

تمرين 1

نحضر محلولاً مائياً لحمض الميثانويك تركيزه المولي $c = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ ، وذلك بإضافة الحمض الخالص إلى الماء المقطر .

نعطي : $pK_A(\text{HCOOH} / \text{HCOO}^-) = 3,74$

1- ما الخطوات التي يجب اتباعها لتحديد منحنى التطور التلقائي لمجموعة كيميائية ؟

2- في أي منحنى تتطور المجموعة ؟

حل

1- الخطوات التي يجب اتباعها لتحديد المنحنى التلقائي لتطور مجموعة كيميائية :

- كتابة معادلة التفاعل

- حساب خارج التفاعل في الحالة البدئية

- مقارنة خارج التفاعل وثابتة التوازن

• إذا كان $Q_{r,i} < K$ فإن المجموعة تتطور في المنحنى المباشر لمعادلة التفاعل.

• إذا كان $Q_{r,i} > K$ فإن المجموعة تتطور في المنحنى غير المباشر لمعادلة التفاعل.

• إذا كان $Q_{r,i} = K$ فإن المجموعة لا تتطور (حالة توازن).

2- تحديد منحنى تطور المجموعة

- معادلة ذوبان الحمض في الماء



- تحديد قيمة خارج التفاعل في الحالة البدئية.

$$Q_{r,i} = \frac{[\text{HCOO}^-]_i \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]_i}{[\text{HCOOH}]_i}$$

$Q_{r,i} = 0$ لأن تركيز النوعين HCOO^- و H_3O^+ منعدم في الحالة البدئية.

- حساب ثابتة التوازن المقرونة بمعادلة التفاعل (1)

$$K = \frac{[\text{HCOO}^-]_{\text{éq}} \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}}{[\text{HCOOH}]_{\text{éq}}} = K_A = 10^{-pK_A}$$

$$K = 10^{-3,74} \approx 1,8 \cdot 10^{-4}$$

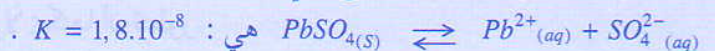
لدينا : $Q_{r,i} < K$ ، وبالتالي تتطور المجموعة الكيميائية في المنحنى المباشر لمعادلة التفاعل ، أي منحنى تفكك الحمض .

تمرين 2

نمزج حجماً $V_1 = 100 \text{ mL}$ من محلول S_1 لنترات الرصاص $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ تركيزه المولي $c_1 = 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ وحجماً

$V_2 = 400 \text{ mL}$ من محلول S_2 لكبريتات الصوديوم Na_2SO_4 تركيزه المولي $c_2 = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$.

ثابتة التوازن المقرونة بمعادلة التفاعل التالي :



بين أنه يتكون راسب لكبريتات الرصاص .

حل

تحديد منحنى تطور المجموعة الكيميائية

تفاعل أيونات الرصاص $\text{Pb}^{2+}(aq)$ مع أيونات الكبريتات $\text{SO}_4^{2-}(aq)$ وفق المعادلة (1).



$$K' = \frac{1}{[Pb^{2+}]_{\acute{e}q} \cdot [SO_4^{2-}]_{\acute{e}q}} = \frac{1}{K} = \frac{1}{1,8 \cdot 10^{-8}} \approx 5,6 \cdot 10^7$$

ثابتة التوازن المقرونة بمعادلة هذا التفاعل هي $5,6 \cdot 10^7$

$$Q_{r,i} = \frac{1}{[Pb^{2+}]_i [SO_4^{2-}]_i}$$

يعبر عن خارج التفاعل في الحالة البدئية كالتالي :

$$[SO_4^{2-}] = \frac{c_2 \cdot V_2}{V_1 + V_2} \quad \text{و} \quad [Pb^{2+}]_i = \frac{c_1 \cdot V_1}{V_1 + V_2}$$

مع

$$Q_{r,i} = \frac{(V_1 + V_2)^2}{(c_1 \cdot V_1) \cdot (c_2 \cdot V_2)} = \frac{(500 \cdot 10^{-3})^2}{(3 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1) \cdot (5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,4)} \approx 4,2 \cdot 10^5$$

ومنه :

لدينا $Q_{r,i} < K'$ ، إذن تتطور المجموعة الكيميائية في المنحى المباشر لمعادلة التفاعل (I)، أي منحى ترسيب كبريتات الرصاص.

