

# عمر بنظري و تمارين

من التطورات الرتبة ٥

تطور جملة كيميائية نحو حالة التوازن



الشعب : علوم تجريبية  
رياضيات ، تقني رياضي

\*\*\*\*\*

[www.sites.google.com/site/faresfergani](http://www.sites.google.com/site/faresfergani)

السنة الدراسية : 2015/2014

## المحتوى المفاهيمي : 01

### الأحماض و الأسس و التوازن الكيميائي

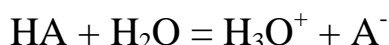
#### مفهوم الحمض و الأساس

##### • مفهوم الحمض :

- حسب برونشند الحمض HA هو كل فرد كيميائي جزيئيا كان أم شارديا قادر على التخلي عن بروتون  $H^+$  أو أكثر خلال تفاعل كيميائي . وفق المعادلة :



- ينحل الحمض HA في الماء وفق المعادلة :

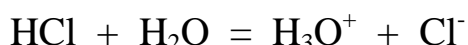


و بالتالي يمكن القول أن الحمض هو كل فرد كيميائي قادر على إعطاء شوارد الهيدرونيوم  $H_3O^+$  أثناء انحلاله في الماء .

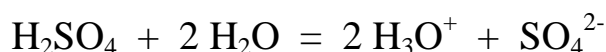
- إذا كان الحمض HA تام الانحلال في الماء يقال عنه حمض قوي ، أما إذا كان انحلاله في الماء جزئيا يقال عنه حمض ضعيف .

##### أمثلة :

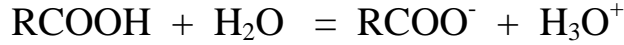
• حمض كلور الهيدروجين HCl هو حمض قوي ، ينحل في الماء وفق المعادلة :



• حمض الكبريت  $H_2SO_4$  هو حمض قوي ، ينحل في الماء وفق المعادلة :

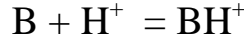


• كل الأحماض التي من الشكل  $\text{RCOOH}$  (مثل حمض الميثانويك  $\text{HCOOH}$  ، الإيثانويك  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ، حمض البنزويك  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$  ) هي أحماض ضعيفة تنحل في الماء وفق المعادلة الكيميائية التالية :

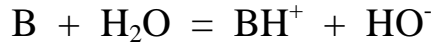


### • مفهوم الأساس :

- حسب برونشنتد الأساس B هو كل فرد كيميائي جزيئيا كان أم شارديا قادر على تثبيت بروتون  $\text{H}^+$  أو أكثر خلال تفاعل كيميائي . وفق المعادلة :



- ينحل الأساس B في الماء وفق المعادلة :



و بالتالي يمكن القول أن الأساس هو كل فرد كيميائي قادر على إعطاء شوارد الهيدروكسيد  $\text{HO}^-$  أثناء انحلاله في الماء .

- إذا كان الأساس B تام الانحلال في الماء يقال عنه أساس قوي ، أما إذا كان انحلاله في الماء جزئيا يقال عنه أساس ضعيف .

### أمثلة :

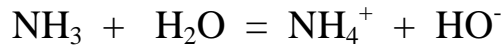
• هيدروكسيد الصوديوم  $\text{NaOH}$  هو أساس قوي ، ينحل في الماء وفق المعادلة :



• هيدروكسيد البوتاسيوم  $\text{KOH}$  هو أساس قوي ينحل في الماء وفق المعادلة :



• النشادر  $\text{NH}_3$  هو أساس ضعيف ينحل في الماء وفق المعادلة :



### ملاحظة :

يمكن للماء  $\text{H}_2\text{O}$  أن يسلك سلوك حمض وذلك بتخليه عن بروتون هيدروجين  $\text{H}^+$  ليتحول إلى شاردة الهيدروكسيد  $\text{HO}^-$  ، وفق المعادلة :



كما يمكنه أيضا أن يسلك سلوك أساس و ذلك بتثبيته لبروتون هيدروجين  $\text{H}^+$  ليتحول إلى شاردة الهيدرونيوم  $\text{H}_3\text{O}^+$  وفق المعادلة :



يقال عن الماء في هذه الحالة و كذلك كل نوع كيميائي يسلك هذا السلوك أنه مذبذب .

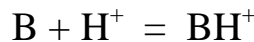
### • مفهوم الثنائية (أساس/حمض) :

- لكل حمض أساس مرافق و لكل أساس حمض مرافق .

- عندما يتخلى الحمض  $\text{HA}$  على بروتون  $\text{H}^+$  يعطي أساسه المرافق  $\text{A}^-$  وفق المعادلة :



و عندما يثبت أساس B بروتون  $\text{H}^+$  يعطي حمضه المرافق  $\text{BH}^+$  وفق المعادلة :



- نرسم للحمض و أساسه المرافق أو الأساس و حمضه المرافق بثنائية من الشكل (أساس/حمض) و تدعى الثنائية حمض أساس .

### أمثلة لبعض الثنائيات :

الحمض	الأساس	الثنائية (أساس/حمض)
$H_2O$	$OH^-$	$(H_2O/OH^-)$
$HBr$	$Br^-$	$(HBr/Br^-)$
$NH_4^+$	$NH_3$	$(NH_4^+/NH_3)$
$CH_3COOH$	$CH_3COO^-$	$(CH_3COOH/CH_3COO^-)$
$H_3O^+$	$H_2O$	$(H_3O^+/H_2O)$

### التمرين (1) :

أكتب صيغة الحمض المرافق لكل أساس و صيغة الأساس المرافق لكل حمض مع تحديد الثنائية (أساس/حمض) في كل ما يلي :

الحمض	الأساس	الثنائية (أساس/حمض)
	$HO^-$	
$HNO_3$		
	$NH_3$	
$HCOOH$		
	$SO_4^{2-}$	
	$CH_3O^-$	
	$NaOH$	
$HCl$		
	$PO_4^{3-}$	
$CH_3NH_3^+$		
	$CH_3COO^-$	

### الأجوبة :

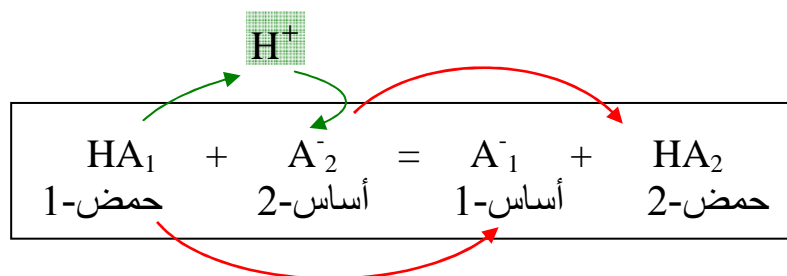
الحمض المرافق و الأساس المرافق :

الحمض	الأساس	الثنائية (أساس/حمض)
$H_2O$	$OH^-$	$(H_2O/OH^-)$
$HNO_3$	$NO_3^-$	$(HNO_3/NO_3^-)$
$NH_4^+$	$NH_3$	$(NH_4^+/NH_3)$
$HCOOH$	$HCOO^-$	$(HCOOH/HCOO^-)$
$HSO_4^-$	$SO_4^{2-}$	$(HSO_4^-/SO_4^{2-})$
$H_2SO_4$		$(H_2SO_4/SO_4^{2-})$
$CH_3COOH$	$CH_3COO^-$	$(CH_3COOH/CH_3COO^-)$
$Na^+$	$NaOH$	$(Na^+/NaOH)$
$HCl$	$Cl^-$	$(HCl/Cl^-)$

