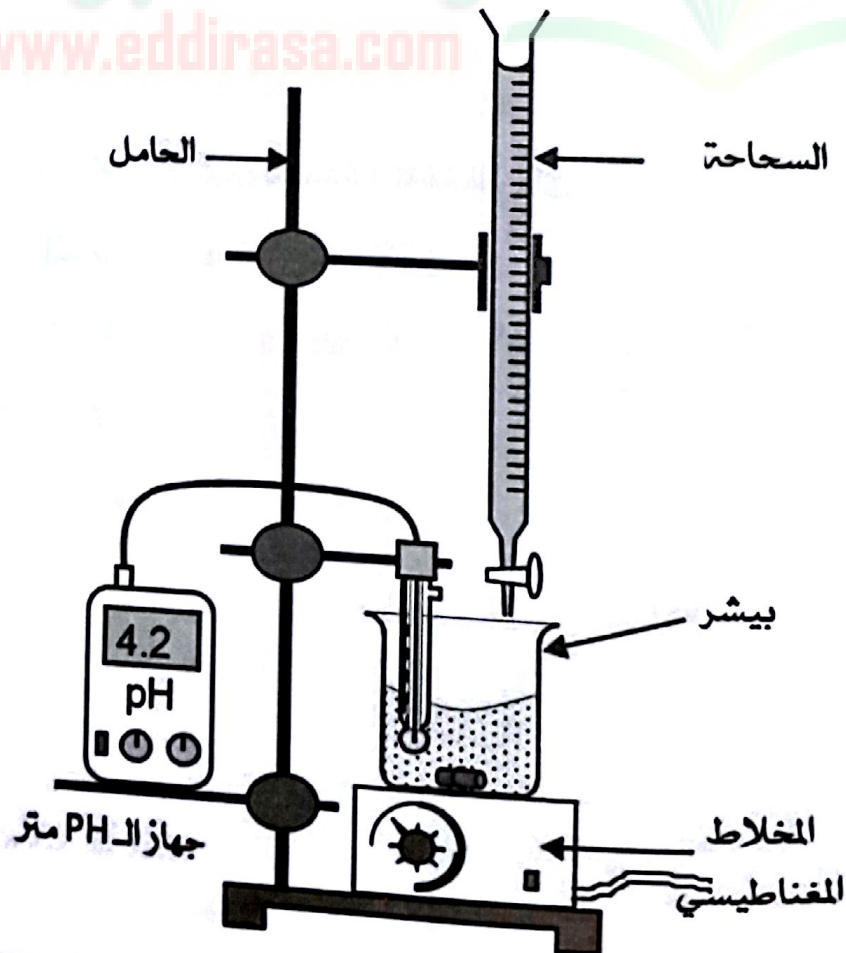




# تطور جملة كيميائية نحو حالة التوازن

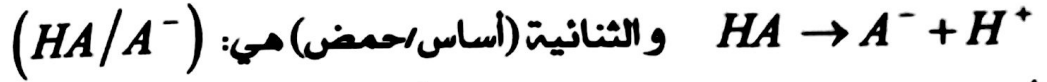
[www.eddirasa.com](http://www.eddirasa.com)



الملخص:

- الأحماض والأسس حسب برونستد:

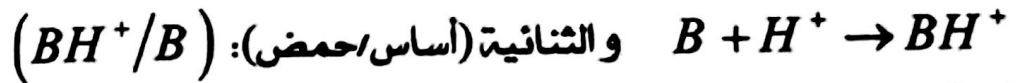
الحمض: هو كل فرد كيميائي ( جزيء أو شاردة ) له القدرة على فقد بروتون  $H^+$  أو أكثر خلال تحول كيميائي.



1- الحمض القوي: نقول عن حمض  $HA$  أنه حمض قوي إذا تشرد كلياً في الماء.

بد الحمض الضعيف: نقول عن حمض  $HA$  أنه حمض ضعيف إذا تشرد جزئياً في الماء.

الأساس: هو كل فرد كيميائي ( جزيء أو شاردة ) له القدرة على اكتساب بروتون  $H^+$  أو أكثر خلال تحول كيميائي.



1- الأساس القوي: نقول عن أساس  $B$  أنه قوي إذا تشرد كلياً في الماء.

بد الأساس الضعيف: نقول عن أساس  $B$  أنه ضعيف إذا تشرد جزئياً في الماء.

1- PH محلول مائي ممدد:

$$PH = -\log [H_3O^+]$$

ملاحظة:

هذه العلاقة صالحة من أجل المحاليل الممددة ( المخففة ) أي من أجل  $[H_3O^+] < 10^{-1} \text{ mol / l}$

PH المحاليل المائية الممددة: عند الدرجة  $25^\circ C$ .

- المحلول الحمضي:  $PH < 7$  أي  $[H_3O^+] > 10^{-7} \text{ mol / l}$

- المحلول المعتدل:  $PH = 7$  أي  $[H_3O^+] = 10^{-7} \text{ mol / l}$

- المحلول الأساسي:  $PH > 7$  أي  $[H_3O^+] < 10^{-7} \text{ mol / l}$

النسبة النهائية لتقدم  $\tau_f$ :

$$\tau_f = \frac{x_f}{x_{\max}}$$

- يكون التفاعل تام إذا كان:  $\tau_f = 1$

- ويكون التفاعل غير تام إذا كان  $\tau_f < 1$



كسر التفاعل  $Q_r$ : لتكن معادلة التفاعل:  $aA + bB = cC + dD$

$$Q_r = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} \text{ عبارته هي:}$$

اصطلاحات في كيفية حساب كسر التفاعل  $Q_r$ :  $[H_2O] = 1$ ,  $[Solide] = 1$ .  
ملاحظة: كسر التفاعل لا يتعلق بتركيب المزيج الابتدائي، بل يتعلق بدرجة الحرارة فقط.  
ثابت التوازن  $K$ :

التفاعل تام إذا كان  $K > 10^4$ , التفاعل غير تام  $K < 10^{-4}$   
له نفس خصائص  $Q_r$  أي يتعلق بدرجة الحرارة فقط

$$K = Q_{rf} = \frac{[C]_f^c [D]_f^d}{[A]_f^a [B]_f^b}$$

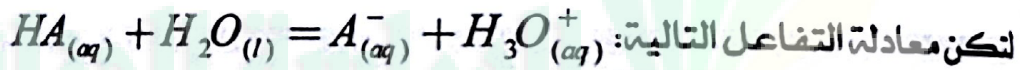
التحولات حمض - أساس:

1. الجداء الشاردي للماء:

$$K_e = [H_3O^+] \cdot [OH^-] \text{ ويتعلق بدرجة الحرارة فقط.}$$

$$Pke = -\log ke \text{ عند درجة الحرارة } 25^\circ C: Ke = 10^{-14}$$

2 ثابت الحموضة  $Ka$  للثنائية  $(HA/A^-)$ :



$$Ka = 10^{-PKa} \text{ إذن: } PKa = -\log Ka \text{ ومنه:}$$

$$Ka = \frac{[A^-]_f \cdot [H_3O^+]_f}{[HA]_f}$$

$Ka$  يتعلق بدرجة الحرارة فقط.

العلاقة بين الـ  $PH$  والـ  $PKa$ :

$$PH = PKa + \log \frac{[A^-]_f}{[HA]_f}$$

- كلما كان  $Ka$  أكبر ( $PKa$  أصغر) يكون الحمض أقوى.  
- كلما كان  $Ka$  أصغر ( $PKa$  أكبر) يكون الأساس أقوى.

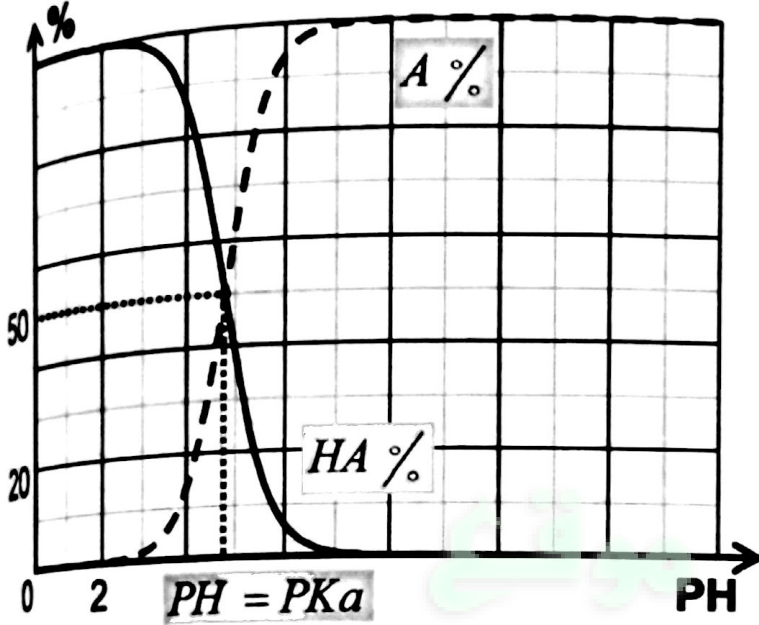
$$\text{- بالنسبة للثنائية: } (H_2O/OH^-) \\ PKa = 14 \text{ و } Ka = 10^{-14}$$

$$\text{- بالنسبة للثنائية: } (H_3O^+/H_2O) \\ PKa = 0 \text{ و } Ka = 1$$

تطور جملة كيميائية نحو حالة التوازن

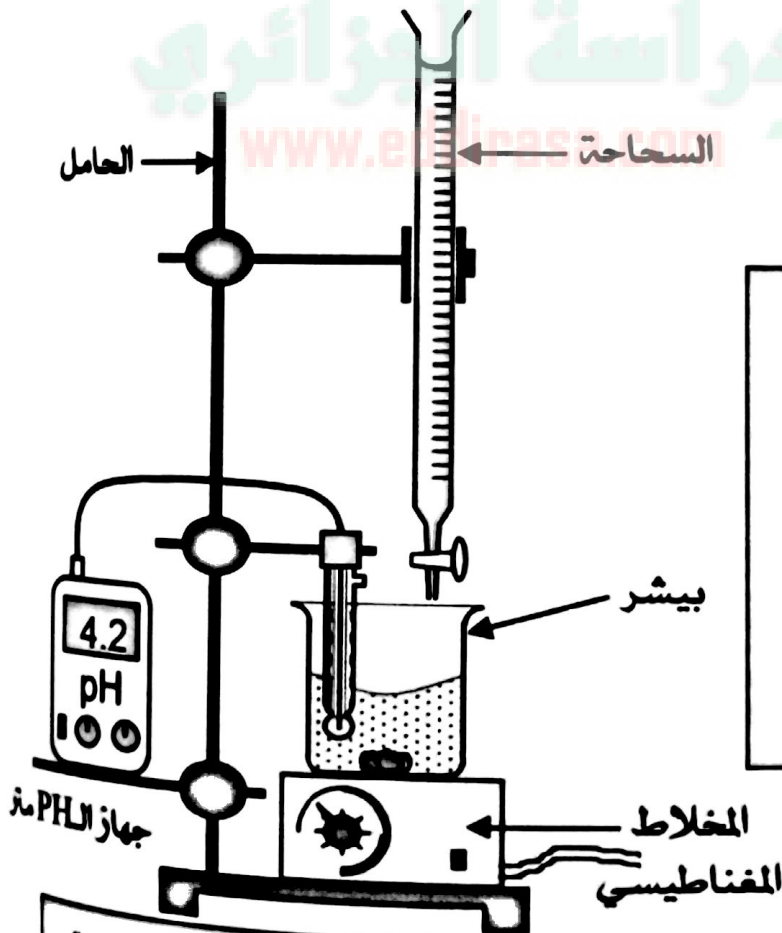
- مجال تغلب الصفة الحمضية أو الأساسية للثنائية (أساس / حمض):

1. إذا كان:  $PH = PKa$  يكون  $[A^-]_r = [HA]_r$  هذا يعني أنه لا توجد صفة غالبية.
  2. إذا كان:  $PH > PKa$  يكون  $[A^-]_r > [HA]_r$  هذا يعني أن الصفة الأساسية هي السائدة.
  3. إذا كان:  $PH < PKa$  يكون  $[A^-]_r < [HA]_r$  هذا يعني أن الصفة الحمضية هي السائدة.
- مخطط توزيع الصفة السائدة:



:  $PH = PKa$   
 $[HA] \% = [A^-] \% = 50\%$   
 :  $PH < PKa$   
 $[HA] \% > [A^-] \%$   
 :  $PH > PKa$   
 $[A^-] \% > [HA] \%$

- المعايرة الـ PH مترية:

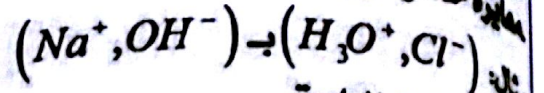


- الكاشف الملون:  
 - يتميز بثنائية ( $HIn/In^-$ )  
 - لون الصفة  $HIn$  يختلف عن  
 لون الصفة  $In^-$ .  
 - أفضل كاشف ملون  
 للمعايرة هو الذي مجال تغيره  
 اللوني يشمل نقطة التكافؤ.

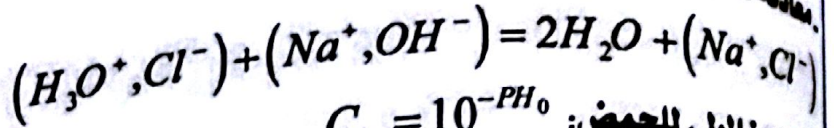
التركيب التجريبي للمعايرة الـ PH مترية



معايرة حمض قوي بأساس قوي:



معادلة تفاعل المعايرة:

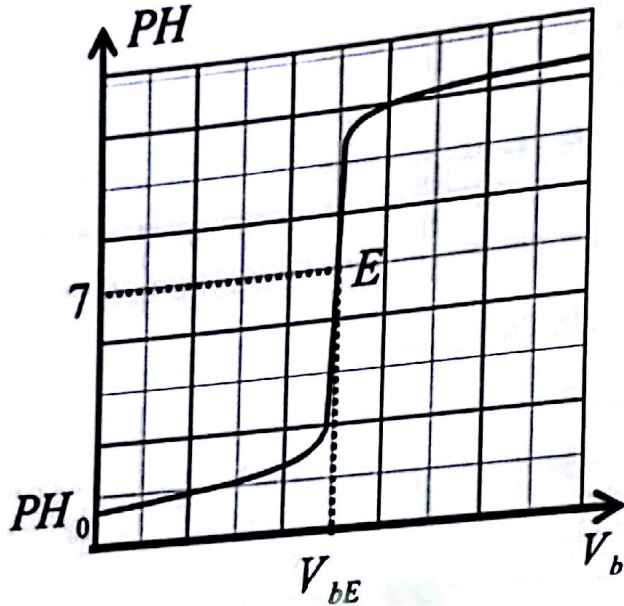


التركيز المولي للحمض:  $C_a = 10^{-PH_0}$

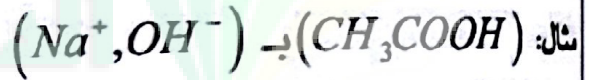
عند نقطة التكافؤ  $E$ :  $C_a V_a = C_b V_{bE}$

نسب تراكيز الأفراد الكيميائية

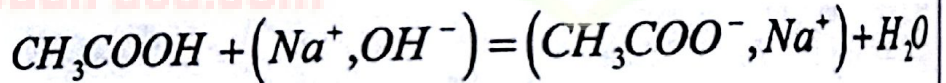
عند أي نقطة بالاعتماد على جدول التقدم.



معايرة حمض ضعيف بأساس قوي:



معادلة تفاعل المعايرة:



التركيز المولي للحمض:  $C_a \neq 10^{-PH_0}$

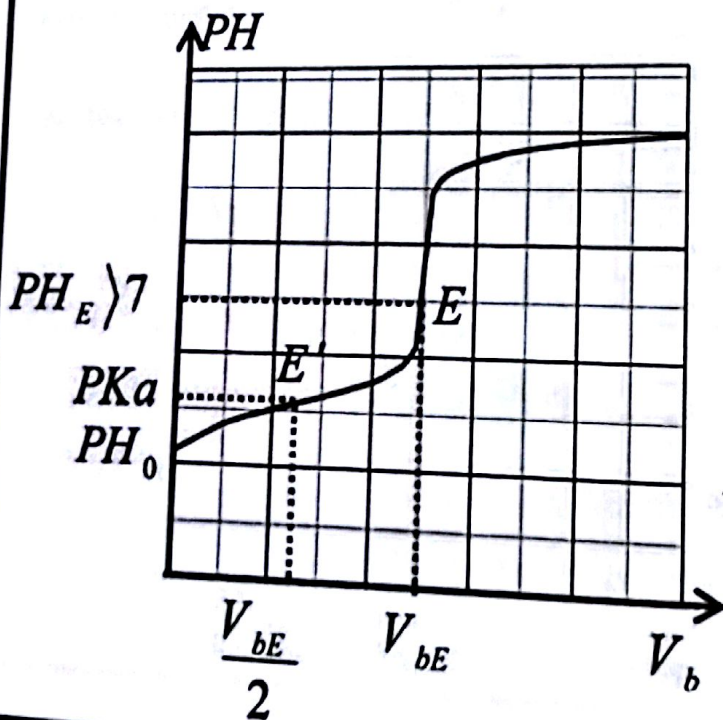
عند نقطة التكافؤ  $E$ :  $C_a V_a = C_b V_{bE}$

عند نقطة نصف التكافؤ  $E'$ :  $\left(\frac{V_{bE}}{2}\right)$

$$PH = PKa$$

نسب تراكيز الأفراد الكيميائية

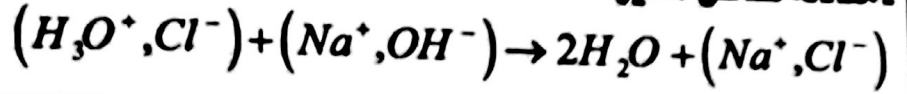
عند أي نقطة بالاعتماد على جدول التقدم.



- معايرة أساس قوي بحمض قوي:

مثال:  $(Na^+, OH^-) \rightarrow (H_3O^+, Cl^-)$

- معادلة تفاعل المعايرة:

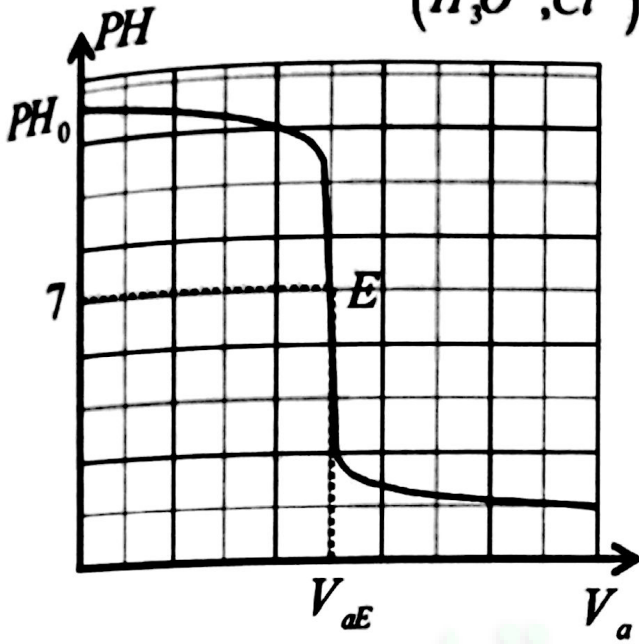


- التركيز المولي للأساس:  $C_a = 10^{PH_0 - 14}$

- عند نقطة التكافؤ:  $C_a V_{aE} = C_b V_b$

تحسب تراكيز الأفراد الكيميائية

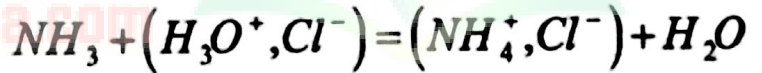
عند أي نقطة بالاعتماد على جدول التقدم.



- معايرة أساس ضعيف بحمض قوي:

مثال:  $(NH_3) \rightarrow (H_3O^+, Cl^-)$

- معادلة تفاعل المعايرة:



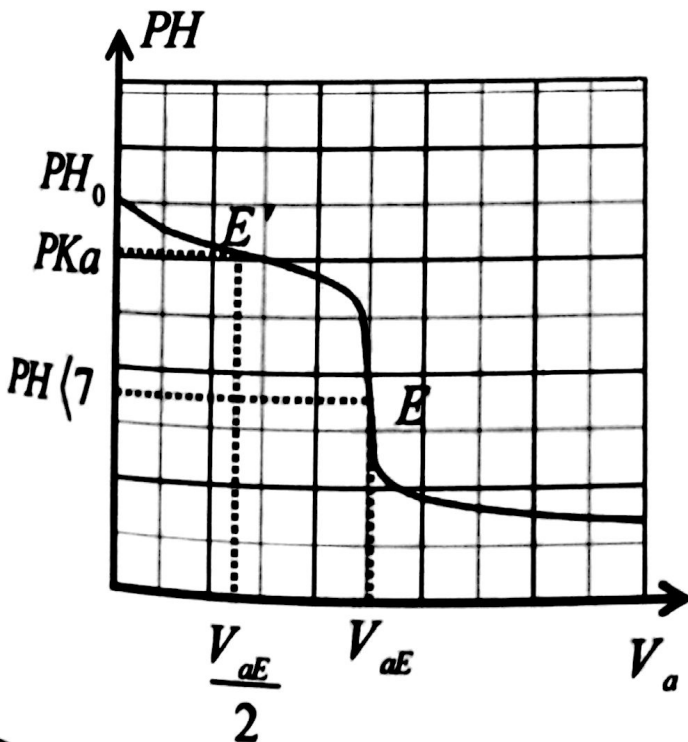
- التركيز المولي للأساس:  $C_a \neq 10^{PH_0 - 14}$

- عند نقطة التكافؤ:  $C_a V_a = C_b V_{bE}$

- عند نقطة نصف التكافؤ  $E'$ :  $\left(\frac{V_{aE}}{2}\right)$

$$PH = PKa$$

تحسب تراكيز الأفراد الكيميائية  
عند أي نقطة بالاعتماد على جدول التقدم.





