

## الوحدة الرابعة:

سلسلة 2025-U04-10 Série

## تمرين رقم: 01

كل القياسات مأخوذة في درجة الحرارة  $25^{\circ}C$ .

I - حضرنا محلول ( $S_0$ ) لمحلول حمض الايثانويك ( $CH_3COOH(aq)$ ) تركيزه المولي  $c_0 = 0,1 mol/L$  بإذابة كتلة  $m$  من الايثانويك النقي في حجم  $V = 100 mL$  من الماء المقطر، نقيس قيمة الـ  $pH$  له نجد 2,9.

1- أ- جد قيمة الكتلة  $m$ .

ب- اذكر البروتوكول التجريبي لتحضير المحلول ( $S_0$ ).

2- أ- اكتب معادلة التفاعل المنذج للتحويل الكيميائي بين حمض الايثانويك والماء.  
ب- هل التفاعل السابق تم: بين حمض وأساسه المرافق أو حمض الثنائية وأساس لثنائية أخرى؟

3- أ- انشئ جدول تقدم التفاعل.

ب- احسب قيمة نسبة التقدم النهائي للتفاعل  $\tau_f$ ، ماذا تستنتج؟

ج- احسب قيمة ثابت التوازن  $K$  للتفاعل.

يعطى:  $M(CH_3COOH) = 60 g/mol$ .

II - انطلاقا من المحلول ( $S_0$ ) السابق نحضر محاليل ( $S_i$ ) ممددة وذلك بأخذ في كل مرة حجما  $V_0 = 10 mL$  من المحلول الأصلي ( $S_0$ ) ونضيف له حجما مناسباً من الماء المقطر  $V_{H_2O}$ .

وعند حدوث التوازن الكيميائي للمحاليل ( $S_i$ ) المحضرة نقوم بقياس الـ  $pH$  لكل محلول فنحصل على النتائج المدونة في الجدول التالي:

المحاليل ( $S_i$ )	( $S_1$ )	( $S_2$ )	( $S_3$ )	( $S_4$ )	( $S_5$ )	( $S_6$ )
$V_{H_2O}(mL)$	0	10	20	40	60	90
$pH$	2,9	3,05	3,15	3,25	3,30	3,40
$c(mol/L)$						
$-\log(c)$						

1- أ- اكتب عبارة التركيز المولي  $c$  للمحاليل ( $S_i$ ) بدلالة  $c_0$  و  $V_0$  و  $V_{H_2O}$ .  
ب- اكمل الجدول.

ج- اذكر الخطوات العملية لتحضير المحلول ( $S_3$ ).

2- أ- اعتمادا على سلم رسم مناسب، ارسم البيان  $pH = f(-\log(c))$ .  
ب- اكتب المعادلة الرياضية للبيان.

3- أ- جد العلاقة النظرية بين  $pH$  و  $pKa$  للثنائية ( $CH_3COOH(aq) / CH_3COO^-(aq)$ ).  
ب- باهمال  $[CH_3COO^-]$  أمام  $c$  بين أن:  $pKa = 2pH + \log(c)$ .

4- استنتج قيمة  $pKa$  للثنائية ( $CH_3COOH(aq) / CH_3COO^-(aq)$ ).

حمض البنزويك ( $C_6H_5COOH$ ) مسحوق لونه أبيض يستعمل كمادة حافظة في صناعة المواد الغذائية والمشروبات الغازية خاصة.

