



الثانية باكالوريا  
الكيمياء

## التحولات الكيميائية التي تحدث في المنحنيين

### Transformations chimiques s'effectuant dans les deux sens

الجزء الثاني :  
التحولات غير الكلية  
لمجموعة كيميائية  
الوحدة 3  
س 4 / س 5

#### 1- التفاعلات حمض- قاعدة :

##### 1-1- المزدوجات قاعدة / حمض :

- ⊞ نسمي **حمضا** ، حسب برونشند ، كل نوع كيميائي قادر على فقدان بروتون  $H^+$  خلال تحول كيميائي .
  - ⊞ نسمي **قاعدة** ، حسب برونشند ، كل نوع كيميائي قادر على اكتساب بروتون  $H^+$  خلال تحول كيميائي .
  - ⊞ **المزدوجة قاعدة / حمض** هي عبارة عن زوج مكون من حمض ( $HA$  أو  $B^+$ ) وقاعدة ( $A^-$  أو  $B$ ) **مترافقين** . وتعرف بنصف المعادلة حمض - قاعدة :
- $$HA \rightleftharpoons A^- + H^+ \quad \text{أو} \quad BH^+ \rightleftharpoons B + H^+$$
- ⊞ نسمي **أمفوليت** كل نوع كيميائي يلعب دور حمض في مزدوجة و دور قاعدة في مزدوجة أخرى ، وذلك حسب الظروف التجريبية .

#### مثال :

- ⊞ يتصرف الماء  $H_2O(l)$  كحمض في المزدوجة  $H_2O(l)/HO^-(aq)$  و كقاعدة في المزدوجة  $H_3O^+(aq)/H_2O(l)$  .
- ⊞ يتصرف أيون الهيدروجينوكربونات  $HCO_3^-(aq)$  كحمض في المزدوجة  $HCO_3^-(aq)/CO_3^{2-}(aq)$  و كقاعدة في المزدوجة  $CO_2, H_2O(aq)/HCO_3^-(aq)$  .

##### 1-2- التحول حمض - قاعدة :

- ⊞ التحول حمض - قاعدة تفاعل يتم خلاله تبادل بروتونات  $H^+$  بين الحمض  $HA_1$  من المزدوجة  $HA_1/A_1^-$  والقاعدة  $A_2^-$  من المزدوجة  $HA_2/A_2^-$  ، حسب المعادلة التالية :
- $$HA_1 + A_2^- \rightarrow A_1^- + HA_2$$

#### مثال :

- ⊞ المزدوجتان المتدخلتان في التفاعل هما :  $H_3O^+(aq)/H_2O(l)$  و  $NH_4^+(aq)/NH_3(aq)$  معادلة التفاعل هي :  $H_3O^+(aq) + NH_3(aq) \rightarrow H_2O(l) + NH_4^+(aq)$
- ⊞ المزدوجتان المتدخلتان في التفاعل هما :  $H_2O(l)/HO^-(aq)$  و  $HCO_3^-(aq)/CO_3^{2-}(aq)$  معادلة التفاعل هي :  $HCO_3^-(aq) + HO^-(aq) \rightarrow CO_3^{2-}(aq) + H_2O(l)$

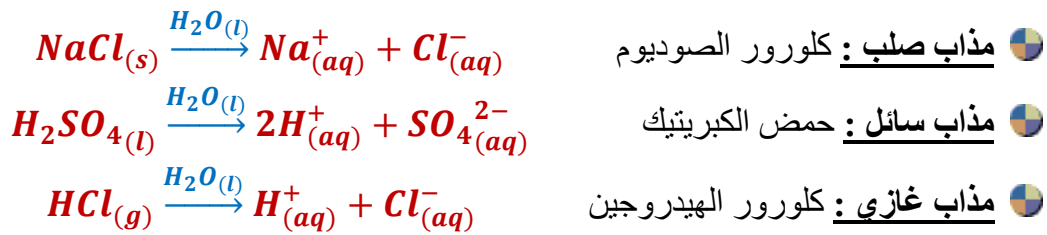
#### 2- تعريف وقياس pH محلول مائي :

##### 1-2- تعاريف :

##### 1-1-2- المحلول المائي :

- **المحلول المائي** خليط سائل متجانس ، ناتج عن إذابة نوعي كيميائي أو أكثر في الماء .
- يسمى الماء الذي يوجد بوفرة **المذيب** والنوع الذي تمت إذابته **المذاب** .