## تعاريف حول: تطور جملة كيميائية نحو حالة التوازن

التمرين 01:

اختر الجواب الصحيح لكل سؤال:

1. الحمض حسب برونستد هو كل فرد كيميائي له القدرة على:  
 ا. اكتساب بروتونا      ب. فقد إلكترونات      ج. فقد بروتونا
2. الأساس حسب برونستد هو كل فرد كيميائي له القدرة على:  
 ا. فقد بروتونا      ب. اكتساب بروتونا      ج. اكتساب إلكترونات
3. كسر التفاعل  $Q_r$  يتعلق فقط ب:  
 ا. درجة الحرارة      ب. التراكيز الابتدائية للمتفاعلات      ج. كمية المادة الابتدائية للمتفاعلات.
4. عبارة النسبة النهائية لتقدم التفاعل  $\tau_r$  هي:

$$\tau_r = \frac{x_{\max}}{x_f} \quad \text{ب} \quad \tau_r = \frac{x_f}{x_{\max}} \quad \text{ج} \quad \tau_r = \left( \frac{x_{\max}}{x_f} \right)^2$$

5. عبارة ثابت الحموضة  $Ka$  للشثائية  $(HA/A^-)$  هي:

$$Ka = \frac{[H_3O^+]_f [A^-]_f}{[HA]_f} \quad \text{ب} \quad Ka = \frac{[H_3O^+]_f [HA]_f}{[A^-]_f}$$

$$Ka = \frac{[H_3O^+]_f [A^-]_f}{[OH^-]_f [HA]_f} \quad \text{ج}$$

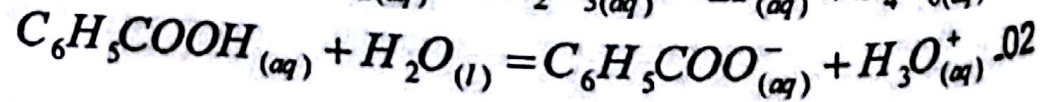
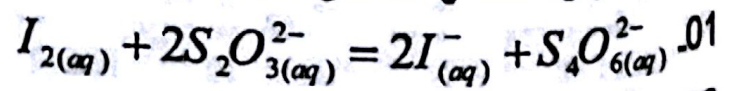
6. العلاقة بين الـ  $PH$  والـ  $PKa$  هي:

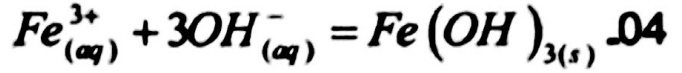
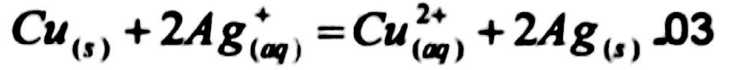
$$PH = PKa - \log \frac{[HA]_f}{[A^-]_f} \quad \text{ب} \quad PH = PKa - \log \frac{[A^-]_f}{[HA]_f}$$

$$PH = PKa + \frac{[HA]_f}{[A^-]_f} \quad \text{ج}$$

التمرين 02:

اكتب عبارة كسر التفاعل لكل من المعادلات الكيميائية التالية:





التمرين 03:

يعطي قياس  $PH$  محلول مائي لحمض الميثانويك  $HCOOH$  تركيزه المولي  $c = 5,0 \times 10^{-2} mol L^{-1}$  وحجمه  $V = 100 mL$  بواسطة جهاز الـ  $PH$  متر القيمة  $PH = 2,5$ .

- 1- أكتب معادلة تفاعل حمض الميثانويك مع الماء، ثم استنتج الثنائيتين (أساس / حمض) الداخليتين في التفاعل.
- 2 أنشئ جدول تقدم هذا التفاعل.
- 3 احسب قيمة التقدم الأعظمي  $x_{max}$ .
- 4 احسب قيمة التقدم النهائي  $x_r$ .
- 5 احسب النسبة النهائية لتقدم التفاعل  $\tau_r$ ، ماذا تستنتج؟

التمرين 04:

لدينا محلول مائي ( $S$ ) لحمض الإيثانويك  $CH_3COOH$  حجمه  $V$  وتركيزه المولي  $c = 5,0 \times 10^{-2} mol L^{-1}$ . أعطى قياس الناقلية النوعية للمحلول ( $S$ ) القيمة  $\sigma = 0,343 m S cm^{-1}$  عند درجة الحرارة  $25^\circ C$ .

- 1- اكتب معادلة تفاعل الحمض مع الماء، ثم أنشئ جدول تقدم التفاعل.
- 2 حدد عند حالة التوازن تراكيز الأفراد الكيميائية المتواجدة في المحلول المائي ( $S$ ). يعطى:  $\lambda_{CH_3COO^-} = 4,1 mS . m^2 . mol^{-1}$  و  $\lambda_{H_3O^+} = 35 mS . m^2 . mol^{-1}$
- 3 استنتج قيمة كسر التفاعل  $Q_{r \neq q}$  عند حالة التوازن.
- 4 نقيس الناقلية النوعية لمحلول ( $S'$ ) لحمض الإيثانويك تركيزه المولي  $c' = 5,0 \times 10^{-3} mol L^{-1}$  نجد القيمة  $\sigma' = 0,107 m S cm^{-1}$  عند درجة الحرارة  $25^\circ C$ ، جد قيمة كسر التفاعل  $Q'_{r \neq q}$  عند حالة التوازن.
- 5 قارن بين قيمتي كسر التفاعل عند حالة التوازن، ماذا تستنتج؟

التمرين 05:

كل المحاليل مأخوذة عند درجة الحرارة  $25^\circ C$ ، و الجداء الشاردي للماء  $Ke = 10^{-14}$ . تتوفر على محلولين حمضيين لهما نفس التركيز المولي  $C$ ، المحلول الأول ( $S_1$ ) لحمض  $A_1H$  مجهول، و المحلول الثاني ( $S_2$ ) لحمض الإيثانويك ( $CH_3COOH$ )، وقياس  $PH$  كل



محلون نجد  $PH(S_1) = 2,0$  و  $PH(S_2) = 3,4$ .

1. اكتب معادلة انحلال حمض  $AH$  في الماء، ثم أنشئ جدول تقدم هذا التفاعل.

بدلين أن عبارة نسبة تقدم التفاعل النهائية تكتب على الشكل التالي:  $\tau_r = \frac{10^{-PH}}{C}$ .

2. في حوجلة عيارية سعتها  $100mL$ ، تحتوي على حجم  $V_1 = 20mL$  من المحلول  $S_1$  للحمض  $A_1H$  المجهول، نضيف له  $V = 80mL$  من الماء المقطر، وبعد الرج نحصل على محلول  $S'_1$  تركيزه المولي  $C'$ .

لدين أن:  $C' = \frac{C}{5}$ .

به باستخدام جهاز الـ  $PH$  متر نقيس  $PH$  المزيج قبل وبعد التمديد، والعلاقة بين  $PH(S_1)$

و  $PH(S'_1)$  تكتب على الشكل التالي:  $PH(S'_1) = PH(S_1) + \log 5$ ، بين أن نسبة

تقدم التفاعل  $\tau_{r1}$  قبل التمديد و  $\tau'_{r1}$  بعد التمديد لهما نفس القيمة.

جد بين أن الحمض  $A_1H$  حمض قوي.

دناكد أن  $C = 10^{-2} mol.L^{-1}$ .

3. احسب نسبة تقدم التفاعل النهائية  $\tau_r$  لتفاعل انحلال حمض الإيثانويك في الماء، ماذا نستنتج؟

بدلين أن عبارة  $PH$  المحلول  $S_2$  تكتب على الشكل التالي:

$$PH = PKa + \log \frac{[CHCOO^-]_r}{[CHCOOH]_r}$$

حيث:  $Ka$  ثابت الحموضة للثنائية  $(CHCOOH/CHCOO^-)$ .

التمرين 06:

الأمونياك (النشادر)  $NH_3$  غاز يعطي عند انحلاله في الماء محلولاً أساسياً.

1. ما هو الأساس حسب برونستد؟

2. اكتب معادلة انحلال هذا الغاز في الماء مبيناً الثنائيتين (أساس / حمض) الداخلتين في التفاعل

3. الناقلية النوعية لمحلول النشادر تركيزه  $c_b = 10^{-2} mol.l^{-1}$  تساوي

$\sigma_r = 10,9 ms.m^{-1}$  عند الدرجة  $25^{\circ}C$ .

1.3. اكتب عبارة الناقلية النوعية لمحلول الأمونياك بدلالة التراكيز المولية للأفراد الكيميائية

المتواجدة عند حالة التوازن و الناقلية النوعية المولية للشوارد.

2.3. احسب التركيز المولي النهائي للأفراد الكيميائية المتواجدة في المحلول. ( نهمل التشرذ

الذاتي للماء).

الوحدة الرابعة. ص 315. تطور جملة كيميائية نحو حالة التوازن

3.3 اكتب عبارة ثابت التوازن  $K$  لتفاعل تفكك غاز النشادر في الماء.  
 4.3 جد العلاقة بين ثابت التوازن  $K$  السابق وثابت الحموضة  $Ka$  للثنائية  
 $(NH_4^+/NH_3)$ ، ثم احسب ثابت الحموضة، واستنتج قيمة الـ  $PKa$ .

4. نعتق معايرة  $PH$  مترية بواسطة جهاز  $PH$  متر لحجم قدره  $V_b = 20mL$  من محلول  
 الأمونياك السابق بواسطة محلول حمض كلور الماء  $(H_3O^+ + Cl^-)$  تركيزه المولي  
 $C_a = 2 \times 10^{-2} mol.l^{-1}$ .

1.4 اكتب المعادلة الكيميائية المنمذجة للتفاعل الحادث.  
 2.4 ما هو الحجم اللازم إضافته من محلول حمض كلور الماء لمحلول الأمونياك حتى يحدث  
 التكافؤ؟  
 3.4 بين أنه عند إضافة  $5ml$  من محلول حمض كلور الماء لمحلول الأمونياك نجد  $PH$  للخلول  
 يساوي 2,9.

معطيات:  $(25^\circ C)$   $Ke = 10^{-14}$ ،  $\lambda(OH^-) = 19,2ms.m^2.mol^{-1}$   
 $\lambda(NH_4^+) = 7,4ms.m^2.mol^{-1}$

التمرين 07:

من أجل تحديد الصيغة المفصلة لحمض عضوي  $RCOOH$  مجهول الصيغة والتركيز موجود  
 في قارورة بمخبر الثانوية، اقترح فوج من التلاميذ إجراء عملية معايرة  $PH$  مترية له.  
 تمت معايرة حجما  $V_a = 50mL$  من الحمض ذي التركيز  $C_a$  بواسطة محلول ممدد  $S_b$   
 لهيدروكسيد الصوديوم  $(Na^+_{(aq)}, OH^-_{(aq)})$  تركيزه المولي  $C_b = 2,5 \times 10^{-2} mol.l^{-1}$   
 والنتائج التجريبية مدونة في الجدول التالي:

$V_b (mL)$	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
$PH$	3,6	4,2	4,6	5,0	5,4	8,2	10,9	11,2	11,4	11,5	11,6	11,6

1. ا. أرسم شكلا توضيحيا للتجهيز المستعمل في هذه المعايرة.  
 ب. اكتب معادلة تفاعل المعايرة.

ج. أنجز جدول تقدم التفاعل باستخدام المقادير  $C_a, C_b, V_a, V_b$ .  
 د. عرف التكافؤ في المعايرة.

2. ا. أرسم منحنى المعايرة  $PH = f(V_b)$ .

ب. استنتج بيانيا إحداثيتي نقطة التكافؤ.

ج. استنتج قيمة تركيز الحمض المعيار  $C_a$ ، وبين أنه حمض ضعيف.

3. نعطي جانبا جدولا يبين قيم الـ  $PKa$  لبعض الثنائيات (أساس/حمض)، استنتج الصيغة  
 الحقيقية للحمض المعيار.



در رسم سلما لقيم الـ PH توضح فيه توزع الصفة الغالبة في الثنائية الموافقة للحمض السابق باستنتج الفرد الكيميائي الغالب في المزيج السابق عند حدوث التكافؤ، برر إجابتك.

الثنائية (أساس/حمض)	PKa
$(HCl_2C - COOH / HCl_2C - COO^-)$	1,3
$(H_2ClC - COOH / H_2ClC - COOH)$	2,9
$(HCOOH / HCOO^-)$	3,8
$(CH_3COOH / CH_3COO^-)$	4,8

التمرين 08:

جميع المعاليل مأخوذة عند الدرجة  $25^\circ C$ ، و  $Ke = 10^{-14}$ .

بمطى:  $PKa(HCOOH / HCOO^-) = 3,8$ .

1. نعتبر محلولاً مائياً  $(S_a)$  لحمض الميثانويك  $HCOOH$ ، تركيزه المولي  $C_a$  وله  $PH = 2,9$ .

1.1. اكتب معادلة تفاعل حمض الميثانويك  $HCOOH$  مع الماء، ثم استنتج الثنائيتين (أساس/حمض) المشاركتين في التفاعل.

2. أنشئ جدول تقدم التفاعل.

3. بين أن نسبة التقدم النهائي  $\tau_r$  للتفاعل تكتب على الشكل التالي:

$$\tau_r = \frac{1}{1 + 10^{PKa - PH}}$$

ثم احسب قيمة  $\tau_r$ .

4. استنتج تركيز المحلول  $(S_a)$ .

2 لتعديد تركيز المحلول  $(S_a)$  عن طريق المعايرة، نأخذ حجماً  $V_a = 10 mL$  من المحلول

$(S_a)$ ، ونعايره بحلول  $(S_b)$  لهيدروكسيد الصوديوم تركيزه المولي

$C_b = 1,0 \times 10^{-2} mol L^{-1}$ ، يمثل بيان الشكل 1- تغيرات الـ PH بدلالة حجم الأساس

لضاف  $V_b$  أي  $PH = f(V_b)$ .

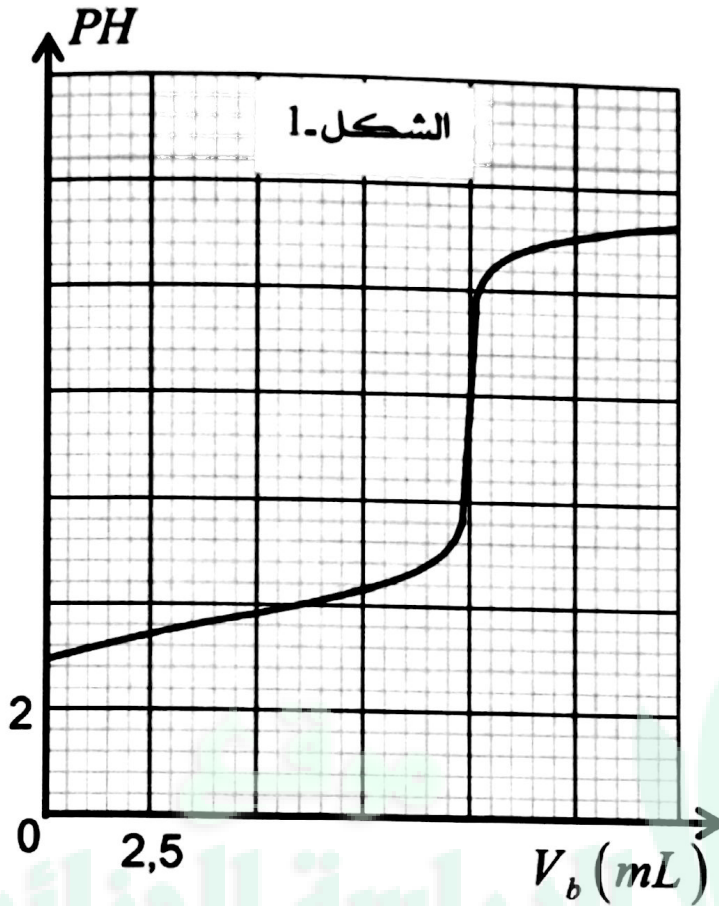
1.2. اكتب معادلة تفاعل المعايرة.

2. حدد من البيان  $PH = f(V_b)$  إحداثيتي نقطة التكافؤ  $E$ .

3. استنتج التركيز المولي  $C_a$  للمحلول  $(S_a)$ ، هل النتيجة المتحصل عليها تتوافق مع ما تم

التوصل إليه سابقاً؟

4.2 احسب كمية مادة شوارد الهيدروكسيد ( $OH^-$ ) المتبقية في المزيج عند إضافة حجما قدره  $V_b = 5mL$  من المحلول الأساسي، ثم احسب نسبة التقدم النهائي  $\tau_r$  للتفاعل، ماذا تستنتج؟



التمرين 09:

كل المحاليل المائية مأخوذة عند الدرجة  $25^\circ C$ ، و  $Ke = 10^{-14}$ .  
- قياس الـ  $PH$  لثلاثة محاليل حمضية، لها نفس التركيز  $C = 2,5 \times 10^{-2} mol \cdot L^{-1}$ ،  
أعطى النتائج المدونة في الجدول التالي:

الحمض	المحلول المائي	$PH$
$A_1H$	$(S_1)$	3,2
$A_2H$	$(S_2)$	1,6
$A_3H$	$(S_3)$	2,9

- بين أن أحد المحاليل الحمضية الثلاثة قوي، والآخرين ضعيفين.
- اكتب معادلة انحلال الحمض  $A_1H$  في الماء، ثم أنشئ جدول تقدم هذا التفاعل. بد احسب النسبة النهائية لتقدم هذا التفاعل  $\tau_r$ .
- بين أن عبارة ثابت الحموضة  $Ka_1$  للثنائية  $(A_1H / A_1^-)$  تكتب على الشكل التالي:



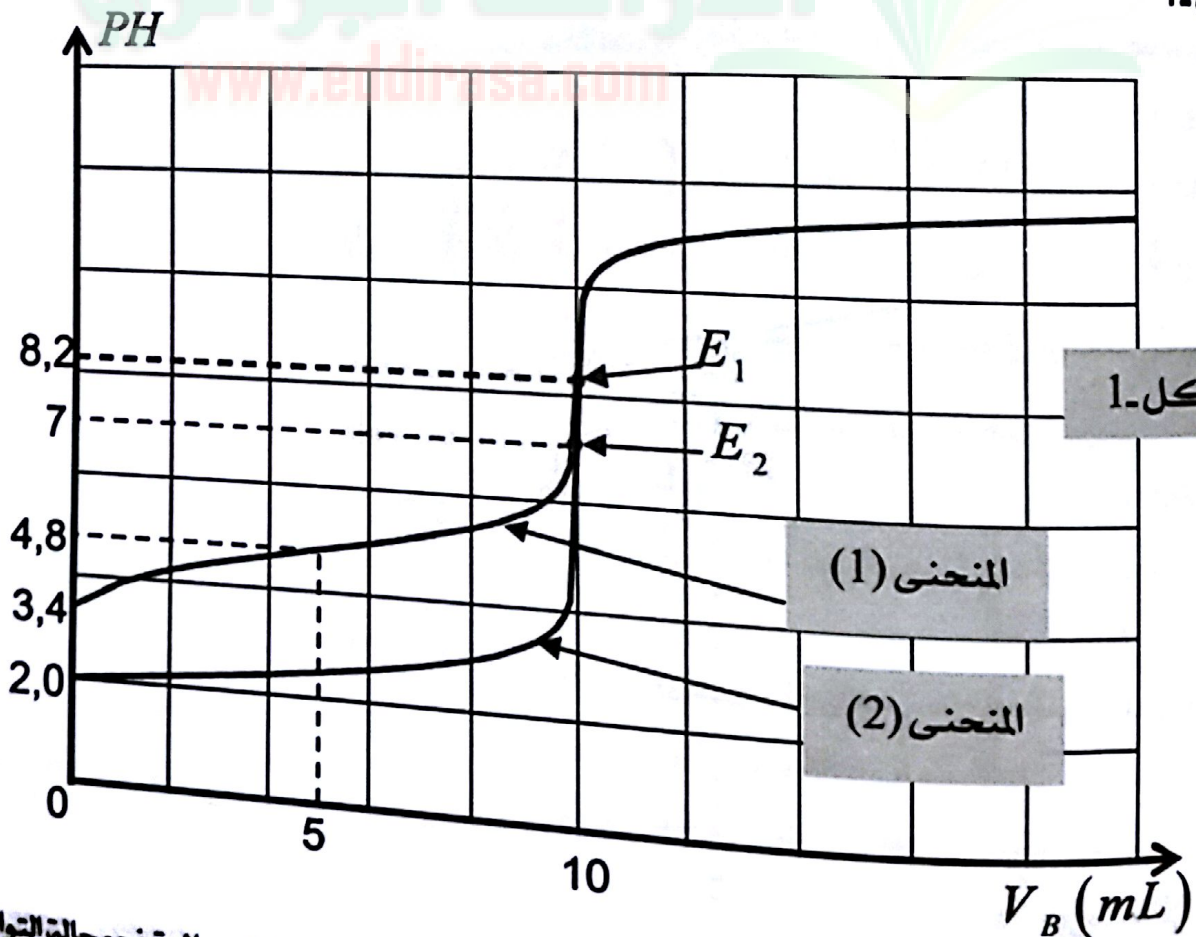
$$Ka_1 = C \frac{\tau_{r1}^2}{(1-\tau_{r1})} \text{ ثم أحسب قيمته.}$$

3. نضيف لحجم  $V_A = 20\text{mL}$  من المحلول الحمضي ( $S_3$ )، حجما  $V_B = 10\text{mL}$  من محلول هيدروكسيد الصوديوم ( $\text{NaOH}$ ) (محلول أساسي)، تركيزه المولي  $C_B = C$ ، وقياس قيمة  $\text{PH}$  المزيج أعطى القيمة  $\text{PH} = 4,2$ .