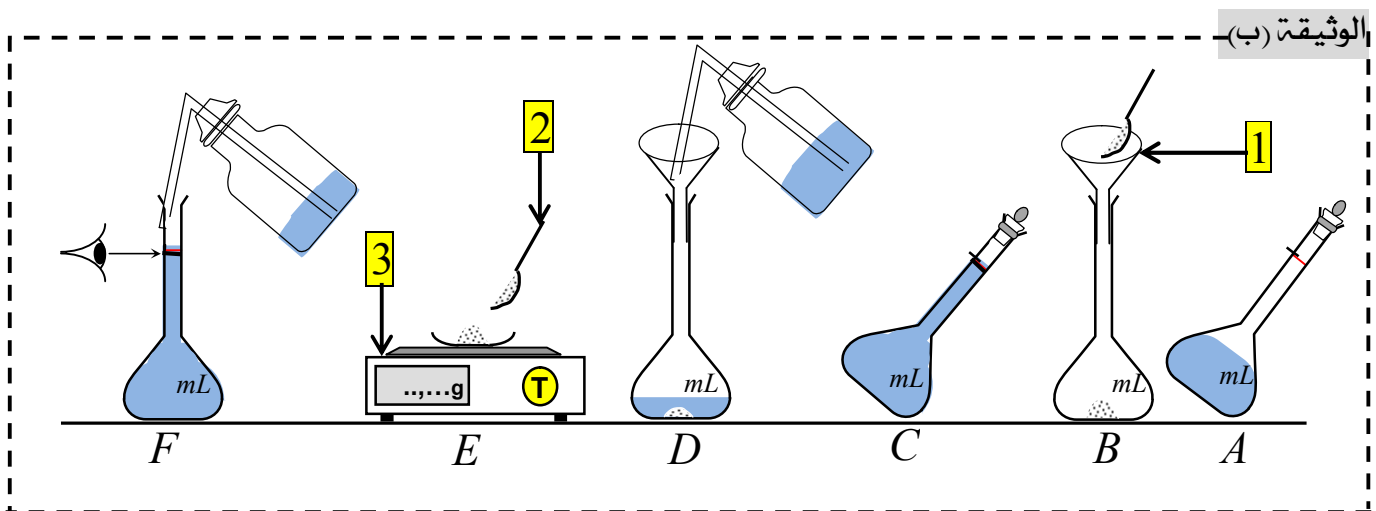
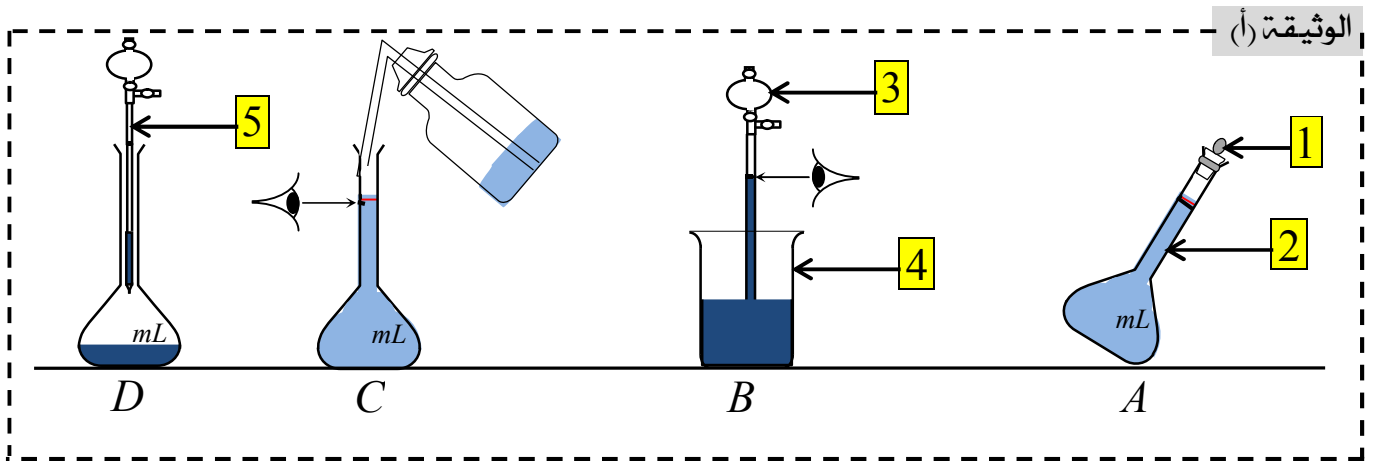
I - 01) نقوم بتحضير محلول ( $S_0$ ) لحمض البنزويك  $C_6H_5COOH(aq)$  تركيزه المولي  $c_0$  وذلك بإذابة كتلة  $m_0$  من مسحوق حمض البنزويك النقي في حجم قدره  $V_0 = 100 mL$  من الماء المقطر، تم قياس الـ  $pH$  له عند درجة الحرارة  $\theta = 25^\circ C$  فوجد  $pH_0 = 2,61$ .

1. اكتب معادلة التفاعل للتحويل الكيميائي الحادث بين حمض البنزويك والماء.
2. اعتمادا على جدول تقدم التفاعل بين أن عبارة النسبة النهائية لتقدم التفاعل  $\tau_{1f}$  تكتب بالشكل :

$$\tau_{1f} = \frac{1}{c_0 \times 10^{pH_0}}$$

02) - نأخذ عينة من المحلول ( $S_0$ ) ونمددها 10 مرات فنحصل على المحلول ( $S_a$ ) تركيزه المولي  $c_a$ .

1. إليك الوثيقتين التاليتين التي تمثل إحداها طريقة تحضير المحلول ( $S_0$ ) والأخرى خاصة بتحضير المحلول ( $S_a$ ).



- انسب كل وثيقة بطريقة تحضير المحلول المناسب.

2- أ- سم العناصر المرقمة المشار إليها في كل وثيقة.

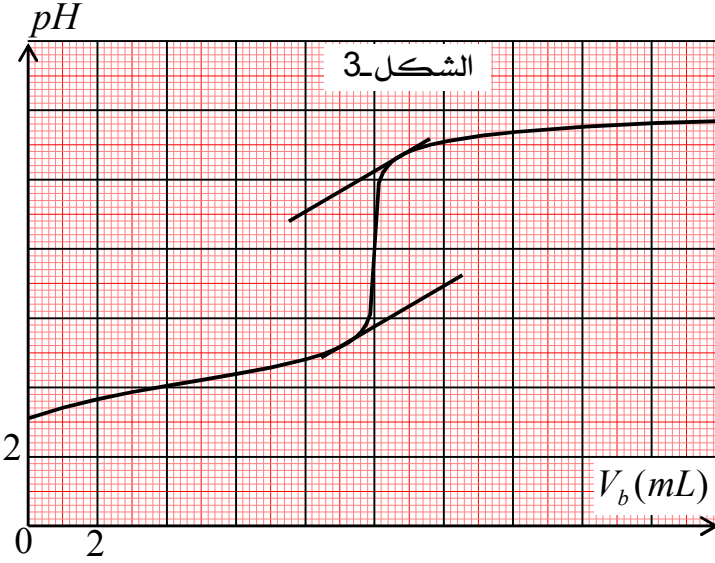
ب- رتب الخطوات ترتيبا صحيحا لكل وثيقة مع الشرح البسيط حتى نتمكن من التحضير الجيد لكل محلول.

II - لتحديد التركيز المولي  $c_0$  :

- نأخذ حجما قدره  $V_a = 20 mL$  من المحلول ( $S_a$ ) واعتمادا على تقنية المعايرة الـ  $pH$  مترية تمت معايرته بواسطة

محلول الصود ( $Na^+ + OH^-$ ) ( $aq$ ) تركيزه المولي  $c_b = 2 \times 10^{-2} mol.L^{-1}$ ، وبناء على النتائج التجريبية

تمكنا من رسم المنحنى البياني  $pH = f(V_b)$  الموضح في الشكل-3.

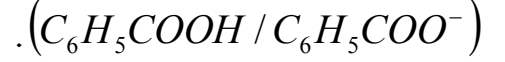


1- أ- اكتب معادلة تفاعل المعايرة.