$\text{HPO}_3^{2-}$	$\text{PO}_3^{3-}$	$(\text{HPO}_3^{2-}/\text{PO}_3^{3-})$
$\text{H}_2\text{PO}_3^-$		$(\text{H}_2\text{PO}_3^-/\text{PO}_3^{3-})$
$\text{H}_3\text{PO}_3$		$(\text{H}_3\text{PO}_3/\text{PO}_3^{3-})$
$\text{CH}_3\text{NH}_3^+$	$\text{CH}_3\text{NH}_2$	$(\text{CH}_3\text{NH}_3^+/\text{CH}_3\text{NH}_2)$
$\text{CH}_3\text{COOH}$	$\text{CH}_3\text{COO}^-$	$(\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{COO}^-)$

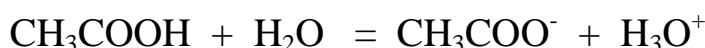
### • مفهوم التفاعل حمض - أساس :

حسب العالمين برونشتد و لوري ، التفاعل حمض- أساس هو كل تفاعل يحدث فيه تبادل بروتوني (فقدان و اكتساب بروتون  $\text{H}^+$ ) بين حمض و أساس لينتج الأساس و الحمض المرافقين وفق الآلية المبينة في المعادلة التالية :



### أمثلة :

• ينحل حمض الإيثانويك  $\text{CH}_3\text{COOH}$  في الماء وفق المعادلة :



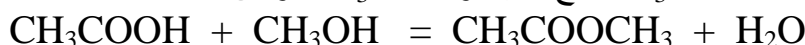
هذا التفاعل هو تفاعل حمض- أساس ، لأنه حدث فيه تبادل بروتوني كما يلي :



و الثنائيتين (أساس/حمض) الداخلتين في التفاعل هما :



• يتفاعل حمض الإيثانويك  $\text{CH}_3\text{COOH}$  مع الميثانول  $\text{CH}_3\text{OH}$  وفق المعادلة :

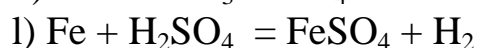
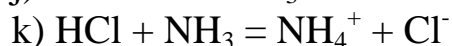
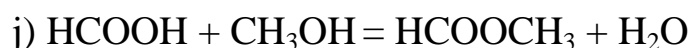


هذا التفاعل ليس تفاعل حمض- أساس ، لأنه لم يحدث فيه تبادل بروتوني .

### التمرين (2) :

من بين التفاعلات التالية ما هي التفاعلات التي تعتبر تفاعل حمض-أساس مبينا الثنائيات (أساس/حمض) الداخلة في التفاعل .

- $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{NH}_4^+ + \text{HO}^-$
- $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- $\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^-$
- $\text{Cu} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{HCl} + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^-$
- $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{Na} = \text{C}_2\text{H}_5\text{O}^- + \text{Na}^+ + 1/2\text{H}_2$
- $\text{HCOOH} + \text{H}_2\text{O} = \text{HCOO}^- + \text{H}_3\text{O}^+$
- $\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})} + 2\text{HO}^-_{(\text{aq})} = \text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{s})}$
- $\text{CH}_3\text{NH}_2 + \text{CH}_3\text{COOH} = \text{CH}_3\text{NH}_3^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$

**الأجوبة :**

التفاعل حمض أساس :

التفاعل	تفاعل حمض أساس أم لا	التبادل البروتوني الحادث	الثنائيات (أساس/حمض)
a	نعم	$\text{NH}_3 + \text{H}^+ = \text{NH}_4^+$ $\text{H}_2\text{O} = \text{HO}^- + \text{H}^+$	$(\text{NH}_4^+/\text{NH}_3)$ $(\text{H}_2\text{O}/\text{HO}^-)$
b	لا		
c	نعم	$\text{H}_2\text{O} + \text{H}^+ = \text{H}_3\text{O}^+$ $\text{H}_2\text{O} = \text{HO}^- + \text{H}^+$	$(\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2\text{O})$ $(\text{H}_2\text{O}/\text{HO}^-)$
d	لا		
e	نعم	$\text{HCl} = \text{Cl}^- + \text{H}^+$ $\text{H}_2\text{O} + \text{H}^+ = \text{H}_3\text{O}^+$	$(\text{HCl}/\text{Cl}^-)$ $(\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2\text{O})$
F	لا		
g	نعم	$\text{HCOOH} = \text{HCOO}^- + \text{H}^+$ $\text{H}_2\text{O} + \text{H}^+ = \text{H}_3\text{O}^+$	$(\text{HCOOH}/\text{HCOO}^-)$ $(\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2\text{O})$
h	لا		
i	نعم	$\text{CH}_3\text{NH}_2 + \text{H}^+ = \text{CH}_3\text{NH}_3^+$ $\text{CH}_3\text{COOH} = \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+$	$(\text{CH}_3\text{NH}_3^+/\text{CH}_3\text{NH}_2)$ $(\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{COO}^-)$
j	لا		
k	نعم	$\text{HCl}/\text{Cl}^-$ $\text{NH}_3 + \text{H}^+ = \text{NH}_4^+$	$(\text{HCl}/\text{Cl}^-)$ $(\text{NH}_4^+/\text{NH}_3)$
l	لا		

**• النسبة الكتلية :**

النسبة الكتلة P ( أو نسبة النقاوة ) في نوع كيميائي غير نقي تركيزه المولي  $C_0$  و كثافته d ، هي كتلة النوع الكيميائي النقي في 100 g من النوع الكيميائي غير النقي ، يعبر عنها بأحد العلاقة التالية :

$$P = \frac{M.C_0}{10.d}$$

**التمرين (3) :**

عينة مخبرية  $S_0$  لمحلول هيدروكسيد الصوديوم تحمل المعلومات التالية :  $d = 1.3$  و  $27\%$  - بين بالحساب أن التركيز المولي للمحلول يقارب  $C_0 = 8.8 \text{ mol.L}^{-1}$  .

**الأجوبة :**

- التركيز المولي للمحلول :

$$C_0 = \frac{10 \cdot d \cdot P}{M} = \frac{10 \cdot 1.3 \cdot 27}{40} = 8.8 \text{ mol/L}$$

**pH - المحاليل المائية****• مفهوم الـ pH :**

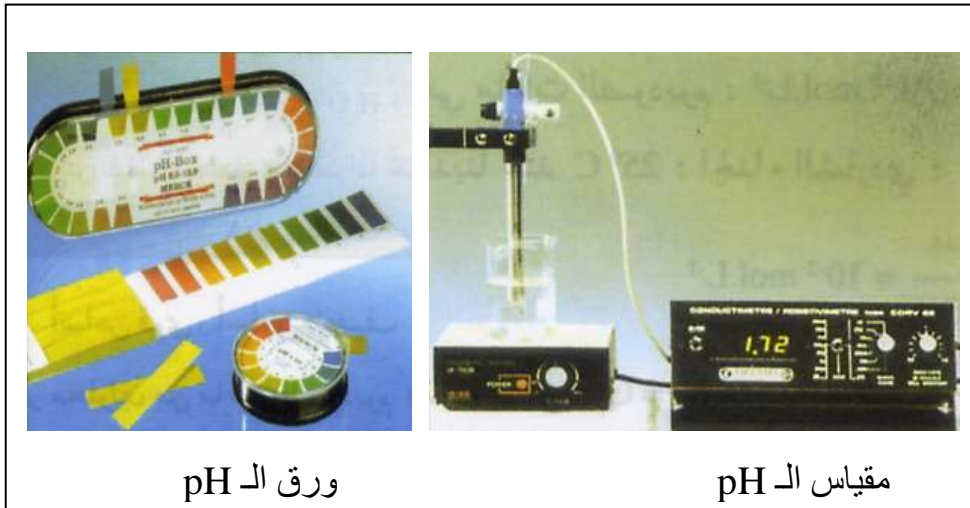
- من أجل المحاليل الممددة ( المخففة ) يعرف الـ pH بالعلاقة التالية :

$$\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$$

و هذه العلاقة تكافئ :

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} \text{ mol/L}$$

- بازدياد قيمة الـ pH تنقص قيمة  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  و العكس صحيح .
- من أجل قياس pH محلول نستعمل جهاز إلكتروني يدعى pH متر إذا كان القياس يتطلب دقة ، و يمكن استعمال ورق pH إذا كان القياس لا يتطلب دقة .

