

## الوحدة 01: المتابعة الزمنية لتحول كيميائي

(2) في تفاعل المعايرة تتدخل الثنائيتان:  $I_2(aq)/I_-(aq)$  و  $S_2O_3^{2-}(aq)/S_2O_6^{2-}$ .

اكتب المعادلة الإجمالية لتفاعل الأكسدة-إرجاع الحاصل بين الثنائيتين.

(3) بين مستعيننا بجدول تقدم تفاعل المعايرة أن التركيز المولى لثاني اليود في العينة عند نقطة التكافز يعطى بالعلاقة:

$$[I_2] = \frac{1}{2} \times \frac{C' \times V'}{V_0}$$

(4) أكمل جدول القياسات.

(5) ارسم على ورقة ميليمترية البيان  $f(t) = [I_2]$ .

(6) احسب بيانيا السرعة الحجمية للتفاعل في اللحظة  $t = 20 \text{ min}$ .

تصحيح التمارين 24

. I

(1) أ-جدول التقدم:

المعادلة	$S_2O_8^{2-}(aq)$	$+ 2I_-(aq)$	$= 2SO_4^{2-}(aq)$	$+ I_2(aq)$
الحالة	النقدم		كميات المادة (mol)	
ابتدائية	$x = 0$	$4 \times 10^{-3}$	$8 \times 10^{-3}$	0 0
انتقالية	$x$	$4 \times 10^{-3} - x$	$8 \times 10^{-3} - 2x$	$2x x$
نهائية	$x_f$	$4 \times 10^{-3} - x_f$	$8 \times 10^{-3} - 2x_f$	$2x_f x_f$

(2) عبارة التركيز المولى اللحظي  $[I_2](t)$ : من جدول النقدم حالة الانتقالية نجد أن كمية مادة شوارد بيروكسديكربريتات المتبقية في المزيج هي:  $x = C_1 \times V_1$

$$[S_2O_8^{2-}](t) = \frac{n(S_2O_8^{2-})}{V_T} = \frac{C_1 V_1 - x}{V_T} = \frac{C_1 V_1}{V_T} - \frac{n(I_2)}{V_T} = \frac{C_1 V_1}{V_1 + V_2} - [I_2](t)$$

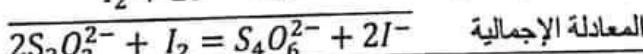
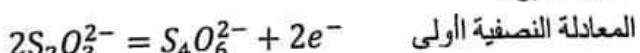
(3) قيمة التركيز المولى  $[S_2O_8^{2-}]_0$  في اللحظة  $t = 0$ : بما أن تركيز ثاني اليود في اللحظة  $t = 0$  معدوماً فإن

$$[S_2O_8^{2-}]_0 = \frac{C_1 \times V_1}{V_1 + V_2} = \frac{4 \times 10^{-2} \times 0,1}{0,2} = 2 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$$

. II

(1) تبرد العينات مباشرة بعد أخذها من المزيج لإبطاء التفاعل والمحافظة على تركيب العينة على ما هو عليه لحظة فصلها عن المزيج.

(2) المعادلة الإجمالية لتفاعل المعايرة:



المعادلة	$2S_2O_3^{2-}$	$+ I_2$	$= S_4O_6^{2-}$	$+ 2I^-$
حالة التكافز	$n(S_2O_3^{2-}) - 2x_E$	$n(I_2) - x_E$	$x_E$	$2x_E$

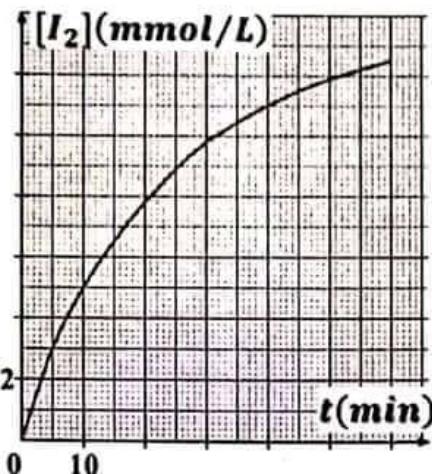
(3) عبارة التركيز المولى لثاني اليود بدلالة  $C', V', V_0$ .

$$[I_2]_t = \frac{1}{2} \times \frac{C' \cdot V'}{V_0} \quad \text{ومنه: } n(I_2) = \frac{n(S_2O_3^{2-})}{2} \leftarrow \begin{cases} n(I_2) - x_E = 0 \\ n(S_2O_3^{2-}) - 2x_E = 0 \end{cases}$$