ب- انشئ جدول تقدم التفاعل.

2- أ- جد بيانيا إحداثيتي نقطة التكافؤ  $E$ .

ب- استنتج قيمة ثابت الحموضة  $pK_a$  للشثائية



3- عند إضافة حجم  $V_b = 7 mL$  من السحاحة :

أ- بين أن عبارة نسبة التقدم النهائي  $\tau_{2f}$  لتفاعل

المعايرة تكتب بالشكل :

$$\tau_{2f} = 1 - \frac{K_e \times 10^{pH}}{c_b} \left( 1 + \frac{V_a}{V_b} \right)$$

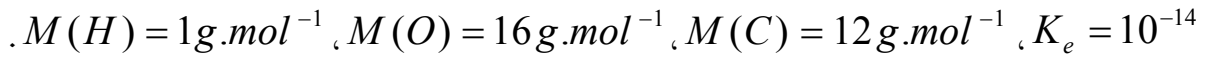
ب- جد قيمة  $\tau_{2f}$  ماذا تستنتج ؟

4- أ- جد قيمة  $C_a$  ثم استنتج قيمة  $C_0$ .

5- أ- جد قيمة  $\tau_{1f}$  ماذا تستنتج ؟

ب- احسب قيمة  $m_0$ .

**المعطيات:** كل المحاليل مأخوذة عند درجة الحرارة  $\theta = 25^\circ C$ .



### تمرين رقم: 03

يقدر الإنتاج العالمي من مادة الأمونياك حوالي 160 مليون طن سنويا ويستعمل هذه المادة في مجالات عدة ، حيث تستخدم بالدرجة الأولى لتصنيع الأسمدة الأزوتية في ميدان الزراعة لتخصيب التربة و تستخدم كذلك كمادة أولية في صناعة الأدوية والبلاستيك وغيرها

#### I - دراسة المحلول المائي للأمونياك :

نعتبر محلولاً مائياً  $(S_B)$  للأمونياك  $(NH_3)(aq)$  حجمه  $V$  وتركيزه  $C_B = 2 \times 10^{-2} mol / L$ . أعطى قياس الـ  $pH$

هذا المحلول القيمة  $pH = 10,74$ .

1- اكتب معادلة تفاعل الأمونياك مع الماء.

2- انشئ جدول تقدم التفاعل.

3- أ- بين أن عبارة نسبة التقدم النهائي  $(\tau_f)$  لهذا التفاعل تكتب من الشكل  $\tau_f = \frac{K_e}{C_B \times 10^{-pH}}$

ب- احسب قيمته ، ماذا تستنتج ؟

4- عبر عن عبارة كسر التفاعل  $Q_{rf}$  عند التوازن بدلالة  $C_B$  و  $\tau_f$ ، احسب قيمته.

5- تحقق من قيمة  $pK_a$  للشثائية  $(NH_4^+ / NH_3)$ .

## II - معايرة محلول الأمونياك بواسطة محلول حمض كلور الماء $(H_3O^+(aq) + Cl^-(aq))$ :

نقوم بمعايرة محلول مائي للأمونياك  $(S'_B)$  حجمه  $V_B = 20mL$  تركيزه  $C'_B$  بواسطة محلول مائي لحمض كلور الماء  $(S_A)$  ذي التركيز المولي  $C_A = 2 \times 10^{-2} mol / L$  بقياس الـ  $pH$ .

1- اكتب معادلة تفاعل المعايرة.

2- يمثل المنحنى الممثل في الشكل - 3 تغير الـ  $pH$  الخليط بدلالة الحجم  $V_A$  للمحلول  $(S_A)$  لحمض كلور الماء المضاف.

أ- حدد الإحداثيتين  $V_{AE}$  و  $pH_E$  لنقطة التكافؤ.

ب- احسب التركيز المولي  $C'_B$ .

ج- عين ، معللا جوابك ، الكاشف الملائم لانجاز هذه المعايرة في غياب جهاز الـ  $pH$  متر.

### المعطيات:

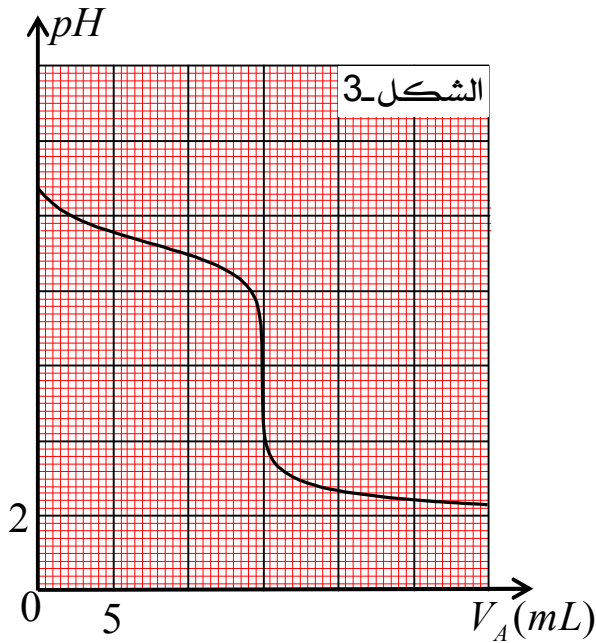
تمت جميع القياسات عند درجة حرارة  $25^\circ C$ .

الجاء الشاردي للماء:  $Ke = 10^{-14}$ .

الـ  $pKa$  للثنائية  $(NH_4^+ / NH_3)$  هي: 9,2.