**مثال :**



**ملحوظة :**

⊕ المحلول الإلكتروليتي هو محلول موصل لتيار كهربائي لأنه يحتوي على الأيونات .  
 ⊕ في محلول مائي يمكن تعويض  $H^+$  بـ  $HO_3^+$  .

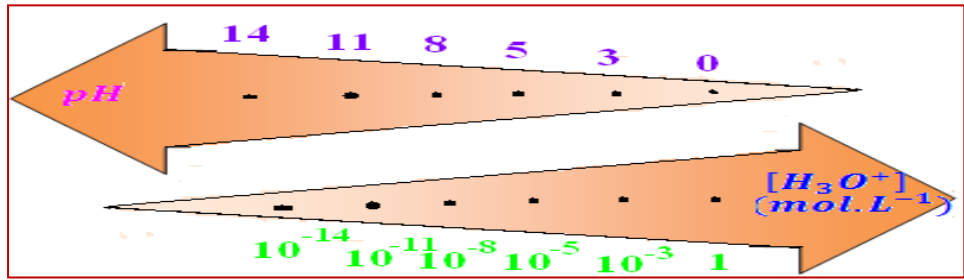
**2-1-2- pH محلول مائي :**



سورن سورنسن  
(1868-1939)

بالنسبة للمحاليل المائية ذات التراكيز الضعيفة  $[H_3O^+] \leq 5 \cdot 10^{-2} mol \cdot L^{-1}$  يعرف  
 pH المحلول المائي بالعلاقة :  $pH = -\log[H_3O^+]$   
 حيث يمثل  $[H_3O^+]$  العدد الذي يقيس تركيز أيونات الأوكسونيوم  $[H_3O^+]$  في المحلول  
 معبر عنه بالوحدة  $mol \cdot L^{-1}$  .  
 ويمكن معرفة تركيز  $[H_3O^+]$  انطلاقا من العلاقة :  $[H_3O^+] = 10^{-pH} mol \cdot L^{-1}$  .

$\log 10 = 1$   
 $\log 1 = 0$   
 $\log xy = \log x + \log y$   
 $\log \frac{x}{y} = \log x - \log y$   
 $\log 10^a = a$   
 $\log y = x \Rightarrow y = 10^x$



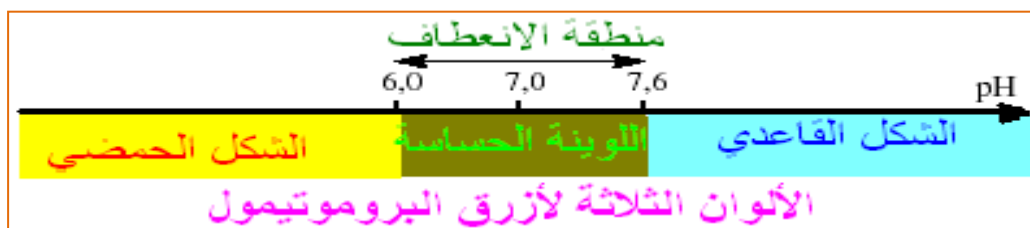
**2-2-2- قياس pH 2-2-2- محلول مائي :**

إن قياس pH محلول مائي مفيد جدا ، فهو  
 يمكن من تحديد تركيز أيونات الأوكسونيوم  
 $[H_3O^+]$  ، وكذلك الحالة النهائية لتفاعل  
 كيميائي .

