

|                                     |                                                           |         |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------|
| الأستاذ أيوب مرضي                   | مادة الكيمياء                                             | 7 صفحات |
| مستوى الثانية بكالوريا علوم تجريبية | الجزء الثاني: التحولات غير الكلية لمجموعة كيميائية        |         |
| شعبة : علوم الحياة و الأرض          | مدة الإنجاز (درس+تمارين): 4 س + 1 س                       |         |
| الدرس الثالث                        | التحولات الكيميائية التي تحدث في منحنيين                  |         |
|                                     | Transformations chimiques s'effectuant dans les deux sens |         |

## I. التفاعلات حمض – قاعدة.

### 1. تعاريف:

#### أ. الحمض و القاعدة حسب برونشتد:

- ♦ **الحمض حسب برونشتد:** كل نوع كيميائي قادر على تحرير (منح – إعطاء – فقدان) بروتون  $H^+$  خلال تفاعل كيميائي ونرمز له بـ  $HA$  أو  $BH^+$ .
- ♦ **القاعدة حسب برونشتد:** كل نوع كيميائي قادر على اكتساب بروتون  $H^+$  خلال تفاعل كيميائي ونرمز لها بـ  $A^-$  أو  $B$ .

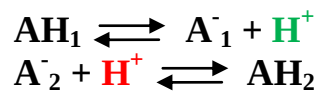
#### ب. المزدوجة (قاعدة/حمض):

نسمة **مزدوجة قاعدة/حمض** كل زوج يتكون من حمض وقاعدة، حيث عندما يتفاعل الحمض ، ينتج عنه القاعدة المرافقة له، والعكس صحيح. ونرمز لها (مزدوجة حمض – قاعدة) بـ:  $AH/A^-$  أو  $BH^+/B$ . يرتبط كل حمض بالقاعدة المرافقة له، بنصف المعادلة حمض – قاعدة التالية:



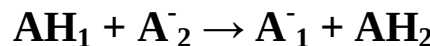
#### ج. التفاعل حمض – قاعدة:

**التفاعل حمض – قاعدة** هو عبارة عن انتقال بروتون من حمض ينتمي لمزدوجة إلى قاعدة مزدوجة أخرى، وتستنتج معادلة هذا التفاعل انطلاقا من نصفي معادلتين المزدوجتين المتدخلتين:



بالنسبة للمزدوجة  $AH_1/A_1^-$ :

بالنسبة للمزدوجة  $AH_2/A_2^-$ :



و منه المعادلة الحصيلة:

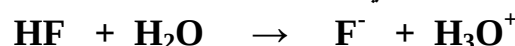
#### د. الأمفوليت:

نسمة **أمفوليت** كل نوع كيميائي قادر على أن يلعب دور الحمض في مزدوجة ودور القاعدة في مزدوجة أخرى ، كجزيئة الماء بحيث يلعب الماء دور قاعدة في المزدوجة  $H_3O^+/H_2O$  و يلعب دور حمض في المزدوجة  $H_2O/HO^-$ .

## 2. تطبيق 1:

### الأسئلة

- أكتب معادلة التفاعل حمض – قاعدة التي يمكن أن تحدث بين:
  - حمض المزدوجة  $H_2SO_4/HSO_4^-$  و قاعدة المزدوجة  $H_3O^+/H_2O$ .
  - حمض المزدوجة  $NH_4^+/NH_3$  و قاعدة المزدوجة  $CH_3NH_3^+/CH_3NH_2$ .
  - حمض المزدوجة  $CH_3COOH/CH_3COO^-$  و قاعدة المزدوجة  $HCO_3^-/CO_3^{2-}$ .
- حدد المزدوجتين المتدخلتين في التفاعل التالي:



## الأجوبة

### 1) معادلة التفاعل حمض - قاعدة:

أ) بالنسبة للمزدوجة :  $H_2SO_4/HSO_4^-$

بالنسبة للمزدوجة :  $H_3O^+/H_2O$

و منه المعادلة الحصيلة:

ب) بالنسبة للمزدوجة :  $NH_4^+/NH_3$

بالنسبة للمزدوجة :  $CH_3NH_3^+/CH_3NH_2$

و منه المعادلة الحصيلة:

ت) بالنسبة للمزدوجة :  $CH_3COOH/CH_3COO^-$

بالنسبة للمزدوجة :  $HCO_3^-/CO_3^{2-}$

و منه المعادلة الحصيلة:

2) المزدوجتين المتدخلتين هما:  $H_3O^+/H_2O$  و  $HF/F^-$

## II. pH محلول مائي.

### 1. المحلول المائي:

**المحلول المائي** خليط متجانس نحصل عليه بإذابة نوع كيميائي أو أكثر في الماء الذي يسمى مذيبا، و تسمى الأنواع الكيميائية الذائبة فيه بالمذاب، و قد تكون جزيئية أو أيونية، كما أنها قد تكون في حالة صلبة أو سائلة أو غازية. والذوبان تحول كيميائي يقرن به تفاعل كيميائي نعبّر عنه بمعادلة.

### 2. pH محلول مائي:

#### أ. تعريف:

تتعلق الخاصيات الحمضية والقاعدية لمحلول مائي بتركيز أيونات الأوكسونيوم  $H_3O^+$  الذي يمكن أن يتغير من  $10^{-14}$  مول في اللتر.

و يعتبر هذا المجال جد واسع، مما دفع العالم الكيميائي سور س إلى إدراج مقدار الـ pH، وذلك باستعمال الدالة الرياضية اللوغاريتمية التي يرمز لها بـ log.

$$pH = - \log [H_3O^+_{(aq)}]$$

و يعبر عن pH محلول مائي بالعلاقة جانبه، حيث يمثل  $[H_3O^+]$  عدد مساويا لتركيز أيونات الأوكسونيوم  $H_3O^+$  معبر عنه بالوحدة (mol/L).

### ملحوظات:

- عكسيا، معرفة pH محلول مائي تمكن من تحديد التركيز المولي لأيونات الأوكسونيوم  $H_3O^+$  في المحلول، وذلك باستعمال العلاقة:  $[H_3O^+_{(aq)}] = 10^{-pH}$ .
- pH محلول مائي عدد حقيقي بدون وحدة، وتتعلق قيمته بدرجة الحرارة.
- العلاقة  $pH = - \log [H_3O^+_{(aq)}]$  صالحة فقط بالنسبة للمحاليل المخففة حيث:  $[H_3O^+_{(aq)}] \leq 5.10^{-2} \text{ mol/L}$ .
- pH محلول مائي دالة تناقصية للتركيز المولي لهذه الأيونات:



## ب. تطبيق 2:

### الأسئلة

نتوفر على أربعة محاليل مائية :  $S_A$  و  $S_B$  و  $S_C$  و  $S_D$  تتميز بما يلي:

| المحلول المائي $S_D$                    | المحلول المائي $S_C$ | المحلول المائي $S_B$ | المحلول المائي $S_A$ |
|-----------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| قيمة تركيز الأيونات $H_3O^+$ بـ (mol/L) | قيمة $pH$            | قيمة $pH$            | قيمة $pH$            |
| $5,1 \cdot 10^{-5}$                     | $2 \cdot 10^{-3}$    | 8,9                  | 2,8                  |

- حدد قيمة تركيز أيونات  $H_3O^+$  في المحلولين المائيين A و B.
- حدد قيمة  $pH$  في المحلولين المائيين C و D.
- كيف يتغير تركيز أيونات الأوكسونيوم في محلول مائي ما عند تزايد قيمة  $pH$ .

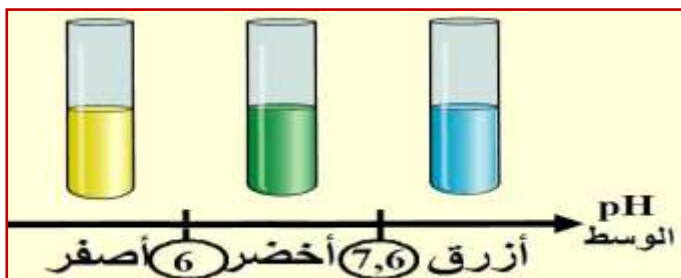
### الأجوبة

- بالنسبة للمحلولين المائيين A و B نطبق العلاقة التالية:  $[H_3O^+]_{(aq)} = 10^{-pH}$  فنجد أن:  
 $[H_3O^+]_{(aq)} = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$  و  $[H_3O^+]_{(aq)} = 1,3 \cdot 10^{-9} \text{ mol/L}$
- بالنسبة للمحلولين المائيين C و D نطبق العلاقة التالية:  $pH = -\log [H_3O^+]_{(aq)}$  فنجد أن:  
 $pH_C = 2,7$  و  $pH_D = 4,3$
- عند تزايد قيمة  $pH$  يتناقص تركيز أيونات الأوكسونيوم.