عند التكافز:

$t(\text{min})$	0	5	10	15	20	30	45	60
$V' (\text{mL})$	0	4,0	6,7	8,7	10,4	13,1	15,3	16,7
$[I_2](\text{mmol/L})$	0	3,0	5,0	6,5	7,8	9,8	11,5	12,5

(5) رسم البيان  $[I_2] = f(t)$



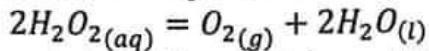
(6) حساب السرعة الحجمية:

$$v_{vol}(t = 20\text{ min}) = \frac{\Delta [I_2]}{\Delta t}$$

$$v(t = 20\text{ min}) \approx 2.4 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$$

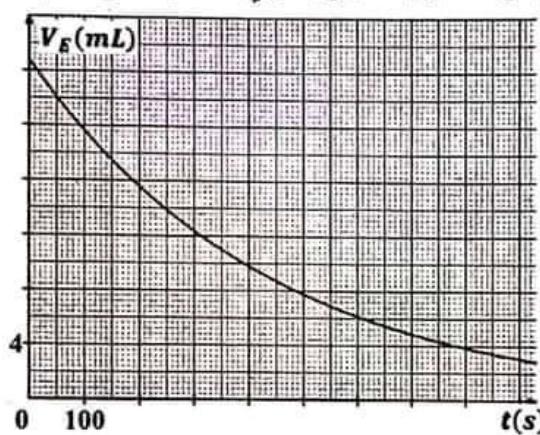
### التمرين 25:

لماء الأكسجيني  $H_2O_2$  أهمية بالغة، فهو معالج للمياه المستعملة ومطهر للجروح ومعقم في الصناعات الغذائية. الماء الأكسجيني يتפרק ببطء جداً في الشروط العاديّة معطياً غاز ثانوي الأكسجين والماء وفقاً للمعادلة المنصورة للتفاعل الكيميائي:

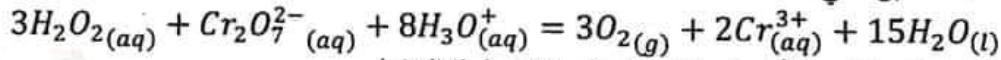


لدراسة تطور التفكك الذاتي للماء الأكسجيني بدلاًة الزمن، نأخذ مجموعة أنابيب اختبار يحتوي كل منها على حجم  $V_0 = 10\text{ mL}$  من هذا محلول وتضعها عند اللحظة  $t = 0$  في حمام مائي درجة حرارته ثابتة.

عند كل لحظة  $t$ ، نفرغ أنبوبة اختبار في بيسير ونضيف إليه ماء وقطع جليد و قطرات من حمض الكبريت المركب  $(2H_3O^+ + SO_4^{2-})$  ثم نعاير المزيج بمحلول مائي ثانوي كرومات البوتاسيوم  $(2K^+ + Cr_2O_7^{2-})$  تركيزه المولى  $c = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  فنحصل في كل مرة على الحجم  $V_E$  اللازم لبلوغ التكافؤ. سمحت النتائج المحصل عليها برسم المنحنى الممثل في الشكل.



(1) معادلة تفاعل المعايرة هي:



أ) اكتب المعادلتين النصفيتين للأكسدة والإرجاع المواتقين لهذا التفاعل.

ب)

هل يمكن اعتبار حمض الكبريت كوسسيط في هذا التفاعل؟ علّ.

ج) هل يؤثر إضافة الماء وقطع الجليد على قيمة حجم التكافؤ  $V_E$ ؟ لماذا؟

(2) عبر عن التركيز المولي  $[H_2O_2]$  لمحلول الماء الأكسجيني بدلاًة  $c$  و  $V_E$  و  $V_0$ .

(3) القارورة التي أخذ منها الماء الأكسجيني المستخدم في هذه التجربة كتب عليها الدالة  $(10V)$  أي: (كل 1 ل من محلول الماء الأكسجيني يحرر 10L من غاز ثانوي الأكسجين  $O_2$  في الشرطين النظاميين).

- هل محلول محضرا حديثاً؟ علّ.

(4) بالاعتماد على المنحنى والعبارة المتوصلا إليها في السؤال - 2 جد:

أ) زمن نصف التفاعل  $t_{1/2}$ .