**2-2-1- بواسطة الكواشف الملونة :**

يتغير لون بعض الكواشف الملونة ( مواد عضوية ) بوضوح عند تغير pH المحلول الذي توجد فيه من وحدة إلى وحدتين تقريبا .

لون الشكل الحمضي	منطقة الانعطاف	لون الشكل القاعدي	مثال :
أصفر	6,0 - 7,6	أزرق	أزرق البروموتيمول (BBT)
أحمر	3,1 - 4,4	أصفر	الهيليانثين
عديم اللون	8,2 - 10,0	أحمر بنفسجي	فينولفتالين





### 2-2-2- بواسطة ورق pH :

لقياس pH محلول نسكب قطرة منه على قطعة من ورق pH (ورق مشبع بالكواشف الملونة) فيأخذ الورق لونا نقارنه مع سلم اللونية المرافق لعلبة ورق pH ، وبالمقارنة يمكن تحديد قيمة تقريبية لـ pH بفارق وحدة . يمكن ورق الـ pH من الحصول على رتبة قدر pH محلول مائي .

### 2-2-3 بواسطة pH - متر :



يتكون جهاز pH - متر من مجس للقياس مرتبط بفولطمتر إلكتروني مدرج "بوحددة" pH . يتكون مجس القياس من إلكترودين مركبين : إلكتروود زجاجي وإلكتروود مرجعي ذات جهد ثابت .

### لاستعمال جهاز pH - متر نتبع الخطوات التالية :

✍ يجب قبل إنجاز أي قياس ، غسل الإلكترودين بماء مقطر .

✍ يجب تعبير جهاز pH - متر بواسطة محلولين عياريين لهما pH معروف (الأول ذو  $pH = 7$  والثاني

ذو  $pH = 4$  إذا كان المحلول المدروس حمضيا، أو ذو  $pH = 9$  إذا كان المحلول المدروس قاعديا) .

✍ نخرج المجس من المحلول العيار وننظفه بالماء المقطر ثم ندخله في المحلول المدروس .

✍ نقرأ قيمة pH مباشرة على الجهاز بعد استقرارها .

✍ بعد الانتهاء من القياسات ، يجب غسل الإلكترودين بالماء المقطر ووضعها في غمدها الوقائي الذي

يحتوي على المحلول نفسه الموجود داخل الإلكتروود .

تقيس جل مقاييس pH قيمة pH بارتياح مطلق  $\Delta pH = 0,05$  وحدة .

**مثال :** نعتبر محلولاً مائياً ، حيث يشير الـ pH - متر إلى القيمة 4,30 .

أ- ما هو تأطير تركيز الأيونات  $[H_3O^+]$  ؟

لدينا  $pH_{mes} = 4,30$  و نعلم أن الارتياح المطلق لجهاز pH - متر هو  $\Delta pH = 0,05$

إذن  $pH_{réel} = pH_{mes} \pm \Delta pH = 4,30 \pm 0,05$  أي  $4,25 \leq pH_{réel} \leq 4,35$

لدينا  $[H_3O^+]_{mes} = 10^{-pH_{mes}} mol. L^{-1} = 5,012.10^{-5} mol. L^{-1}$

إذن  $10^{-4,35} mol. L^{-1} \leq [H_3O^+]_{réel} \leq 10^{-4,25} mol. L^{-1}$

أي  $4,467.10^{-5} mol. L^{-1} \leq [H_3O^+]_{réel} \leq 5,623.10^{-5} mol. L^{-1}$

إذن الارتياح المطلق  $[H_3O^+] = \frac{5,623.10^{-5} - 4,467.10^{-5}}{2} = 0,6.10^{-5} mol. L^{-1}$

وبالتالي  $[H_3O^+]_{réel} = [H_3O^+]_{mes} \pm \Delta[H_3O^+] = (5,0 \pm 0,6).10^{-5} mol. L^{-1}$

