng nhau, nên khi phản ứng thuận nghịch chưa ở trạng thái cân bằng thì chất xúc tác có tác dụng làm cho cân bằng được thiết lập nhanh chóng hơn.

---

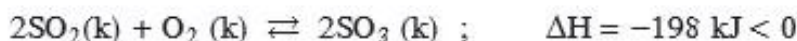
(\*) Có thể tiến hành thí nghiệm như hình 7.5.



## V - Ý NGHĨA CỦA TỐC ĐỘ PHẢN ỨNG VÀ CÂN BẰNG HOÁ HỌC TRONG SẢN XUẤT HOÁ HỌC

Để thấy ý nghĩa của tốc độ phản ứng và cân bằng hoá học trong sản xuất hoá học, chúng ta lấy một số thí dụ sau :

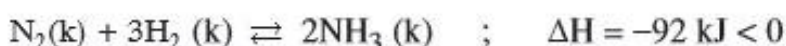
*Thí dụ 1* : Trong quá trình sản xuất axit sunfuric phải thực hiện phản ứng sau :



Trong phản ứng này, người ta dùng oxit không khí.

Ở nhiệt độ thường, phản ứng xảy ra rất chậm. Để tăng tốc độ phản ứng, phải tăng nhiệt độ và dùng chất xúc tác. Nhưng đây là phản ứng toả nhiệt nên khi tăng nhiệt độ, cân bằng chuyển dịch theo chiều nghịch làm giảm hiệu suất của phản ứng. Để hạn chế tác dụng này, người ta đã dùng một lượng dư không khí, nghĩa là tăng nồng độ oxi, làm cho cân bằng chuyển dịch theo chiều thuận.

*Thí dụ 2* : Trong công nghiệp, amoniac được tổng hợp theo phản ứng sau :



Đặc điểm của phản ứng này là tốc độ rất chậm ở nhiệt độ thường, toả nhiệt và số mol *khí* của sản phẩm ít hơn số mol *khí* của các chất phản ứng. Do đó, người ta phải thực hiện phản ứng này ở nhiệt độ cao, áp suất cao và dùng chất xúc tác. Ở áp suất cao, cân bằng sẽ chuyển dịch sang phía tạo ra  $\text{NH}_3$ , nhưng ở nhiệt độ cao cân bằng chuyển dịch ngược lại, nên chỉ thực hiện phản ứng ở nhiệt độ thích hợp.

### BÀI TẬP

- Hằng số cân bằng  $K_C$  của một phản ứng phụ thuộc vào yếu tố nào sau đây ?
  - Nồng độ.
  - Nhiệt độ.
  - Áp suất.
  - Sự có mặt chất xúc tác.
- Cân bằng hoá học là gì ? Tại sao nói cân bằng hoá học là cân bằng động ? Hãy cho biết ý nghĩa của hằng số cân bằng  $K_C$ . Hằng số cân bằng  $K_C$  của một phản ứng có luôn luôn là một hằng số không ?
- Viết các biểu thức hằng số cân bằng  $K_C$  cho các phản ứng sau :