تمرين 3

نضيف $m = 2g$ من الزنك إلى حجم $V = 100mL$ من محلول مائي لكبريتات النحاس (II) ذي التركيز المولي $c = 0,1 mol \cdot L^{-1}$. نحرك الخليط، فنلاحظ اختفاء اللون الأزرق المميز للأيونات $Cu^{2+}_{(aq)}$.

ثابتة التوازن المقرونة بمعادلة تفاعل الزنك مع أيونات النحاس (II)، هي $K = 4,6 \cdot 10^{36}$.

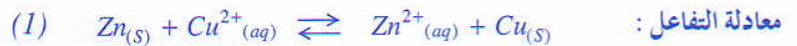
1- اكتب نصفي معادلة تفاعل الأكسدة- اختزال بالنسبة لكل من للمزدوجتين $Zn^{2+}_{(aq)} / Zn_{(s)}$ و $Cu^{2+}_{(aq)} / Cu_{(s)}$ واستنتج المعادلة الحاصلة.

2- احسب خارج التفاعل في الحالة البدئية، ثم حدد كيف تتطور المجموعة.

3- احسب نسبة التقدم النهائي τ . ماذا تستنتج؟

حل

1- معادلة التفاعل الحاصل ومنحى تطور المجموعة الكيميائية



2- خارج التفاعل، في الحالة البدئية، المقرون بمعادلة التفاعل (1).

$$Q_{r,i} = \frac{[Zn^{2+}]_i}{[Cu^{2+}]_i}$$

- في الحالة البدئية يكون تركيز الأيونات Zn^{2+} منعدما، أي $[Zn^{2+}]_i = 0$ وبالتالي $Q_{r,i} = 0$

لدينا $Q_{r,i} < K$ ، إذن تتطور المجموعة في المنحى المباشر لمعادلة التفاعل (I)، أي منحى تكوّن أيونات الزنك Zn^{2+} وفلز النحاس.

3- تحديد نسبة التقدم النهائي للتفاعل

- الجدول الوصفي لتطور المجموعة

معادلة التفاعل				الحالة	التقدم	
$Zn_{(S)}$	+	$Cu^{2+}_{(aq)}$	\rightleftharpoons	$Zn^{2+}_{(aq)}$	+	$Cu_{(S)}$
كميات المادة (mol)						
بوفرة		$c.V$		0		0
بوفرة		$c.V - x_{\acute{e}q}$		$x_{\acute{e}q}$		$x_{\acute{e}q}$

حسب الجدول الوصفي لدينا $[Zn^{2+}]_{\acute{e}q} = \frac{x_{\acute{e}q}}{V}$ و $[Cu^{2+}]_{\acute{e}q} = \frac{c.V - x_{\acute{e}q}}{V}$
 ثابتة التوازن المقرونة بمعادلة التفاعل (1) :

$$K = \frac{[Zn^{2+}]_{\acute{e}q}}{[Cu^{2+}]_{\acute{e}q}} = \frac{x_{\acute{e}q}}{c.V - x_{\acute{e}q}}$$

نستنتج أن :
 التقدم الأقصى هو :
 نسبة التقدم النهائي للتفاعل :
 $\tau = 1$ ، إذن التفاعل (1) كلي ، مما يفسر اختفاء اللون الأزرق المميز للأيونات $Cu^{2+}_{(aq)}$.
 لأن $K \gg 1$ $x_{\acute{e}q} = \frac{c.V.K}{1 + K} = c.V$
 لأن الأيون Cu^{2+} هو المتفاعل المحد.
 $x_{\max} = c.V$
 $\tau = \frac{x_{\acute{e}q}}{x_{\max}} = \frac{c.V}{c.V} = 1$

تمرين 4

نتوفر على حجم $V_1 = 0,25L$ من محلول مائي S_1 لحمض الميثانويك تركيزه المولي $c_1 = 1,0 \cdot 10^{-2} mol.L^{-1}$
 نقيس pH المحلول S_1 ، عند $25^\circ C$ ، فنجد : $pH_1 = 2,9$

1.1/1 - احسب ثابتة التوازن K المقرونة بمعادلة التفاعل بين حمض الميثانويك والماء.