4. احسب قيمة ثابت الحموضة  $Ka_3$  للثنائية ( $A_3H / A_3^-$ ).  
بدقارن بين القيمتين  $Ka_3$  و  $Ka_1$ ، ثم استنتج الحمض الأضعف.

التمرين 10:

جميع المحاليل مأخوذة عند الدرجة  $25^\circ\text{C}$ ، والجداء الشاردي للماء  $K_e = 10^{-14}$ .  
تتوفر على محلولين حمضيين لهما نفس التركيز المولي الابتدائي  $C_A$ ، وهما محلول حمض كلور الهيدروجين ( $\text{HCl}$ ) (حمض قوي)، ومحلول حمض الإيثانويك  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .  
نعاير على حدى، حجما  $V_A = 10\text{mL}$  من كل محلول بمحلول هيدروكسيد الصوديوم  $\text{NaOH}$  (أساس قوي) تركيزه المولي  $C_B = 0,01\text{mol L}^{-1}$ .  
وبالاستعانة بجهاز الـ  $\text{PH}$  متر تمكنا من متابعة تطور  $\text{PH}$  كل وسط تفاعلي بدلالة الحجم  $V_B$  المضاف، و ببرنامجية مناسبة تمكنا من رسم المنحنين (1) و (2) المثلين في الشكل 1.



1- بين أن المنحني (2) يوافق معايرة محلول حمض كلور الهيدروجين.

به اكتب معادلة التفاعل الموافقة لهذه المعايرة.

ج- باستغلال المنحني (2)، جد قيمة التركيز  $C_A$ .

2- بين أن حمض الإيثانويك حمض ضعيف.

3- اكتب معادلة تفاعل حمض الإيثانويك مع الماء.

به أنشئ جدول تقدم هذا التفاعل.

ج- اكتب عبارة ثابت الحموضة  $K_a$  للثنائية  $(CH_3COOH / CH_3COO^-)$  بدلالة  $C_A$

و  $[H_3O^+]_{eq}$ ، ثم احسب قيمة الـ  $PK_a$ .

د- جد قيمة الـ  $PK_a$  للثنائية  $(CH_3COOH / CH_3COO^-)$  ببيان.

التمرين 11:

المحاليل مأخوذة عند الدرجة  $25^\circ C$ ، والجداء الشاردي للماء  $K_e = 10^{-14}$ .

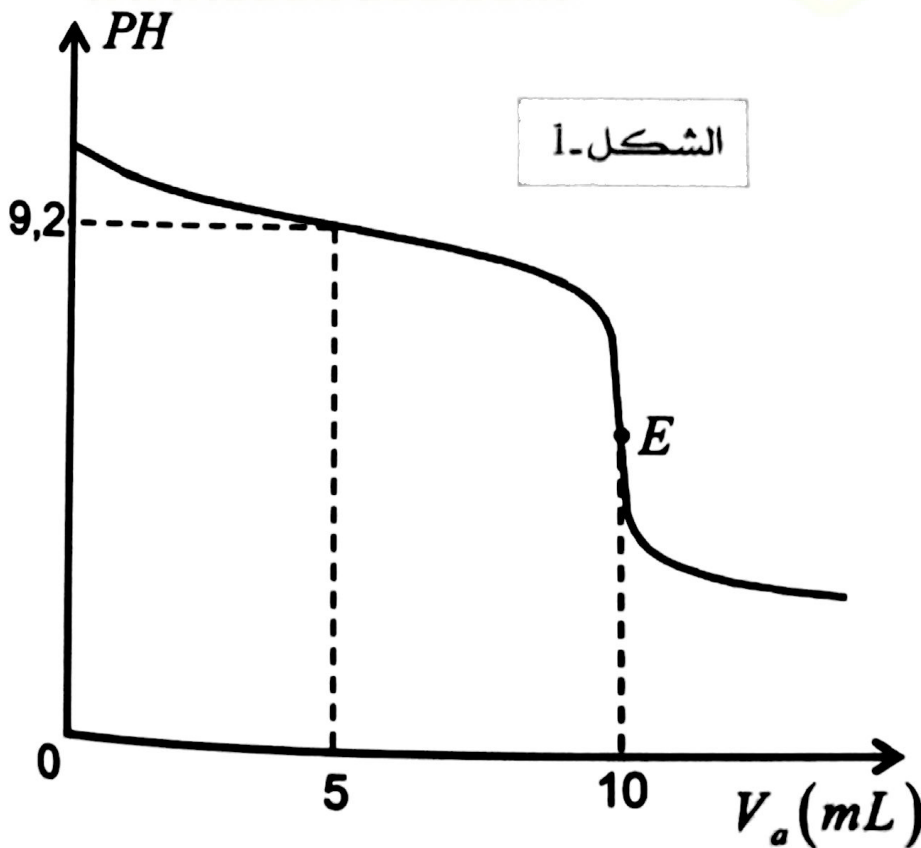
- نعاير حجما  $V_B = 10 mL$  من محلول مائي  $(S_B)$  للأمونياك  $(NH_3)$ ، تركيزه المولي  $C_B$

بمحلول مائي  $(S_A)$  لحمض كلور الهيدروجين  $HCl$  (حمض قوي)، وتركيزه

المولي  $C_A = 0,01 mol \cdot L^{-1}$ .

- بالاستعانة بجهاز الـ  $PH$  متر تمكنا من متابعة تطور  $PH$  المزيج بدلالة الحجم المضاف  $V_A$ .

و ببرمجية إعلام آلي مناسبة تمكنا من رسم المنحني  $PH = f(V_A)$  المبين في الشكل 1.



الشكل 1.



01 باستغلال المنحني  $PH = f(V_A)$  بين أن المحلول المائي ( $S_B$ ) عبارة عن أساس ضعيف.

02 اكتب معادلة تفاعل المعايرة.

بد عرف التكافؤ حمض-أساس ثم استنتج التركيز  $C_B$ .

جـ حدد طبيعة المزيج عند نقطة التكافؤ (محلل حمضي، أساسي أو معتدل)، مع التعليل.  
د استنتج بيانياً قيمة الـ  $PKa$  للثنائية ( $NH_4^+/NH_3$ )، مع التعليل.

3. نصب في كأس بيشر حجماً  $V_B = 10mL$  من المحلول المائي ( $S_B$ ) ونضيف له حجماً  $V_A$  من الماء المقطر. المحلول المتحصل عليه ( $S'_B$ ) نعايره بنفس المحلول المائي ( $S_A$ ).  
بين مع التعليل صحة أو خطأ العبارات التالية:

العبارة 01: الحجم  $V_{A,E}$  المضاف عند نقطة التكافؤ لا يتغير.

العبارة 02: قيمة  $PH$  نقطة التكافؤ تنقص.

العبارة 03: قيمة  $PH$  نقطة نصف التكافؤ تتغير.

التمرين 12:

درجة حرارة المحاليل ثابتة وتساوي  $25^\circ C$ ، الجداء الشاردي للماء  $Ke = 10^{-14}$ .

تتوفر على محلول مائي ( $S_1$ ) للأساس  $B_1$ ، تركيزه المولي  $C_1 = 10^{-1} mol.L^{-1}$  وله

$PH = 11,1$ .

1. اكتب معادلة تفاعل الأساس  $B_1$  مع الماء، ثم أنشئ جدول تقدم هذا التفاعل.

بد احسب قيمة نسبة تقدم التفاعل النهائي  $\tau_r$ .

جد هل  $B_1$  أساس قوي أو ضعيف؟

2. نعاير حجماً  $V_B = 10mL$  من المحلول ( $S_1$ )، ثم نعاير حجماً  $V'_B = 10mL$  من

محلول ( $S_2$ ) للأساس  $B_2$  تركيزه المولي  $C_2$ . من أجل كل معايرة نستعمل المحلول

المائي ( $S_A$ ) لحمض كلور الهيدروجين ( $H_3O^+, Cl^-$ ) تركيزه المولي  $C_A$ . وبالإعتماد على

نتائج المعايرتين تمكنا من رسم المنحني (1) و (2) الممثلين على الشكل 1.

لأرفق كل منحني بالأساس المعاير الموافق له، وذلك مع التعليل.

بدا ما هو المدلول العلمي للنقاط:  $E_1, E_2, I_1, I_2$

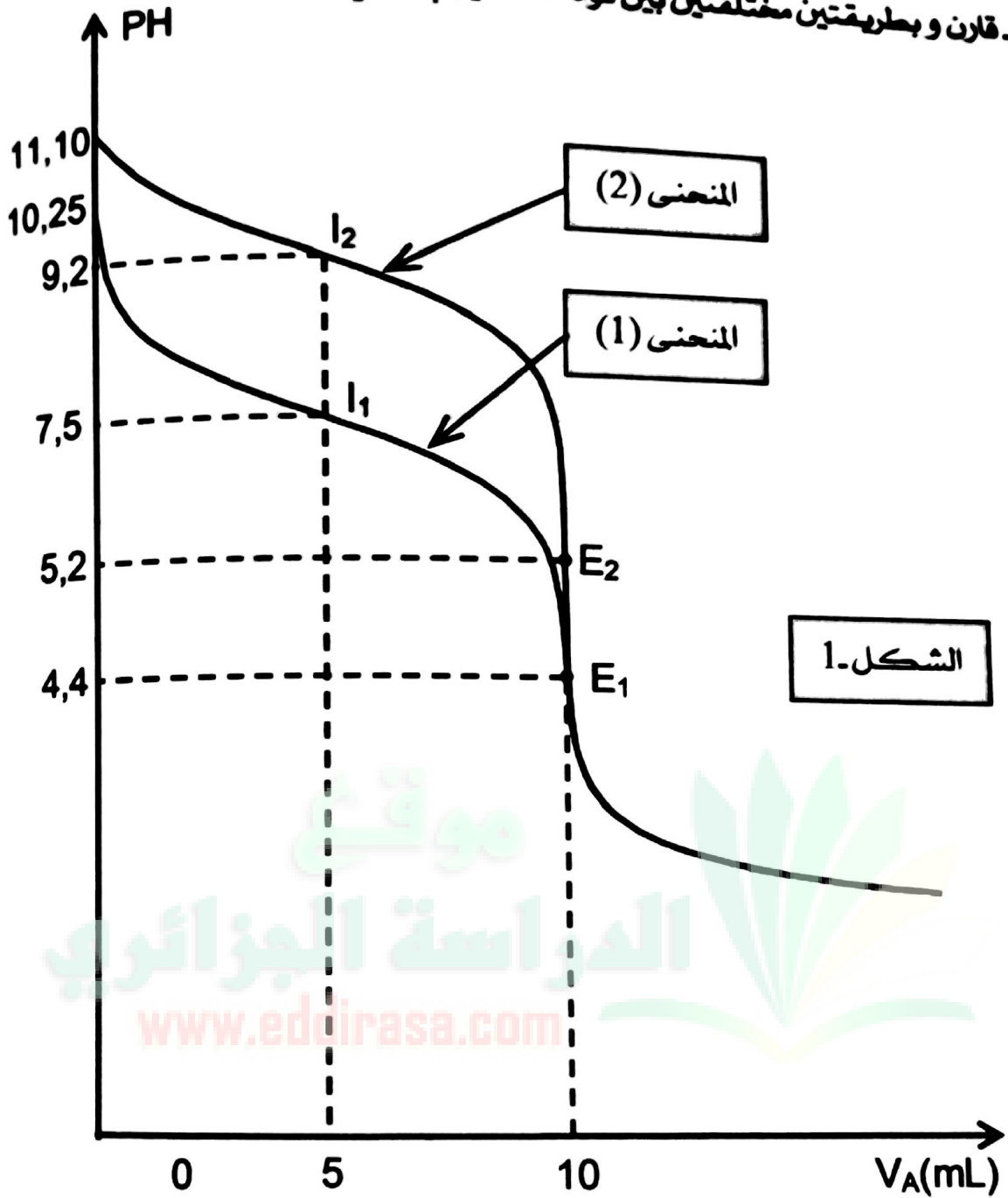
جدين أن  $C_2 = C_1$ .

3. ننته في هذا الجزء بدراسة معايرة المحلول المائي للأساس  $B_1$ .

لأكتب معادلة تفاعل معايرة الأساس  $B_1$ ، ثم بين أن تفاعل هذه المعايرة تفاعل تام.

بدا ما هي طبيعة المزيج المتحصل عليه عند نقطة التكافؤ (حمضي أو أساسي أو معتدل)؟ مع التعليل.

جـ- قارن و بطريقتين مختلفتين بين قوة الأساسين  $B_1$  و  $B_2$ .



التمرين 13:

حمض البنزويك  $C_6H_5COOH$  جسم صلب أبيض اللون يستعمل كمادة حافظة في اللوا الغذائية و خاصة المشروبات الغازية، نظرا لخصائصه كمبيد للفطريات و كمضاد للبكتيريا. كما أنه يدخل في تركيب بعض المركبات العضوية التي تصنع منها أنواع من العطور، ويعرف بالرمز E 210.  
معطيات:

- الكتلة المولية لحمض البنزويك:  $M(C_6H_5COOH) = 122 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

- الناقلية النوعية المولية الشاردية:  $\lambda_{C_6H_5COO^-} = 3,24 \times 10^{-3} \text{ S} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$

$\lambda_{H_3O^+} = 35 \times 10^{-3} \text{ S} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$



01. دراسة تفاعل حمض البنزويك مع الماء:

نعتبر محلولاً مائياً ( $S$ ) لحمض البنزويك تركيزه المولي  $C = 5 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$  وحجمه  $V = 200 \text{ mL}$ . أعطى قياس الناقلية النوعية للمحلول ( $S$ ) القيمة:

$$\sigma = 2,03 \times 10^{-2} \text{ S.m}^{-1}$$

1.1. أكتب معادلة تفاعل حمض البنزويك مع الماء.

2.1. أنشئ الجدول تقدم لهذا التفاعل.

3.1. جد عبارة تقدم التفاعل  $x_{eq}$  عند التوازن بدلالة  $\lambda_{H_3O^+}$ ,  $\lambda_{C_6H_5COO^-}$ ,  $\sigma$  و  $V$ . احسب قيمة  $x_{eq}$ .

4.1. بين أن عبارة كسر التفاعل عند التوازن  $Q_{r,eq}$  هي:  $Q_{r,eq} = \frac{x_{eq}^2}{V.(CV - x_{eq})}$

استنتج قيمة  $Ka$  ثابت الحموضة للشثانية ( $C_6H_5COOH / C_6H_5COO^-$ )

02. تحديد كتلة حمض البنزويك في مشروب غازي:

نشير لصيقة على قارورة مشروب غازي إلى وجود  $0,15 \text{ g}$  من حمض البنزويك في لتر واحد من المشروب. للتأكد من صحة هذه المعلومة، نعاير حجماً  $V_A = 50 \text{ mL}$  من المشروب بواسطة

محلول مائي لهيدروكسيد الصوديوم ( $Na^+_{(aq)}, OH^-_{(aq)}$ ) تركيزه المولي

$C_B = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$  ( نعتبر أن حمض البنزويك هو الحمض الوحيد المتواجد في المشروب).

1.2. أكتب معادلة التفاعل الحاصل أثناء المعايرة.

2.2. حجم محلول هيدروكسيد الصوديوم المضاف عند التكافؤ هو  $V_{BE} = 6 \text{ mL}$ . حدد قيمة

$C_A$  التركيز المولي لمحلول حمض البنزويك في المشروب الغازي.

3.2. احسب قيمة  $m$  كتلة حمض البنزويك الموجودة في الحجم  $V_0 = 1 \text{ L}$  من المشروب. هل

توافق هذه القيمة النتيجة المشار إليها في اللصيقة؟

التمرين 14:

الإيبوبروفين (*Ibuprofène*) حمض كربوكسيلي صيغته الإجمالية  $C_{13}H_{18}O_2$ ، دواء

يعتبر من المضادات للإلتهابات، إضافة إلى كونه مسكناً للألام، ومخفضاً للحرارة.

تباع مستحضرات الإيبوبروفين في الصيدليات على شكل مسحوق في أكياس تحمل

للقدار  $200 \text{ mg}$  قابلة للذوبان في الماء. للاختصار نرمز للإيبوبروفين بالرمز  $RCOOH$ ،

ولأساسه المرافق بالرمز:  $RCOO^-$ .

تغطي الكتلة المولية الجزيئية لحمض الإيبوبروفين:  $M(C_{13}H_{18}O_2) = 206 \text{ g.mol}^{-1}$

جميع العمليات تمت عند درجة الحرارة  $25^\circ \text{C}$ .

الوحدة الرابعة ص 323 تطور جملة كيميائية نحو حالة التوازن

01. نذيب محتوى كيس من الإيبوبروفين والذي يحتوي على  $200\text{mg}$  من الحمض في كأس من الماء المقطر، فنحصل على محلول مائي ( $S_0$ ) تركيزه  $C_0$  وحجمه  $V_0 = 100\text{mL}$ .  
11. احسب التركيز  $C_0$ .

21. أعطى قياس  $PH$  المحلول ( $S_0$ ) القيمة  $PH = 3,17$ .

لتحقق بالاستعانة بجدول تقدم التفاعل أن تفاعل الإيبوبروفين مع الماء تفاعل محدود (غير تام).

بدأ كتب عبارة كسر التفاعل  $Q_r$  لهذا التفاعل.

جـ. بين أن عبارة كسر التفاعل  $Q_r$  عند التوازن تكتب على الشكل التالي:

$$Q_{r,eq} = \frac{x_{\max} \cdot \tau_f^2}{V_0 (1 - \tau_f)}$$

حيث:  $\tau_f$  نسبة تقدم التفاعل النهائية، و  $x_{\max}$  التقدم الأعظمي.

د. استنتج قيمة ثابت التوازن  $K$ .

02. للتحقق من المقدار المسجل على الكيس، نأخذ حجما  $V_B = 60\text{mL}$  من محلول

مائي ( $S_B$ ) لهيدروكسيد الصوديوم ( $Na^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$ ) تركيزه المولي

$C_B = 3 \times 10^{-2} \text{mol L}^{-1}$ ، ونذيب فيه كليا محتوى كيس من الإيبوبروفين، فنحصل على

محلول مائي ( $S$ ). (نعتبر أن حجم المحلول ( $S$ ) هو  $V_B$ ).

12. اكتب المعادلة الكيميائية المنمذجة للتفاعل بين الحمض  $RCOOH$  والمحلول ( $S_B$ ).

22. بين أن  $(OH^-)$  كمية مادة الشوارد  $OH^-$  الابتدائية المتواجدة في المحلول ( $S_B$ )

أكبر من  $(RCOOH)$  كمية مادة الحمض  $RCOOH$  المذابة. (نعتبر أن المقدار

المسجل على الكيس صحيح).

32. لمعايرة الشوارد  $OH^-$  المتبقية في المحلول ( $S$ )، نأخذ حجما  $V = 20\text{mL}$  من هذا المحلول

ونضيف إليه محلولاً مائياً ( $S_A$ ) لحمض كلور الهيدروجين تركيزه

المولي  $C_A = 10^{-2} \text{mol L}^{-1}$ . نحصل على التكافؤ عند صب حجما  $V_{A,E} = 27,7\text{mL}$  من

المحلول ( $S_A$ ).

- نعتبر أن الشوارد  $OH^-$  المتبقية في المحلول ( $S$ ) هي الوحيدة التي تتفاعل مع الشوارد  $H_3O^+$

الواردة من المحلول ( $S_A$ )، أثناء المعايرة، وفقاً للمعادلة:  $H_3O^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)} = 2H_2O_{(l)}$ .

لجد كمية مادة شوارد  $OH^-$  التي تفاعلت مع الحمض  $RCOOH$  المتواجدة في الكيس.

بدأ احسب الكتلة  $m$  لحمض الإيبوبروفين المتواجدة في الكيس، ماذا تستنتج؟



حمض اللاكتيك حمض عضوي يلعب دورا مهما في مختلف الأنشطة البيوكيميائية. ينتج حمض اللاكتيك ذو الصيغة الكيميائية  $CH_3CHOHCOOH$  عن تخمر لاكتوز الحليب بواسطة البكتيريا.

يمكن الحليب صالحا للاستعمال إذا لم يتجاوز التركيز الكتلي  $C_m$  لحمض اللاكتيك فيه  $1,8g.L^{-1}$ .

يهدف هذا الجزء لتحديد حمضية حليب بعد مرور بضعة أيام من وضعه في قارورة، للتبسيط

نرمز للثنائية  $(CH_3CHOHCOOH / CH_3CHOHCOO^-)$  بالرمز  $(AH / A^-)$  ونعتبر حمضية الحليب ناتجة فقط عن حمض اللاكتيك.

معطيات:

الكتلة المولية لحمض اللاكتيك

$$M(C_3H_6O_6) = 90g.mol^{-1}$$

$$Ke = 10^{-14}$$

الآنصب في كأس حجم  $V_A = 20mL$  من

محلول مائي  $(S_A)$  لحمض اللاكتيك تركيزه

المولي  $C_A = 2 \times 10^{-2} mol.L^{-1}$ ، ونضيف إليه

حجم  $V_B = 5mL$  من محلول مائي  $(S_B)$

لهيدروكسيد الصوديوم  $(Na_{(aq)}^+, OH_{(aq)}^-)$

تركيزه المولي  $C_B = 5 \times 10^{-2} mol.L^{-1}$

نقيس  $PH$  المزيج فنجد  $PH = 4,0$ .

1.1 اكتب معادلة التفاعل الحاصل.