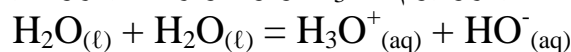


ورق الـ pH

مقياس الـ pH

**• الجداء الشاردي للماء في المحاليل المائية :**

- الماء المقطر يتفكك ذاتيا إلى شوارد الهيدرونيوم  $\text{H}_3\text{O}^+$  و شوارد الهيدروكسيد  $\text{HO}^-$  وفق المعادلة :



- هذا التفكك ضعيف جدا ، ما يجعل الماء المقطر ناقل ضعيف جدا للتيار الكهربائي .

- في الدرجة  $25^{\circ}\text{C}$  يكون :

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{HO}^-] = 10^{-7} \text{ mol/L}$$

و عند هذه الدرجة يكون أيضا :

$$[\text{H}_3\text{O}^+][\text{HO}^-] = 10^{-14}$$

- يعرف هذا الجداء بالجداء الشاردي للماء ، يرمز له بـ Ke و هو بدون وحدة و نكتب :

$$\text{Ke} = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{HO}^-]$$

- قيمة هذا الجداء نفسها في جميع المحاليل المائية عند نفس درجة الحرارة .

- إذا ازدادت قيمة  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  في محلول ما ، ينتج عنها نقصان في قيمة  $[\text{HO}^-]$  كي يبقى الجداء  $[\text{H}_3\text{O}^+][\text{HO}^-]$  ثابت في المحلول .

- تتغير قيمة الـ Ke بتغير درجة الحرارة كما مبين في الجدول التالي :

درجة الحرارة	0	$25^{\circ}\text{C}$	$40^{\circ}\text{C}$	$60^{\circ}\text{C}$	$80^{\circ}\text{C}$	$100^{\circ}\text{C}$
Ke	$1.1 \cdot 10^{-15}$	$1.0 \cdot 10^{-14}$	$3.0 \cdot 10^{-14}$	$1.0 \cdot 10^{-13}$	$2.5 \cdot 10^{-13}$	$5.5 \cdot 10^{-13}$

- مثلما عرفنا الـ pH فإن الـ pKe يعبر عنه بالعلاقة :

$$\text{pKe} = -\log \text{Ke}$$

و هذه العلاقة تكافئ :

$$\text{Ke} = 10^{-\text{pKe}}$$

**مثال :**

في الدرجة  $25^{\circ}\text{C}$  يكون :

$$\text{Ke} = 10^{-14} \rightarrow \text{pKe} = 14$$

في الدرجة  $60^{\circ}\text{C}$  يكون :

$$\text{Ke} = 10^{-13} \rightarrow \text{pKe} = 13$$

**● سلم الـ pH :**

في الماء المقطر و المحلول المعتدل يكون :

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{HO}^-]$$

ومنه يكون :

$$\text{Ke} = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{HO}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+]^2$$

$$\text{Ke} = [\text{H}_3\text{O}^+]^2$$

$$\log K_e = \log [H_3O^+]^2$$

$$\log K_e = 2 \log [H_3O^+]$$

$$-\log K_e = 2(-\log [H_3O^+])$$

$$pK_e = 2pH$$

إذن :

$$pH = \frac{1}{2} pK_e$$

- أثناء انحلال حمض في الماء المقطر نحصل على محلول حمضي ، و عندها يزداد  $[H_3O^+]$  و ينقص الـ pH ليكون :

$$pH < \frac{1}{2} pK_e$$

- أثناء انحلال الأساس في الماء المقطر نحصل على محلول أساسي ، و عندها ينقص  $[H_3O^+]$  و يزداد الـ pH ليكون :

$$pH > \frac{1}{2} pK_e$$

- pH المحلول محصور بين 0 و pKe و يمكن الحصول على الجدول التالي :

سلم الـ pH في المحاليل المائية عند الدرجة كيميائية		
أساسية	معتدلة	حمضية
$\frac{1}{2} pK_e < pH < pK_e$	$pH = \frac{1}{2} pK_e$	$0 < pH < \frac{1}{2} pK_e$

مثال :

المحاليل المائية عند الدرجة 25°C ( pKe = 14 )		
أساسية	معتدلة	حمضية
$pH > 7$	$pH = 7$	$pH < 7$

المحاليل المائية عند الدرجة 60°C ( pKe = 13 )		
أساسية	معتدلة	حمضية
$pH > 6.5$	$pH = 6.5$	$pH < 6.5$



**التمرين (4) :**

أكمل الجدول التالي علما أن القيم معطاة عند الدرجة  $25^{\circ}\text{C}$ .

pH	2		3.4		8		
$[\text{H}_3\text{O}^+]$ (mol.L <sup>-1</sup> )		$4 \cdot 10^{-3}$				$1.25 \cdot 10^{-9}$	
$[\text{HO}^-]$ (mol.L <sup>-1</sup> )							$1.25 \cdot 10^{-4}$
الطبيعة				معتدل			

**الأجوبة :**

إكمال الجدول :

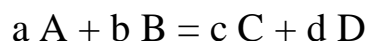
pH	2	2.4	3.4	7	8	8.9	10.1
$[\text{H}_3\text{O}^+]$ (mol.L <sup>-1</sup> )	$10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$3.98 \cdot 10^{-4}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$1.25 \cdot 10^{-9}$	$8 \cdot 10^{-11}$
$[\text{HO}^-]$ (mol.L <sup>-1</sup> )	$10^{-12}$	$2.5 \cdot 10^{-12}$	$2.51 \cdot 10^{-11}$	$10^{-7}$	$10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-6}$	$1.25 \cdot 10^{-4}$
الطبيعة	حمضي	حمضي	حمضي	معتدل	أساسي	أساسي	أساسي

**3- التوازن الكيميائي****تعريف التوازن الكيميائي :**

- إذا كان التفاعل الكيميائي عكوس فهو حتما سيكون غير تام لأن الأنواع الكيميائية الناتجة تتفاعل بعدما تتشكل ، وهذا ما يجعل المتفاعلات لا تختفي كليا .
- في التحول غير التام عند نلاحظ عدم تطور الجملة الكيميائية بعد مدة ، أي عندما تكون المتفاعلات و النواتج موجودة في الحالة النهائية بكميات ثابتة نقول عن الجملة الكيميائية أنها في حالة توازن .
- عند التوازن يتوقف التفاعل ظاهريا فقط ، لكن على المستوى المجهرى لا يتوقف و إنما يكون التفاعل و التفاعل المعاكس ثابتي و متساويي السرعة (توازن ديناميكي) .