- جدول مجالات التغير اللوني لبعض الكواشف الملونة :

الكاشف الملون	مجال التغير اللوني
الهيلياتين	3,1 – 4,4
أحمر الكلوروفينول	5,2 – 6,8
أزرق البروموتيمول	6 – 7,6
الفينول فيتالين	8,8 – 10



**I** 1- أ- قيمة الكتلة  $m$  : لدينا:  $n = \frac{m}{M}$  و  $n = c_0 V$  ومنه:  $c_0 V = \frac{m}{M}$  أي:  $m = c_0 V M$

ت- ع:  $m = 0,1 \times 100 \cdot 10^{-3} \times 60 = 0,6 \text{ g}$  أي:  $m = 0,6 \text{ g}$

ب- البروتوكول التجريبي لتحضير المحلول ( $S_0$ ) :

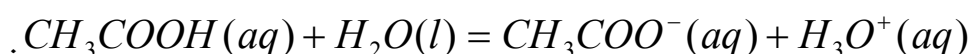
- بواسطة ميزان الكتروني حساس مضبوط وزن الكتلة  $m = 0,6 \text{ g}$  من مسحوق حمض الايثانويك.

- نضيف الكتلة  $m = 0,6 \text{ g}$  بالاعتماد على قمع في حوجلة عيارية سعتها  $100 \text{ mL}$  فيها  $30 \text{ mL}$  من الماء المقطر مع الرج.

- نكمل بالماء المقطر حتى نصل لخط العيار مع الرج المستمر.

- على ملصقة نكتب اسم المحلول ( $S_0$ ) وتركيزه المولي  $c_0 = 0,1 \text{ mol/L}$ .

2- معادلة التفاعل النمذج للتحويل الكيميائي بين حمض الايثانويك والماء:



ب- التفاعل السابق تم بين حمض الشنائية ( $CH_3COOH(aq) / CH_3COO^-(aq)$ ) وأساس الشنائية

الأخرى: ( $H_3O^+(aq) / H_2O(l)$ )

3- أ- جدول تقدم التفاعل :

الحالة	تقدم التفاعل ب $mol$	$CH_3COOH(aq) + H_2O(l) = CH_3COO^-(aq) + H_3O^+(aq)$			
الابتدائية	$x = 0$	$n_a$	بالزيادة	0	0
الانتقالية	$x(t)$	$n_a - x(t)$	بالزيادة	$x(t)$	$x(t)$
النهائية	$x_f$	$n_a - x_f$	بالزيادة	$x_f$	$x_f$

ب- حساب قيمة نسبة التقدم النهائي للتفاعل  $\tau_f$  :

لدينا:  $\tau_f = \frac{x_f}{x_{\max}}$  حيث:  $x_f = [H_3O^+]_f V$  و  $x_{\max} = c_0 V$  ومنه:  $\tau_f = \frac{[H_3O^+]_f V}{c_0 V} = \frac{[H_3O^+]_f}{c_0}$

وعليه:  $\tau_f = \frac{10^{-pH}}{c_0}$  ت- ع:  $\tau_f = \frac{10^{-(2,9)}}{0,1} = 0,013$  أي:  $\tau_f = 1,3\%$

تستنتج أن حمض الايثانويك ضعيف والتحول الكيميائي محدود (غير تام) لأن:  $\tau_f < 1$  أو  $\tau_f < 100\%$

ج- حساب قيمة ثابت التوازن  $K$  للتفاعل: لدينا:  $K = \frac{[CH_3COO^-]_f [H_3O^+]_f}{[CH_3COOH]_f}$

ولدينا أيضا من جدول تقدم التفاعل:  $[CH_3COO^-]_f = [H_3O^+]_f = \frac{x_f}{V}$

و  $[CH_3COOH]_f = \frac{c_0 V - x_f}{V} = c_0 - [H_3O^+]_f$

ومنه:  $K = \frac{[H_3O^+]_f^2}{c_0 - [H_3O^+]_f}$  أي:  $K = \frac{10^{-2pH}}{c_0 - 10^{-pH}}$  ت- ع:  $K = \frac{10^{-2(2,9)}}{0,1 - 10^{-(2,9)}} = 1,6 \cdot 10^{-5}$

**III- 1- أعبارة التركيز المولي  $c$  للمحاليل ( $S_i$ ) بدلالة  $c_0$  و  $V_0$  و  $V_{H_2O}$ :** لدينا حسب قانون التمديد:  $n_0 = n_i$

ومنه:  $c_0 V_0 = c_i V_i$  ومنه:  $c_i = c = \frac{c_0 V_0}{(V_0 + V_{H_2O})}$  حيث:  $V_i = V_0 + V_{H_2O}$ .

$$c = \frac{c_0 V_0}{(V_0 + V_{H_2O})} = \frac{0,1 \times 10}{(10 + V_{H_2O})}$$

**ب- اكمال الجدول:** بالاعتماد على العلاقة

ندخل  $-\log()$  على طرفي المساواة نملاً السطر الخامس.

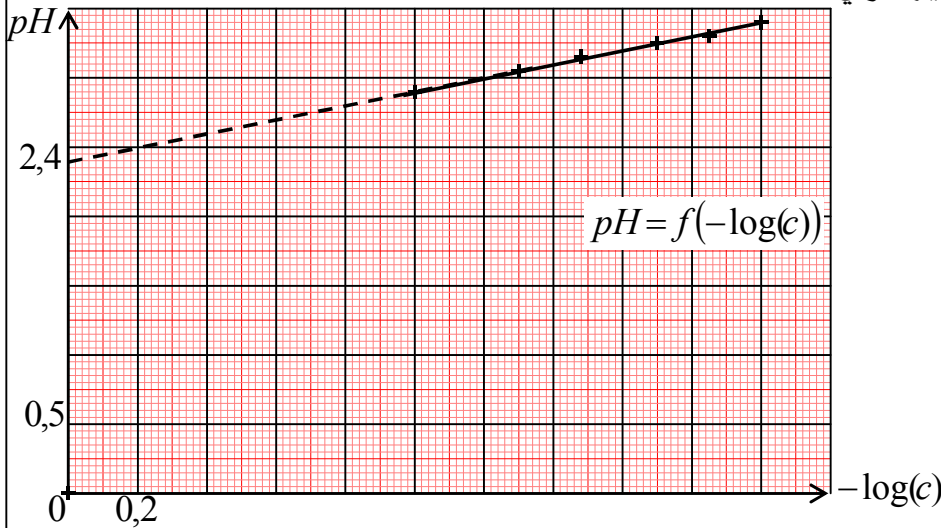
المحاليل ( $S_i$ )	( $S_1$ )	( $S_2$ )	( $S_3$ )	( $S_4$ )	( $S_5$ )	( $S_6$ )
$V_{H_2O}(mL)$	0	10	20	40	60	90
$pH$	2,9	3,05	3,15	3,25	3,30	3,40
$c(mol/L)$	0,10	0,05	0,033	0,02	0,014	0,01
$-\log(c)$	1	1,3	1,48	1,7	1,85	2