2.1 أنشئ جدول تقدم التفاعل، ثم جد قيمة النسبة

النهائية لتقدم التفاعل  $\tau_r$ ، ماذا تستنتج؟

3.1 بين أنه يمكن كتابة عبارة الـ  $PKa$  للثنائية  $(AH / A^-)$  على الشكل:

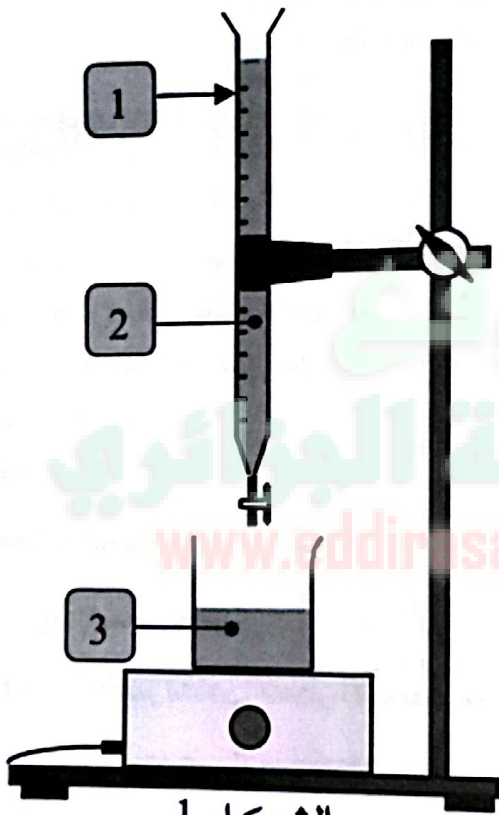
$$PKa = PH + \log \left( \frac{C_A V_A}{C_B V_B} - 1 \right)$$

ثم احسب قيمة الـ  $PKa$ .

2.2 انصب في كأس حجم  $V'_A = 20mL$  من حليب  $(S)$  ونعايره بواسطة المحلول المائي

السابق  $(S_B)$  باستعمال التركيب التجريبي المبين في الشكل-1، نحصل على التكافؤ عند

$$V_{B,E} = 10mL$$



الشكل-1.

- 1.2. أعط الأسماء الموافقة للأرقام المبينة على تركيب الشكل-1.
- 2.2 احسب التركيز الكتلي  $C_m$  لحمض اللاكتيك في الحليب (S)، ماذا تستنتج؟
- 3.2 أعطى قياس  $PH$  المحلول المحصل عليه عند التكافؤ القيمة  $PH_E = 8,0$ .
- ل عين من بين الكواشف الملونة المدونة في الجدول الكاشف الأكثر المناسب لهذه المعايير.
- به احسب النسبة  $\frac{[A^-]}{[AH]}$  في المزيج عند التكافؤ، ثم استنتج الصفة الغالبة.

منطقة التغير اللوني	الكاشف الملون
6,2 - 4,2	أحمر المثل
8,4 - 6,6	أحمر الفينول
10 - 8.2	فينول فتالين

### التمرين 16:

حمض الأسكوربيك  $C_6H_8O_6$  (أو فيتامين C) مادة طبيعية توجد في عدد كبير من المواد الغذائية ذات أصل نباتي وعلى الخصوص في المواد الطازجة والخضروات والفواكه، كما يمكن تصنيعه في مختبرات الكيمياء ليباع في الصيدليات على شكل أقراص. وهو مركب مضاد للعدوى، و منشط للجسم، و يساعد على نمو العظام و الأوتار و الأسنان..... الخ، و يعرف بالرمز E 200.

معطيات:

- الكتلة المولية الجزيئية لحمض الأسكوربيك  $M(C_6H_8O_6) = 176 g \cdot mol^{-1}$ .

- الثنائية (أساس/حمض):  $(C_6H_8O_6 / C_6H_7O_6^-)$ .

01. تحديد كسر تفاعل حمض الأسكوربيك مع الماء بقياس الـ  $PH$ :

نعتبر محلولاً لحمض الأسكوربيك  $(C_6H_8O_6)$  حجمه  $V$  وتركيزه المولي

$C_1 = 10^{-2} mol \cdot L^{-1}$ . أعطى قياس  $PH$  هذا المحلول عند الدرجة  $25^\circ C$  القيمة  $PH = 3,01$ .

1.1. أكتب معادلة تفاعل حمض الأسكوربيك مع الماء.

2.1. أنشئ جدول تقدم التفاعل.

3.1. احسب نسبة التقدم النهائي للتفاعل  $\tau_r$ ، ماذا تستنتج؟

4.1. جد قيمة كسر التفاعل  $Q_{r,eq}$  عند التوازن، ثم استنتج قيمة ثابت التوازن  $K$ .

02. تحديد كتلة حمض الأسكوربيك في قرص - فيتامين C 500 :-

نسحق قرص فيتامين C 500، و نذيبه في قليل من الماء المقطر، ثم ندخل الكتل في حوزة عيارية سعتها 200mL نضيف الماء المقطر حتى الخط العياري و نحرك فنحصل على محلول

الوحدة الرابعة.....ص 326..... تطور جملة كيميائية نحو حالة التوازن



مائي (S) تركيزه المولي  $C_A$ . فأخذ حجما  $V_A = 10,0 mL$  من المحلول (S) ونعطيها بمحلول هيدروكسيد الصوديوم ( $Na^+ + OH^-$ ) تركيزه المولي  $C_B = 1,5 \times 10^{-2} mol L^{-1}$ . بعد ذلك التكاثر بعد صب حجما قدره  $V_{BE} = 9,5 mL$ .

12. اكتب معادلة التفاعل حمض - أساس بين حمض الأسكوربيك وشوارد الهيدروكسيد  $OH^-$ .

22. جد قيمة التركيز  $C_A$ .

32. استنتج قيمة  $m$  كتلة حمض الأسكوربيك الموجودة في القرص، فسر التسمية فيتامين C 500.

التمرين 17:

يستعمل حمض البنزويك  $C_6H_5COOH$  كمادة حافظة في صناعة المواد الغذائية، وهو جسم صلب أبيض اللون.

يهدف هذا التمرين إلى دراسة تفاعل حمض البنزويك مع الماء، ومع محلول هيدروكسيد الصوديوم.

نحضر محلولاً مائياً لحمض البنزويك بإذابة كتلة  $m$  من حمض البنزويك في الماء المقطر.

للحصول على حجم  $V = 100 mL$ ، وتركيزه المولي  $C_0 = 0,1 mol L^{-1}$ .  
معطيات:

الكتلة المولية الجزيئية لحمض البنزويك:  $M(C_6H_5COOH) = 122 g mol^{-1}$ .

الجداء الشاردي للماء عند الدرجة  $25^\circ C$ :  $K_e = 10^{-14}$ .

التفاعل حمض البنزويك مع الماء:

نقيس  $PH$  حمض البنزويك عند الدرجة  $25^\circ C$  فنجدها:  $PH_1 = 2,6$ .

1.1. أحسب الكتلة  $m$ .

2.1. اكتب معادلة تفاعل حمض البنزويك مع الماء.

3.1. أنشئ جدول تقدم التفاعل، ثم احسب النسبة النهائية لتقدم التفاعل  $\tau_r$ ، ماذا تستنتج؟

4.1. جد عبارة كسر التفاعل  $Q_{r,eq}$  عند التوازن بدلالة  $C_0$  و  $PH_1$ ، ثم استنتج قيمة ثابت

الحموضة  $PKa_1$  للثنائية  $(C_6H_5COOH / C_6H_5COO^-)$ .

3.2. تفاعل حمض البنزويك مع هيدروكسيد الصوديوم:

نصب في كأس حجما  $V_0 = 20 mL$  من محلول حمض البنزويك ذي التركيز المولي

$C_0 = 0,1 mol L^{-1}$ ، ونضيف إليه تدريجياً بواسطة سحاحة مدرجة محلول هيدروكسيد

الصوديوم الذي تركيزه المولي  $C_b = 5 \times 10^{-2} mol L^{-1}$ .

عند إضافة الحجم  $V_0 = 10 \text{ mL}$  من محلول هيدروكسيد الصوديوم، يكون  $\text{PH}$  المحلول

الموجود في الكأس عند الدرجة  $25^\circ\text{C}$  هو  $\text{PH}_2 = 3,7$ .

1.2. لكتب معادلة التفاعل الذي يحدث عند مزج المحلولين.

2.2. احسب كمية مادة  $n(\text{OH}^-)_v$  التي تمت إضافتها، وكمية المادة  $n(\text{OH}^-)_r$  المتبقية

في المحلول عند نهاية التفاعل.

3.2. جد عبارة النسبة النهائية لتقدم التفاعل  $\tau_r$  بدلالة  $n(\text{OH}^-)_v$  و  $n(\text{OH}^-)_r$ ، ماذا

تستنتج؟

التمرين 18:

يعتبر الخل التجاري محلولاً مائياً لحمض الإيثانويك ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ )، و يتميز بدرجة

العموضة ( $X^\circ$ ) و التي تمثل الكتلة  $m$  بالغرام ( $g$ ) لحمض الإيثانويك الموجودة في

100g من الخل.

المعطيات:

- جميع العمليات تمت عند درجة الحرارة:  $25^\circ\text{C}$ .

- الكتلة الحجمية للخل هي:  $\rho = 1 \text{ g / mL}$ .

- الكتلة المولية لحمض الميثانويك هي:  $M(\text{CH}_3\text{COOH}) = 60 \text{ g mol}^{-1}$ .

-  $\lambda_{\text{CH}_3\text{COO}^-} = 4,09 \times 10^{-3} \text{ S m}^2 \text{ mol}^{-1}$ ;  $\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} = 3,49 \times 10^{-2} \text{ S m}^2 \text{ mol}^{-1}$ .

01. تتوفر على محلولين ( $S_1$ ) و ( $S_2$ ) لحمض الإيثانويك

- المحلول ( $S_1$ ): تركيزه الولي  $C_1 = 5 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$  و ناقلية النوعية

$\sigma_1 = 3,5 \times 10^{-2} \text{ S m}^{-1}$

- المحلول ( $S_2$ ): تركيزه الولي  $C_2 = 5 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  و ناقلية النوعية

$\sigma_2 = 1,1 \times 10^{-2} \text{ S m}^{-1}$

نعتبر أن تفاعل انحلال حمض الإيثانويك في الماء تفاعل محدود.

1.1. لكتب معادلة التفاعل المنمذجة لانحلال حمض الإيثانويك مع الماء.

2.1. أنشئ جدول تقدم التفاعل.

3.1. جد عبارة  $[H_3O^+]_{\text{eq}}$  بدلالة  $\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+}$ ,  $\lambda_{\text{CH}_3\text{COO}^-}$ ,  $\sigma$

4.1. احسب  $[H_3O^+]_{\text{eq}}$  في كل من المحلولين ( $S_1$ ) و ( $S_2$ ).

5.1. احسب نسبة التقدم النهائي  $\tau_{r1}$  و  $\tau_{r2}$  لتفاعل حمض الإيثانويك مع الماء في كل محلول

و استنتج تأثير التركيز الابتدائي للمحلول على نسبة التقدم النهائي.



1. احسب ثابت التوازن  $K$  لتفاعل حمض الإيثانويك مع الماء بالنسبة لكل من  $(S_1)$  و  $(S_2)$ . ماذا تستنتج؟

2. التحقق من درجة حموضة الخل التجاري:

نأخذ حجما  $V_0 = 1\text{mL}$  من خل تجاري درجة حموضته  $(7^\circ)$  وتركيزه المولي  $C_0$ ، ونضيف له الماء للقطر للماء لتحضير محلول مائي  $(S)$  تركيزه المولي  $C_S$  وحجمه  $V_S = 100\text{mL}$ .

نعاير حجما  $V_A = 20\text{mL}$  من المحلول  $(S)$  بمحلول مائي  $(S_B)$  لهيدروكسيد الصوديوم  $(\text{Na}^+_{(aq)} + \text{OH}^-_{(aq)})$  تركيزه المولي  $C_B = 1,5 \times 10^{-2} \text{mol.L}^{-1}$ .

نحصل على التكافؤ عند إضافة الحجم  $V_{BE} = 15,7\text{mL}$  من المحلول  $(S_B)$ .

1.2. أكتب المعادلة المنمذجة للتفاعل حمض-أساس.

2. احسب التركيز المولي  $(C_S)$ .

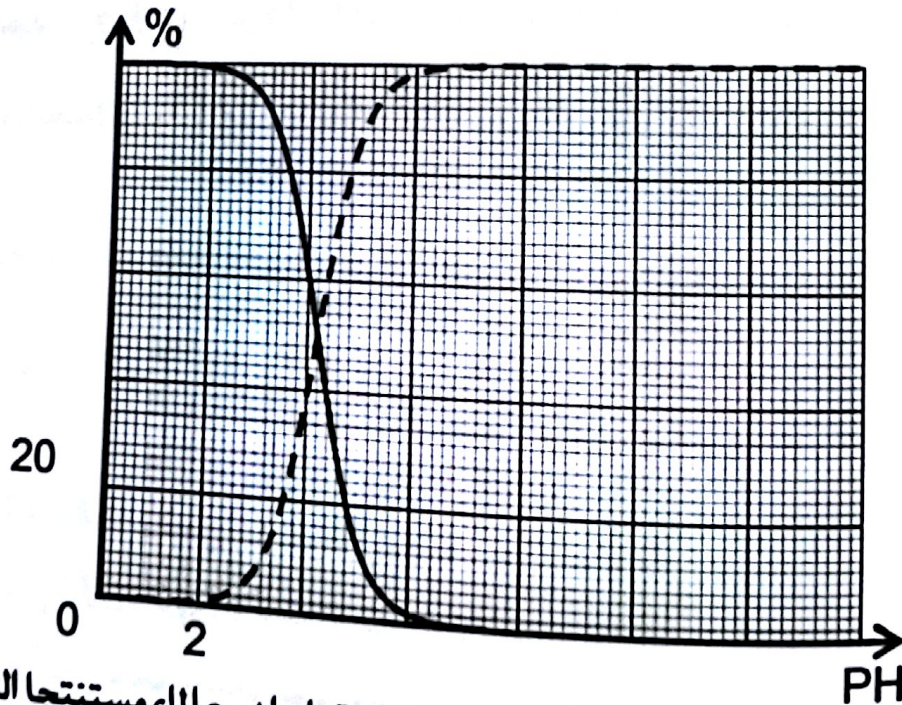
3. حدد درجة الحموضة للخل المدروس، واستنتج هل تتوافق هذه النتيجة مع القيمة المسجلة على قارورة الخل التجاري.

التمرين 19:

نعتبر محلولاً مائياً للكاشف الملون أزرق البروموتيمول تركيزه

للمولي  $c = 2,0 \times 10^{-2} \text{mol.L}^{-1}$ ، لون الصفة الحمضية  $HIn$  لهذا الكاشف أصفر، أما لون الصفة الأساسية  $In^-$  فهو أزرق.

مكنت الدراسة التجريبية من تمثيل مخطط توزيع الصفة الغالبة (الحمضية والأساسية) بدلالة  $PH$ .



1. يرمز لهذا الكاشف بالرمز  $HIn$ ، أكتب معادلة تفاعله مع الماء مستنتجا الثنائيتين (أساس/حمض) الداخلتين في هذا التفاعل.

2. حدد البيان الموافق للصفة الحمضية و البيان الموافق للصفة الأساسية.
3. حدد قيمة الـ  $PKa$  للثنائية (أساس/حمض) المكونة لهذا الكاشف.
4. ما اللون الذي يأخذه الكاشف في محلول ذي  $PH = 2$ ، ثم محلول ذي  $PH = 10$ ؟
5. حدد التركيز المولي للصفة الحمضية و الصفة الأساسية عند القيمة  $PH = 3,5$ .

التمرين 20:

الصفة العامة للأحماض الكربوكسيلية هي  $C_nH_{2n+1}COOH$  حيث  $n$  عدد طبيعي. لتحضير محلول ( $S_A$ ) لحمض كربوكسيلي، نذيب في الماء المقطر كتلة  $m = 450mg$  من هذا الحمض النقي، ونضيف إليه الماء المقطر للحصول على  $V_0 = 500mL$  من هذا المحلول. نأخذ حجما  $V_A = 10mL$  من المحلول ( $S_A$ ) ونعايره بواسطة محلول مائي ( $S_B$ ) لهيدروكسيد الصوديوم ( $Na^+ + OH^-$ ) تركيزه المولي  $C_B = 10^{-2} mol \cdot L^{-1}$ . نحصل على التكافؤ بعد إضافة الحجم  $V_B = 15mL$  من المحلول ( $S_B$ ).

المعطيات:  $PKa_1(NH_4^+/NH_3) = 9,2$ .

$M(H) = 1g \cdot mol^{-1}$ ;  $M(O) = 16g \cdot mol^{-1}$ ;  $M(C) = 12g \cdot mol^{-1}$

1. تحديد الصيغة الإجمالية للحمض الكربوكسيلي:

1.1. أكتب معادلة تفاعل المعايرة.

2.1. أحسب التركيز المولي  $C_A$  للمحلول ( $S_A$ )، ثم بين أن الصيغة الإجمالية للحمض هي  $CH_3COOH$ .

2. تحديد ثابت الحموضة  $PKa_2$  للثنائية ( $CH_3COOH / CH_3COO^-$ ):

أخذنا حجما  $V$  من المحلول ( $S_A$ ) وقسنا له الـ  $PH$  عند الدرجة  $25^\circ C$  فأعطى لنا القيمة  $PH = 3,3$ .

1.2. اعتمادا على جدول تقدم التفاعل، جد عبارة التقدم النهائي  $X_f$  لتفاعل الحمض مع الماء

$$\frac{[CH_3COOH]_f}{[CH_3COO^-]_f} = -1 + C_A \cdot 10^{PH}$$

بدلالة  $V$  و  $PH$ ، ثم بين أن:

2.2. استنتج قيمة ثابت الحموضة  $PKa_2$  للثنائية ( $CH_3COOH / CH_3COO^-$ ).

3. دراسة تفاعل الحمض  $CH_3COOH$  مع الأساس  $NH_3$ :

نأخذ من المحلول ( $S_A$ ) حجما يحتوي على كمية مادة ابتدائية قدرها

$n_i(CH_3COOH) = n_0 = 3 \times 10^{-4} mol$  ونضيف له حجما من الأمونياك يحتوي على



نفس الكمية الابتدائية  $n_0$   $n_1(NH_3) = n_0$

13. لكتب معادلة التفاعل الذي يحدث بين الحمض  $CH_3COOH$  والأساس  $NH_3$ .  
23. احسب ثابت التوازن  $K$  لهذا التفاعل.

33. بين أن نسبة التقدم النهائي لهذا التفاعل تكتب على الشكل:  $\tau = \frac{\sqrt{K}}{1 + \sqrt{K}}$



**حلول التمارين:**  
تطور جملة كيميائية نحو حالة التوازن

**حل التمرين 01**

السؤال 6	السؤال 5	السؤال 4	السؤال 3	السؤال 2	السؤال 1
ب	ب	ب	أ	ب	ج

**حل التمرين 02**

- عبارة كسر التفاعل لكل جملة كيميائية هو:

$$Q_r = \frac{[C_6H_5COO^-] \cdot [H_3O^+]}{[C_6H_5COOH]} \quad .02 \qquad Q_r = \frac{[I^-]^2 \cdot [S_4O_6^{2-}]}{[I_2] \cdot [S_2O_3^{2-}]^2} \quad .01$$

$$Q_r = \frac{1}{[Fe^{3+}] \cdot [OH^-]^3} \quad .04 \qquad Q_r = \frac{[Cu^{2+}]}{[Ag^+]^2} \quad .03$$

**حل التمرين 03**

- 1- معادلة تفاعل:  $HCOOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} = HCOO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$
- الثنائيتان (أساس / حمض):  $(HCOOH / HCOO^-)$  و  $(H_3O^+ / H_2O)$
- 2- جدول تقدم التفاعل:

الحالة	$HCOOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} = HCOO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$		
الابتدائية	$n_0 = cV$	بالزيادة	0
الانتقالية	$n_0 - x$	بالزيادة	x
النهائية	$n_0 - x_f$	بالزيادة	$x_f$

3- حساب قيمة التقدم الأعظمي  $x_{max}$ :

نحصل على  $x_{max}$  من الاختفاء التام للمتفاعل المحد  $HCOOH$  أي:  $n_0 - x_{max} = 0$   
ومنه:  $x_{max} = n_0 = cV = 5 \times 10^{-3} mol$

4- حساب قيمة التقدم النهائي  $x_f$ :

من خلال جدول تقدم التفاعل لدينا:  $n_f(H_3O^+) = x_f = [H_3O^+]_f V = 10^{-PH} V$



$$x_f = 3,16 \times 10^{-4} \text{ mol} \text{ ونسبة}$$

حساب قيمة  $\tau_f$ :

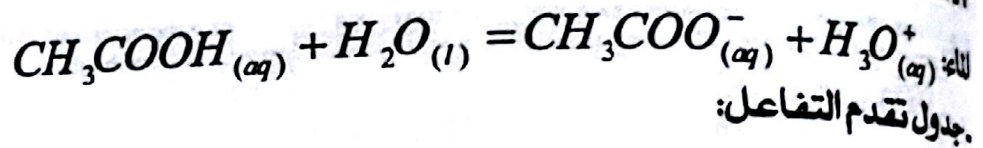
$$\tau_f = 6,3\% \text{ إذن: } \tau_f = \frac{x_f}{x_{\max}} = \frac{3,16 \times 10^{-4}}{5 \times 10^{-3}} = 0,063$$

الاستنتاج: بما أن  $\tau_f = 6,3\% < 100\%$

فإن تفاعل انحلال حمض الميثانويك في الماء تفاعل غير تام (تفاعل محدود).