## 3. قياس $pH$ محلول مائي:

### أ. استعمال الكواشف الملونة:

**الكواشف الملونة** مواد عضوية عبارة عن مزدوجة قاعدة/حمض، تأخذ لون الشكل الحمضي إذا كان الوسط حمضيا و تأخذ لون الشكل القاعدي إذا كان الوسط قاعديا.



و مثالا على ذلك الكاشف الملون أزرق البروموتيمول BBT الذي يأخذ لونا أصفرا إذا كان  $pH$  الوسط أصغر من 6، ولونا أزرقا إذا كان  $pH$  الوسط أكبر من 7,6، أما اللون الأخضر أو ما يسمى باللونية الحساسة فيأخذه إذا كان  $pH$  الوسط يندرج ضمن مجال انعطافه المحصور بين 6 و 7,6.

### ب. استعمال ورق $pH$ :



ورق  $pH$  ورق مشبع بعدة كواشف ملونة، يأخذ ألوانا مختلفة حسب قيمة  $pH$  المحلول المائي المستعمل، و تضم علبة ورق  $pH$  سلما للألوان تقابل كل لون قيمة  $pH$  معينة.

### ج. استعمال جهاز $pH$ – متر:

- ♦ **المكونات:** يتكون جهاز  $pH$  – متر من مجس و جهاز إلكتروني يشبه الفولطمتر حيث يقيس التوتر الكهربائي الذي يقيسه المجس المكون من إلكترود مرجعي و إلكترود من الزجاج، كما أن هناك نوع آخر من المجسات و التي هي عبارة عن مجس مركب يحتوي على الإلكترودين السالف ذكرهما. حيث يحتوي هذا الأخير على كرية مسامية من زجاج سريع الانكسار قابلة للتلوث، يتم عبرها تبادل ضعيف للأيونات، لذلك وجب استعماله بحذر.
- ♦ **طريقة الاستعمال:** قبل أي استعمال للجهاز، نقوم بغسل الإلكترود المركب بالماء المقطر، بعدها نغير الجهاز بمحلول عيار ( $pH=4$ ) بالنسبة للمحاليل الحمضية و ( $pH=9$ ) بالنسبة للمحاليل القاعدية و ذلك لضبط الجهاز ليشير إلى القيمة الصحيحة للمحلول المائي، و بعد الانتهاء القياسات نغسل الإلكترود بالماء المقطر و نعيده إلى غمده الواقية.

♦ دقة قياس pH – متر: ( تمرين تطبيقي)

### الأسئلة

نعتبر محلولاً مائياً حيث يعطي قياس pH المحلول القيمة 3,20، علماً أن هذا القياس يصاحبه ارتفاع  $\Delta pH = 0,05$ .

(1) حدد قيمة تركيز أيونات  $H_3O^+$  في المحلول المائي.

(2) حدد الارتفاع المطلق  $\Delta[H_3O^+]$ .

(3) حدد الارتفاع النسبي  $\frac{\Delta[H_3O^+]}{[H_3O^+]}$ .

### الأجوبة

(1) نطبق العلاقة التالية:  $[H_3O^+]_{(aq)} = 10^{-pH}$  فنجد أن:  $[H_3O^+]_{(aq)} = 6,3 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$

(2) نقوم بتأطير قيم pH وصولاً إلى تأطير قيم أيونات الأوكسونيوم:

$$3,2 - 0,05 < pH < 3,2 + 0,05$$

$$\text{أي: } 3,15 < pH < 3,25$$

$$\text{أي: } -3,25 < -pH < -3,15$$

$$\text{أي: } 10^{-3,25} < 10^{-pH} < 10^{-3,15}$$

$$\text{أي: } 5,62 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L} < [H_3O^+]_{(aq)} < 7,07 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$$

$$\Delta[H_3O^+] = \frac{7,07 \times 10^{-4} - 5,62 \times 10^{-4}}{2} = 0,7 \times 10^{-4} \text{ mol/L} \text{ و منه:}$$

(3) حساب الارتفاع النسبي:

$$\frac{\Delta[H_3O^+]}{[H_3O^+]} = \frac{0,7 \times 10^{-4}}{6,3 \times 10^{-4}} = 0,11 \text{ لدينا:}$$

و منه يصاحب ارتفاعاً مطلقاً قدره 0.05 على قياس pH محلول، ارتفاعاً نسبياً قدره 11% على حساب تركيز أيونات الأوكسونيوم في المحلول.