**ج- الخطوات العملية لتحضير المحلول ( $S_3$ ):**

- بواسطة ماصة عيارية سعتها  $10mL$  مزودة بإجاصة مص نأخذ حجماً  $V_0 = 10mL$  من المحلول ( $S_0$ ).

- نسكبه في حوالة عيارية سعتها  $20mL$  ثم نكمل بالماء المقطر حتى نصل لخط العيار مع الرج.

- على ملصقة نكتب اسم المحلول ( $S_3$ ) وتركيزه المولي.



**2- رسم البيان:**  $pH = f(-\log(c))$

سلم الرسم:

$$\begin{cases} pH \rightarrow 0,5 \\ -\log(c) \rightarrow 0,2 \end{cases}$$

**ب- المعادلة الرياضية للبيان:**

البيان خط مستقيم مائل لا يشمل المبدأ معادلته من الشكل:  $pH = A(-\log(c)) + B$ .

حيث:  $A$  معامل توجيه البيان:  $A = \frac{\Delta pH}{\Delta(-\log(c))} = \frac{3,4 - 2,9}{2 - 1} = 0,5$

و  $B$ : نقطة تقاطع البيان مع محور الترتيب نجد:  $B = 2,4$  أي:  $pH = 0,5(-\log(c)) + 2,4 \dots (1)$

**3- العلاقة النظرية بين  $pH$  و  $pKa$  للنشائية:**  $(CH_3COOH(aq) / CH_3COO^-(aq))$

لدينا:  $Ka = \frac{[CH_3COO^-]_f [H_3O^+]_f}{[CH_3COOH]_f}$  ومنه:  $Ka = \frac{[CH_3COO^-]_f}{[CH_3COOH]_f} \times [H_3O^+]_f$

بادخال  $\log()$  على الطرفين نجد:  $\log(Ka) = \log\left(\frac{[CH_3COO^-]_f}{[CH_3COOH]_f}\right) + \log([H_3O^+]_f)$

$$-\log([H_3O^+]_f) = -\log(Ka) + \log\left(\frac{[CH_3COO^-]_f}{[CH_3COOH]_f}\right) \text{ ومنه:}$$

$$pH = pKa + \log\left(\frac{[CH_3COO^-]_f}{[CH_3COOH]_f}\right) \text{ حيث: } pKa = -\log(Ka) \text{ و } pH = -\log([H_3O^+]_{Eq}) \text{ وعليه:}$$

$$\text{ب- باهمال } [CH_3COO^-] \text{ أمام } c \text{ بين أن: } pKa = 2pH - \log(c)$$

$$pH = pKa + \log\left(\frac{[CH_3COO^-]_f}{c - [CH_3COO^-]_f}\right) \text{ ومنه:} \quad pH = pKa + \log\left(\frac{[CH_3COO^-]_f}{[CH_3COOH]_f}\right) \text{ لدينا:}$$

$$pH = pKa + \log\left(\frac{[CH_3COO^-]_f}{c}\right) \text{ وباهمال } [CH_3COO^-]_f \text{ أمام } c \text{ نجد:}$$

$$pH = pKa + \log[CH_3COO^-]_f - \log(c) \text{ ومنه:}$$

$$pKa = pH - \log[CH_3COO^-]_f + \log(c) \text{ ولدينا مما سبق:}$$

$$pKa = pH - \log[H_3O^+]_f + \log(c) \text{ ومنه: } [CH_3COO^-]_f = [H_3O^+]_f$$

$$\text{ونعلم أن: } pH = -\log[H_3O^+]_f \text{ أي: } pKa = 2pH + \log(c) \text{ وهو المطلوب.}$$

$$\text{4- استنتاج قيمة } pKa \text{ للشثائية } (CH_3COOH(aq) / CH_3COO^-(aq))$$

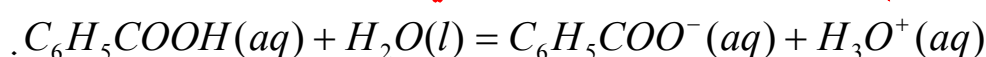
$$\text{لدينا: } pKa = 2pH + \log(c) \text{ ومنه: } pH = \frac{1}{2} pKa - \frac{1}{2} \log(c)$$

$$\text{أي: } pH = \frac{1}{2} (-\log(c)) + \frac{1}{2} pKa \dots (2)$$

$$\text{بالمطابقة بين العلاقتين البيانية (1) والنظرية (2) طرف لطرف نجد: } \frac{1}{2} pKa = 2,4 \text{ إذن: } pKa = 4,8$$

## حل التمرين رقم: 02

**01- 1- معادلة التفاعل للتحويل الكيميائي الحادث بين حمض البنزويك والماء:**



**2- جدول تقدم التفاعل:**

الحالة	تقدم التفاعل بـ mol	$C_6H_5COOH(aq) + H_2O(l) = C_6H_5COO^-(aq) + H_3O^+(aq)$			
الابتدائية	$x = 0$	$n_0 = c_0 V_0$	بالزيادة	0	0
الانتقالية	$x(t)$	$n_0 - x(t)$	بالزيادة	$x(t)$	$x(t)$
النهائية	$x_f$	$n_0 - x_f$	بالزيادة	$x_f$	$x_f$