ب) عبارة السرعة الحجمية لاختفاء  $H_2O_2(aq)$  بدلاًة  $V_E$ .

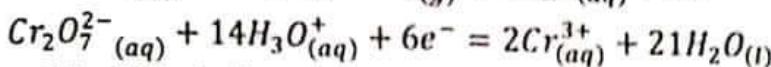
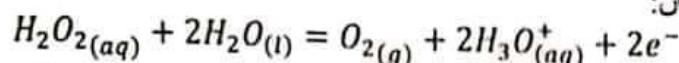
ج) قيمة السرعة الحجمية لاختفاء الماء الأكسجيني عند اللحظتين  $t_1 = 200\text{ s}$ ،  $t_2 = 600\text{ s}$ . ماذا تلاحظ؟ علّ.

يعطى:  $V_M = 22.4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$

تدور ولا تتعب وتأكل ولا تشرب فما هي؟

تصحيح التمرين 25:

أ) المعادلتين النصفيتان:



ب/ لا يمكن اعتبار حمض الكبريت ( $SO_4^{2-}$ ) كوسيلط لأن استهلاك في التفاعل (الشاردة) ( $H_3O_{(aq)}^+$ ) لا تغير ( $H_2O_{2(aq)}$ ) بكمية المادة وليس التركيز).

ج) إضافة الماء وقطع الجليد لا تؤثر في قيمة  $V_E$  لأن كمية الماء الأكسجيني ( $H_2O_{2(aq)}$ ) لا تتغير (التكافؤ ينبع بكمية المادة وليس التركيز).

2) عبارة التركيز المولى  $[H_2O_2]$  عند نقطة التكافؤ. جدول تقدم التفاعل: (يمكن عدم استعماله).

معدلة التفاعل		$3H_2O_{2(aq)} + Cr_2O_7^{2-}_{(aq)} + 8H_3O_{(aq)}^+ = 3O_{2(g)} + 2Cr^{3+}_{(aq)} + 15H_2O_{(l)}$					
ابتدائية	0	$n_1$	$n_2$	بوفرة	0	0	بوفرة
انتقالية	$x$	$n_1 - 3x$	$n_2 - x$		$3x$	$2x$	
نهائية	$x_f$	$n_1 - 3x_E$	$n_2 - x_E$		$3x_E$	$2x_E$	

عند نقطة التكافؤ المزيج ستوكيمتر.

$$\frac{n_1}{3} = \frac{n_2}{1} \Rightarrow \frac{[H_2O_2] \cdot V_0}{3} = C \cdot V_E \Rightarrow [H_2O_2] = \frac{3 \times C \cdot V_E}{V_0}$$

3) صحة المعلومات المكتوبة على القارورة.

حساب  $[H_2O_2]$  من البيان: عند  $t = 0$  لدينا:  $V_{E0} = 6,2 \times 4 \text{ ml} = 24,8 \text{ ml}$  بالتعويض في العباره السابقة نجد:

$$[H_2O_2]_0 = \frac{3 \times 0,1 \times 24,8 \times 10^{-3}}{10 \times 10^{-3}} = 0,74 \text{ mol/L}$$

-حساب التركيز من المعلومات المكتوبة: جدول التقدم للتفكك الذاتي للماء الأكسجيني.

المعادلة	$2H_2O_{2(aq)}$	$=$	$O_{2(g)}$	$+ 2H_2O_{(l)}$
ابتدائية	$n$	$n$	0	بوفرة
انتقالية	$n - 2x$	$n - 2x$	$x$	بوفرة
نهائية	$n - 2x_{max}$	$n - 2x_{max}$	$x_{max}$	بوفرة

من أجل  $H_2O_2$  متفاعلاً محدّداً:

$$n - 2x_{max} = 0 \Rightarrow n = 2x_{max} \Rightarrow n = 2n(O_2)_{max} \Rightarrow C \cdot V = 2 \times \frac{V_{O_2}}{V_m}$$

$$C \cdot V = 2 \times \frac{10V}{22,4} \Rightarrow C = \frac{20}{22,4} = 0,892 \text{ mol} > 0,74 \text{ mol/L}$$

إذن محلول غير حديث التحضير.