### III. التحولات الكلية و التحولات غير الكلية (المحدودة).

#### 1. التحولات الكلية:

#### أ. نشاط تجريبي 1:

نفرغ حجماً  $V = 10 \text{ mL}$  من محلول حمض الكلوريدريك ذو التركيز  $C = 3,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$  في كأس، ثم نقيس pH المحلول، فنجد أنه يساوي 1,45. ينتج هذا الحمض عن ذوبان غاز كلورور الهيدروجين  $HCl_{(g)}$  في الماء.

(1) ما المزدوجتان قاعدة/حمض المتدخلتان في التفاعل؟

المزدوجتان قاعدة/حمض المتدخلتان في التفاعل:  $H_3O^+/H_2O$  و  $HCl(g)/Cl^-$ .

(2) أكتب معادلة التفاعل الحاصل.



(3) أحسب كمية المادة البدئية لحمض الكلوريدريك المستعمل في الكأس.

كمية المادة البدئية لحمض الكلوريدريك المستعمل في الكأس: لدينا  $n_i(H_3O^+) = C \cdot V$

$$\text{أي: } n_i(H_3O^+) = 3,5 \cdot 10^{-2} \times 10 \cdot 10^{-3} = 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

(4) أحسب التركيز النهائي  $[H_3O^+]_f$ ، ثم استنتج كمية المادة النهائية  $n_f(H_3O^+)$  في الكأس.

حساب التركيز النهائي باستعمال العلاقة:  $[H_3O^+]_{(aq)} = 10^{-pH}$

$$\text{أي: } [H_3O^+]_{(aq)} = 10^{-1,45}$$

$$\text{فنجد أن: } [H_3O^+]_{(aq)} = 3,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

و منه نستنتج كمية المادة النهائية  $n_f(H_3O^+)$  في الكأس بحيث:

$$n_f(\text{H}_3\text{O}^+) = [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{f}} \cdot V = 3,5 \cdot 10^{-2} \times 10 \cdot 10^{-3} = 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

(5) أتمم ملأ الجدول الوصفي للتفاعل الحاصل.

| $\text{HCl}_{(\text{g})} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cl}^- + \text{H}_3\text{O}^+$ |  |                  |                  | معادلة التفاعل   |              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--|------------------|------------------|------------------|--------------|
| كميات المادة بالمول (mol)                                                                     |  |                  |                  | التقدم           | الحالة       |
| $3,5 \cdot 10^{-4}$                                                                           |  | 0                | 0                | 0                | البداية      |
| $3,5 \cdot 10^{-4} - x$                                                                       |  | x                | x                | x                | عند اللحظة t |
| $3,5 \cdot 10^{-4} - x_{\text{max}}$                                                          |  | $x_{\text{max}}$ | $x_{\text{max}}$ | $x_{\text{max}}$ | القصىة       |
| $3,5 \cdot 10^{-4} - x_f$                                                                     |  | $x_f$            | $x_f$            | $x_f$            | النهائية     |

(6) التقدم النهائي للتفاعل هو تقدم التفاعل عند توقف تطور المجموعة. حدد قيمتي  $x_{\text{max}}$  و  $x_f$ .

تحدد  $x_{\text{max}}$  بتحديد المتفاعل المحد و بما أن الماء وفير فإن المتفاعل المحد هو حمض الكلوريدريك و منه فإن:

$$x_{\text{max}} = 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

من خلال الجدول الوصفي لدينا:  $x_f = n_f(\text{H}_3\text{O}^+) = 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$

(7) أعط حصيلة المادة النهائية ثم ماذا تلاحظ؟

حصيلة المادة النهائية:

$$n_f(\text{H}_3\text{O}^+) = x_f = 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \text{ لدينا:}$$

$$n_f(\text{Cl}^-) = x_f = 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \text{ و:}$$

$$n_f(\text{HCl}) = 3,5 \cdot 10^{-4} - x_f = 3,5 \cdot 10^{-4} - 3,5 \cdot 10^{-4} = 0 \text{ mol} \text{ و:}$$

من خلال ما سبق نلاحظ أن  $x_f = x_{\text{max}}$  ، كما أن المتفاعل HCl قد استهلك كليا .