- تبيان أن عبارة النسبة النهائية لتقدم التفاعل  $\tau_{1f}$  تكتب بالشكل:  $\tau_{1f} = \frac{1}{c_0 \times 10^{pH_0}}$  :

لدينا:  $\tau_{1f} = \frac{x_f}{x_{\max}}$  واعتمادا على جدول تقدم التفاعل نجد:  $x_f = [H_3O^+]_f V_0$  و  $x_{\max} = c_0 V_0$

ومنه:  $\tau_{1f} = \frac{[H_3O^+]_f}{c_0}$  ونعلم أن:  $[H_3O^+]_f = 10^{-pH_0}$  أي:  $\tau_{1f} = \frac{10^{-pH_0}}{c_0}$  وعليه:  $\tau_{1f} = \frac{1}{c_0 \times 10^{pH_0}}$

02- 1- انساب كل وثيقة بطريقة تحضير المحلول المائي المناسب :

تحضير المحلول ( $S_0$ ): الوثيقة (ب).

تحضير المحلول ( $S_a$ ): الوثيقة (أ).

2- أ- تسمية العناصر المرقمة المشار إليها في كل وثيقة :

الوثيقة (أ)		الوثيقة (ب)	
الاسم	رقم العنصر	الاسم	رقم العنصر
سدادة	1	قمع	1
حوجة عيارية	2	ملعقة	2
إجاصة مص	3	ميزان الكتروني حساس	3
بيشر	4		
ماصة عيارية	5		

ب- ترتيب الخطوات ترتيبا صحيحا لكل وثيقة مع الشرح البسيط حتى نتمكن من التحضير الجيد لكل محلول:

❖ بالنسبة لتحضير المحلول ( $S_0$ ) — الوثيقة (ب):

$E \leftarrow B \leftarrow D \leftarrow A \leftarrow F \leftarrow C$

**الشرح:**

- بواسطة ميزان الكتروني حساس مضبوط واعتمادا على ملعقة وزن الكتلة  $m_0$  من مسحوق حمض البنزويك النقي
- اعتمادا على قمع نضع الكتلة الموزونة في حوجة عيارية سعتها  $100 \text{ mL}$ .
- نسكب في محتوى الحوجة  $30 \text{ mL}$  من الماء المقطر مع الرج الجيد بعد غلقها بسدادة.
- نكمل بالماء المقطر حتى نصل لخط العيار مع الرج المستمر.
- نغلق فوهة الحوجة جيدا بسدادة مع كتابة اسم المحلول ( $S_0$ ) وتركيزه المولي.

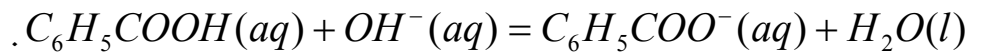
❖ بالنسبة لتحضير المحلول ( $S_a$ ) — الوثيقة (أ):

$B \leftarrow D \leftarrow C \leftarrow A$

**الشرح:**

- نفرغ كمية من المحلول ( $S_0$ ) في بيشر.
- بواسطة ماصة مزودة بإجاصة مص نأخذ حجما منها ونضعه في حوجة عيارية.
- نكمل بالماء المقطر حتى نصل لخط العيار مع الرج المستمر.
- نغلق فوهة الحوجة جيدا بسدادة مع كتابة اسم المحلول ( $S_a$ ) وتركيزه المولي.





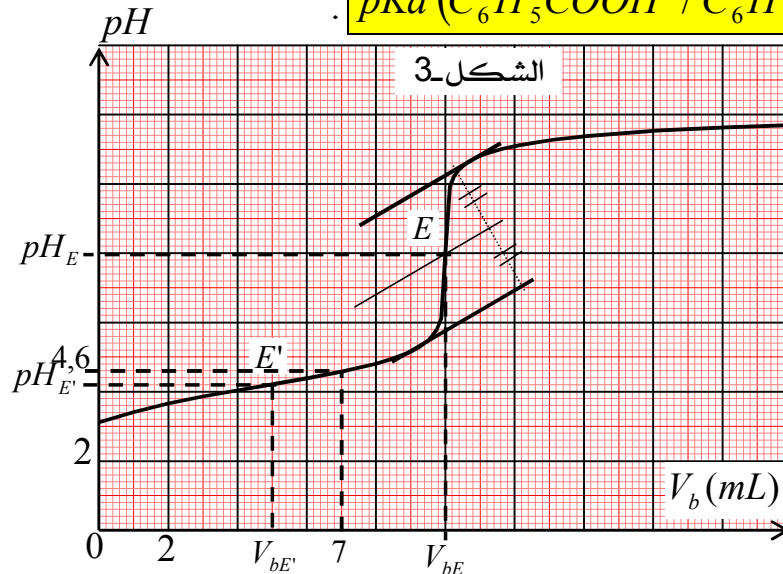
ب- جدول تقدم التفاعل:

الحالة	تقدم التفاعل بـ mol	$C_6H_5COOH(aq) + OH^-(aq) = C_6H_5COO^-(aq) + H_2O(l)$			
الابتدائية	$x = 0$	$n_a$	$n_b$	0	بالزيادة
النهائية	$x_{Eq}$	$n_a - x_{Eq}$	$n_b - x_{Eq}$	$x_{Eq}$	بالزيادة