1.2 - احسب النسبة $r = \frac{[HCOO^-]}{[HCOOH]}$

2 - نتوفر كذلك على حجم $V_2 = 0,1L$ من محلول S_2 لحمض الكلوريدريك تركيزه المولي $c_2 = 1,0 \cdot 10^{-2} mol.L^{-1}$

نقيس pH المحلول S_2 ، عند $25^\circ C$ ، فنجد : $pH_2 = 2$.

2.1 - احسب نسبة التقدم النهائي للتفاعل بين حمض الكلوريدريك والماء.

2.2 - هل توجد ثابتة توازن مقرونة بهذا التفاعل ؟

2.3 - نصب المحلول S_2 في المحلول S_1 ، ما هو المنحى التلقائي للتفاعل الحاصل ؟

نعطي : $pK_A(HCOOH / HCOO^-) = 3,75$

حل

1.1/1 - معادلة التفاعل حمض - قاعدة الذي يحدث بين حمض الميثانويك والماء



يعبر عن ثابتة التوازن المقرونة بمعادلة التفاعل (1) كالتالي :
 $K = \frac{[HCOO^-]_{\acute{e}q} \cdot [H_3O^+]_{\acute{e}q}}{[HCOOH]_{\acute{e}q}} = K_A = 10^{-pK_A}$

أي أن : $K = 10^{-3,75} \approx 1,78 \cdot 10^{-4}$

1.2 - حساب النسبة r :

لدينا : $K_A = \frac{[HCOO^-][H_3O^+]}{[HCOOH]}$ ومنه : $r = \frac{[HCOO^-]}{[HCOOH]} = \frac{K_A}{[H_3O^+]}$

أي أن : $r = 10^{(pH_1 - pK_A)} = 10^{(2,9 - 3,75)} \approx 0,14$

2.1/2 - حساب نسبة التقدم النهائي للتفاعل

معادلة التفاعل حمض - قاعدة الذي يحدث بين حمض الكلوريدريك والماء



لحساب نسبة التقدم النهائي للتفاعل ننشئ الجدول الوصفي لتطور المجموعة.

معادلة التفاعل				الحالة	التقدم			
كميات المادة (mol)								
$HCl_{(g)}$	+	$H_2O_{(l)}$	\rightleftharpoons	$H_3O^+_{(aq)}$	+	$Cl^-_{(aq)}$	0	البدئية
$c_2 \cdot V_2$		بوفرة		0		0	x_f	النهائية
$c_2 \cdot V_2 - x_f$		بوفرة		x_f		x_f	x_f	

التقدم الأقصى هو : $x_{max} = c_2 \cdot V_2$ لأن الماء موجود بوفرة

حسب الجدول الوصفي، لدينا في الحالة النهائية : $x_f = n(H_3O^+) = [H_3O^+] \cdot V_2$

نسبة التقدم النهائي للتفاعل هي : $\tau = \frac{x_f}{x_{max}} = \frac{[H_3O^+]}{c_2} = \frac{10^{-pH_2}}{c_2}$ ؛ أي أن : $\tau = \frac{10^{-2}}{10^{-2}} = 1$

بما أن $\tau = 1$ ، فإن التحول الحاصل كلي .

2.2 - لا توجد المجموعة في حالة توازن لأن المتفاعل HCl يخنفي كلياً، وبالتالي لا يمكن إقران ثابتة التوازن بالمعادلة (2).

2.3 - تحديد المنحى التلقائي للتفاعل

كمية المادة البدئية لأيونات H_3O^+ الناجمة عن المحلولين S_1 و S_2 .

$$n(H_3O^+)_i = 10^{-pH_1} \cdot V_1 + 10^{-pH_2} \cdot V_2$$

- التركيز البدئي لأيونات H_3O^+ في الخليط .

$$[H_3O^+]_i = \frac{10^{-pH_1} \cdot V_1 + 10^{-pH_2} \cdot V_2}{V_1 + V_2}$$

$$[H_3O^+]_i = \frac{10^{-2,9} \cdot 250 + 10^{-2} \cdot 100}{250 + 100} \approx 3,75 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$$

يعني :

- عند إضافة المحلول S_2 إلى المحلول S_1 يكون التركيز البدئي في الخليط للنوعين $HCOOH$ و $HCOO^-$

$$r = \frac{[HCOO^-]_i}{[HCOOH]_i} = 0,14$$

بحيث :

- يعبر عن خارج التفاعل ، في الحالة البدئية، المقرون بمعادلة التفاعل (1) بالعلاقة :

$$Q_{r,i} = \frac{[HCOO^-]_i}{[HCOOH]_i} \cdot [H_3O^+]_i = r \cdot [H_3O^+]_i$$

$$Q_{r,i} = 0,14 \cdot 3,75 \cdot 10^{-3} \approx 5,3 \cdot 10^{-4}$$

ومنه :

بما أن $Q_{r,i} > K$ ، فإن التحول (1) يتطور في المنحى المعاكس لمنحى تفكك الحمض $HCOOH$ في الماء.