**كسر التفاعل :**

- نعتبر جملة كيميائية تتكون من الأنواع الكيميائية A ، B ، C ، D متوازنة و وفق المعادلة :



في لحظة t من التفاعل ، نعرف كسر التفاعل الذي يرمز له بـ  $Q_r$  و هو بدون وحدة بالعلاقة :

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

- في وسط تفاعلي مائي ، لا يدخل في عبارة كسر التفاعل السابقة كل نوع كيميائي غازي أو صلب أو إذا كان النوع الكيميائي بزيادة مثل الماء أو شوارد الهيدرونيوم  $\text{H}_3\text{O}^+$  عندما تستعمل في تحميض وسط تفاعلي .
- كسر التفاعل ليس له وحدة .
- في نهاية التفاعل غير التام (المحدود) يكون :

$$Q_r = Q_{rf} = K$$

يسمى المقدار  $K$  بثابت التوازن الكيميائي و نكتب :

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

- في نهاية التفاعل التام لا معنى لثابت التوازن الكيميائي  $K$  لأن تركيز أحد المتفاعلين أو كلاهما يكون معدوم .

### ● نسبة التقدم :

- في اللحظة  $t$  من التحول الكيميائي أين يكون التقدم  $x$  ، تعرف نسبة تقدم التفاعل في هذه اللحظة و التي يرمز لها بـ  $\tau$  و هي بدون وحدة و محصورة بين 0 و 1 بالعلاقة :

$$\tau = \frac{x}{x_{\max}}$$

- في نهاية التفاعل أين يكون  $x = x_f$  ، يعبر عن نسبة التقدم و التي تسمى في هذه الحالة نسبة التقدم النهائي بالعلاقة :

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

- إذا كان في تفاعل ما  $x_f = x_{\max}$  أو  $\tau_f = 1$  فإن هذا التفاعل يكون تام .
- إذا كان في تفاعل ما  $x_f < x_{\max}$  أو  $\tau_f < 1$  فإن هذا التفاعل يكون غير تام .
- إذا كان في تفاعل ما  $Q_{rf} \gg 10^4$  ، يمكن اعتبار التفاعل تام .

### ملحظة :

- أثبتت التجارب أن نسبة التقدم النهائي لا تتغير بتغير درجة الحرارة في حين تتناقص بزيادة التراكيز الابتدائية للمتفاعلات ، كما أن ثابت التوازن  $K$  (كسر التفاعل النهائي  $Q_{rf}$ ) يتغير بتغير درجة الحرارة ، و لا يتغير بتغير التراكيز الابتدائية للمتفاعلات .

### التمرين (5) :

- 1- نحضر محلول لحمض الإيثانويك  $\text{CH}_3\text{COOH}$  تركيزه المولي الابتدائي  $C_1 = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$  وحجمه  $V_1 = 100 \text{ ml}$  قيمة  $\text{pH}$  له  $\text{pH} = 3,7$  عند الدرجة  $25^\circ\text{C}$  .  
أ- أكتب معادلة انحلال حمض الإيثانويك في الماء .  
ب- أنشئ جدول تقدم التفاعل ، و حدد من خلاله قيمة التقدم الأعظمي .  
ج- أوجد التقدم النهائي  $x_f$  و كذا نسبة التقدم النهائي  $\tau_{f1}$  . ماذا تستنتج ؟  
د- أكتب عبارة ثابت التوازن للتفاعل ثم بين أنه يساوي القيمة :  $K_1 = 1,6 \cdot 10^{-5}$  .
- 2- نقيس عند الدرجة  $25^\circ\text{C}$  الناقلية النوعية لمحلول آخر لحمض الإيثانويك تركيزه  $C_2 = 0,1 \text{ mol/L}$  فنجد :  $\sigma = 5 \cdot 10^{-2} \text{ S/m}$  .

أ- اعتمادا على جدول التقدم أثبت ما يلي :

$$[CH_3COO^-]_f = [H_3O^+]_f \cdot$$

$$[CH_3COOH]_f = C - [H_3O^+]_f \cdot$$

ب- أكتب عبارة  $[H_3O^+]_f$  بدلالة  $\lambda(H_3O^+)$  و  $\lambda(CH_3COO^-)$  و  $\sigma$  . ثم أحسب قيمتها

ج- أثبت أن :  $\tau_f = \frac{[H_3O^+]_f}{C}$  ، ثم بين أن نسبة التقدم النهائي  $\tau_{f2} = 1.25$  .

د- أحسب ثابت التوازن الكيميائي  $K_2$  في هذا التفاعل .

3- من خلال قيم كل من  $\tau_{f1}$  ،  $\tau_{f2}$  ،  $K_1$  ،  $K_2$  :

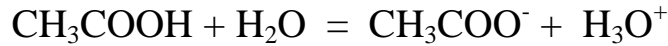
- ما تأثير التراكيز الابتدائية على ثابت التوازن  $K$  .

- ما تأثير التراكيز الابتدائية على نسبة التقدم النهائي  $\tau_f$  .

يعطى :  $\lambda(H_3O^+) = 35.9 \cdot 10^{-3} \text{ S.m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$  ،  $\lambda(CH_3COO^-) = 4.1 \cdot 10^{-3} \text{ S.m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$  .

### الأجوبة :

1-أ- معادلة الانحلال :



ب- جدول التقدم النهائي :

الحالة	التقدم	$CH_3COOH + H_2O = CH_3COO^- + H_3O^+$			
ابتدائية	$x = 0$	$n_0 = CV$	بز	0	0
انتقالية	$x$	$CV - x$	بز	$x$	$x$
نهائية	$x_f$	$CV - x_f$	بز	$x_f$	$x_f$

$$n_0(CH_3COOH) = CV = 2.7 \cdot 10^{-3} \cdot 0.1 = 2.7 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

- التقدم الأعظمي  $x_{\max}$  :

- إذا اعتبرنا التفاعل تام :

$$CV - x_{\max} = 0 \rightarrow x_{\max} = CV = 2.7 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

ج- التقدم النهائي  $x_f$  :

$$PH = 3.7 \rightarrow [H_3O^+]_{f1} = 10^{-3.7} = 2.0 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

من جدول التقدم :

$$[H_3O^+]_{f1} = \frac{n_{1f}(H_3O^+)}{V_1} = \frac{x_{f1}}{V_1} \rightarrow x_{f1} = [H_3O^+]_{f1} \cdot V_1$$

$$x_{f1} = 2 \cdot 10^{-4} \cdot 0.1 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$$

- النسبة النهائية للتقدم  $\tau_f$  :

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

$$\tau_{f1} = \frac{2 \cdot 10^{-5}}{2.7 \cdot 10^{-4}} = 0.074 \quad (7.4 \%)$$

الاستنتاج :

نلاحظ :  $\tau_f < 1$  ، نستنتج أن انحلال حمض الإيثانويك في الماء هو تحول غير تام ، كما أن الإيثانويك هو حمض ضعيف .