ب. خلاصة:

يعرف **التحول الكلي** أنه كل تحول كيميائي يتوقف تطوره باختفاء كلي لأحد المتفاعلات على الأقل، من المجموعة الكيميائية. كما يتميز بكون أن قيمة التقدم النهائي  $x_f$  تساوي قيمة التقدم الأقصى  $x_{\text{max}}$ ، يعني:  $x_f = x_{\text{max}}$ .

## 2. التحولات غير الكلية:

### أ. نشاط تجريبي 2:

نفرغ حجما 500mL من الماء المقطر في كأس و نقيس pH فنجد  $\text{pH}_1 = 6,8$ .  
نحضر حجما  $V = 100 \text{ mL}$  من محلول حمض الإيتانويك ذو التركيز  $C = 0,1 \text{ mol/L}$  في كأس، وذلك بإذابة 0,6g من حمض الإيتانويك  $\text{CH}_3\text{COOH}$  في الماء المقطر، ثم نقيس pH المحلول، فيعطي 2,8.

(1) هل حدث تفاعل بين حمض الإيتانويك و الماء؟

تغير قيمة pH دليل على حدوث تفاعل بين حمض الإيتانويك و الماء.

(2) ما المزدوجتان قاعدة/حمض المتدخلتان في التفاعل؟

المزدوجتان قاعدة/حمض المتدخلتان في التفاعل:  $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{COO}^-$  و  $\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2\text{O}$ .

(3) أكتب معادلة التفاعل الحاصل.



(4) أحسب كمية المادة البدئية لحمض الإيتانويك المستعمل في الكأس.

$$n_i(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{m}{M} = \frac{0,6}{60} \text{ لدينا:}$$

$$n_i(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,01 \text{ mol} \text{ أي:}$$

(5) أحسب التركيز النهائي  $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{f}}$ ، ثم استنتج كمية المادة النهائية  $n_f(\text{H}_3\text{O}^+)$  في الكأس.

حساب التركيز النهائي باستعمال العلاقة:  $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{f}} = 10^{-\text{pH}}$

$$[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{f}} = 10^{-2,8} \text{ أي:}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{f}} = 1,58 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L} \text{ فنجد أن:}$$

و منه نستنتج كمية المادة النهائية  $n_f(\text{H}_3\text{O}^+)$  في الكأس بحيث:

$$n_f(\text{H}_3\text{O}^+) = [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{f}} \cdot V = 1,58 \cdot 10^{-3} \times 100 \cdot 10^{-3} = \text{mol}$$



(6) أتمم ملاً الجدول الوصفي للتفاعل الحاصل.

| $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_3\text{O}^+$ |  |                  |                  | معادلة التفاعل   |              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|------------------|------------------|------------------|--------------|
| كميات المادة بالمول (mol)                                                                                |  |                  |                  | التقدم           | الحالة       |
| 0,01                                                                                                     |  | 0                | 0                | 0                | البدنية      |
| 0,01 - x                                                                                                 |  | x                | x                | x                | عند اللحظة t |
| 0,01 - x <sub>max</sub>                                                                                  |  | x <sub>max</sub> | x <sub>max</sub> | x <sub>max</sub> | القصوىة      |
| 0,01 - x <sub>f</sub>                                                                                    |  | x <sub>f</sub>   | x <sub>f</sub>   | x <sub>f</sub>   | النهائية     |

(7) حدد قيمتي x<sub>max</sub> و x<sub>f</sub>.

تحدد x<sub>max</sub> بتحديد المتفاعل المحد و بما أن الماء وفير فإن المتفاعل المحد هو حمض الإيتانويك و منه فإن:

$$x_{\text{max}} = 0,01 \text{ mol}$$

من خلال الجدول الوصفي لدينا:  $x_f = n_f(\text{H}_3\text{O}^+) = 1,58 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$

(8) أعط حصيلة المادة النهائية ثم ماذا تلاحظ؟

حصيلة المادة النهائية:

$$n_f(\text{H}_3\text{O}^+) = x_f = 1,58 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \text{ لدينا:}$$

$$n_f(\text{CH}_3\text{COO}^-) = x_f = 1,58 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \text{ و:}$$

$$n_f(\text{HCl}) = 0,01 - x_f = 0,01 - 1,58 \cdot 10^{-4} = 9,84 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \text{ و:}$$

من خلال ما سبق نلاحظ أن  $x_f < x_{\text{max}}$  ، كما أن المتفاعل  $\text{CH}_3\text{COOH}$  لم يتم استهلاكه كلياً .