ب- ماهي دقة تحديد تركيز الأيونات  $[H_3O^+]$  ؟

الارتياح النسبي (دقة القياس) هو  $\frac{\Delta[H_3O^+]}{[H_3O^+]_{mes}} = \frac{0,6.10^{-5}}{5,0.10^{-5}} = 0,12 = 12\%$

عند قياس pH محلول مائي بارتياح من رتبة 0,05 وحدة ، يكون تحديد قيمة تركيز الأيونات  $H_3O^+$  الموافقة بارتياح نسبي من رتبة 10% . لذلك يجب أن لا يتجاوز عدد الأرقام الدالة المعبرة عن تركيز مستنتج من قياس pH ، رقمين دالين .

### 3- التحولات الكلية و غير الكلية :

#### 1-3- إبراز تحول كلي :

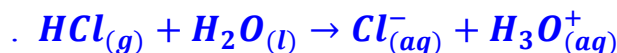
##### 1-1-3- نشاط :



نصب في كأس حجما  $V = 100 \text{ mL}$  من محلول حمض الكلوريدريك تركيزه  $C = 3,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  ثم نغمر فيه إلكترود الـ pH وننتظر حتى تستقر قيمة الـ pH .

نعطي :  $H_3O^+_{(aq)}/H_2O_{(l)}$  و  $HCl_{(g)}/Cl^-_{(aq)}$  .

أ- اكتب معادلة التفاعل حمض - قاعدة الحاصل بين حمض الكلوريدريك و الماء .



ب- احسب كمية المادة البدئية لحمض الكلوريدريك .

$$n_i(HCl) = C \cdot V = 3,5 \cdot 10^{-2} \times 0,1 = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

ج- أنشئ الجدول الوصفي .

$HCl_{(g)} + H_2O_{(l)} \rightarrow Cl^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$				معادلة التفاعل	
كميات المادة بالمول				التقدم	حالة المجموعة
$n_i(HCl) = C \cdot V$	بوفرة	0	0	0	الحالة البدئية
$C \cdot V - x$	بوفرة	x	x	x(t)	خلال التحول
$C \cdot V - x_f$	بوفرة	$x_f$	$x_f$	$x_f$	الحالة النهائية

د- حدد قيمة pH المحلول ، و استنتج قيمة التقدم النهائي  $x_f$  .

جهاز pH - متر يشير إلى القيمة 1,45 إذن  $[H_3O^+] = 10^{-pH} = 10^{-1,45} = 3,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

من خلال الجدول الوصفي لدينا  $[H_3O^+] = \frac{n_f(H_3O^+)}{V} = \frac{x_f}{V}$

$$x_f = [H_3O^+] \cdot V = 3,5 \cdot 10^{-2} \times 0,1 = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

ه- حدد قيمة التقدم الأقصى  $x_{max}$  وقارنه مع  $x_f$  واستنتج .

لدينا غاز كلورور الهيدروجين متفاعل محد ، إذن  $x_{max} = n_i(HCl) = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$

نلاحظ أن  $x_{max} = x_f$  ، فنستنتج أن غاز كلورور الهيدروجين يختفي كلياً ونقول إن التحول كلي .

#### 2-1-3- تعريف :

**التحول الكلي :** تحول يتوقف تطوره باختفاء كلي لأحد المتفاعلات على الأقل في المجموعة الكيميائية .

بالنسبة لتحول كلي تكون قيمة التقدم النهائي  $x_f$  مساوية لقيمة التقدم الأقصى  $x_{max}$  أي  $x_{max} = x_f$  .

### 2-3- إبراز تحول كيميائي غير كلي أو محدود :

#### 1-2-3- نشاط :

نصب في كأس حجما  $V_0 = 500 \text{ mL}$  من

الماء المقطر ونضيف إليه  $V = 1 \text{ mL}$  من

حمض الإيثانويك .