تمرين 5

نحضر الخليط التالي بمزج :

- حجم $V_1 = 10,0 \text{ mL}$ من محلول حمض الإيثانويك تركيزه $c_1 = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ ؛
- حجم $V_2 = 5,0 \text{ mL}$ من محلول كلورور الأمونيوم تركيزه $c_2 = 5,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ ؛
- حجم $V_3 = 5,0 \text{ mL}$ من محلول إيثانوات الصوديوم تركيزه $c_3 = 5,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ ؛
- حجم $V_4 = 10,0 \text{ mL}$ من محلول الأمونياك تركيزه $c_4 = 10 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ ؛

1- احسب خارج التفاعل في الحالة البدئية.

2- عين منحى تطور المجموعة.

معطيات : ثابتة الحمضية للمزدوجات المتدخلة في التفاعل :

$$pK_{A2} = 9,2 : NH_4^+ / NH_3$$

$$pK_{A1} = 4,8 : CH_3COOH / CH_3COO^-$$

حل

1- معادلة التفاعل



مباشرة بعد مزج المحاليل الأربعة لدينا : $n(CH_3COOH)_i = c_1 \cdot V_1 = 2,0 \cdot 10^{-2} \cdot 10,0 \cdot 10^{-3} = 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$

$$n(NH_4^+)_i = c_2 \cdot V_2 = 5,0 \cdot 10^{-2} \cdot 5,0 \cdot 10^{-3} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

$$n(CH_3COO^-)_i = c_3 \cdot V_3 = 5,0 \cdot 10^{-2} \cdot 5,0 \cdot 10^{-3} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

$$n(NH_3)_i = c_4 \cdot V_4 = 10,0 \cdot 10^{-2} \cdot 10,0 \cdot 10^{-3} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 = 3,0 \cdot 10^{-2} \text{ L}$$

الحجم الكلي للمحلول هو :

$$[CH_3COOH]_i = \frac{2,0 \cdot 10^{-4}}{3,0 \cdot 10^{-2}} = 6,67 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$$

إذن :

$$[NH_4^+]_i = \frac{2,5 \cdot 10^{-4}}{3,0 \cdot 10^{-2}} = 8,33 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$$

$$[CH_3COO^-]_i = \frac{2,5 \cdot 10^{-4}}{3,0 \cdot 10^{-2}} = 8,33 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$$

$$[NH_3]_i = \frac{1,0 \cdot 10^{-3}}{3,0 \cdot 10^{-2}} = 3,33 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$$

$$Q_{r,i} = \frac{[CH_3COO^-]_i \cdot [NH_4^+]_i}{[CH_3COOH]_i \cdot [NH_3]_i} = \frac{8,33 \cdot 10^{-3} \cdot 8,33 \cdot 10^{-3}}{6,67 \cdot 10^{-3} \cdot 3,33 \cdot 10^{-2}} = 0,312$$

خارج التفاعل في الحالة البدئية هو :

2- منحى تطور المجموعة

لتعيين منحى تطور المجموعة نقارن $Q_{r,i}$ بثابتة التوازن K ، المقرونة بمعادلة التفاعل.

$$K = \frac{[NH_4^+]_{\acute{e}q} \cdot [CH_3COO^-]_{\acute{e}q}}{[CH_3COOH]_{\acute{e}q} \cdot [NH_3]_{\acute{e}q}} = \frac{[CH_3COO^-]_{\acute{e}q} \cdot [H_3O^+]_{\acute{e}q}}{[CH_3COOH]_{\acute{e}q}} \cdot \frac{[NH_4^+]_{\acute{e}q}}{[NH_3]_{\acute{e}q} \cdot [H_3O^+]_{\acute{e}q}}$$

$$K = \frac{K_{A1}}{K_{A2}} = \frac{10^{-p.K_{A1}}}{10^{-p.K_{A2}}} = \frac{10^{-4,8}}{10^{-9,2}} = 2,51 \cdot 10^4$$

نلاحظ أن $K < Q_{r,i}$ ، إذن حسب معيار التطور التلقائي، تتطور المجموعة في المنحى المباشر لمعادلة التفاعل أي من اليسار نحو اليمين.