### حل التمرين 04

1. معادلة تفاعل الحمض مع



الحالة	$CH_3COOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} = CH_3COO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$		
الابتدائية	$n_0 = cV$	بالزيادة	0
الانتقالية	$cV - x$	بالزيادة	x
النهائية	$cV - x_f$	بالزيادة	$x_f$

2. تراكيز الأفراد الكيميائية المتواجدة في المحلول المائي (S) عند التوازن:

من جدول تقدم التفاعل نجد:  $[CH_3COO^-]_{\text{éq}} = [H_3O^+]_{\text{éq}}$

نعلم أن:  $\sigma = \lambda_{CH_3COO^-} \cdot [CH_3COO^-]_{\text{éq}} + \lambda_{H_3O^+} \cdot [H_3O^+]_{\text{éq}}$

ومنه:  $[H_3O^+]_{\text{éq}} = [CH_3COO^-]_{\text{éq}} = \frac{\sigma}{(\lambda_{CH_3COO^-} + \lambda_{H_3O^+})}$

إذن:  $[H_3O^+]_{\text{éq}} = [CH_3COO^-]_{\text{éq}} = \frac{0,343 \times 10^2 \text{ mS} \cdot \text{m}^{-1}}{(35 + 4,1) \text{ mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}} = 0,877 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3}$

وعليه:  $[H_3O^+]_{\text{éq}} = [CH_3COO^-]_{\text{éq}} = 8,77 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

من خلال جدول التقدم:  $n_{\text{éq}}(CH_3COOH) = n_0 - x_f$

ومنه:  $[CH_3COOH]_{\text{éq}} = c - [CH_3COO^-]_{\text{éq}}$  وبالقسمة على الحجم V

إذن:  $[CH_3COOH]_{\text{éq}} = 4,9 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

3. قيمة  $Q_{r,eq}$  عند التوازن:

$$Q_{r,eq} = 1,6 \times 10^{-5} \text{ ومنه: } Q_{r,eq} = \frac{[CH_3COO^-]_{\text{eq}} \cdot [H_3O^+]_{\text{eq}}}{[CH_3COOH]_{\text{eq}}}$$

4. قيمة كسر التفاعل  $Q'_{r,eq}$  عند حالة التوازن: بالاعتماد على نفس الطريقة السابقة نجد:

$$[H_3O^+]_{\text{eq}} = [CH_3COO^-]_{\text{eq}} = 2,7 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$$

$$[CH_3COOH]_{\text{eq}} = 4,7 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \text{ و}$$

$$Q'_{r,eq} = 1,6 \times 10^{-5} \text{ وعليه:}$$

$$Q_{r,eq} = Q'_{r,eq} = 1,6 \times 10^{-5} \text{ 5. نلاحظ أن:}$$

وعليه نستنتج أن كسر التفاعل لا يتعلق بالتركيز الابتدائية للجملّة الكيميائية.

### حل التمرين 05

1. معادلة انحلال حمض  $AH$  في الماء:  $AH + H_2O = A^- + H_3O^+$

جدول تقدم هذا التفاعل:

الحالة	$AH + H_2O = A^- + H_3O^+$		
الابتدائية	$n_0$	بالزيادة	0
الانتقالية	$n_0 - x$	بالزيادة	$x$
النهائية	$n_0 - x_f$	بالزيادة	$x_f$

$$\tau_f = \frac{10^{-PH}}{C} \text{ بد إثبات العبارة التالي}$$

$$x_f = [H_3O^+]V \text{ و } x_{\text{max}} = n_0 = CV \text{ ومن خلال جدول التقدم لدينا: } \tau_f = \frac{x_f}{x_{\text{max}}}$$

$$\text{إذن: } \tau_f = \frac{[H_3O^+]_f}{C} = \frac{10^{-PH}}{C}$$

$$2. \text{ تبين أن } C' = \frac{C}{5}$$

$$C' = \frac{C}{5} \text{ إذن: } C' = \frac{CV_1}{5V_1} \text{ ونعلم أن: } V = 4V_1 \text{ وعليه: } C' = \frac{n_0}{V_1 + V} = \frac{CV_1}{V_1 + V}$$



$$\tau'_{f1} = \frac{10^{-PH'}}{C'} \quad \text{ومنه:} \quad \tau_{f1} = \frac{10^{-PH}}{C} \quad \text{به لدينا:}$$

$$\tau'_{f1} = \frac{10^{-(PH+\log 5)}}{C'} = \frac{5 \times 10^{-(PH+\log 5)}}{C} \quad \text{ومنه:}$$

$$\tau'_{f1} = \frac{5 \times 10^{-(PH+\log 5)}}{C} = \frac{5 \times 10^{-PH} \cdot 10^{-\log 5}}{C} = \frac{5 \times 10^{-PH}}{10^{\log 5} \cdot C} = \frac{5 \times 10^{-PH}}{5 \times C} \quad \text{وعليه:}$$

$$\tau'_{f1} = \tau_{f1} \quad \text{فلاحظ أن:} \quad \tau'_{f1} = \frac{10^{-PH}}{C} = \tau_{f1}$$

جد بما أن قيمة نسبة تقدم التفاعل النهائية  $\tau_r$  لم تتغير بفعل التمديد فإن الحمض قوي.  
د التأكد من أن  $C = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$

بما أن الحمض  $A_1H$  حمض قوي فإن  $PH = -\log C$

$$C = 10^{-PH} = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1} \quad \text{ومنه:}$$

3. حساب نسبة تقدم التفاعل النهائي  $\tau_r$  لتفاعل انحلال حمض الإيثانويك في الماء:

$$\tau_r = \frac{10^{-PH}}{C} = \frac{10^{-3,4}}{10^{-2}} = 0,0398 = 3,98\%$$

بما أن  $1 > 0,0398 = \tau_r$  فإن حمض الإيثانويك حمض ضعيف. وتفاعل انحلاله في الماء تفاعل غير تام.

$$PH = PKa + \log \frac{[CHCOO^-]_f}{[CHCOOH]_f} \quad \text{بد التأكد من صحة العلاقة}$$

$$Ka = \frac{[H_3O^+]_f \cdot [CHCOO^-]_f}{[CHCOOH]_f} \quad \text{نعلم أن عبارة الـ } Ka$$

$$-\log Ka = -\log \left( \frac{[H_3O^+]_f \cdot [CHCOO^-]_f}{[CHCOOH]_f} \right) \quad \text{ومنه:}$$

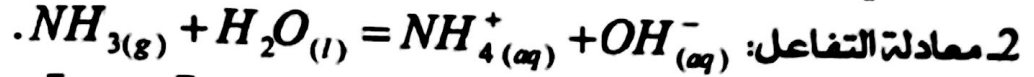
$$-\log Ka = -\log [H_3O^+]_f - \log \frac{[CHCOO^-]_f}{[CHCOOH]_f}$$

$$PKa = PH - \log \frac{[CHCOO^-]_f}{[CHCOOH]_f} \quad \text{وعليه:}$$

$$PH = PKa + \log \frac{[CHCOO^-]_f}{[CHCOOH]_f} \text{ إذن:}$$

### حل التمرين 06

1. الأساس هو كل فرد كيميائي له القدرة على اكتساب بروتونا أو أكثر خلال تعول كيميائي.



$$1.3. \text{ عبارة الناقلية النوعية } \sigma_f: \sigma_f = \lambda_{NH_4^+} [NH_4^+]_f + \lambda_{OH^-} [OH^-]_f$$

2.3 التراكيز المولية النهائية للأفراد الكيميائية المتواجدة في المحلول:  
- جدول تقدم التفاعل:

الحالة	$NH_{3(g)} + H_2O_{(l)} = NH_{4(aq)}^+ + OH_{(aq)}^-$			
الإبتدائية	$n_0 = c_b V_b$	بالزيادة	0	0
الانتقالية	$n_0 - x$	بالزيادة	$x$	$x$
التكافؤ	$n_0 - x_f$	بالزيادة	$x_f$	$x_f$

- الأفراد الكيميائية المتواجدة في المحلول هي:  $[NH_3]_f, [NH_4^+]_f, [OH^-]_f$

من خلال جدول تقدم التفاعل نجد:  $n_f(NH_4^+) = n_f(OH^-)$

$$\text{ومنه: } [NH_4^+]_f = [OH^-]_f = \frac{\sigma_f}{(\lambda_{NH_4^+} + \lambda_{OH^-})} = 0,41 \times 10^{-3} \text{ mol } L^{-1}$$

وكذلك من خلا جدول التقدم نجد:  $n_f(NH_3) = n_0 - x_f$  وبالقسمة على الحجم  $V$

$$\text{نجد: } [NH_3]_f = C_b - [NH_4^+]_f = 9,59 \times 10^{-3} \text{ mol } L^{-1}$$

$$3.3. \text{ عبارة ثابت التوازن } K: K = \frac{[NH_4^+]_f [OH^-]_f}{[NH_3]_f}$$

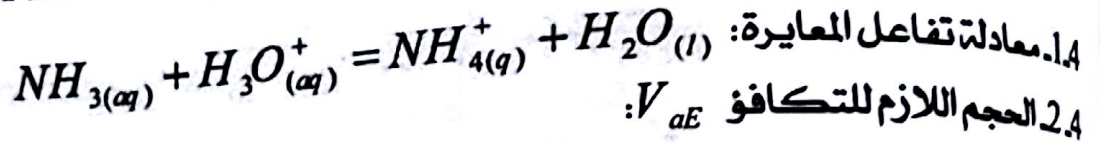
4.3 العلاقة بين  $Ka$  و  $K$ :

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



$$K = \frac{[NH_4^+]_f \cdot [OH^-]_f \cdot [H_3O^+]_f}{[NH_3]_f \cdot [H_3O^+]_f} = \frac{[NH_4^+]_f \cdot K_e}{[NH_3]_f \cdot [H_3O^+]_f} = \frac{K_e}{K_a} \text{ ومنه}$$

$$PKa = -\log Ka = 9,2 \text{ ونستنتج: } Ka = \frac{K_e}{K} = 5,7 \times 10^{-10} \text{ ن.ع}$$



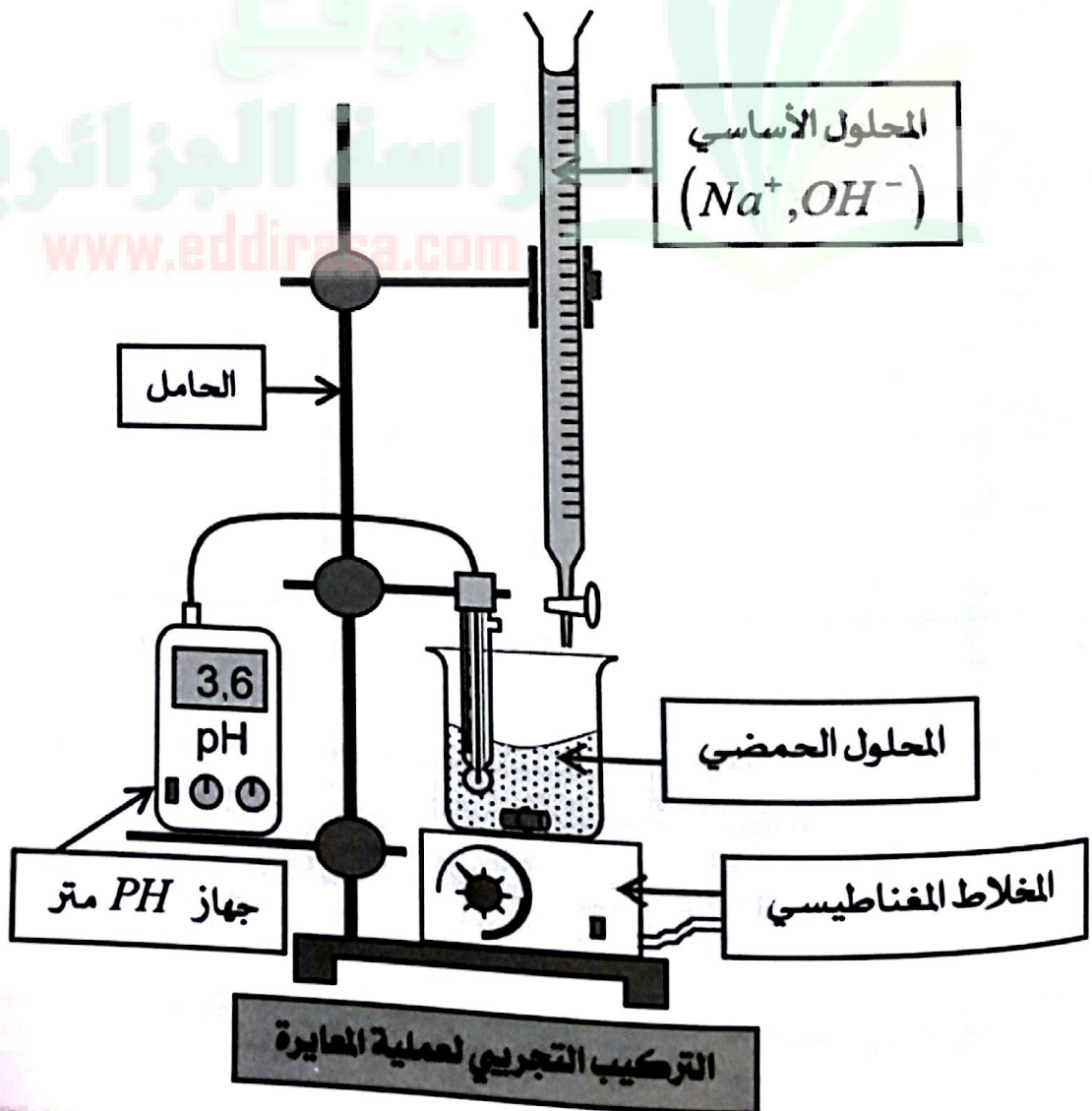
عند نقطة التكافؤ يتحقق لنا مزيج ستوكيومترى:  $n_b = n_{aE}$

$$V_{aE} = \frac{C_b V_b}{C_a} = 10ml \text{ إذن: } C_b V_b = C_a V_{aE} \text{ ومنه:}$$

$$V_a = \frac{V_{aE}}{2} = 5ml \text{ 3.04 توافق نقطة نصف التكافؤ وعليه: } PH = PKa = 9,2$$

### حل التمرين 07

1. لرسم توضيحي للتجهيز المستعمل في هذه المعايرة:



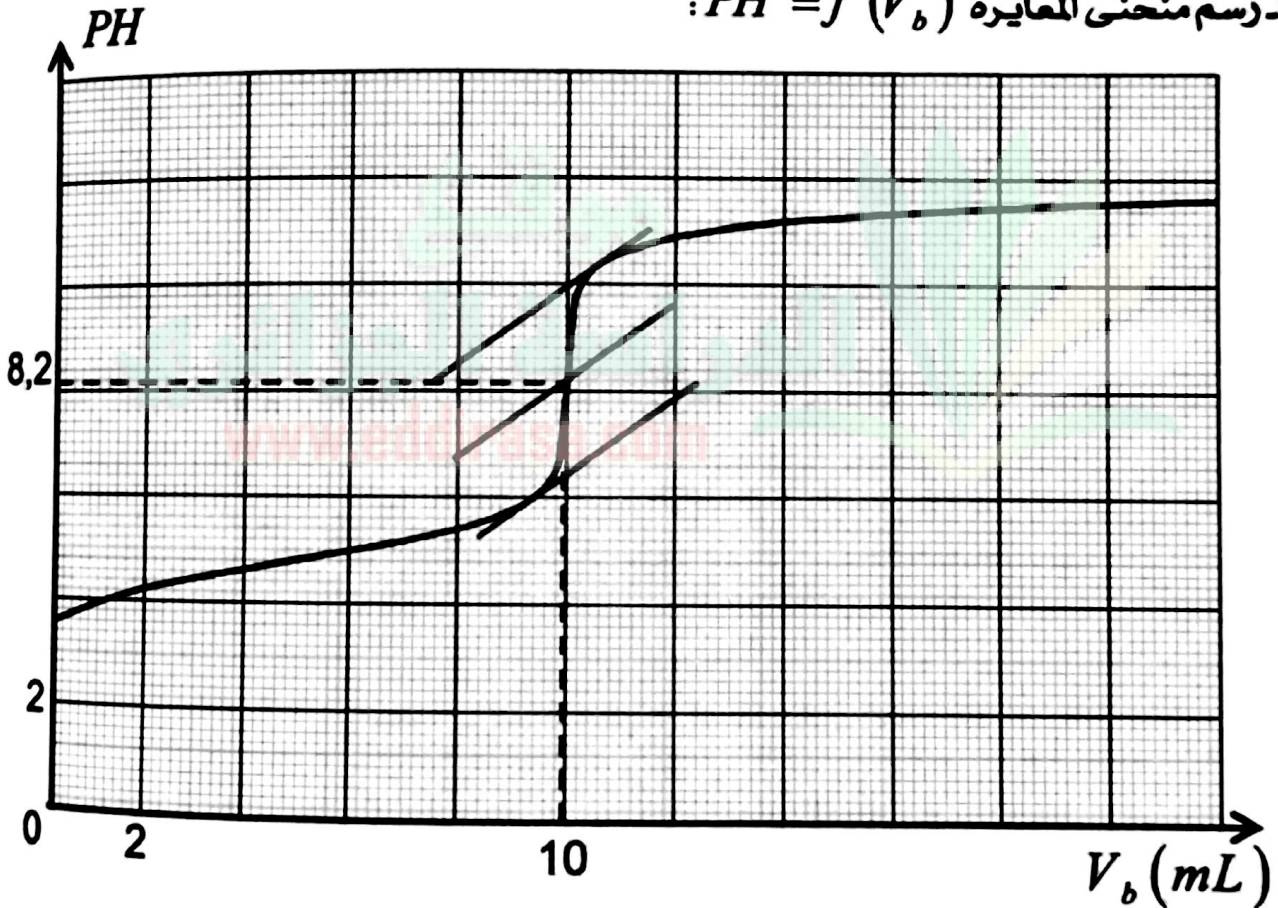
بد معادلة تفاعل المعايرة:  $RCOOH_{(aq)} + OH_{(aq)}^- = RCOO_{(aq)}^- + H_2O_{(l)}$   
 جـ جدول تقدم التفاعل:

الحالة	$RCOOH_{(aq)} + OH_{(aq)}^- = RCOO_{(aq)}^- + H_2O_{(l)}$			
الابتدائية	$C_a V_a$	$C_b V_{b,E}$	0	بالزيادة
الانتقالية	$C_a V_a - x$	$C_b V_{b,E} - x$	$x$	بالزيادة
التكافؤ	$C_a V_a - x_E$	$C_b V_{b,E} - x_E$	$x_E$	بالزيادة

دـ تعريف التكافؤ في المعايرة:

- التكافؤ هي النقطة التي توافقت الاستهلاك التام للمتفاعلين في آن واحد، ويتحقق لنا مزيج ستوكيومتري.

2. أرسم منحنى المعايرة  $PH = f(V_b)$ :



بد استنتاج بيانيا إحداثيتي نقطة التكافؤ:

بالاعتماد على طريقة المماسين المتوازيين نجد إحداثيتي نقطة التكافؤ:

$$E (PH_E = 8,2; V_{bE} = 10mL)$$

جـ استنتاج قيمة تركيز الحمض المعيار  $C_a$ :

عند نقطة التكافؤ يتحقق لنا مزيج ستوكيومتري أي  $n_a = n_b$  ومنه:  $C_a V_a = C_b V_{b,E}$



$$C_a = \frac{C_b V_{b.E}}{V_a} = 5 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \text{ إذن}$$

نبين أنه حمض ضعيف:

عند النقطة  $V_b = 0 \text{ mL}$  (قبل بداية عملية المعايرة) يكون  $\text{PH} = 3,6$  ومنه:

$$[H_3O^+] = 10^{-\text{PH}} = 10^{-3,6} = 0,25 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$$

نلاحظ أن:  $[H_3O^+] < C_a$  إذن فهو حمض ضعيف.

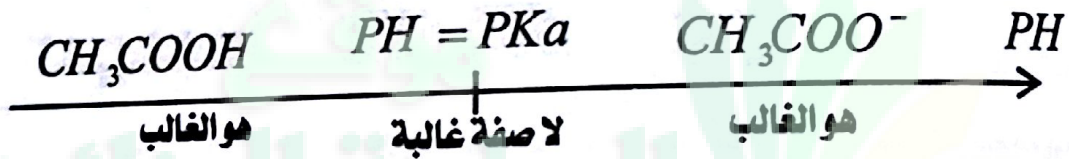
3 استنتاج الصيغة الحقيقية للحمض المعيار:

من المنحنى  $\text{PH} = f(V_b)$ :

عند نقطة نصف التكافؤ  $V_b = \frac{V_{b.E}}{2} = 5 \text{ mL}$  يكون:  $\text{PKa} = \text{PH} = 4,8$

وبالاعتماد على الجدول المعطى نجد الصيغة الحقيقية للحمض وهي:  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .

4. لرسم سلما لقيم الـ  $\text{PH}$ :

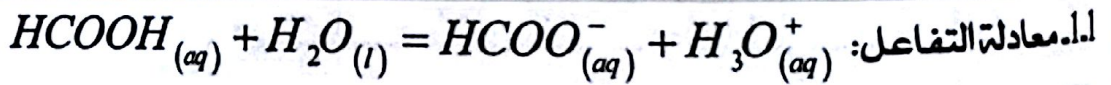


باستنتاج الفرد الكيميائي الغالب في المزيج السابق عند حدوث التكافؤ:

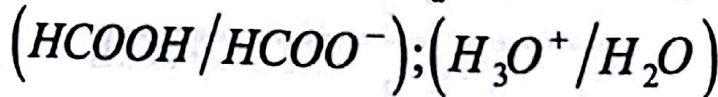
عند حدوث التكافؤ  $\text{PKa} > \text{PH}_E = 8,2$  ومنه الصفة الغالبة هي الصفة

الأساسية  $\text{CH}_3\text{COO}^-$

### حل التمرين 08



الشائتين (أساس / حمض) المشاركتين في التفاعل هما:



2. جدول تقدم التفاعل:

الحالة	$\text{HCOOH}_{(aq)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} = \text{HCOO}^-_{(aq)} + \text{H}_3\text{O}^+_{(aq)}$			
الإبتدائية	$n_0$	بالزيادة	0	0
الانتقالية	$n_0 - x$	بالزيادة	$x$	$x$
النهائية	$n_0 - x_f$	بالزيادة	$x_f$	$x_f$

$$\tau_f = \frac{1}{1 + 10^{PKa-PH}} \text{ : إثبات العبارة: 3.1}$$

نعلم ان:  $\tau_f = \frac{x_f}{x_{max}}$  ومن جدول التقدم لدينا:  $x_f = [H_3O^+]_f V$  و  $x_{max} = C_a V$

$$PH = PKa + \log \frac{[HCOO^-]_f}{[HCOOH]_f} \text{ : ونعلم ان: } \tau_f = \frac{[H_3O^+]_f}{C_a} \text{ : وعليه:}$$

$$\log \frac{[HCOO^-]_f}{[HCOOH]_f} = PH - PKa \text{ : ومنه:}$$

$$\frac{[HCOO^-]_f}{[HCOOH]_f} = 10^{PH-PKa} \text{ ..... (1) إذن:}$$

ومن جدول التقدم نجد:  $[HCOO^-]_f = [H_3O^+]_f$

$$\text{و } [HCOOH]_f = C_a - [H_3O^+]_f$$

$$\frac{C_a - [H_3O^+]_f}{[H_3O^+]_f} = 10^{PH-PKa} \text{ : (1) وبالتعويض في العلاقة}$$

$$\frac{C_a}{[H_3O^+]_f} = 1 + 10^{PH-PKa} \text{ : ومنه: } \frac{C_a}{[H_3O^+]_f} - 1 = 10^{PH-PKa}$$

$$\tau_f = \frac{1}{1 + 10^{PKa-PH}} \text{ : إذن: } \frac{1}{\tau} = \frac{C_a}{[H_3O^+]_f} = 1 + 10^{PH-PKa} \text{ : ومنه:}$$

$$\tau_f = 0,111 = 11,1\% \text{ : ومنه:}$$

4.1 استنتاج تركيز المحلول ( $S_a$ ):

$$C_a = \frac{[H_3O^+]_f}{\tau_f} = \frac{10^{-PH}}{\tau_f} = \frac{10^{-2,9}}{0,111} = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1} \text{ : ومنه: } \tau_f = \frac{[H_3O^+]_f}{C_a}$$

1.2 معادلة تفاعل المعايرة:  $HCOOH_{(aq)} + OH^-_{(aq)} = HCOO^-_{(aq)} + H_2O_{(l)}$

2.2 إحداثيتي نقطة التكافؤ  $E$ :

بالاعتماد على طريقة الماسين المتوازيين نجد:  $(V_{b.E} = 10 \text{ mL}, PH_E = 8)$



32 استنتاج التركيز  $C_a$  للمحلول ( $S_a$ ):

عند نقطة التكافؤ يتحقق لنا مزيج ستوكيومترى أي  $n_a = n_{b.E}$

$$C_a V_a = C_b V_{b.E} \quad \text{إذن} \quad C_a = \frac{C_b V_{b.E}}{V_a} = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$$

42. حساب  $n_r(OH^-)$  المتبقية في المزيج:

$$Ke = [H_3O^+].[OH^-] \quad \text{و} \quad PH = PKa = 3,8 \quad \text{ومنه} \quad V_b = 5 \text{ mL} = \frac{V_{b.E}}{2}$$

$$[OH^-]_r = \frac{Ke}{[H_3O^+]} = \frac{10^{-14}}{10^{-PH}} = 10^{PH-14} = 6,3 \times 10^{-11} \text{ mol.L}^{-1} \quad \text{وعليه:}$$

$$n_r(OH^-) = [OH^-]_r \cdot \left( V_a + \frac{V_{b.E}}{2} \right) = 9,46 \times 10^{-13} \text{ mol} \quad \text{إذن:}$$

$$\tau_f = \frac{x_f}{x_{\max}} \quad \text{نعلم أن} \quad \tau_f \quad \text{حساب نسبة التقدم النهائي}$$

نحصل على  $x_{\max}$  من الاختفاء التام للمتفاعل المحد. بعد إضافة الحجم  $V_b = 5 \text{ mL}$  (قبل

البلوغ إلى نقطة التكافؤ) المتفاعل المحد هو شوارد  $(OH^-)$  المضافة.

$$x_{\max} = n_v(OH^-) = C_b V_b = 10^{-2} \times 5 \times 10^{-3} = 5 \times 10^{-5} \text{ mol} \quad \text{إذن:}$$

حساب  $x_f$ :

الحالة	$HCOOH_{(aq)} + OH^-_{(aq)} = HCOO^-_{(aq)} + H_2O_{(l)}$			
الابتدائية	$n_a$	$n_b$	0	بالزيادة
الانتقالية	$n_a - x$	$n_b - x$	$x$	بالزيادة
النهائية	$n_a - x_E$	$n_b - x$	$x_E$	بالزيادة

$$n_r(OH^-) = n_b - x_E = n_b - x_f \quad \text{من جدول تقدم تفاعل المعايرة نجد:}$$

$$x_f = C_b V_b - n_r(OH^-) \quad \text{ومنه:}$$

$$\tau_f \approx \frac{C_b V_b}{C_b V_b} = 1 \quad \text{ت ع:} \quad \tau_f = \frac{x_f}{x_{\max}} = \frac{C_b V_b - n_r(OH^-)}{C_b V_b} \quad \text{وعليه:}$$

نستنتج أن تفاعل المعايرة تفاعل تام وسريع.

1- الحمض القوي: هو الحمض الذي يتفكك كلياً في الماء، ويحقق  $PH = -\log C$ .  
ومنه:  $PH = -\log(2,5 \times 10^{-2}) = 1,6$  وهذه القيمة توافق  $PH(S_2)$ . إذن المحلول

الحمضي ( $S_2$ ) حمض قوي، و ( $S_1$ ), ( $S_3$ ) حمضين ضعيفين.

2- معادلة انحلال الحمض  $A_1H$  في الماء:  $A_1H_{(aq)} + H_2O_{(l)} = A_{(aq)}^- + H_3O_{(aq)}^+$

- جدول تقدم التفاعل:

الحالة	$A_1H_{(aq)} + H_2O_{(l)} = A_{(aq)}^- + H_3O_{(aq)}^+$			
الابتدائية	$n_0$	بالزيادة	0	0
الانتقالية	$n_0 - x$	بالزيادة	$x$	$x$
النهائية	$n_0 - x_f$	بالزيادة	$x_f$	$x_f$

ب حساب النسبة النهائية لتقدم هذا التفاعل  $\tau_{f1}$ :

$$\tau_{f1} = \frac{x_f}{x_{\max}}$$

ومن جدول تقدم التفاعل:  $n_f(H_3O^+) = x_f = [H_3O^+]_f V = 10^{-PH} V$

- نحصل على  $x_{\max} = CV$  من الاختفاء التام للمتفاعل المحد، أي:

$$\tau_{f1} = \frac{x_f}{x_{\max}} = \frac{10^{-PH}}{C} = 2,5 \times 10^{-2} = 2,5\%$$

$$Ka_1 = C \frac{\tau_{f1}^2}{(1 - \tau_{f1})}$$

$$n_f(A_1^-) = n_f(H_3O^+) \text{ ومن جدول التقدم لدينا: } Ka_1 = \frac{[H_3O^+]_f [A_1^-]_f}{[A_1H]_f}$$

$$[A_1H]_f = C - [H_3O^+]_f \text{ وكذلك: } [A_1^-]_f = [H_3O^+]_f \text{ وعليه:}$$

$$\tau_f = \frac{[H_3O^+]_f}{C} \text{ وكذلك: } Ka_1 = \frac{[H_3O^+]_f^2}{C - [H_3O^+]_f} \text{ إذن:}$$

$$Ka_1 = C \frac{\tau_{f1}^2}{(1 - \tau_{f1})} \text{ إذن: } Ka_1 = \frac{C^2 \cdot \tau_{f1}^2}{C - C \cdot \tau_{f1}} = \frac{C^2 \cdot \tau_{f1}^2}{C(1 - \tau_{f1})} \text{ ومنه:}$$



$$K_{a1} = 1,6 \times 10^{-5} : \text{حساب قيمة } K_{a1}$$

3. حساب قيمة ثابت الحموضة  $K_{a3}$  للثنائية  $(A_3H/A_3^-)$ :

إضافة الأساس للحمض هي عملية معايرة ومنه عند نقطة التكافؤ:  $C V_A = C_B V_{B.E}$   
وبما أن  $C = C_B$  فإن:  $V_{B.E} = V_A = 20 \text{ mL}$

ونلاحظ أن  $V_B = 10 \text{ mL} = \frac{V_{B.E}}{2}$  وهي تمثل نقطة نصف التكافؤ والتي يكون

$$\text{عندها: } PH_3 = PK_{a3} = 4,2 \text{ ومنه: } K_{a3} = 10^{-PK_{a3}} = 6,3 \times 10^{-5}$$

بدنلاحظ أن:  $K_{a3} > K_{a1}$  ومنه الحمض  $A_3H$  أقوى من الحمض  $A_1H$

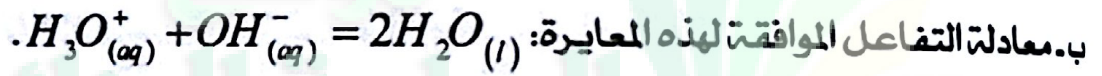
### حل التمرين 10

1. تبين أن المنحنى (2) يوافق معايرة محلول حمض كلور الهيدروجين:

من المنحنى (2) نلاحظ أن  $PH_E = 7$  وهذا يوافق معايرة حمض قوي بأساس قوي. وكذلك

المنحنى (2) يحتوي على نقطة انعطاف واحدة وهذا يوافق معايرة حمض قوي بأساس قوي

وعليه المنحنى (2) يوافق معايرة حمض كلور الهيدروجين بمحلول هيدروكسيد الصوديوم.



ج. إيجاد قيمة التركيز  $C_A$ :

عند نقطة التكافؤ يتحقق لنا مزيج ستوكيومتري  $n(H_3O^+) = n(OH^-)$

$$\text{وعليه: } C_A V_A = C_B V_{BE} \text{ ومنه: } C_A = \frac{C_B V_{BE}}{V_A} = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$$

2. تبين أن حمض الإيثانويك حمض ضعيف:

الطريقة 01: من المنحنى (1) قبل بداية عملية المعايرة ( $V_B = 0 \text{ mL}$ )

نلاحظ أن:  $PH = 3,4$ .

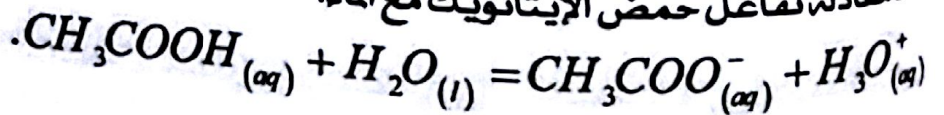
$$\text{ومنه: } [H_3O^+]_{\text{éq}} = 10^{-PH} = 10^{-3,4} = 4 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1} \text{ وبما أن: } C_A < [H_3O^+]_{\text{éq}}$$

فهو حمض ضعيف.

الطريقة 02: بما أن  $PH_E > 7$  عند نقطة التكافؤ، فهذا يعني أن هذه المعايرة هي معايرة

حمض ضعيف بأساس قوي وعليه فحمض الإيثانويك حمض ضعيف.

3. معادلة تفاعل حمض الإيثانويك مع الماء:



به جدول تقدم التفاعل:

الحالة	$CH_3COOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} = CH_3COO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$			
الابتدائية	$C_A V_A$	بالزيادة	0	0
الانتقالية	$C_A V_A - x$	بالزيادة	$x$	$x$
النهائية	$C_A V_A - x_f$	بالزيادة	$x_f$	$x_f$

ج- عبارة ثابت العموضة  $Ka$ :

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

وبالاعتماد على جدول تقدم التفاعل نجد أن:  $[CH_3COO^-]_{\acute{e}q} = [H_3O^+]_{\acute{e}q}$

وكذلك:  $[CH_3COOH]_{\acute{e}q} = C_A - [H_3O^+]_{\acute{e}q}$

$$Ka = 1,58 \times 10^{-5} \quad \text{ت ع:} \quad Ka = \frac{[H_3O^+]_{\acute{e}q}^2}{C_A - [H_3O^+]_{\acute{e}q}}$$

- حساب قيمة الـ  $PKa$ :

$$PKa = 4,8 \quad \text{ومنه:} \quad PKa = -\log Ka$$

د- إيجاد قيمة الـ  $PKa$  للثنائية  $(CH_3COOH / CH_3COO^-)$  بيانياً:

من المنحنى البياني (2) إحداثيتي نقطة التكافؤ هي:  $E (PH_E = 8,2; V_{BE} = 10mL)$

- عند نقطة نصف التكافؤ والتي توافق  $V_B = \frac{V_{BE}}{2} = 5mL$

يكون:  $PKa = PH = 4,8$

## حل التمرين 11

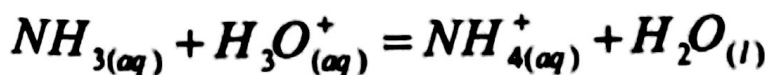
01- باستغلال المنحنى  $PH = f(V_A)$ :

نلاحظ أنه عند النقطة  $V_A = 0mL$  قيمة  $PH$  المحلول المائي  $(S_B)$  أكبر من 7

$(PH > 7)$  فهو محلول أساسي، وبما أن المنحنى  $PH = f(V_A)$  يحتوي على نقطتي انعطاف

نالمحلول المائي عبارة أساس ضعيف

02- معادلة تفاعل المعايرة:





بد تعريف التكافؤ حمض أساس:  
التكافؤ حمض أساس هي النقطة التي توافق الاستهلاك التام للمتفاعلين في أن واحد، حيث يتحقق لنا مزيج ستوكيومترى.

استنتاج التركيز  $C_B$ : عند نقطة التكافؤ  $n_B = n_{AE}$  ومنه:  $C_B V_B = C_A V_{AE}$

$$C_B = \frac{C_A V_{AE}}{V_B} = \frac{0,01 \times 10 \times 10^{-3}}{10 \times 10^{-3}} = 0,01 \text{ mol } L^{-1}$$

وعليه:

$$C_B = 0,01 \text{ mol } L^{-1}$$

إذن: ج تحديد طبيعة المزيج عند نقطة التكافؤ:

نقطة التكافؤ توافق اختفاء المتفاعلين  $NH_3(aq)$  و  $H_3O^+(aq)$ ، ويبقى في الوسط

التفاعلي  $NH_4^+(aq)$  إن فالمزيج ذو طبيعة حمضية عند نقطة التكافؤ.

د استنتاج بيانيا قيمة الـ  $PKa$ :

عند نقطة نصف التكافؤ والتي توافق  $V_A = 5 \text{ mL}$ ، يكون:  $PKa = PH = 9,2$ .

3

العبارة 01: صحيحة، لأن كمية مادة الأساس لا تتغير بالتمديد.

العبارة 02: خاطئة، لأن المحلول الحمضي المحصل عليه عند نقطة التكافؤ يكون ممد وعليه قيمة الـ  $PH$  تزداد.

العبارة 03: خاطئة، لأن عند نقطة نصف التكافؤ  $PH = PKa$ ، والـ  $PKa$  مميز للثنائية (أساس/حمض) ولا يتعلق إلا بدرجة الحرارة فقط.

### حل التمرين 12

المعادلة تفاعل الأساس  $B_1$  مع الماء:  $B_1 + H_2O = B_1H^+ + OH^-$   
جدول تقدم التفاعل:

الحالة	$B_1 + H_2O = B_1H^+ + OH^-$			
الابتدائية	$n_1 = C_1 V$	بالزيادة	0	0
الانتقالية	$n_1 - x$	بالزيادة	$x$	$x$
النهائية	$n_1 - x_f$	بالزيادة	$x_f$	$x_f$

بد حساب قيمة تقدم التفاعل النهائي  $\tau_f$ :

$$\tau_f = \frac{x_f}{x_{\max}}$$

إيجاد عبارة  $x_{\max}$ : نحصل على  $x_{\max}$  من خلال الاختفاء التام للمتفاعل المحد

$$n_1 - x_{\max} = 0 \text{ أي } x_{\max} = n_1 = C_1 V$$

تطور جملة كيميائية نحو حالة التوازن

إيجاد عبارة  $x_f$ : من خلال جدول تقدم التفاعل لدينا:  $x_f = n_f (OH^-) = [OH^-]_f V$

ونعلم أن:  $Ke = [H_3O^+]_f \cdot [OH^-]_f$

$$[OH^-]_f = \frac{Ke}{[H_3O^+]_f} = \frac{Ke}{10^{-PH}} = \frac{10^{-14}}{10^{-PH}} = 10^{PH-14} \text{ ومنه:}$$

$$x_f = 10^{PH-14} V \text{ إذن:}$$

$$\tau_f = \frac{10^{11,1-14}}{10^{-1}} = 1,26 \times 10^{-2} = 1,26\% \text{ ومنه: } \tau_f = \frac{10^{PH-14} V}{C_1 V} = \frac{10^{PH-14}}{C_1}$$

جـ- بما أن  $\tau_f = 1,26 \times 10^{-2} < 1$  فإن تفاعل الأساس  $B_1$  مع الماء تفاعل غير تام وعليه فهو أساس ضعيف

2

أ- إرفاق كل منحنى بالأساس الموافق له:

- من المنحني 2: نلاحظ أن  $PH_i = 11,1$  ( $V_A = 0 mL$  قبل بداية عملية المعايرة) وهو  $PH$  المحلول ( $S_1$ )، إذن المنحني (2) يوافق معايرة الأساس  $B_1$ . وعليه المنحني (1) يوافق معايرة الأساس  $B_2$ .

بد المدلول العلمي للنقاط  $E_1, E_2, I_1, I_2$ :

$E_1$ : نقطة تكافؤ معايرة الأساس  $B_1$ ، و  $I_1$  نقطة نصف التكافؤ.

$E_2$ : نقطة تكافؤ معايرة الأساس  $B_2$ ، و  $I_2$  نقطة نصف التكافؤ.

جـ إثبات أن  $C_2 = C_1$ :

عند نقطة التكافؤ يتحقق لنا مزيج ستوكيومتري أي:  $n_B = n_{AE}$

$$\text{ومنه: } C_B V_B = C_A V_{AE}$$

$$\text{- بالنسبة للأساس } B_1: C_1 = \frac{C_A V_{AE}}{V_B} \text{ وبالنسبة للأساس } B_2: C_2 = \frac{C_A V'_{AE}}{V'_B}$$

وبما أن:  $V_B = V'_B = 10 mL$  ومن الشكل 1:  $V_{AE} = V'_{AE} = 10 mL$

نلاحظ أن:  $V_B = V'_B = V_{AE} = V'_{AE} = 10 mL$

وعليه نجد:  $C_1 = C_A$  و  $C_2 = C_A$  إذن:  $C_2 = C_1$

3- دراسة معايرة الأساس  $B_1$ :

أ- معادلة تفاعل معايرة الأساس  $B_1$ :  $B_1 + H_3O^+ = B_1H^+ + H_2O$

- التأكد من أن تفاعل المعايرة تفاعل تام: يكون التفاعل تاما إذا كان ثابت التوازن  $K > 10^4$



$$K = \frac{[B_1H^+]_{\text{éq}}}{[H_3O^+]_{\text{éq}} \cdot [B_1]_{\text{éq}}} = \frac{1}{Ka_1} = \frac{1}{10^{-PKa_1}} = 10^{PKa_1} \text{ لدينا}$$

ومن منحني المعايرة (2) نجد أن  $PKa_1 = 9,2$  وعليه:  $K = 10^{PKa_1} = 10^{9,2} > 10^4$

إذن تفاعل المعايرة تفاعل تام.

به طبيعة المزيج المتحصل عليه عند نقطة التكافؤ:

من منحني المعايرة (2) نقرأ القيمة  $PH_{E_2} = 5,2$  أي:  $PH_{E_2} < 7$  فالوسط المتحصل عليه

وسط حامضي.

ج- المقارنة بين قوة الأساسين  $B_2$  و  $B_1$ :

الطريقة الأولى: عند نقطة نصف التكافؤ  $PH = PKa$ ، والمحلل الأساسي الذي له  $PKa$

أكبر هو الأساس القوي.

من الشكل-1 نلاحظ أن:  $PKa_2 > PKa_1$  وعليه الأساس  $B_2$  أقوى من الأساس  $B_1$ .

الطريقة الثانية: إذا كان لمحلولين نفس التركيز الابتدائي فإن الأساس الأقوى هو الذي له  $PH$

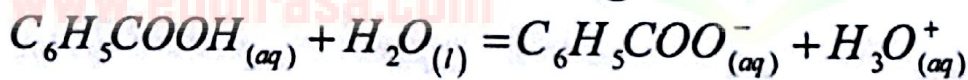
أكبر.

بالاعتماد على الشكل-1 نلاحظ أن  $PH_2 > PH_1$  (قبل بداية عملية المعايرة)  $V_A = 0mL$

وعليه الأساس  $B_2$  أقوى من الأساس  $B_1$ .