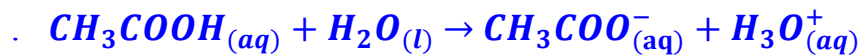
بعد تجانس المحلول المحصل ، نغمر فيه إلكترود

الـ pH - متر وننتظر إلى أن تستقر قيمة الـ pH .



نعطي :  $H_3O^+_{(aq)}/H_2O_{(l)}$  و  $CH_3COOH_{(aq)}/CH_3COO^-_{(aq)}$

أ- اكتب معادلة التفاعل حمض - قاعدة الذي يحدث بين حمض الإيثانويك و الماء .



ب- حدد انطلاقا من المعطيات المدونة على لصيقة قنينة حمض الإيثانويك ، كمية المادة البدئية لحمض الإيثانويك .

$$n_i(CH_3COOH) = \frac{m}{M} = \frac{\rho.V}{M} = \frac{d.V.\rho_e}{M} . p = \frac{1,05 \times 10^3 \times 10^{-3}}{60} \times 0,995 = 1,75 \cdot 10^{-2} mol$$

ج- أنشئ جدول الوصفي لتقدم التفاعل .

معادلة التفاعل				معادلة التفاعل	
				التقدم	حالة المجموعة
$CH_3COOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightarrow CH_3COO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$				0	الحالة البدئية
كميات المادة بالمول				x(t)	خلال التحول
$n_0$	بوفرة	0	0	$x_f$	الحالة النهائية
$n_0 - x$	بوفرة	x	x		
$n_0 - x_f$	بوفرة	$x_f$	$x_f$		

د- حدد قيمة pH المحلول ، و استنتج قيمة التقدم النهائي  $x_f$  .

جهاز pH - متر يشير إلى القيمة 3,10 إذن  $[H_3O^+] = 10^{-pH} = 10^{-3,10} = 7,9 \cdot 10^{-4} mol \cdot L^{-1}$

$$[H_3O^+] = \frac{n_f(H_3O^+)}{V} = \frac{x_f}{V}$$

$$x_f = [H_3O^+] \cdot V = 7,9 \cdot 10^{-4} \times 0,5 \approx 4 \cdot 10^{-4} mol$$

ه- حدد قيمة التقدم الأقصى  $x_{max}$  وقارنه مع  $x_f$  واستنتج .

لدينا غاز حمض الإيثانويك متفاعل محد ، إذن  $x_{max} = n_i(CH_3COOH) = 1,75 \cdot 10^{-2} mol$

نلاحظ أن  $x_f < x_{max}$  ، فنستنتج أن حمض الإيثانويك لا يختفي كليا ونقول إن التحول محدود .

### 2-2-3- تعريف :

التحول غير الكلي أو المحدود: تحول يتوقف تطوره دون اختفاء كلي لأي متفاعل من المجموعة الكيميائية

بالنسبة لتفاعل محدود تكون قيمة التقدم النهائي  $x_f$  أصغر من قيمة التقدم الأقصى  $x_{max}$  :  $x_f < x_{max}$

### 3-3- نسبة التقدم النهائي لتفاعل كيميائي :

نسبة التقدم النهائي  $\tau$  لتفاعل كيميائي هي خارج قسمة التقدم النهائي  $x_f$  على التقدم الأقصى  $x_{max}$

لهذا التفاعل :  $\tau = \frac{x_f}{x_{max}}$  حيث  $\tau$  مقدار بدون وحدة وهو محصور بين 0 و 1 ويمكن التعبير عنه بنسبة مئوية .

### 4-3- منحيا تطور تحول كيميائي :

#### 1-4-3- نشاط :

نحضر محلولاً مائياً (S) لحمض الإيثانويك تركيزه المولي  $C = 1,0 \cdot 10^{-2} mol \cdot L^{-1}$

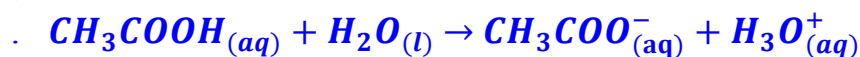
نقيس pH المحلول (S) فنجد :  $pH = 3,40$  .