تمرين 6

لتكن المجموعة المحصلة بمزج :

$V_1 = 10\text{mL}$ من محلول حمض الإيثانويك CH_3COOH تركيزه $c_1 = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{mol.L}^{-1}$

$V_2 = 10\text{mL}$ من محلول يحتوي على أيونات الإيثانوات CH_3COO^- تركيزها $c_2 = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{mol.L}^{-1}$

$V_3 = 10\text{mL}$ من محلول حمض الميثانويك HCOOH تركيزه $c_3 = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{mol.L}^{-1}$

$V_4 = 20\text{mL}$ من محلول يحتوي على أيونات الميثانوات HCOO^- تركيزها $c_4 = 5,0 \cdot 10^{-2} \text{mol.L}^{-1}$

1- اكتب معادلة التفاعل الذي يمكن أن يحدث بين حمض الإيثانويك وأيونات الميثانوات.

2- احسب ثابتة التوازن المقرونة بمعادلة هذا التفاعل.

3- كيف تتطور المجموعة؟ علل الجواب.

4- أنجز الجدول الوصفي لتطور المجموعة.

احسب نسبة التقدم النهائي للتفاعل. ماذا تستنتج؟

5- احسب النسبة $r = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]_{\text{éq}}}{[\text{CH}_3\text{COOH}]_{\text{éq}}}$

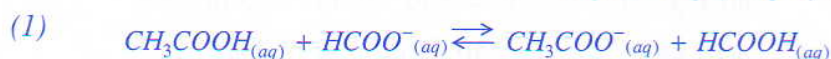
6- احسب pH الخليط.

نعطي : $\text{pK}_{A1}(\text{HCOOH} / \text{HCOO}^-) = 3,8$

$\text{pK}_{A2}(\text{CH}_3\text{COOH} / \text{CH}_3\text{COO}^-) = 4,8$

حل

1- معادلة التفاعل حمض الإيثانويك وأيونات الميثانوات



2- حساب ثابتة التوازن

يعبر عن ثابتة التوازن المقرونة بمعادلة التفاعل (1) كالتالي :

$$K = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]_{\text{éq}} \cdot [\text{HCOOH}]_{\text{éq}}}{[\text{CH}_3\text{COOH}]_{\text{éq}} \cdot [\text{HCOO}^-]_{\text{éq}}}$$

$$\text{أو} \quad K = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]_{\text{éq}} \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}}{[\text{CH}_3\text{COOH}]_{\text{éq}}} \cdot \frac{[\text{HCOOH}]_{\text{éq}}}{[\text{HCOO}^-]_{\text{éq}} \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}} = \frac{K_{A2}}{K_{A1}}$$

$$K = \frac{K_{A2}}{K_{A1}} = \frac{10^{-\text{pK}_{A2}}}{10^{-\text{pK}_{A1}}} = 10^{(\text{pK}_{A1} - \text{pK}_{A2})}$$

أي أن :

$$K = 10^{3,8-4,8} = 10^{-1}$$

نستنتج أن قيمة K هي :

3- منحى تطور المجموعة الكيميائية

حساب خارج التفاعل في الحالة البدئية

نضع : $V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$

يعبر عن خارج التفاعل في الحالة البدئية بالعلاقة :

$$Q_{r,i} = \frac{[CH_3COO^-]_i \cdot [HCOOH]_i}{[CH_3COOH]_i \cdot [HCOO^-]_i}$$

$$Q_{r,i} = \frac{\left(\frac{c_2 \cdot V_2}{V}\right) \cdot \left(\frac{c_3 \cdot V_3}{V}\right)}{\left(\frac{c_1 \cdot V_1}{V}\right) \cdot \left(\frac{c_4 \cdot V_4}{V}\right)} = \frac{(c_2 \cdot V_2) \cdot (c_3 \cdot V_3)}{(c_1 \cdot V_1) \cdot (c_4 \cdot V_4)}$$

أو

$$Q_{r,i} = \frac{(5 \cdot 10^{-3} \cdot 10)(10^{-2} \cdot 10)}{(10^{-2} \cdot 10)(5 \cdot 10^{-2} \cdot 20)} = 5,0 \cdot 10^{-2}$$

يعني :

بما أن $Q_{r,i} < K$ ، فإن المجموعة تتطور تلقائيا في المنحى المباشر لمعادلة التفاعل (I).