أ) ز من نصف التفاعل:

$$t = t_{1/2} \rightarrow x(t_{1/2}) = \frac{x_{max}}{2} \rightarrow [H_2O_2]_{t_{1/2}} = \frac{[H_2O_2]_0}{2}$$

$$V_E(t_{1/2}) = \frac{V_E(0)}{2}$$

من البيان نجد:  $t_{1/2} \approx 300 \text{ s}$

ب/ عبارة السرعة الحجمية لاختفاء  $H_2O_2$  بدلالة  $V_E$ .

$$v_{vol} = -\frac{1}{V} \cdot \frac{dn(H_2O_2)}{dt} = -\frac{d}{dt} \cdot \left(\frac{n}{V}\right) = -\frac{d[H_2O_2]}{dt}$$

$$v_{vol} = -\frac{d}{dt} \times \left(\frac{3 \cdot C \cdot V_E}{V_0}\right) = -\frac{3 \cdot C}{V_0} \times \frac{dV_E}{dt}$$

ج) قيمة السرعة الحجمية لاختفاء  $H_2O_2$ .

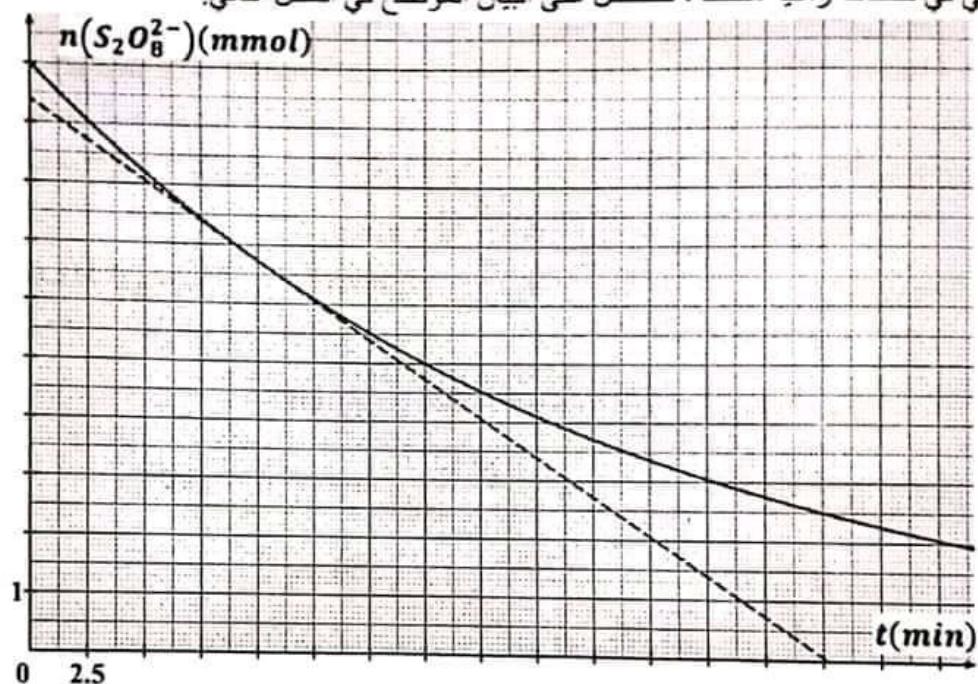
$$\begin{array}{ll} \text{عند اللحظة } t_1 = 200\text{s} & v_1 = 1.17 \times 10^{-3}\text{ mol/L.s} \\ \text{نعمل بين } [1.1 \rightarrow 1.3] & \\ \text{عند اللحظة } t_2 = 600\text{s} & v_2 = 0.42 \times 10^{-3}\text{ mol/L.s} \\ \text{نعمل بين } [0.35 \rightarrow 0.55] & \\ \text{نلاحظ أن: } v_1 > v_2 & \end{array}$$

للتعليق: تتناقص السرعة بسبب تناقص التركيز المولى للماء الأكسجيني أثناء التفاعل.

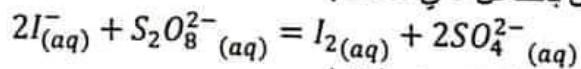
### ćمارين عامة حول المتابعة الزمنية

#### التمرين 26:

نريد دراسة تطور التحول الكيميائي الحاصل بين شوارد محلول ( $S_1$ ) البروكسونيكريات البوتاسيوم ( $2K^{+}_{(aq)} + S_2O_8^{2-}$ ) وشوارد محلول ( $S_2$ ) ليد البوتاسيوم ( $I_{(aq)}^-$ ) في درجة حرارة ثابتة. لهذا الغرض نمزج في اللحظة  $t = 0$  حجما  $V_1 = 50\text{mL}$  من محلول ( $S_1$ ) تركيزه  $C_1 = 2 \times 10^{-1}\text{ mol.L}^{-1}$  مع حجم  $V_2 = 50\text{mL}$  من محلول ( $S_2$ ) تركيزه  $C_2 = 1.0\text{ mol.L}^{-1}$  نتابع تغيرات كمية مادة  $S_2O_8^{2-}$  المتبقية في الوسط التفاعلي في لحظات زمنية مختلفة، فنحصل على البيان المرسخ في الشكل التالي:



نتخ التحول الكيميائي الحاصل بالتفاعل الذي معادلته:



(1) حدد الثنائيتين *ox/red* المشاركتين في التفاعل.