د- عبارة ثابت التوازن الكيميائي K :

$$K_1 = \frac{[H_3O^+]_{f1} [CH_3COO^-]_{f1}}{[CH_3COOH]_{f1}}$$

إثبات أن  $K = 1.6 \cdot 10^{-5}$  :

$$\bullet [H_3O^+]_{f1} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$$

$$\bullet [CH_3COO^-]_{f1} = \frac{x_{f1}}{V_1} = \frac{2 \cdot 10^{-5}}{0.1} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$$

$$\bullet [CH_3COOH]_{f1} = \frac{2.7 \cdot 10^{-4} - x_{f1}}{0.1} = \frac{2.7 \cdot 10^{-4} - 2 \cdot 10^{-5}}{0.1} = 2.5 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$$K_1 = \frac{2 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^{-4}}{2.5 \cdot 10^{-3}} = 1.6 \cdot 10^{-5}$$

2-أ- إثبات  $[CH_3COO^-]_f = [H_3O^+]_f$  :

اعتمادا على جدول التقدم :

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

$$\bullet [CH_3COO^-]_f = \frac{n_f(CH_3COO^-)}{V} = \frac{x_f}{V}$$

$$[CH_3COO^-]_f = [H_3O^+]_f$$

• إثبات  $[CH_3COOH]_f = C - [H_3O^+]_f$  :

اعتمادا على جدول التقدم :

$$\bullet [H_3O^+]_f = \frac{x_f}{V}$$

$$\bullet [CH_3COOH]_f = \frac{n_f(CH_3COOH)}{V} = \frac{CV - x_f}{V}$$

$$[CH_3COOH]_f = \frac{CV}{V} - \frac{x_f}{V}$$

$$[CH_3COOH]_f = C - [H_3O^+]_f$$

ب- عبارة  $[H_3O^+]_f$  بدلالة  $\delta$  ،  $\lambda(CH_3COO^-)$  ،  $\lambda(H_3O^+)$  :

$$\delta = \lambda(H_3O^+) [H_3O^+] + \lambda(CH_3COO^-) [CH_3COO^-]_f$$

وجدنا سابقا :

$$[CH_3COO^-]_f = [H_3O^+]_f$$

ومنه يصبح :

$$\delta = \lambda(H_3O^+) [H_3O^+] + \lambda(CH_3COO^-) [H_3O^+]_f$$

$$\delta = (\lambda(H_3O^+) + \lambda(CH_3COO^-)) [H_3O^+]_f$$

$$[H_3O^+]_f = \frac{\delta}{\lambda(H_3O^+) + \lambda(CH_3COO^-)}$$

$$[H_3O^+]_f = \frac{5.10^{-2}}{35.9.10^{-3} + 4.1.10^{-3}} = 1.25 \text{ mol/m}^3 = 1.25.10^{-3} \text{ mol/L}$$

ج- إثبات  $\tau_f = \frac{[H_3O^+]_f}{C}$  لدينا :

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

- اعتمادا على جدول التقدم :

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

- باعتبار التفاعل التام يكون حيث وجدنا سابقا :

$$CV - x_{\max} = 0 \rightarrow x_{\max} = CV$$

- بالتعويض في عبارة  $\tau_f$  :

$$\tau_f = \frac{[H_3O^+]_f \cdot V}{CV}$$

$$\tau_f = \frac{[H_3O^+]_f}{C}$$

قيمة  $\tau_{f2}$  :

$$\tau_{f2} = \frac{1.25.10^{-3}}{10^{-1}} = 1.25.10^{-2} \quad (1.25\%)$$

د- ثابت التوازن الكيميائي  $K_2$  في هذا التفاعل :  
لدينا :

$$K_2 = \frac{[H_3O^+]_{f2} [CH_3COO^-]_{f2}}{[CH_3COOH]_{f2}}$$

اعتمادا على ما سبق :

- $[H_3O^+]_{f2} = 1.25 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$
- $[CH_3COO^-]_f = [H_3O^+]_f = 1.25 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$
- $[CH_3COOH]_{f2} = C - [H_3O^+]_{f2} = 0.1 - 1.25 \cdot 10^{-3} = 9.88 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$

بالتعويض في عبارة  $K_2$  نجد :

$$K_2 = \frac{1.25 \cdot 10^{-3} \cdot 1.25 \cdot 10^{-3}}{9.88 \cdot 10^{-2}} \approx 1.6 \cdot 10^{-5}$$

3- تأثير التراكيز الابتدائية في ثابت التوازن  $K$  و نسبة التقدم النهائية  $\tau_f$  :  
وجدنا سابقا :

$$\begin{aligned} C_1 &= 2.7 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L} \rightarrow K_1 = 1.6 \cdot 10^{-5} \\ C_2 &= 1.0 \cdot 10^{-1} \text{ mol/L} \rightarrow K_2 = 1.6 \cdot 10^{-5} \\ C_2 &> C_1 \rightarrow K_1 = K_2 \end{aligned}$$

هذا يعني أن ثابت التوازن الكيميائي لا يتعلق بالتراكيز الابتدائية عندما لا تتغير درجة الحرارة .  
وجدنا سابقا أيضا :

$$\begin{aligned} C_1 &= 2.7 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L} \rightarrow \tau_{f1} = 7.4 \% \\ C_2 &= 1.0 \cdot 10^{-1} \text{ mol/L} \rightarrow \tau_{f2} = 1.25 \% \\ C_2 &> C_1 \rightarrow \tau_{f2} < \tau_{f1} \end{aligned}$$

هذا يعني أن نسبة التقدم النهائي تتناقص كلما ازدادت التراكيز الابتدائية .

## التمرين (6) :

- لدينا محلول للنشادر  $NH_3$  حجمه  $V$  و تركيزه  $C$  مقدرا بالوحدة  $(\text{mol.L}^{-1})$  .
- 1- اكتب معادلة التفاعل الكيميائي المنمذج للتحول الكيميائي الحاصل بين النشادر و الماء .
  - 2- أنشئ جدولا لتقدم التفاعل الكيميائي السابق .
  - 3- اعتمادا على جدول التقدم أثبت أن :

$$\begin{aligned} \bullet \quad [NH_4^+]_f &= [HO^-]_f \\ \bullet \quad [NH_3]_f &= C - [HO^-]_f \\ \bullet \quad \tau_f &= \frac{[HO^-]}{C} \end{aligned}$$

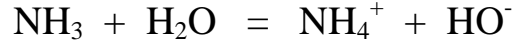
$$\bullet \quad [HO^-]_f = \frac{\sigma_f}{\lambda(NH_4^+) + \lambda(HO^-)} \quad (\text{يهمل التشرّد الذاتي للماء})$$

- 4- في الدرجة  $25^\circ\text{C}$  لدينا محلول مائي للنشادر  $NH_3$  تركيزه المولي  $C = 10^{-2} \text{ mol/L}$  و ذو  $\text{pH} = 10.6$  .

- أ- أحسب تراكيز الأفراد الكيميائية المتواجدة في المحلول عند حدوث التوازن .  
 ب- أحسب نسبة التقدم النهائي  $\tau_f$  . ماذا تستنتج علما أن النشادر عبارة عن أساس .