4- الجدول الوصفي لتطور المجموعة

معادلة التفاعل				التقدم	الحالة
$CH_3COOH_{(aq)} + HCOO^-_{(aq)} \rightleftharpoons CH_3COO^-_{(aq)} + HCOOH_{(aq)}$					
كميات المادة (mol)					
$c_1 \cdot V_1$	$c_4 \cdot V_4$	$c_2 \cdot V_2$	$c_3 \cdot V_3$	0	البدئية
$c_1 \cdot V_1 - x_{\acute{e}q}$	$c_4 \cdot V_4 - x_{\acute{e}q}$	$c_2 \cdot V_2 + x_{\acute{e}q}$	$c_3 \cdot V_3 + x_{\acute{e}q}$	$x_{\acute{e}q}$	التوازن

تركيب الخليط، بالمول، في الحالة البدئية للمجموعة :

$$n(CH_3COOH)_i = c_1 \cdot V_1 = 10^{-2} \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 10^{-4} \text{ mol}$$

$$n(HCOO^-)_i = c_4 \cdot V_4 = 5 \cdot 10^{-2} \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n(CH_3COO^-)_i = c_2 \cdot V_2 = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$$

$$n(HCOOH)_i = c_3 \cdot V_3 = 10^{-2} \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 10^{-4} \text{ mol}$$

$$K = \frac{[CH_3COO^-]_{\acute{e}q} \cdot [HCOOH]_{\acute{e}q}}{[CH_3COOH]_{\acute{e}q} \cdot [HCOO^-]_{\acute{e}q}}$$

لدينا :

$$K = \frac{(5 \cdot 10^{-5} + x_{\acute{e}q}) \cdot (10^{-4} + x_{\acute{e}q})}{(10^{-4} - x_{\acute{e}q}) \cdot (10^{-3} - x_{\acute{e}q})} = 10^{-1}$$

أي أن :

$$0,9x_{\acute{e}q}^2 + 2,6 \cdot 10^{-4}x_{\acute{e}q} - 5 \cdot 10^{-9} = 0$$

نحصل على :

$$\Delta = b^2 - 4ac = 8,56 \cdot 10^{-8}$$

نحسب :

$$x_1 = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a} = 1,81 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$$

وبالتالي يكون الحلان هما :

$$x_2 = \frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a} = -3,07 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

يقصى الحل الثاني لأن تقدم التفاعل لا يمكن أن يكون سالبا.

المتفاعل المحد هو CH_3COOH لأن $n(CH_3COOH)_i < n(HCOO^-)_i$

وبالتالي فإن التقدم الأقصى هو : $x_{\max} = 10^{-4} \text{ mol}$

نسبة التقدم النهائي للتفاعل، عند التوازن هي : $\tau = \frac{x_{\text{éq}}}{x_{\max}} = \frac{1,81 \cdot 10^{-5}}{10^{-4}} \approx 0,18 = 18\%$
بما أن $\tau < 1$ ، فإن التفاعل (I) غير كلي (محدود).

5- حساب النسبة r

$$r = \frac{[CH_3COO^-]_{\text{éq}}}{[CH_3COOH]_{\text{éq}}} = \frac{c_2 V_2 + x_{\text{éq}}}{c_1 V_1 - x_{\text{éq}}}$$

$$r = \frac{5 \cdot 10^{-5} + 1,81 \cdot 10^{-5}}{10^{-4} - 1,81 \cdot 10^{-5}} \approx 0,83$$

أي أن :

6- حساب pH الخليط

$$pH = pK_{A2} + \log \frac{[CH_3COO^-]_{\text{éq}}}{[CH_3COOH]_{\text{éq}}}$$

لدينا :

$$pH = pK_{A2} + \log r = 4,8 + \log 0,83$$

أي أن :

$$pH \approx 4,72$$