(2) أنشئ جدولًا لتقدم التفاعل.

(3) حدد المتفاعل المحدد علماً أن التحول تام.

(4) عرف زمن نصف التفاعل ( $t_{1/2}$ ) واستنتج قيمته بيانياً.

(5) أوجد التركيز المولى للأنواع الكيميائية المتواجدة في الوسط التفاعلي عند اللحظة  $t_{1/2}$ .

(6) استنتاج بيانياً قيمة السرعة الحجمية للتفاعل في اللحظة  $t = 10\text{ min}$ .

قام أحد الأشخاص ببناء منزل جديد يحتوي  
 على 100 غرفة .  
 تم تعيين رسام مشهور لرسم الأرقام على  
 أبواب الغرف من 1 إلى 100 .  
 كم مرة سوف يرسم الرسام الرقم ثمانيّة ؟

تصحيح التمرين 26:

(1) تحديد الثانويات:



(2) إنشاء جدول التقدم:

المعادلة		$2I^- + S_2O_8^{2-} = I_2 + 2SO_4^{2-}$			
الحالة	التقدم	كميات المادة (mol)			
ابتدائية	$x = 0$	$n_2$	$n_1$	0	0
انتقالية	$x$	$n_2 - 2x$	$n_1 - x$	$x$	$2x$
نهائية	$x_f$	$n_2 - 2x_f$	$n_1 - x_f$	$x_f$	$2x_f$

$$n_1 = C_1 \times V_1 = 2 \times 10^{-1} \times 50 \times 10^{-3} = 10^{-2} mol$$

$$n_2 = C_2 \times V_2 = 1 \times 50 \times 10^{-3} = 5 \times 10^{-2} mol$$

(3) تحديد المتفاعل المحد:

$$\begin{cases} n_1 - x_{max_1} = 0 \\ n_2 - 2x_{max_2} = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_{max_1} = 10^{-2} mol \\ x_{max_2} = 2,5 \times 10^{-2} mol \end{cases}$$

و منه المتفاعل المحد هو:  $(S_2O_8^{2-})$ (4) زمن نصف التفاعل: هو الزمن اللازم لبلوغ التفاعل نصف تقدمه النهائي، قيمته  $t_{1/2}$ 

$$N(S_2O_8^{2-})_{t_{1/2}} = \frac{x_{max}}{2} = \frac{10}{2} = 5 mmol$$

$$t_{1/2} = 17,5 min$$

(5) إيجاد التراكيز المولية عند  $t = t_{1/2}$ 

$$x(t_{1/2}) = \frac{x_M}{2} = \frac{10^{-2}}{2} = 5 \times 10^{-3} mol$$

$$[S_2O_8^{2-}]_{t_{1/2}} = \frac{n_{t_{1/2}}(S_2O_8^{2-})}{V_T} = \frac{5 \times 10^{-3}}{100 \times 10^{-3}} = 5 \times 10^{-2} mol/l$$

$$[I^-]_{t_{1/2}} = \frac{n_2 - 2x(t_{1/2})}{V_T} = 4 \times 10^{-1} mol/l$$

$$[I_2]_{t_{1/2}} = \frac{x(t_{1/2})}{V_T} = 5 \times 10^{-2} mol/l$$

$$[SO_4^{2-}]_{t_{1/2}} = \frac{2 \cdot x(t_{1/2})}{V_T} = 10^{-1} mol/l$$

$$[K^+]_{t_{1/2}} = \frac{2n_1 + n_2}{V_T} = 7 \times 10^{-1} mol/l$$

(6) استنتاج قيمة  $v_{vol}$  للتفاعل عند  $t = 10 min$ 

$$v_{vol} = \frac{1}{V} \times \frac{dx}{dt}$$

$$n(S_2O_8^{2-}) = n_1 - x$$

$$\frac{dn(S_2O_8^{2-})}{dt} = -\frac{dx}{dt}$$

$$v_{vol} = -\frac{1}{V_T} \times \frac{dn(S_2O_8^{2-})}{dt} = -\frac{1}{V_T} \times \left( \frac{\text{ميل المumas}}{t = 10 \text{ min}} \right) = \frac{-1}{0,1} \times \left( \frac{6,7 - 9,4}{10 - 0} \right) \times 10^{-3}$$