2- أ- جد بيانيا إحداثيتي نقطة التكافؤ  $E$ :اعتمادا على طريقة المماسين المتوازيين نجد:  $E(V_{bE} = 10 mL; pH_E = 8)$ ب- استنتاج قيمة ثابت الحموضة  $pKa$  للثنائية  $(C_6H_5COOH / C_6H_5COO^-)$ :

$$pH = pKa + \log \left( \frac{[C_6H_5COO^-]}{[C_6H_5COOH]} \right)$$

نعلم أن:

وعند نقطة نصف التكافؤ  $E'$  نجد:  $[C_6H_5COOH]_{E'} = [C_6H_5COO^-]_{E'}$  أي:  $pH_{E'} = pKa$ .ولدينا:  $V_{bE'} = \frac{V_{bE}}{2}$  ت- ع:  $V_{bE'} = \frac{10}{2} = 5 mL$  وبالإسقاط نجد:  $pH_{E'} = 4,2$  أي:  $pKa = 4,2$ وعليه:  $pKa(C_6H_5COOH / C_6H_5COO^-) = 4,2$ 3- لبيان أن عبارة نسبة التقدم النهائي  $\tau_{2f}$  لتفاعل المعايرة تكتب بـ:  $\tau_{2f} = 1 - \frac{K_e \cdot 10^{pH}}{c_b} \left( 1 + \frac{V_a}{V_b} \right)$ نعلم أن:  $\tau_{2f} = \frac{x_f}{x_{\max}} \dots (1)$  ولما  $V_b = 7 mL$  يكون:  $V_b < V_{bE}$  وعليه:  $OH^-(aq)$  هو المتفاعل المحد.إذن:  $x_{\max} = c_b V_b \dots (2)$ ولدينا من جدول تقدم التفاعل:  $n(OH^-) = n_a - x_f$  ومنه:  $[OH^-]_T = c_b V_b - x_f$ أي:  $[OH^-](V_a + V_b) = c_b V_b - x_f$  وعليه:  $x_f = c_b V_b - [OH^-](V_a + V_b) \dots (3)$

بتعويض (2) و (1) في نجد:  $\tau_{2f} = \frac{c_b V_b - [OH^-](V_a + V_b)}{c_b V_b}$  ومنه:  $\tau_{2f} = 1 - \frac{[OH^-](V_a + V_b)}{c_b V_b}$

ومنه:  $\tau_{2f} = 1 - \frac{[OH^-]}{c_b} \left(1 + \frac{V_a}{V_b}\right)$  أي:  $\tau_{2f} = 1 - \frac{[OH^-]}{c_b} \left(\frac{V_a + V_b}{V_b}\right)$

ونعلم أن:  $K_e = [OH^-][H_3O^+] = 10^{-pH}$  ومنه:  $K_e = [OH^-][H_3O^+] = 10^{-pH}$  أي:  $[OH^-] = K_e \times 10^{pH}$

وعليه:  $\tau_{2f} = 1 - \frac{K_e \times 10^{pH}}{c_b} \left(1 + \frac{V_a}{V_b}\right)$  وهو المطلوب.

**ب- إيجاد قيمة  $\tau_{2f}$ :**

لدينا:  $\tau_{2f} = 1 - \frac{K_e \times 10^{pH}}{c_b} \left(1 + \frac{V_a}{V_b}\right)$  ولما  $V_b = 7 \text{ mL}$  نجد بيانياً:  $pH = 4,6$ .

ت-ع:  $\tau_{2f} = 1 - \frac{10^{-14} \times 10^{(4,6)}}{2 \times 10^{-2}} \left(1 + \frac{20}{7}\right) = 0,9999$  ومنه:  $\tau_{2f} = 1$  أي:  $\tau_{2f} = 100\%$   
- استنتج أن تفاعل المعايرة تام.

**4- أ- إيجاد قيمة  $c_a$ :**

عند التكافؤ يتحقق مزيج ستيكيومتري:

ومنه:  $n_a = n_b$  أي:  $c_a V_a = c_b V_{bE}$  وعليه:  $c_a = \frac{c_b V_{bE}}{V_a}$

ت-ع:  $c_a = \frac{2 \times 10^{-2} \times 10}{20} = 10^{-2} \text{ mol/L}$

- استنتاج قيمة  $c_0$ : لدينا:  $F = \frac{c_0}{c_a}$  ومنه:  $c_0 = c_a \times F$  ت-ع:  $c_0 = 10^{-2} \times 10 = 10^{-1} \text{ mol/L}$

**5- أ- إيجاد قيمة  $\tau_{1f}$ :** لدينا:  $\tau_{1f} = \frac{1}{c_0 \times 10^{pH_0}} = 0,025$  ت-ع:  $\tau_{1f} = \frac{1}{10^{-1} \times 10^{(2,61)}} = 0,025$

أي:  $\tau_{1f} = 2,5\%$  وعليه نستنتج أن حمض البنزويك حمض ضعيف و تفاعله مع الماء محدود.

**ب- حساب قيمة  $m_0$ :**

لدينا:  $\begin{cases} n_0 = \frac{m_0}{M} \\ n_0 = c_0 V_0 \end{cases}$  ومنه:  $\frac{m_0}{M} = c_0 V_0$  أي:  $m_0 = c_0 V_0 M$

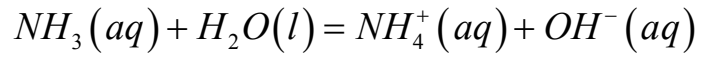
حيث:  $M(C_6H_5COOH) = 7M(C) + 2M(O) + 6M(H) = 122 \text{ g/mol}$

ت-ع:  $m_0 = 10^{-1} \times 100 \times 10^{-3} \times 122 = 1,22 \text{ g}$  أي:  $m_0 = 1,22 \text{ g}$

## حل التمرين رقم: 03

### I- دراسة المحلول المائي للأمونيak:

#### 1- معادلة تفاعل الكيمياء بين الأمونيak والماء



#### 2- جدول تقدم التفاعل

	$NH_3(aq) + H_2O(l) = NH_4^+(aq) + OH^-(aq)$			
الحالة الابتدائية	$C_B V$		0	0
الحالة الانتقالية	$C_B V - x$		$x$	$x$
الحالة النهائية	$C_B V - x_f$		$x_f$	$x_f$