### حل التمرين 13

1.1. معادلة تفاعل حمض البنزويك مع الماء:



2.1 جدول تقدم التفاعل:

الحالة	$C_6H_5COOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} = C_6H_5COO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$			
الإبتدائية	$CV$	بالزيادة	0	0
الانتقالية	$CV - x$	بالزيادة	$x$	$x$
النهائية	$CV - x_f$	بالزيادة	$x_f$	$x_f$

3.1. عبارة تقدم التفاعل  $x_{\text{éq}}$  عند التوازن:

عند التوازن  $x_f = x_{\text{éq}}$ ، ومن خلال جدول تقدم التفاعل:

$$n_{\text{éq}}(C_6H_5COO^-) = n_{\text{éq}}(H_3O^+) = x_{\text{éq}}$$

$$[C_6H_5COO^-]_{\text{éq}} = [H_3O^+]_{\text{éq}} = \frac{x_{\text{éq}}}{V} \text{ نجد: } V \text{ الحجم}$$

$$x_{\text{éq}} = [H_3O^+]_{\text{éq}} V = [C_6H_5COO^-]_{\text{éq}} V \dots\dots(1) \text{ وعليه:}$$

ونعلم أن:

$$\sigma = \lambda_{C_6H_5COO^-} \cdot [C_6H_5COO^-]_{\text{éq}} + \lambda_{H_3O^+} \cdot [H_3O^+]_{\text{éq}} = (\lambda_{C_6H_5COO^-} + \lambda_{H_3O^+}) [H_3O^+]_{\text{éq}}$$

$$[H_3O^+]_{\text{éq}} = \frac{\sigma}{(\lambda_{C_6H_5COO^-} + \lambda_{H_3O^+})} \dots\dots(2) \text{ ومنه:}$$

$$x_{\text{éq}} = \frac{\sigma V}{(\lambda_{C_6H_5COO^-} + \lambda_{H_3O^+})} \text{ ومن العلاقتين (1) و(2) نستنتج:}$$

حساب قيمة  $x_{\text{éq}}$ :

$$V = 200 \text{ mL} = 0,2 \text{ L} = 0,2 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ لدينا:}$$

$$x_{\text{éq}} = \frac{2,03 \times 10^{-2} \times 0,2 \times 10^{-3}}{(3,24 + 35) \times 10^{-3}} = 1,06 \times 10^{-4} \text{ mol} \text{ ومنه:}$$

4.1. عبارة كسر التفاعل عند التوازن  $Q_{r,\text{éq}}$ :

$$Q_{r,\text{éq}} = \frac{[H_3O^+]_{\text{éq}} \cdot [C_6H_5COO^-]_{\text{éq}}}{[C_6H_5COOH]_{\text{éq}}} \text{ عبارة كسر التفاعل هي:}$$

$$[C_6H_5COO^-]_{\text{éq}} = [H_3O^+]_{\text{éq}} \text{ ولدينا مما سبق:}$$

$$n_{\text{éq}}(C_6H_5COOH) = CV - x_{\text{éq}} \text{ ومن خلال جدول التقدم لدينا:}$$

$$[C_6H_5COOH]_{\text{éq}} = C - \frac{x_{\text{éq}}}{V} \text{ ومنه:}$$

$$Q_{r,\text{éq}} = \frac{[H_3O^+]_{\text{éq}}^2}{(CV - x_{\text{éq}})/V} = \frac{(x_{\text{éq}}/V)^2}{(CV - x_{\text{éq}})/V} \text{ ومنه:}$$

$$Q_{r,\text{éq}} = \frac{x_{\text{éq}}^2}{V \cdot (CV - x_{\text{éq}})} \text{ إذن:}$$

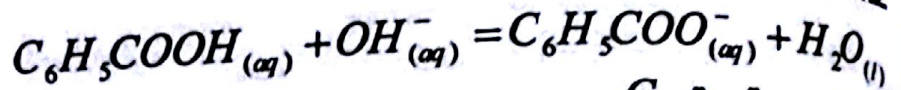
- استنتاج قيمة  $Ka$ :

$$Ka = Q_{r,\text{éq}} = \frac{x_{\text{éq}}^2}{V \cdot (CV - x_{\text{éq}})} \approx 6,3 \times 10^{-5} \text{ ومنه: } Ka = Q_{r,\text{éq}} \text{ عند التوازن}$$



02. تحديد كتلة حمض البنزويك في مشروب غازي:

1.2. معادلة تفاعل المعايرة:



2.2 تحديد قيمة  $C_A$ :

عند نقطة التكافؤ يتحقق لنا مزيج ستوكيومتري أي:  $n_A = n_{BE}$

$$C_A V_A = C_B V_{BE} \quad \text{ومنه:}$$

$$C_A = \frac{C_B V_{BE}}{V_A} = \frac{10^{-2} \times 6}{50} = 1,2 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1} \quad \text{ومنه:}$$

3.2 حساب قيمة  $m$ :

$$n(C_6H_5COOH) = \frac{m}{M(C_6H_5COOH)} \quad \text{نعلم أن:}$$

$$n(C_6H_5COOH) = C_A V_0 \quad \text{و}$$

$$m = C_A V_0 \cdot M(C_6H_5COOH) \quad \text{ومنه:}$$

$$m = 1,2 \times 10^{-3} \times 1 \times 122 = 0,146 \text{ g} \approx 0,15 \text{ g} \quad \text{إذن:}$$

نلاحظ أن القيمة المحسوبة تتوافق مع القيمة المشار إليها في اللصيقة.

### حل التمرين 14

1. حساب التركيز  $C_0$ :

$$C_0 = 9,7 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1} \quad \text{إذن:} \quad C_0 = \frac{n_0}{V_0} = \frac{m}{M V_0} = \frac{0,2}{206 \times 0,1}$$

2. لجدول تقدم التفاعل:

الحالة	$RCOOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} = RCOO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$			
الابتدائية	$n_0 = C_0 V_0$	بالزيادة	0	0
الانتقالية	$n_0 - x$	بالزيادة	$x$	$x$
النهائية	$n_0 - x_f$	بالزيادة	$x_f$	$x_f$

عبارة كل من  $x_f$  و  $x_{max}$  عند التوازن:

نحصل على  $x_{max}$  من الاختفاء التام لحمض الإيبوبروفين أي:  $x_{max} = C_0 V_0$

ومن جدول تقدم التفاعل نجد أن:  $x_f = [H_3O^+]_{eq} V_0$

ومنه:  $\tau_f = \frac{x_f}{x_{\max}} = \frac{[H_3O^+]_{\text{eq}} V_0}{C_0 V_0} = \frac{10^{-\text{PH}}}{C_0} = 6,96 \times 10^{-2} = 7 \times 10^{-2}$

- نلاحظ أن  $\tau_f < 1$  إذن تفاعل حمض الإيبوبروفين مع الماء تفاعل غير تام (تفاعل محدود).

$$Q_r = \frac{[H_3O^+][RCOO^-]}{[RCOOH]}: Q_r \text{ بد عبارة كسر التفاعل}$$

$$Q_{r, \text{eq}} = \frac{x_{\max} \cdot \tau_f^2}{V_0 (1 - \tau_f)} \text{ جم إثبات العلاقة التالية}$$

$$\tau_f = \frac{x_f}{x_{\max}} = \frac{[H_3O^+]_{\text{eq}}}{C_0} \text{ لدينا مما سبق:}$$

ومن جدول التقدم عند التوازن:  $n_{\text{eq}}(RCOO^-) = n_{\text{eq}}(H_3O^+) = x_f$

$$\text{ومنه: } [RCOO^-]_{\text{eq}} = [H_3O^+]_{\text{eq}} = \tau C_0$$

$$\text{و } [RCOOH]_{\text{eq}} = \frac{C_0 V_0 - x_f}{V_0} = C_0 - [H_3O^+]_{\text{eq}}$$

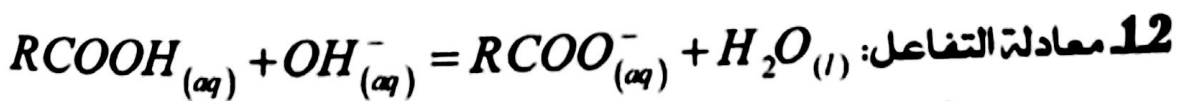
$$Q_{r, \text{eq}} = \frac{[H_3O^+]_{\text{eq}}^2}{[RCOOH]_{\text{eq}}} = \frac{[H_3O^+]_{\text{eq}}^2}{C_0 - [H_3O^+]_{\text{eq}}} = \frac{\tau^2 \cdot C_0^2}{C_0 - \tau C_0} = \frac{\tau^2 \cdot C_0}{1 - \tau} \text{ ومنه:}$$

$$\text{ولدينا كذلك: } x_{\max} = C_0 V_0 \text{ ومنه: } C_0 = \frac{x_{\max}}{V_0}$$

$$Q_{r, \text{eq}} = \frac{\tau^2 \cdot C_0}{1 - \tau} = \frac{x_{\max} \cdot \tau^2}{V_0 \cdot (1 - \tau)} \text{ وعليه:}$$

د استنتاج قيمة ثابت التوازن  $K$ :

$$\text{عند التوازن } K = Q_{r, \text{eq}} = \frac{x_{\max} \cdot \tau^2}{V_0 \cdot (1 - \tau)} \text{ ومنه: } K = 5,1 \times 10^{-5}$$



**22** تبيان أن  $n_i(OH^-)$  أكبر من  $n_i(RCOOH)$ :

- حساب  $n_i(OH^-)$  المتواجدة في المحلول ( $S_B$ ):



$$n_i(OH^-) = C_B V_B = 3 \times 10^{-2} \times 60 \times 10^{-3} = 1,8 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

حساب  $n_i(RCOOH)$  كمية مادة الحمض المذابة:

$$n_i(RCOOH) = \frac{m}{M} = \frac{0,2}{206} = 9,7 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

نلاحظ أن  $n_i(OH^-) > n_i(RCOOH)$

32

لكمية مادة شوارد الـ  $OH^-$  التي تفاعلت مع الحمض  $RCOOH$  المتواجدة في الكيس:  
كمية مادة شوارد الـ  $OH^-$  المعاييرة هي:

$$n_E(OH^-) = C_A V_{AE} = 10^{-2} \times 27,7 \times 10^{-3} = 2,77 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

كمية مادة شوارد الـ  $OH^-$  المتواجدة في الحجم  $V_B = 60 \text{ mL}$  هي:

$$n_{r_B}(OH^-) = 3n_E(OH^-) = 3 \times 2,77 \times 10^{-4} = 8,31 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

(حيث:  $n_{r_B}(OH^-)$  كمية المادة المتبقية من التفاعل مع الحمض  $RCOOH$  وكذلك  
( $60 \text{ mL} = 3 \times 20 \text{ mL}$ )

كمية مادة شوارد الـ  $OH^-$  التي تفاعلت مع الحمض  $RCOOH$  المتواجدة في الكيس:

$$n(OH^-) = n_i(OH^-) - n_{r_B}(OH^-) = 9,7 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

بحساب الكتلة  $m$  لحمض الإيبوبروفين المتواجدة في الكيس:

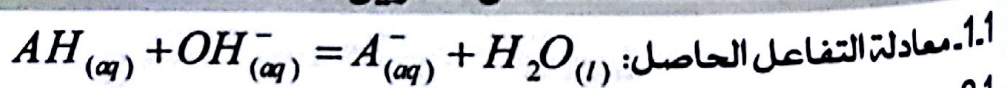
$$n(OH^-) = n(RCOOH) = 9,7 \times 10^{-4} \text{ mol} \text{ عند التكافؤ:}$$

$$m(RCOOH) = n(RCOOH) \cdot M(RCOOH) = 199,82 \times 10^{-3} \text{ g}$$

$$m(RCOOH) \approx 200 \text{ mg} \text{ ومنه:}$$

نستنتج أن القيمة  $200 \text{ mg}$  هي المسجلة على كيس الإيبوبروفين  $200$ .

### حل التمرين 15



2. جدول تقدم التفاعل:

الحالة	$AH_{(aq)} + OH_{(aq)}^- = A_{(aq)}^- + H_2O_{(l)}$			
الابتدائية	$C_A V_A$	$C_B V_B$	0	بالزيادة
الانتقالية	$C_A V_A - x$	$C_B V_B - x$	$x$	بالزيادة
النهائية	$C_A V_A - x_f$	$C_B V_B - x_f$	$x_f$	بالزيادة

- تحديد النسبة النهائية لتقدم التفاعل  $\tau_f = \frac{x_f}{x_{\max}}$ .

- نحصل على  $x_{\max}$  من الإختفاء التام للمتفاعل المحد:

- إذا كان الحمض  $HA$  هو المتفاعل المحد:  $x_{\max} = C_A V_A = 4 \times 10^{-4} \text{ mol}$

- إذا كانت شوارد  $(OH^-)$  هي المتفاعل المحد:  $x_{\max} = C_B V_B = 2,5 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$

إذن فالمتفاعل المحد هي شوارد  $(OH^-)$  ومنه:  $x_{\max} = C_B V_B = 2,5 \times 10^{-4} \text{ mol}$

- من خلال جدول تقدم التفاعل في الحالة النهائية:  $n_f(OH^-) = C_B V_B - x_f$

$$[OH^-]_f = 10^{PH-14} \text{ ونعلم أن: } [OH^-]_f = \frac{C_B V_B - x_f}{V_A + V_B}$$

$$x_f = C_B V_B - 10^{PH-14} (V_A + V_B) \text{ وعليه: } 10^{PH-14} = \frac{C_B V_B - x_f}{V_A + V_B}$$

$$\tau_f = \frac{x_f}{x_{\max}} = \frac{C_B V_B - 10^{PH-14} (V_A + V_B)}{C_B V_B} = 1 - \frac{10^{PH-14} (V_A + V_B)}{C_B V_B}$$

إذن:  $\tau_f = 1 - 10^{-8} \approx 1$  نستنتج أن تفاعل المعايرة تفاعل تام وسريع.

$$3.1 \text{ إثبات العبارة } PKa = PH + \log \left( \frac{C_A V_A}{C_B V_B} - 1 \right)$$

$$PH = PKa + \log \frac{[A^-]_f}{[AH]_f} \text{ بالنسبة للشثانية } (AH/A^-) \text{ لدينا:}$$

$$PKa = PH + \log \frac{[AH]_f}{[A^-]_f} \text{ ..... (1) ومنه:}$$

$$[A^-]_f = \frac{x_f}{V_S} = \frac{C_B V_B - 10^{PH-14} (V_A + V_B)}{V_S} \text{ من خلال جدول تقدم التفاعل لدينا:}$$

$$\text{حيث: } V_S = V_A + V_B \text{ ومنه: } [A^-]_f \approx \frac{C_B V_B}{V_S} \text{ لأن: } C_B V_B \gg 10^{PH-14} (V_A + V_B)$$

$$\text{وكذلك: } [AH]_f = \frac{C_A V_A - C_B V_B}{V_S}$$



وبالتعويض في العلاقة (1) نجد:  $PKa = PH + \log \frac{(C_A V_A - C_B V_B) / V_S}{(C_B V_B) / V_S}$

إذن:  $PKa = PH + \log \left( \frac{C_A V_A}{C_B V_B} - 1 \right)$  ت ع:  $PKa = 3,8$

12. الأسماء الموافقة للأرقام المبينة على تركيب الشكل-1.:

(1) السحاحة، (2) محلول هيدروكسيد الصوديوم ( $S_B$ )، (3) الحليب  
22 حساب التركيز الكتلي  $C_m$ :

عند التكافؤ نحصل على مزيج ستوكيومترى أي:  $CV'_A = C_B V_{B,E}$

ومنه:  $C = \frac{C_B V_{B,E}}{V'_A}$  ولدينا كذلك:  $C_m = \frac{m}{V} = \frac{n.M}{V} = C.M$

ومنه:  $C_m = C.M = \frac{C_B V_{B,E}}{V'_A} M$  ت ع:  $C_m = 2,25g.L^{-1}$

الاستنتاج: نلاحظ أن:  $1,8g.L^{-1} < C_m = 2,25g.L^{-1}$  وعليه فالحليب غير صالح للاستهلاك.

32

الكاشف المناسب لإجراء هذه المعايرة هو أحمر الفينول لأن مجال تغيره اللوني يحتوي

على  $PH_E = 8,0$  أي:  $6,6 < PH_E < 8,4$

ب حساب النسبة  $\frac{[A^-]}{[AH]}$  في المزيج عند التكافؤ:

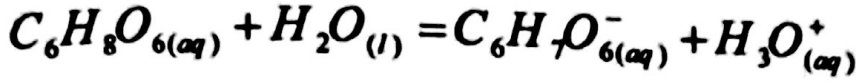
لدينا  $PH = PKa + \log \frac{[A^-]}{[AH]}$  ومنه:  $\log \frac{[A^-]}{[AH]} = PH - PKa$

وعليه:  $\frac{[A^-]}{[AH]} = 10^{PH - PKa}$  إن:  $\frac{[A^-]}{[AH]} = 10^{8-3,8} = 1,6 \times 10^4$

الاستنتاج الصفة الغالبة: بما أن:  $\frac{[A^-]}{[AH]} \gg 1$  إذن:  $[A^-] \gg [AH]$

ومنه الصفة السائدة هي الصفة الأساسية  $[A^-]$

1.1. معادلة تفاعل حمض الأسكوربيك مع الماء:



2.1 جدول تقدم التفاعل:

الحالة	$C_6H_8O_{6(aq)} + H_2O_{(l)} = C_6H_7O_{6(aq)}^- + H_3O_{(aq)}^+$		
الابتدائية	$C_1$	بالزيادة	0
الانتقالية	$C_1 - x$	بالزيادة	$x$
النهائية	$C_1 - x_f$	بالزيادة	$x_f$

3.1 حساب  $\tau_f$ :

$x_{\max} = C_1$  و  $x_f = [H_3O^+]_{\text{éq}}$  ومن خلال جدول تقدم التفاعل نجد:  $\tau_f = \frac{x_f}{x_{\max}}$

ومنه:  $\tau_f = \frac{[H_3O^+]_{\text{éq}}}{C_1} = \frac{10^{-pH}}{C_1}$

ومنه:  $\tau_f = 9,8 \times 10^{-2} = 9,8\%$

- نستنتج أن تفاعل حمض الأسكوربيك مع الماء تفاعل غير تام.

4.1 قيمة كسر التفاعل  $Q_{r,\text{éq}}$ :

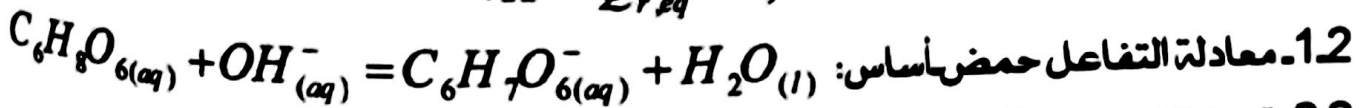
$$Q_{r,\text{éq}} = \frac{[C_6H_7O_6^-]_{\text{éq}} [H_3O^+]_{\text{éq}}}{[C_6H_8O_6]_{\text{éq}}}$$

ومن جدول التقدم نجد:  $[C_6H_7O_6^-]_{\text{éq}} = [H_3O^+]_{\text{éq}}$

و  $[C_6H_8O_6]_{\text{éq}} = C_1 - [C_6H_7O_6^-]_{\text{éq}} = C_1 - [H_3O^+]_{\text{éq}}$

ومنه:  $Q_{r,\text{éq}} = \frac{[H_3O^+]_{\text{éq}}^2}{C_1 - [H_3O^+]_{\text{éq}}} = 1,06 \times 10^{-4}$

- استنتاج ثابت التوازن  $K$ :  $K = Q_{r,\text{éq}} = 1,06 \times 10^{-4}$



2.2 قيمة التركيز  $C_1$ :

عند التكافؤ يتحقق لنا مزيج ستوكيومترى  $n_0(C_6H_8O_6) = n_E(OH^-)$



ومنه:  $C_A V_A = C_B V_{BE}$  إذن:  $C_A = \frac{C_B V_{BE}}{V_A} = 1,425 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$  3.2 استنتاج قيمة  $m$ :

نعلم أن:  $n = \frac{m}{M}$  و  $n = C_A V$  ومنه:  $\frac{m}{M} = C_A V$  إذن:  $m = C_A V . M$   
 نأخذ:  $m = 1,425 \times 10^{-2} \times 0,2 \times 176 = 50,16 \times 10^{-2} \text{ g}$  إذن:  $m \approx 500 \text{ mg}$   
 التسمية: فيتامين C 500.

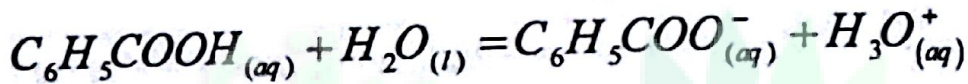
تدل على أن كتلة الحمض المحتواة في كل قرص هي  $m = 500 \text{ mg}$ .

### حل التمرين 17

1.1 حساب الكتلة  $m$ :

$C_a = \frac{n}{V} = \frac{m}{MV}$  ومنه:  $m = C_a . MV$  إذن:  $m = 1,22 \text{ g}$

2.1 معادلة تفاعل حمض البنزويك مع الماء:



3.1 جدول تقدم التفاعل:

الحالة	$C_6H_5COOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} = C_6H_5COO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$			
الابتدائية	$C_a V$	بالزيادة	0	0
الانتقالية	$C_a V - x$	بالزيادة	$x$	$x$
النهائية	$C_a V - x_f$	بالزيادة	$x_f$	$x_f$

حساب النسبة النهائية لتقدم التفاعل  $\tau_f$ :

$\tau_f = \frac{10^{-2,6}}{0,1} = 2,5 \times 10^{-2}$  ومنه:  $\tau_f = \frac{x_f}{x_{\max}} = \frac{[H_3O^+]_f}{C_a} = \frac{10^{-PH_1}}{C_a}$

نستنتج أن تفاعل حمض البنزويك مع الماء تفاعل غير تام، وحمض البنزويك حمض ضعيف.