**الأجوبة :**

1- معادلة التفاعل الكيميائي :



2- جدول التقدم :

الحالة	التقدم	$\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{NH}_4^+ + \text{HO}^-$			
ابتدائية	$x = 0$	$n_{0b} = CV$	زيادة	0	0
انتقالية	$x$	$CV - x$	زيادة	$x$	$x$
نهائية	$x_f$	$CV - x_f$	زيادة	$x_f$	$x_f$

$$3- \bullet \text{ إثبات } \underline{[\text{NH}_4^+]_f = [\text{HO}^-]_f}$$

اعتمادا على جدول التقدم :

$$\begin{aligned} \bullet [\text{HO}^-]_f &= \frac{n_f(\text{HO}^-)}{V} = \frac{x_f}{V} \rightarrow x_f = [\text{HO}^-]_f \cdot V \\ \bullet [\text{NH}_4^+]_f &= \frac{x_f}{V} = \frac{[\text{HO}^-]_f \cdot V}{V} \rightarrow [\text{NH}_4^+]_f = [\text{HO}^-]_f \end{aligned}$$

$$\bullet \text{ إثبات } \underline{[\text{NH}_3]_f = C - [\text{HO}^-]_f}$$

اعتمادا على جدول التقدم :

$$\begin{aligned} \bullet [\text{HO}^-]_f &= \frac{n_f(\text{HO}^-)}{V} = \frac{x_f}{V} \rightarrow x_f = [\text{HO}^-]_f \cdot V \\ \bullet [\text{NH}_3]_f &= \frac{CV - x_f}{V} = \frac{CV - [\text{HO}^-]_f \cdot V}{V} = \frac{V(C - [\text{HO}^-]_f)}{V} \rightarrow [\text{NH}_3]_f = C - [\text{HO}^-]_f \end{aligned}$$

$$\bullet \text{ إثبات } \underline{\tau_f = \frac{[\text{HO}^-]_f}{C}}$$

لدينا :

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

اعتمادا على جدول التقدم :

$$[\text{HO}^-]_f = \frac{n_f(\text{HO}^-)}{V} = \frac{x_f}{V} \rightarrow x_f = [\text{HO}^-]_f \cdot V$$

بفرض أن التفاعل تام يكون :

$$CV - x_{\max} = 0 \rightarrow x_{\max} = CV$$

بالتعويض في عبارة  $\tau_f$  :

$$\tau_f = \frac{[\text{HO}^-]_f V}{C V} \rightarrow \tau_f = \frac{[\text{HO}^-]_f}{C}$$

• إثبات :  $[\text{HO}^-]_f = \frac{\sigma_f}{\lambda(\text{NH}_4^+) + \lambda(\text{HO}^-)}$  (بإهمال التشرّد الذاتي للماء) :

محلول النشادر يحتوي على الشوارد  $\text{NH}_4^+$  ،  $\text{HO}^-$  بالإضافة إلى الشوارد  $\text{H}_3\text{O}^+$  التي إهملت بسبب إهمال التفكك الشاردي للماء ، لذا يكون :

$$\sigma_f = \lambda(\text{NH}_4^+) [\text{NH}_4^+]_f + \lambda(\text{HO}^-) [\text{HO}^-]_f$$

اعتمادا على جدول التقدم :

$$\bullet [\text{HO}^-]_f = \frac{n_f(\text{HO}^-)}{V} = \frac{x_f}{V} \rightarrow x_f = [\text{HO}^-]_f \cdot V$$

$$\bullet [\text{NH}_4^+]_f = \frac{x_f}{V} = \frac{[\text{HO}^-]_f \cdot V}{V} \rightarrow [\text{NH}_4^+]_f = [\text{HO}^-]_f$$

و منه يصبح :

$$\sigma_f = \lambda(\text{NH}_4^+) [\text{HO}^-]_f + \lambda(\text{HO}^-) [\text{HO}^-]_f$$

$$\sigma_f = (\lambda(\text{NH}_4^+) + \lambda(\text{HO}^-)) [\text{HO}^-]_f \rightarrow [\text{HO}^-]_f = \frac{\sigma_f}{\lambda(\text{NH}_4^+) + \lambda(\text{HO}^-)}$$

4-أ- تراكيز الأفراد الكيميائية المتواجدة في المحلول عند حدوث التوازن :  
الأفراد :  $\text{H}_2\text{O}$  ،  $\text{HO}^-$  ،  $\text{H}_3\text{O}^+$  ،  $\text{NH}_4^+$  ،  $\text{NH}_3$  (غير منحلة) .  
التراكيز :

$$\bullet \text{pH} = 10.6 \rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-10.6} = 2.5 \cdot 10^{-11} \text{ mol/L}$$

$$\bullet [\text{HO}^-] = \frac{K_e}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = \frac{10^{-14}}{2.5 \cdot 10^{-11}} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$$

اعتمادا على جدول التقدم و مما سبق :

$$\bullet [\text{NH}_4^+]_f = [\text{HO}^-]_f = 4 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$$

$$\bullet [\text{NH}_3]_f = C - [\text{HO}^-]_f = 10^{-2} - 4 \cdot 10^{-4} = 9.6 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

ب- نسبة التقدم النهائي :  
مما سبق وجدنا :

$$\tau_f = \frac{[\text{HO}^-]}{C}$$

إذن :

$$\tau_f = \frac{4 \cdot 10^{-4}}{10^{-2}} = 4 \cdot 10^{-2} \quad (\tau_f = 4\%)$$

الاستنتاج :

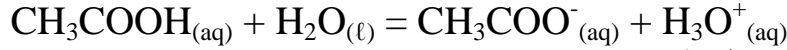
نلاحظ :  $\tau_f < 1$  ، نستنتج أن انحلال النشادر في الماء هو تحول غير تام ، كما أن النشادر هو أساس ضعيف .



## تمارين مقترحة

### التمرين (7) : ( بكالوريا 2008 - علوم تجريبية ) (الحل المفصل : تمرين مقترح 06 على الموقع)

- نمذج التحول الكيميائي المحدود لحمض الإيثانويك (حمض الخل) مع الماء بتفاعل كيميائي معادلته :



- 1- أعط تعريفا للحمض وفق نظرية برونشتد .
- 2- أكتب الثنائيتين (أساس/ حمض) الداخلتين في التفاعل الحاصل .
- 3- أكتب عبارة ثابت التوازن K الموافق للتفاعل الكيميائي السابق .
- II- نحضر محلولاً مائياً لحمض الإيثانويك حجمه  $V = 100 \text{ mL}$  ، و تركيزه المولي  $C = 2.7 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$  ، و قيمة الـ pH له في الدرجة  $25^\circ\text{C}$  تساوي 3.7 .
- 1- استنتج التركيز المولي النهائي لشوارد الهيدرونيوم في محلول حمض الإيثانويك .
- 2- انشئ جدولاً لتقدم التفاعل ، ثم أحسب كلا من التقدم النهائي  $X_f$  و التقدم الأعظمي  $X_{\text{max}}$  .
- 3- أحسب قيمة النسبة النهائية  $(\tau_f)$  لتقدم التفاعل . ماذا تستنتج ؟
- 4- أحسب :
- أ- التركيز المولي النهائي لكل من  $(\text{CH}_3\text{COOH})$  و  $(\text{CH}_3\text{COO}^{-})$  .
- ب- قيمة  $\text{pKa}$  للثنائية  $(\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{COO}^{-})$  ، و استنتج النوع الكيميائي المتغلب في المحلول الحمضي .

### أجوبة مختصرة :

I-1 ( الحمض هو كل فرد كيميائي جزيئياً كان أم شاردياً قادر إلى إعطاء بروتون هيدروجين  $\text{H}^+$  أو أكثر خلال تفاعل كيميائي .

$$K = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^{-}]_f [\text{H}_3\text{O}^{+}]_f}{[\text{CH}_3\text{COOH}]_f} \quad (2) \quad (\text{H}_3\text{O}^{+}/\text{H}_2\text{O}) , \quad (3) \quad (\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{COO}^{-})$$

$$[\text{H}_3\text{O}^{+}]_f = 2 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L} \quad (1\text{-II})$$

- جدول التقدم :

الحالة	التقدم	$\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} = \text{CH}_3\text{COO}^{-} + \text{H}_3\text{O}^{+}$
ابتدائية	$x = 0$	$2.7 \cdot 10^{-4}$ بزيادة    0    0
انتقالية	$x$	$2.7 \cdot 10^{-4} - x$ بزيادة $x$ $x$
نهائية	$x_f$	$2.7 \cdot 10^{-4} - x_f$ بزيادة $x_f$ $x_f$

$$\tau_f = \frac{X_f}{X_{\text{max}}} = 0.074 \quad (74\%) \quad , \quad x_f = 2 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$$

(3)  $\tau_f < 1$  ، نستنتج أن انحلال  $\text{CH}_3\text{COOH}$  في الماء غير تام و أن الحمض  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ضعيف .

$$(4\text{-أ}) \quad [\text{CH}_3\text{COOH}]_f = 2.5 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L} \quad , \quad [\text{CH}_3\text{COO}^{-}]_f = 2 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$$

$$(ب) \quad \text{pKa} = 4.8 \quad , \quad K_a = 1.6 \cdot 10^{-5}$$

→  $\text{pH} < \text{pKa}$  ، إذن النوع الكيميائي المتغلب هو الحمض  $\text{CH}_3\text{COOH}$  .