نصب في كأسين A و B نفس الحجم  $V_0 = 20 mL$  من المحلول (S) .

نضيف إلى الكأس  $A$  بعض قطرات حمض الإيثانويك الخالص  $CH_3COOH$  ، فنلاحظ أن الـ pH يأخذ القيمة  $pH_A = 2,60$  .

نضيف إلى الكأس  $B$  بلورات إيثانوات الصوديوم  $CH_3COONa$  ، فنلاحظ أن الـ pH يأخذ القيمة  $pH_B = 5,10$  .

أ- اكتب معادلة التفاعل حمض - قاعدة الذي يحدث خلال تحضير المحلول ( $S$ ) .



ب- حدد منحنى تطور المجموعة الكيميائية الموجودة في الكأس  $A$  .

بإضافة بضع قطرات من حمض الإيثانويك الخالص إلى المحلول ، نلاحظ تناقص الـ pH وبالتالي تزايد  $[H_3O^+]$  ، وبما أن حجم المحلول لم يتغير تقريبا ، فإن تزايد  $[H_3O^+]$  ناتج عن تزايد كمية مادة الأيونات  $H_3O^+$  التي تكونت خلال التحول الكيميائي .

لقد تطورت المجموعة في منحنى تكون الأيونات  $H_3O^+$  ، أي في المنحنى المباشر لمعادلة التفاعل .



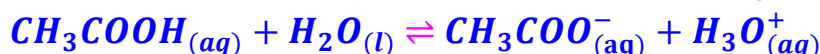
ج- حدد منحنى تطور المجموعة الكيميائية الموجودة في الكأس  $B$  .

بإضافة بلورات إيثانوات الصوديوم ، نلاحظ تزايد الـ pH المحلول ، وبالتالي تناقص  $[H_3O^+]$  ، وبما أن حجم المحلول لم يتغير تقريبا ، فإن تناقص  $[H_3O^+]$  ناتج عن تناقص كمية مادة الأيونات  $H_3O^+$  . لقد تطورت المجموعة في منحنى اختفاء الأيونات  $H_3O^+$  ، أي في المنحنى غير المباشر لمعادلة التفاعل .



د- قارن منحيي التطور .

إن ، يمكن للتفاعل الحاصل أن يحدث في المنحنيين فهو تفاعل محدود ، ولهذا السبب نمذجه بالكتابة الرمزية مع استعمال الإشارة  $\rightleftharpoons$  وذلك كالتالي :



**2-4-3- خلاصة :**

يحدث خلال كل تحول كيميائي غير كلي ، تفاعل في المنحنيين ( المنحنى المباشر وغير المباشر لمعادلة التفاعل ) . نعبّر عنه بالمعادلة الكيميائية التالية :



**4-3- حالة توازن مجموعة كيميائية :**

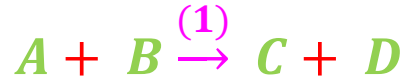
عند الحالة النهائية لتحول غير كلي ( محدود ) ، تتوقف المجموعة الكيميائية عن التطور وتتميز بوجود جميع المتفاعلات و النواتج بنسب ثابتة ، وبدعم تغير كمية مادتها على المستوى الماكروسكوبي مع مرور الزمن ، تسمى هذه الحالة : **حالة التوازن الديناميكي** .

#### 4- التفسير الميكروسكوبي لحالة التوازن الديناميكي : (خاص بـ ع / ف / ر ع)

نعتبر المجموعة الكيميائية التالية :  $\alpha A + \beta B \rightleftharpoons \gamma C + \delta D$

عندما نقول حدث تفاعل بين المتفاعلين  $A$  و  $B$  ، فهذا يعني أنه بعد تصادمهما الفعال يتكون نوعان كيميائيان  $C$  و  $D$  جديداً ، أي أن روابط كيميائية تكسرت للمرور من  $(A + B)$  إلى  $(C + D)$  .  
إن التصادمات الفعالة هي التي تؤدي إلى تكسير الروابط ، أي إلى التفاعلات الكيميائية ، في حين توجد تصادمات مرنة ( غير فعالة ) لا تغير الروابط ، فكلما كانت تراكيز الأنواع الكيميائية كبيرة ، كان احتمال الالتقاء و التصادمات الفعالة كبيراً ، وبالتالي تكون سرعة التفاعل أكبر .