4.1 عبارة كسر التفاعل  $Q_{r, \text{éq}}$ :

عبارة كسر التفاعل هي:  $Q_{r, \text{éq}} = \frac{[C_6H_5COO^-]_{\text{éq}} [H_3O^+]_{\text{éq}}}{[C_6H_5COOH]_{\text{éq}}}$

وبالاستعانة بجدول تقدم التفاعل نجد:  $[C_6H_5COO^-]_{\text{éq}} = [H_3O^+]_{\text{éq}}$

$$[C_6H_5COOH_{(aq)}]_{\acute{e}q} = C_a - [H_3O^+_{(aq)}]_{\acute{e}q} \text{ وكذلك:}$$

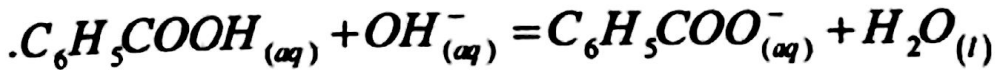
$$Q_{r,\acute{e}q} = \frac{[H_3O^+_{(aq)}]_{\acute{e}q}^2}{C_a - [H_3O^+_{(aq)}]_{\acute{e}q}} = \frac{10^{-2PH_1}}{C_a - 10^{-PH_1}} \text{ ومنه:}$$

- استنتاج قيمة ثابت الحموضة  $PKa_1$ :

$$Ka = Q_{r,\acute{e}q} = \frac{10^{-2PH_1}}{C_a - 10^{-PH_1}} = 6,46 \times 10^{-5} \text{ عند التوازن:}$$

$$PKa = -\log Ka = 4,2 \text{ ومنه:}$$

1.2. معادلة التفاعل الذي يحدث عند مزج المحلولين:



2.2 حساب كمية مادة  $(OH^-)_v$ :

الحالة	$C_6H_5COOH_{(aq)} + OH^-_{(aq)} = C_6H_5COO^-_{(aq)} + H_2O_{(l)}$			
الابتدائية	$C_a V$	$C_b V_{b.E}$	0	بالزيادة
الانتقالية	$C_a V - x$	$C_b V_{b.E} - x$	$x$	بالزيادة
التكافؤ	$C_a V - x_E$	$C_b V_{b.E} - x_E$	$x_E$	بالزيادة

$$n(OH^-)_v = C_b V_{b.E} = 5 \times 10^{-2} \times 10^{-2} = 5 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

- كمية المادة  $(OH^-)_r$ :

$$[H_3O^+_{(aq)}]_r = 10^{-PH_2} \text{ ومنه: } PH_2 = 3,7 \text{ عند نهاية التفاعل يكون:}$$

$$\text{ونعلم أن: } Ke = [H_3O^+_{(aq)}] \cdot [OH^-_{(aq)}]_r = 10^{-14}$$

$$[OH^-_{(aq)}]_r = \frac{Ke}{[H_3O^+_{(aq)}]} = \frac{10^{-14}}{10^{-PH_2}} = 10^{PH_2-14} \text{ ومنه:}$$

$$n(OH^-)_r = C_b V_b - x_E \text{ ومن خلال جدول التقدم نجد:}$$

$$V_S = V_a + V_b = 30 \text{ mL حيث } [OH^-_{(aq)}]_r = \frac{n(OH^-)_r}{V_S} \text{ ومنه:}$$



ومنه:  $n(OH^-)_r = [OH^-]_{(aq)} V_s = (10^{pH_2-14}) V_s = 1,5 \times 10^{-12} mol$   
 3.2 عبارة النسبة النهائية لتقدم التفاعل  $\tau_f$  بدلالة  $n(OH^-)_r$  و  $n(OH^-)_v$ :

$$\tau_f = \frac{x_f}{x_{max}}$$

نعصل على  $x_{max}$  من الإختفاء التام للمتفاعل المحد:

إذا كان  $(OH^-)$  هو المتفاعل المحد:  $x_{max} = n(OH^-)_v = C_b V_{b.E} = 5 \times 10^{-4} mol$   
 إذا كان الحمض هو المتفاعل المحد:

$$x_{max} = n(C_6H_5COOH)_0 = C_a V_a = 2 \times 10^{-3} mol$$

وعليه المتفاعل المحد هي شوارد  $(OH^-)$  و  $x_{max} = n(OH^-)_v = 5 \times 10^{-4} mol$

$$n(OH^-)_r = C_b V_{b.E} - x_E$$

ومنه:  $x_f = x_E = C_b V_{b.E} - n(OH^-)_r = n(OH^-)_v - n(OH^-)_r \approx 5 \times 10^{-4} mol$

$$\tau_f = \frac{x_f}{x_{max}} = \frac{n(OH^-)_v - n(OH^-)_r}{n(OH^-)_v} = 1 - 3 \times 10^{-9} \approx 1$$

نستنتج أن تفاعل المعايرة عبارة عن تفاعل تام.

### حل التمرين 18

1.1 معادلة التفاعل:  $CH_3COOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} = CH_3COO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$   
 2.1 جدول تقدم التفاعل:

الحالة	$CH_3COOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} = CH_3COO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$			
الإبتدائية	$n_0$	بالزيادة	0	0
الانتقالية	$n_0 - x$	بالزيادة	$x$	$x$
النهائية	$n_0 - x_f$	بالزيادة	$x_f$	$x_f$

3.1 عبارة  $[H_3O^+]_{\acute{e}q}$  بدلالة  $\lambda_{CH_3COO^-}$ ,  $\lambda_{H_3O^+}$ ,  $\sigma$ :

$$\sigma = \lambda_{CH_3COO^-} [CH_3COO^-]_{\acute{e}q} + \lambda_{H_3O^+} [H_3O^+]_{\acute{e}q}$$

ومن جدول التقدم نجد:  $n_f(CH_3COO^-) = n_f(H_3O^+)$  وبالقسمة على الحجم  $V$

$$[CH_3COO^-]_{\acute{e}q} = [H_3O^+]_{\acute{e}q}$$

ومنه:

$$\sigma = \lambda_{CH_3COO^-} [H_3O^+]_{\text{éq}} + \lambda_{H_3O^+} [H_3O^+]_{\text{éq}} = (\lambda_{CH_3COO^-} + \lambda_{H_3O^+}) [H_3O^+]_{\text{éq}}$$

$$[H_3O^+]_{\text{éq}} = \frac{\sigma}{(\lambda_{CH_3COO^-} + \lambda_{H_3O^+})} \text{ إذن:}$$

4.1 حساب  $[H_3O^+]_{\text{éq}}$  في كل من المحلولين  $(S_1)$  و  $(S_2)$ :

- في المحلول  $(S_1)$ :

$$[H_3O^+]_{\text{éq1}} = \frac{\sigma_1}{(\lambda_{CH_3COO^-} + \lambda_{H_3O^+})} = 0,89 \text{ mol } m^{-3} = 8,9 \times 10^{-4} \text{ mol } L^{-1}$$

- في المحلول  $(S_2)$ :

$$[H_3O^+]_{\text{éq2}} = \frac{\sigma_2}{(\lambda_{CH_3COO^-} + \lambda_{H_3O^+})} = 0,28 \text{ mol } m^{-3} = 2,8 \times 10^{-4} \text{ mol } L^{-1}$$

5.1 حساب نسبة التقدم النهائي  $\tau_{f1}$  و  $\tau_{f2}$ :

- عبارة نسبة التقدم النهائي لتفاعل حمض الإيثانويك مع الماء هي:  $\tau_f = \frac{x_f}{x_{\text{max}}}$

حيث:  $x_{\text{max}} = CV$  و  $n_f(H_3O^+) = x_f = [H_3O^+]_{\text{éq}} V$

www.eddirasa.com

$$\tau_f = \frac{[H_3O^+]_{\text{éq}}}{C} \text{ ومنه:}$$

$$\tau_{f1} = \frac{[H_3O^+]_{\text{éq1}}}{C_1} = \frac{8,9 \times 10^{-4}}{5 \times 10^{-2}} = 0,0178 = 1,78\% \quad \text{- بالنسبة للمحلول } (S_1)$$

$$\tau_{f2} = \frac{[H_3O^+]_{\text{éq2}}}{C_2} = \frac{2,8 \times 10^{-4}}{5 \times 10^{-3}} = 0,056 = 5,6\% \quad \text{- بالنسبة للمحلول } (S_2)$$

نستنتج أن نسبة التقدم النهائية للتقدم  $\tau_f$  تتعلق بالتركيز الابتدائي.

6.1 حساب ثابت التوازن  $K$ :

$$K = \frac{[CH_3COO^-]_{\text{éq}} \cdot [H_3O^+]_{\text{éq}}}{[CH_3COOH]_{\text{éq}}} \text{ عبارة ثابت التوازن } K \text{ هي:}$$



ومن جدول التقدم نجد:  $[CH_3COO^-]_{\text{éq}} = [H_3O^+]_{\text{éq}}$

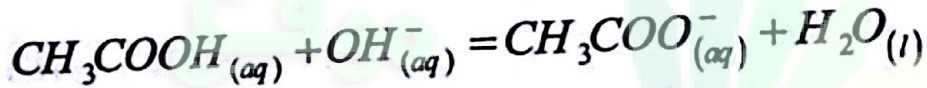
وكذلك:  $[CH_3COOH]_{\text{éq}} = C - [H_3O^+]_{\text{éq}}$  إذن:  $K = \frac{[H_3O^+]_{\text{éq}}^2}{C - [H_3O^+]_{\text{éq}}}$

$$K_1 = \frac{[H_3O^+]_{\text{éq1}}^2}{C_1 - [H_3O^+]_{\text{éq1}}} = 1,6 \times 10^{-5} : (S_1) \text{ بالنسبة المحلول}$$

$$K_2 = \frac{[H_3O^+]_{\text{éq2}}^2}{C_2 - [H_3O^+]_{\text{éq2}}} = 1,6 \times 10^{-5} : (S_2) \text{ بالنسبة المحلول}$$

بما أن:  $K_1 = K_2$  نستنتج أن ثابت التوازن  $K$  لا يتعلق بالحالة الابتدائية للجملة الكيميائية، بل بدرجة الحرارة فقط.

12. المعادلة النمذجة للتفاعل حمض أساس:



22 حساب التركيز المولي  $(C_S)$ :

عند التكافؤ يتحقق لنا مزيج ستوكيومتري:  $n(CH_3COOH) = n_E(OH^-)$

$$C_S = 1,17 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1} \text{ إذن: } C_S = \frac{C_B V_{BE}}{V_A} \text{ ومنه: } C_S V_A = C_B V_{BE}$$

32 تحديد درجة الحموضة للخل المدرس:

تم تخفيف المحلول التجاري ذو التركيز المولي  $C_0$  من أجل الحصول على المحلول  $(S)$ . وحسب

$$\text{علاقة التمديد } C_0 V_0 = C_S V_S \text{ ومنه: } C_0 = \frac{C_S V_S}{V_0} \text{ ومنه: } C_0 = 1,17 \text{ mol.L}^{-1}$$

نعد  $X$  كتلة حمض الإيثانويك الموجودة في 100g من الخل التجاري.

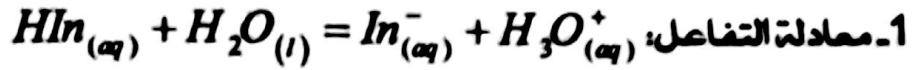
وبالتالي:  $X = m(CH_3COOH) = C_0 V . M(CH_3COOH)$ ، حيث  $V$  الحجم الموافق لكتلة

تساوي 100g من الخل التجاري،  $\rho = \frac{m}{V}$  ومنه:  $V = \frac{m}{\rho}$  حيث  $m = 100g$  ونعلم

$$V = 100 \text{ mL} \text{ إذن: } \rho = 1g / \text{mL}$$

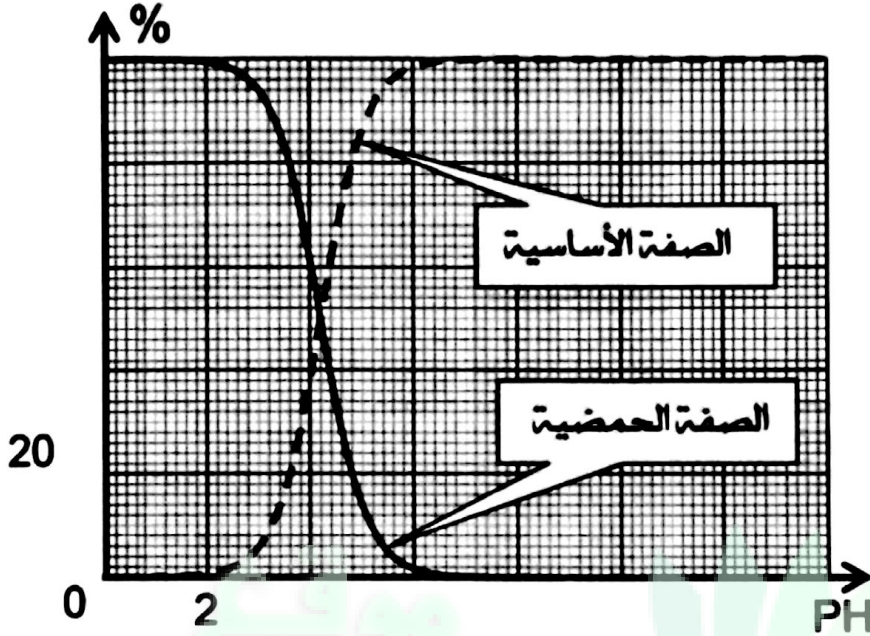
$$X = m(CH_3COOH) = 1,17 \times 100 \times 10^{-3} \times 60 = 7,02$$

إذن:  $X^\circ = 7,02^\circ \approx 7^\circ$  هذه النتيجة تتوافق مع القيمة المسجلة على قارورة الخل التجاري.



- الشانيتان (أساس / حمض) الداخلتين في التفاعل:  $(HIn/In^{-})$  و  $(H_3O^{+}/H_2O)$

2. تحديد البيان الموافق للصفة الحمضية و الموافق للصفة الأساسية:



3. تحدد قيمة الـ  $PKa$ :

نعلم أن:  $PH = PKa + \log \frac{[In^{-}]}{[HIn]}$  وعند تقاطع البيانية تكون النسبتان المنويتان

للصفتين الحمضية و الأساسية متساويتان أي:  $[HIn] = [In^{-}]$  وعليه:  $PH = PKa$

ونقرأ على البيان:  $PKa = PH = 4,2$

4. في محلول ذي  $PH = 2$  الصفة الغالبة حسب مخطط التوزيع هي الصفة الحمضية، إذن اللون الذي يأخذه الكاشف هو اللون الأصفر.

- في محلول ذي  $PH = 10$  الصفة الغالبة حسب مخطط التوزيع هي الصفة الأساسية، إذن اللون الذي يأخذه الكاشف هو الأزرق.

5. تحديد التركيز المولي للصفة الحمضية و الصفة الأساسية عند القيمة  $PH = 3,5$ :  
عبارتا النسبة المئوية للصفتين الحمضية و الأساسية هما:

$$(HIn)\% = \frac{[HIn]}{c} \times 100 \quad \text{ومنه:} \quad (HIn)\% = \frac{[HIn]}{[HIn] + [In^{-}]} \times 100$$

$$(In^{-})\% = \frac{[In^{-}]}{c} \times 100 \quad \text{ومنه:} \quad (In^{-})\% = \frac{[In^{-}]}{[HIn] + [In^{-}]} \times 100$$



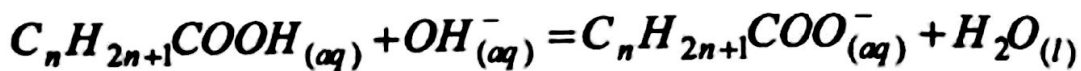
وحسب مخطط توزيع الصفة عند  $PH = 3,5$  ، فإن النسبتين المئويتين للصفتين مما على التوالي:  $(HIn) \% \approx 80\%$  و  $(In^-) \% \approx 20\%$  نستنتج التركيز المولي لكل صفة:

$$[HIn] = \frac{80}{100} \times c = \frac{80}{100} \times 2 \times 10^{-2} = 1,6 \times 10^{-2} \text{ mol } L^{-1} \text{ الصفة الحمضية:}$$

$$[In^-] = \frac{20}{100} \times c = \frac{20}{100} \times 2 \times 10^{-2} = 0,4 \times 10^{-2} \text{ mol } L^{-1} \text{ الصفة الأساسية:}$$

### حل التمرين 20

1. معادلة تفاعل المعايرة:



2. حساب التركيز المولي  $C_A$ :

عند نقطة التكافؤ نحصل على مزيج ستوكيومترى أي:  $n_A = n_{B.E}$

$$C_A V_A = C_B V_{B.E} \text{ إذن: } C_A = \frac{C_B V_{B.E}}{V_A} = 1,5 \times 10^{-2} \text{ mol } L^{-1} \text{ ومنه:}$$

الصفة الإجمالية للحمض الكربوكسيل:

$$C_A = \frac{n}{V_0} \text{ و } n = \frac{m}{M} \text{ ومنه: } C_A = \frac{m}{M V_0} \text{ أي: } M = \frac{m}{C_A V_0}$$

$$\text{ومنه: } (12n + 12) + (2n + 2) + 32 = \frac{m}{C_A V_0}$$

$$\text{ومنه: } 14n + 46 = \frac{0,45}{1,5 \times 10^{-2} \times 0,5} = 60 \text{ نجد أن: } n = 1$$

وعليه صيغة الحمض الكربوكسيل هي:  $CH_3COOH$

1. عبارة التقدم النهائي  $x_f$ :

جدول تقدم التفاعل:

الحالة	$CH_3COOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} = CH_3COO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$			
الابتدائية	$n_0 = C_A V$	بالزيادة	0	0
الانتقالية	$C_A V - x$	بالزيادة	x	x
النهائية	$C_A V - x_f$	بالزيادة	$x_f$	$x_f$

$$x_f = n_f (H_3O^+) = [H_3O^+] V = 10^{-PH} V \text{ من جدول تقدم التفاعل نجد:}$$

$$\frac{[CH_3COOH]_f}{[CH_3COO^-]_f} = -1 + C_A \cdot 10^{PH} \text{ التأكد من صحة العلاقة}$$

$$[CH_3COOH]_f = \frac{n_f}{V} = \frac{C_A V - x_f}{V} = C_A - [H_3O^+] \text{ من جدول التقدم لدينا:}$$

$$[CH_3COOH]_f = C_A - 10^{-PH} \text{ إذن:}$$

$$[CH_3COO^-]_f = [H_3O^+]_f = 10^{-PH} \text{ وكذلك:}$$

$$\frac{[CH_3COOH]_f}{[CH_3COO^-]_f} = \frac{C_A - 10^{-PH}}{10^{-PH}} = -1 + C_A \cdot 10^{-PH} \text{ إذن: وهو المطلوب.}$$

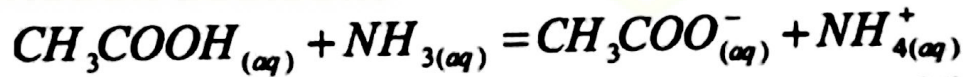
2.2 استنتاج قيمة الـ  $PKa_2$ :

$$PKa_2 = PH - \log \frac{[CH_3COO^-]_f}{[CH_3COOH]_f} \text{ ومنه: } PH = PKa_2 + \log \frac{[CH_3COO^-]_f}{[CH_3COOH]_f}$$

$$PKa_2 = PH + \log \frac{[CH_3COOH]_f}{[CH_3COO^-]_f} = PH + \log(-1 + C_A \cdot 10^{PH}) \text{ ومنه:}$$

$$PKa_2 = 3,3 + \log(-1 + 1,5 \times 10^{-2} \cdot 10^{3,3}) = 4,76 \text{ ت ع:}$$

1.3 معادلة التفاعل:



2.3 حساب ثابت التوازن  $K$ :

$$K = \frac{[CH_3COO^-]_f \cdot [NH_4^+]_f}{[CH_3COOH]_f \cdot [NH_3]_f} = \frac{[CH_3COO^-]_f \cdot [NH_4^+]_f \cdot [H_3O^+]_f}{[CH_3COOH]_f \cdot [NH_3]_f \cdot [H_3O^+]_f} = \frac{Ka_2}{Ka_1}$$

$$K = \frac{10^{-PKa_2}}{10^{-PKa_1}} = \frac{10^{-4,76}}{10^{-9,2}} = 2,75 \times 10^4 \text{ ومنه:}$$

3.3 إثبات عبارة نسبة تقدم التفاعل  $\tau_f$ :

- جدول تقدم التفاعل:

الحالة	$CH_3COOH_{(aq)} + NH_{3(aq)} = CH_3COO^-_{(aq)} + NH_4^+_{(aq)}$		
الابتدائية	$n_0$	$n_0$	0
الانتقالية	$n_0 - x$	$n_0 - x$	$x$
النهائية	$n_0 - x_f$	$n_0 - x_f$	$x_f$



نظم ان:  $\tau_f = \frac{x_f}{x_{\max}}$  حيث:  $x_{\max} = n_0$ .

$$K = \frac{[CH_3COO^-]_f \cdot [NH_4^+]_f}{[CH_3COOH]_f \cdot [NH_3]_f} \text{ ولدينا}$$

$$\frac{(x_f)}{(n_0 - x_f)} = \sqrt{K} \text{ وعليه: } K = \frac{\frac{x_f}{V} \times \frac{x_f}{V}}{\frac{n_0 - x_f}{V} \times \frac{n_0 - x_f}{V}} = \frac{(x_f)^2}{(n_0 - x_f)^2} \text{ ومنه:}$$

$$x_f = \frac{n_0 \cdot \sqrt{K}}{(1 + \sqrt{K})} \text{ إذن: } x_f = \sqrt{K} \cdot (n_0 - x_f) \Rightarrow x_f (1 + \sqrt{K}) = n_0 \cdot \sqrt{K}$$

$$\tau_f = \frac{\sqrt{K}}{1 + \sqrt{K}} \text{ وهو المطلوب وعليه: } \tau_f = \frac{x_f}{x_{\max}} = \frac{\frac{n_0 \cdot \sqrt{K}}{(1 + \sqrt{K})}}{n_0} = \frac{\sqrt{K}}{1 + \sqrt{K}}$$

الدراسة الجزائرية  
www.eddirasa.com