**التمرين (8) :** ( بكالوريا 2008 – رياضيات ) ( الحل المفصل : تمرين مقترح 07 على الموقع )

نعتبر محلولاً مائياً لحمض الإيثانويك حجمه  $V = 100 \text{ mL}$  وتركيزه المولي  $C = 1.0 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$ . نقيس الناقلية  $G$  لهذا المحلول في الدرجة  $25^\circ\text{C}$  بجهاز قياس الناقلية ، ثابت خلتيته  $k = 1.2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$  فكانت النتيجة  $G = 1.92 \cdot 10^{-4} \text{ S}$ .

- 1- أحسب كتلة الحمض النقي المنحلة في الحجم  $V$  من المحلول .
- 2- أكتب معادلة التفاعل المنمذج لانحلال حمض الإيثانويك في الماء .
- 3- أنشئ جدولاً لتقدم التفاعل . عرف التقدم الأعظمي  $x_{\max}$  و عبر عنه بدلالة التركيز  $C$  للمحلول و حجمه  $V$  .
- 4- أ) أعط عبارة الناقلية النوعية  $\sigma$  للمحلول :  
- بدلالة الناقلية  $G$  للمحلول و الثابت  $k$  للخلية .  
- بدلالة التركيز المولي لشوارد الهيدرونيوم  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  ، و الناقلية المولية الشاردية  $\lambda(\text{H}_3\text{O}^+)$  و الناقلية المولية الشاردية  $\lambda(\text{CH}_3\text{COO}^-)$  ( نهمل التشرد الذاتي للماء ) .
- ب) استنتج عبارة  $[\text{H}_3\text{O}^+]_f$  في الحالة النهائية ( حالة التوازن ) بدلالة  $G$  ،  $k$  ،  $\lambda(\text{H}_3\text{O}^+)$  ،  $\lambda(\text{CH}_3\text{COO}^-)$  .  
أحسب قيمته .
- ج) استنتج قيمة  $\text{pH}$  المحلول .

- 5) أوجد عبارة كسر التفاعل  $Q_{\text{rf}}$  في الحالة النهائية (حالة التوازن) بدلالة  $[\text{H}_3\text{O}^+]_f$  و التركيز  $C$  للمحلول . ماذا يمثل  $Q_{\text{rf}}$  في هذه الحالة ؟
- 6) أحسب  $\text{pKa}$  للثنائية  $(\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{COO}^-)$  .

يعطى :  
 $M(\text{O}) = 16 \text{ g/mol}$  ،  $M(\text{H}) = 1 \text{ g/mol}$  ،  $M(\text{C}) = 12 \text{ g/mol}$   
 $\lambda(\text{H}_3\text{O}^+) = 35 \text{ mS.m}^2.\text{mol}^{-1}$  ،  $\lambda(\text{CH}_3\text{COO}^-) = 4.1 \text{ mS.m}^2.\text{mol}^{-1}$  ،  $K_e = 10^{-14}$

**أجوبة مختصرة :**

- 1)  $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} = \text{CH}_3\text{COO}^-_{(\text{aq})} + \text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}$  ،  $m = CVM = 0.06 \text{ g}$
- 3) جدول التقدم :

الحالة	التقدم	$\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} = \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_3\text{O}^+$
ابتدائية	$x = 0$	$n_0 = CV$ زيادة      0      0
انتقالية	$x$	$CV - x$ زيادة $x$ $x$
نهائية	$x_f$	$CV - x_f$ زيادة $x_f$ $x_f$

- التقدم الأعظمي  $x_{\max}$  هو قيمة التقدم  $x$  عندما تتفاعل كل كمية الحمض و عليه ،  $x_{\max} = n_0 = CV$  .

$$4- \text{ أ) } \sigma = \frac{G}{K} \text{ ، } \sigma = (\lambda(\text{CH}_3\text{COO}^-) + \lambda(\text{H}_3\text{O}^+))[\text{H}_3\text{O}^+] \text{ .}$$

$$\text{ب) } \text{pH} = 3.4 \text{ ، } [\text{H}_3\text{O}^+]_f = \frac{G}{K (\lambda(\text{CH}_3\text{COO}^-) + \lambda(\text{H}_3\text{O}^+))} = 0.4 \text{ mol/m}^3 = 4 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$$

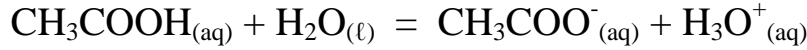
$$5) \text{ ، } Q_{\text{rf}} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_f^2}{C - [\text{H}_3\text{O}^+]_f}$$

- يمثل  $Q_{\text{rf}}$  في هذه الحالة ثابت الحموضة  $K_a$  للثنائية  $(\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{COO}^-)$  .

$$6) \text{ Ka} = 1.66 \cdot 10^{-5} \rightarrow \text{pKa} \approx 4.8$$

**التمرين (9) :** ( بكالوريا 2011 - علوم تجريبية ) (الحل المفصل : تمرين مقترح 12 على الموقع)

انحلال حمض الإيثانويك  $\text{CH}_3\text{COOH}$  في الماء هو تحول كيميائي يتمذج بالتفاعل ذي المعادلة التالية :



نقيس في الدرجة  $25^\circ\text{C}$  الناقلية النوعية للمحلول الذي تركيزه المولي الابتدائي  $C_0 = 1.0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$  فنجدها  $\sigma = 1.6 \cdot 10^{-2} \text{ S.m}^{-1}$ .

- 1- حدد الثنائيات (أساس/حمض) المشاركة في هذا التحول .
- 2- أكتب عبارة ثابت التوازن الكيميائي  $K$  بدلالة  $C_0$  و  $[\text{H}_3\text{O}^{+}_{(\text{aq})}]_{\text{eq}}$  .
- 3- يعطى الشكل العام لعبارة الناقلية النوعية في كل لحظة بدلالة التركيز المولي و الناقلات النوعية المولية الشاردية لمختلف الأفراد الكيميائية المتواجدة في المحلول بالصيغة  $\sigma = \sum_{i=1}^{i=n} \lambda_i [x_i]$  .
- اكتب العبارة الحرفية للناقلية النوعية  $\sigma$  للمحلول السابق ، (يهمل التفكك الذاتي للماء ) .
- 4- أنشئ جدولاً لتقدم التفاعل الحادث .
- 5- أ- احسب التراكيز المولية لمختلف الأفراد الكيميائية المتواجدة في المحلول عند توازن الجملة الكيميائية .  
ب- احسب ثابت التوازن الكيميائي  $K$  .  
ج- عين النسبة النهائية للتقدم  $\tau_f$  . ماذا تستنتج ؟