**ب. خلاصة:**

يعرف **التحول غير الكلي أو التحول المحدود** أنه كل تحول كيميائي يتوقف تطوره ظاهرياً دون اختفاء كلي لأي متفاعل من المجموعة الكيميائية. كما يتميز بكون أن قيمة التقدم النهائي  $x_f$  أصغر من قيمة التقدم الأقصى  $x_{\text{max}}$  للتفاعل، يعني:  $x_f < x_{\text{max}}$ .

### 3. نسبة التقدم النهائي:

نسبة التقدم النهائي  $\tau$  لتفاعل كيميائي هي خارج قسمة التقدم النهائي على التقدم الأقصى لهذا التفاعل، بحيث:

$$\tau = \frac{x_f}{x_{\text{max}}}$$

### 4. منحنى تطور مجموعة كيميائية:

#### أ. نشاط تجريبي 3:

**أمثلة**

■ بالنسبة للنشاط التجريبي 1:

$$\tau = \frac{x_f}{x_{\text{max}}} = \frac{3,5 \cdot 10^{-4}}{3,5 \cdot 10^{-4}} = 1$$

أي:  $\tau = 100\%$

■ بالنسبة للنشاط التجريبي 2:

$$\tau = \frac{x_f}{x_{\text{max}}} = \frac{1,58 \cdot 10^{-4}}{0,01} \approx 2 \cdot 10^{-2}$$

أي:  $\tau = 2\%$

نحضر محلولاً مائياً S لحمض الإيتانويك ذو التركيز  $C=0,01 \text{ mol/L}$  في كأس، وذلك بإذابة حمض الإيتانويك  $\text{CH}_3\text{COOH}$  في الماء، ثم نقيس pH المحلول S، فيعطي  $\text{pH}=3,4$ .  
نصب في كأسين A و B نفس الحجم  $V=20 \text{ mL}$  من المحلول S، نضيف إلى الكأس A بعض قطرات حمض الإيتانويك الخالص فنقيس الـ pH فنجد  $\text{pH}_A=2,6$  و نضيف إلى الكأس B بلورات إيتانوات الصوديوم  $\text{CH}_3\text{COONa}$  فنقيس الـ pH فنجد  $\text{pH}_B=5,1$ .

(1) أكتب معادلة التفاعل الحاصل عند تحضير المحلول S.



(2) في أي منحنى تطورت المجموعة الكيميائية بالنسبة للكأس A؟

انخفاض pH في هذا الكأس يعني هناك ارتفاع في تركيز أيونات الأوكسونيوم  $\text{H}_3\text{O}^+$  في المجموعة. إذن المجموعة تطورت في منحنى تكون هذه الأيونات حيث يسمى بالمنحنى المباشر.



(3) في أي منحنى تطورت المجموعة الكيميائية بالنسبة للكأس B؟  
ارتفاع pH في هذا الكأس يعني هناك انخفاض في تركيز أيونات الأوكسونيوم  $\text{H}_3\text{O}^+$  في المجموعة. إذن المجموعة تطورت في منحنى اختفاء أو استهلاك هذه الأيونات حيث يسمى بالمنحنى المعاكس.



(4) قارن منحيي التطور.  
مما سبق تفاعل حمض الإيتانويك مع الماء تفاعل غير كلي أو محدود يمكن أن يتطور في منحيين متعاكسين،



### ب. خلاصة:

بصفة عامة، يقترن بكل تحول كيميائي محدود، تفاعل يحدث في المنحيين. نعبر عنه بالمعادلة الكيميائية التالية:



### 5. حالة التوازن لمجموعة كيميائية:

عندما يكون التحول الكيميائي محدود تكون الحالة النهائية للمجموعة حالة توازن كيميائي و تتميز بتزامن وجود جميع المتفاعلات و النواتج و كمية مادتها ثابتة مع الزمن.