⊕ إذا كانت المجموعة في الحالة البدئية تضم فقط النوعين  $A$  و  $B$  ، فإن التفاعل يحدث في المنحى المباشر (1) بسرعة  $v_1$  .



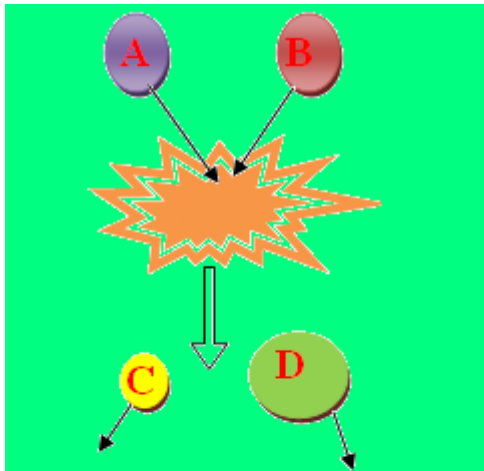
⊕ ينتج عن تزايد تقدم التفاعل ، خلال الزمن :

■ تناقص كميتي النوعين  $A$  و  $B$  ، وبالتالي تناقص عدد التصادمات الفعالة بينهما ، مما يؤدي إلى تناقص السرعة  $v_1$  .

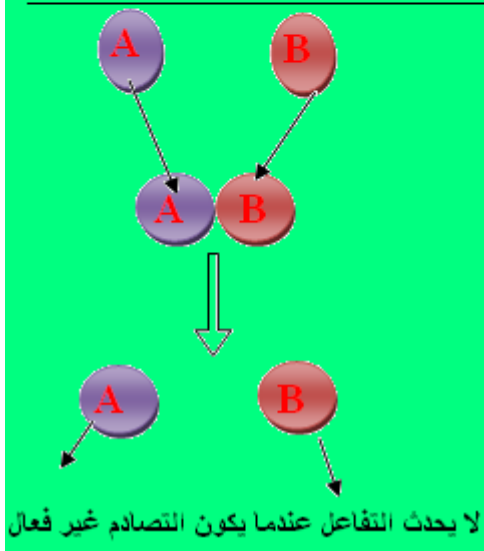
■ تزايد كميتي النوعين  $C$  و  $D$  ، وبالتالي تزايد عدد التصادمات الفعالة بينهما ، مما يؤدي إلى تزايد السرعة  $v_2$  للتفاعل في المنحى غير المباشر (2) .



■ عند تساوي سرعتين  $v_1$  و  $v_2$  ، فإن كمية المتفاعل  $A$  التي يستهلكها التفاعل المباشر (1) تساوي كميتها المتكونة خلال التفاعل في المنحى غير المباشر (2) . إذن تبقى التراكيز المولية للمجموعة ثابتة خلال الزمن . لكن ، على مستوى السلم الماكروسكوبي ، يظهر و كأن المجموعة لا تتطور ، لأن درجة الحرارة و الضغط و الـ pH لا تتغير .



يؤدي التصادم الفعال إلى حدوث التفاعل



لا يحدث التفاعل عندما يكون التصادم غير فعال

في حالة توازن مجموعة كيميائية ، تطورها نموذج بالمعادلة :  $A + B \xrightleftharpoons[(1)]{(2)} C + D$

يكون في كل لحظة عدد الدقائق المختفية بالتفاعل في المنحى المباشر (1) مساوياً لعدد الدقائق المتكونة بالتفاعل في المنحى غير المباشر (2) .