**المعطيات :**

$$\lambda(\text{H}_3\text{O}^{+}) = 35.9 \cdot 10^{-3} \text{ S.m}^2.\text{mol}^{-1} ; \quad \lambda(\text{CH}_3\text{COO}^{-}) = 4.10 \cdot 10^{-3} \text{ S.m}^2.\text{mol}^{-1}$$

**أجوبة مختصرة :**

$$K = \frac{[\text{H}_3\text{O}^{+}]_{\text{eq}}^2}{C_0 - [\text{H}_3\text{O}^{+}]_{\text{eq}}} , \quad (\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{COO}^{-}) ; \quad (\text{H}_3\text{O}^{+}/\text{H}_2\text{O}) \quad (1)$$

$$\sigma_f = \lambda(\text{CH}_3\text{COO}^{-}) [\text{CH}_3\text{COO}^{-}]_f + \lambda(\text{H}_3\text{O}^{+}) [\text{H}_3\text{O}^{+}]_f \quad (3)$$

**(4) جدول التقدم :**

الحالة	التقدم	$\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} = \text{CH}_3\text{COO}^{-} + \text{H}_3\text{O}^{+}$
ابتدائية	$x = 0$	$n_0 = CV$
انتقالية	$x$	$CV - x$
نهائية	$x_f$	$CV - x_f$

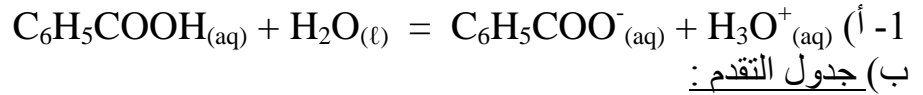
$$, [\text{CH}_3\text{COO}^{-}]_f = 4.10^{-4} \text{ mol/L} , [\text{H}_3\text{O}^{+}]_f = 4.10^{-4} \text{ mol/L} \quad (5)$$

$$, K = 1.66 \cdot 10^{-5} \quad (\text{ب} , [\text{CH}_3\text{COOH}]_f = 9.6 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L})$$

(ج)  $\tau_f = \frac{[\text{H}_3\text{O}^{+}]_f}{C} = 0.04 \quad (4\%)$  ،  $\tau_f < 1$  نستنتج أن التفاعل المنمذج لانحلال الحمض  $\text{CH}_3\text{COOH}$  في الماء غير تام (محدود) و أن الحمض  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ضعيف .

**التمرين (10) :** ( بكالوريا 2012 - رياضيات ) (الحل المفصل : تمرين مقترح 15 على الموقع)

- 1- نحضر محلولاً مائياً  $S_1$  حجمه  $V = 200 \text{ mL}$  لحمض البنزويك  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$  بتركيز مولي  $C_1 = 1.00 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$  ، ثم نقيس  $\text{pH}$  هذا المحلول فنجد  $\text{pH}_1 = 3.1$  .  
 أ- اكتب معادلة تفاعل حمض البنزويك مع الماء .  
 ب- أنشئ جدولاً لتقدم التفاعل .  
 ج- احسب نسبة التقدم النهائي  $\tau_{1f}$  لهذا التفاعل . ماذا تستنتج ؟  
 د- اكتب عبارة ثابت الحموضة  $K_{a1}$  للثنائية  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}_{(aq)}/\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^{-}_{(aq)}$  .  
 هـ- أثبت أن :  $K_{a1}$  يعطى بالعلاقة :  $K_{a1} = C_1 \frac{\tau_{1f}^2}{1 - \tau_{1f}}$  ، ثم احسب قيمته .
- 2- نأخذ حجماً  $20 \text{ mL}$  من المحلول  $S_1$  و نمدده 10 مرات بالماء فنحصل على محلول  $S_1'$  لحمض البنزويك بتركيز مولي  $C_1' = 1.00 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$  ، ثم نقيس  $\text{pH}$  هذا المحلول فنجد  $\text{pH}_1' = 3.6$  .  
 أ- أثبت أن :  $C_1' = 1.00 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$  .  
 ب- احسب القيمة الجديدة لنسبة التقدم النهائي  $\tau_{2f}$  لتفاعل حمض البنزويك مع الماء .  
 ج- ما هو تأثير تخفيف المحاليل على نسبة التقدم النهائي ؟

**أجوبة مختصرة :**

الحالة	التقدم	$\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} = \text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^{-} + \text{H}_3\text{O}^{+}$			
ابتدائية	$x = 0$	$n_0 = C_1 V$	زيادة	0	0
انتقالية	$x$	$C_1 V - x$	زيادة	$x$	$x$
نهائية	$x_f$	$C_1 V - x_f$	زيادة	$x_f$	$x_f$

- جـ) (8%)  $\tau_f = 0.08$  ،  $\tau_f < 1$  نستنتج أن التفاعل الحادث بين حمض البنزويك و الماء غير تام (محدود)  
 كما أن حمض البنزويك ضعيف .  
 د)  $K_{a1} = 6.96 \cdot 10^{-5}$  (هـ) ،  $K_{a1} = \frac{[\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^{-}]_f [\text{H}_3\text{O}^{+}]_f}{[\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}]_f}$   
 2- ب) (25%)  $\tau_{2f} = 0.25$   
 جـ)  $\tau_{2f} > \tau_{1f} \rightarrow C_1' < C_1$  ، نستنتج أن نسبة التقدم النهائي تزداد كلما خفف المحلول .

**التمرين (11) :** (الحل المفصل : تمرين مقترح 03 على الموقع)

- نريد دراسة التفاعل بين  $0.1 \text{ mol}$  من شوارد الإيثانوات  $\text{CH}_3\text{COO}^{-}$  مع  $0.1 \text{ mol}$  من حمض الميثانويك  $\text{HCOOH}$  الذي يتم وفق المعادلة :
- $$\text{CH}_3\text{COO}^{-}_{(aq)} + \text{HCOOH}_{(aq)} = \text{CH}_3\text{COOH}_{(aq)} + \text{HCOO}^{-}_{(aq)}$$
- 1- مثل جدول التقدم لهذا التفاعل .  
 2- أوجد قيمة كسر التفاعل الابتدائي  $Q_{ri}$  .  
 3- أوجد عبارة كسر التفاعل في نهاية التفاعل بدلالة نسبة التقدم النهائي  $\tau_f$  .

4- علما أن ثابت التوازن الموافق لهذه المعادلة هو  $K = 13$  . استنتج :

- النسبة النهائية لتقدم التفاعل .
- التقدم النهائي .
- التركيب المولي للمزيج عند نهاية التفاعل .

**أجوبة مختصرة :**

(1) جدول التقدم :

الحالة	التقدم	$\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{HCOOH} = \text{CH}_3\text{COOH} + \text{HCOO}^-$			
ابتدائية	$x = 0$	0.1	0.1	0	0
انتقالية	$x$	$0.1 - x$	$0.1 - x$	$x$	$x$
نهائية	$x_f$	$0.1 - x_f$	$0.1 - x_f$	$x_f$	$x_f$

$$x_f = \tau_f x_{\max} = 0.078 \text{ mol} , \tau_f = 0.78 \quad (4) , K = \frac{\tau_f^2}{(1 - \tau_f)^2} \quad (3) , Q_{ri} = 0 \quad (2)$$

$$n_f(\text{CH}_3\text{COO}^-) = n_f(\text{HCOOH}) = 0.022 \text{ mol} , n_f(\text{CH}_3\text{COOH}) = n_f(\text{HCOO}^-) = 0.078 \text{ mol}$$