#### 3- تبين أن نسبة التقدم النهائي تكتب من الشكل $\tau_f = \frac{Ke}{C_B \times 10^{-pH}}$

لدينا (1)....  $\tau_f = \frac{x_f}{x_{\max}}$  ، لدينا :  $NH_3(aq)$  هو المتفاعل المحد وبالتالي :  $x_{\max} = C_B V$  ومن جدول التقدم

ومنه :  $[OH^-]_f = \frac{x_f}{V}$  وبتعويض عبارة  $x_f$  و  $x_{\max}$  في العلاقة (1) نجد:

$$[H_3O^+] = 10^{-pH} \text{ و } [OH^-] = \frac{Ke}{[H_3O^+]} : \text{حيث } \tau_f = \frac{Ke}{C_B [H_3O^+]} \text{ ومنه } \tau_f = \frac{[OH^-]_f \times V}{C_B V}$$

$$\tau_f = \frac{Ke}{C_B \times 10^{-pH}} : \text{ومنه}$$

$$\tau_f = \frac{10^{-14}}{2 \times 10^{-2} \times 10^{-10,74}} = 2,75 \times 10^{-2} : \text{حساب قيمة } \tau_f$$

نلاحظ أن  $\tau_f < 1$  ومنه التفاعل غير تام والأساس  $NH_3(aq)$  ضعيف.

#### 4- التعبير عن كسر التفاعل $Q_{rf}$ عند توازن المجموعة الكيميائية بدلالة $C_B$ و $\tau_f$ .

$$Q_{rf} = \frac{[NH_4^+]_f [OH^-]_f}{[NH_3]_f} \text{ ولدينا : } [NH_4^+]_f = [OH^-]_f \text{ ومنه : } Q_{rf} = \frac{([OH^-]_f)^2}{[NH_3]_f}$$

ولدينا من جدول التقدم :  $[NH_3]_f = C_B - [OH^-]_f$  ولدينا كذلك :  $[OH^-]_f = C_B \times \tau_f$

$$Q_{rf} = \frac{C_B^2 \tau_f^2}{C_B - C_B \tau_f} = \frac{C_B \tau_f^2}{1 - \tau_f} : \text{اذن}$$

حساب قيمة  $Q_{rf}$ :

$$Q_{rf} = K = \frac{2 \times 10^{-2} \times (2,75 \times 10^{-2})^2}{1 - 2,75 \times 10^{-2}} = 1,55 \times 10^{-5}$$

## 5- التحقق من قيمة $pKa$ للشثائية $(NH_4^+ / NH_3)$

لدينا:  $Ka = \frac{[NH_3]_f [H_3O^+]_f}{[NH_4^+]_f}$  و  $K = \frac{[NH_4^+]_f [OH^-]_f}{[NH_3]_f}$

بضرب العلاقتين طرف لطرف نجد:  $K \times Ka = \frac{[NH_4^+]_f [OH^-]_f}{[NH_3]_f} \times \frac{[NH_3]_f [H_3O^+]_f}{[NH_4^+]_f}$

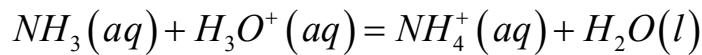
ومنه:  $K \times Ka = [H_3O^+]_f [OH^-]_f = Ke$

ومنه:  $Ka = \frac{Ke}{K}$  إذن:  $pKa = -\log Ka = -\log \frac{Ke}{K} = \log K - \log Ke$

$pKa = -\log 1,55 \times 10^{-5} - \log 10^{-14} = 9,2$

## I- معايرة محلول الأمونياك بواسطة محلول حمض كلور الماء

### 1- معادلة تفاعل المعايرة



### 2- أ- تعيين احداثيتي نقطة التكافؤ $V_{AE}$ و $pH_E$

باستعمال طريقة المماسين المتوازيين:

$(V_{AE} = 15mL; pH_E = 5,63)$

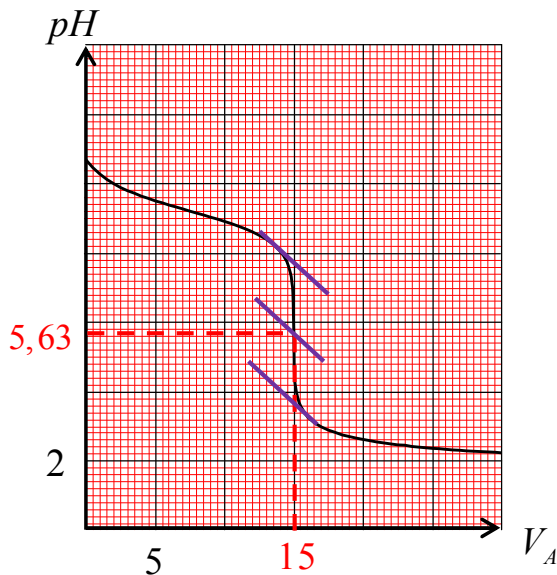
### ب- حساب التركيز المولي $C'_B$

عند نقطة التكافؤ (يتحقق مزيج ستوكيومتري):

أي:  $n_B = n_{AE}$

ومنه:  $C'_B V_B = C_A V_{AE}$

أي:  $C'_B = \frac{C_A V_{AE}}{V_B}$



ت-ع:  $C'_B = \frac{2 \times 10^{-2} \times 15}{20} = 1,5 \times 10^{-2} mol / L$

ج- الكاشف الملائم لانجاز هذه المعايرة هو أحمر الكلوروفينول لأن قيمة  $pH_E$  تنتمي لمجال تغيره اللوني.