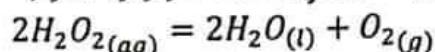
$$v_{vol} \approx 2,7 \times 10^{-3} mol/L \cdot min$$

من جدول التقدم:

## التمرين 27:

يحفظ الماء الأكسجيني ( محلول لبيروكسيد الهيدروجين  $H_2O_2(aq)$ ) في قارورات خاصة بسبب تفككه الذاتي البطيء. تحمل الورقة الملصقة على قارورته في المختبر الكتابة ماء أكسجيني (10V)، وتعني أن (1L) من الماء الأكسجيني ينتحل بعد تفككه 10L من غاز ثاني الأكسجين في الشرطين النظاميين حيث  $V_M = 22,4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$

(1) ينذر التفكك الذاتي للماء الأكسجيني بالتفاعل ذي المعادلة الكيميائية التالية:



- أ/ بين أن التركيز المولى الحمضي للماء الأكسجيني هو:  $C_0 = 0.89 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
- ب/ نضع في حوصلة حجما  $V_0$  من الماء الأكسجيني ونكمي الحجم بالماء المقطر إلى  $V_1 = 100 \text{ mL}$
- كيف تسمى هذه العملية؟

• استنتاج الحجم  $V_0$  علماً أن المحلول الناتج تركيزه المولى  $C_1 = 0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

(2) لعرض التأكيد من الكتابة السابقة (10V) عايرنا  $V' = 20 \text{ mL}$  من المحلول الممدد بواسطة محلول برمغنتات البوتاسيوم  $(K^+_{(aq)} + MnO_4^-_{(aq)})$  المحمض، تركيزه المولى  $C_2 = 0,02 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  فكان الحجم المضاف عند التكافز  $V_E = 38 \text{ mL}$ .

- أ/ اكتب المعادلة المعتبرة عن التفاعل أكسدة-إرجاع المنذر لتحول المعايرة علماً أن الثنائيان الداخليتين في هذا التفاعل هما:  $(MnO_4^-_{(aq)} / Mn^{2+}_{(aq)})$  و  $(O_2(g) / H_2O_2(l))$
- ب/ استنتاج التركيز المولى الحجمي لمحلول الماء الأكسجيني الابتدائي. وهل تتوافق هذه النتيجة التجريبية مع ما كتب على ملصقة القارورة؟

## تصحيح التمرين 27:

(1) لتبيين أن التركيز المولى الحجمي للماء الأكسجيني هو:  $C_0 = 0,893 \text{ mol/L}$

معادلة التفاعل		$2H_2O_2(aq) = O_2(aq) + 2H_2O(l)$		
الحالات	التقدم	كميات المادة (mol)		
ابتدائية	0	$n_0$	0	بوفرة
انتقالية	$x$	$n_0 - 2x$	$x$	بوفرة
نهائية	$x_f$	$n_0 - 2x_f$	$x_f$	بوفرة

لدينا عند نهاية التفاعل:  $n_0 - 2x_f = 0 \Rightarrow x_f = \frac{n_0}{2}$

ومن جهة أخرى:  $\frac{n_0}{2} = \frac{V(O_2)}{V_M}$  إذن:  $x_f = n_f(O_2) = \frac{V_{O_2}}{V_M}$

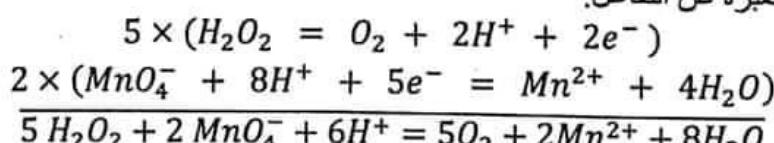
$$\frac{C_0 \cdot V}{2} = \frac{10V}{V_M} \Rightarrow C_0 = \frac{20}{V_M} \Rightarrow C_0 = 0,893 \text{ mol/L}$$

ب/ نستوي هذه العملية بعملية التمدد (التخفيف).

$$C_0 \cdot V_0 = C_1 \cdot V_1 \quad \text{لدينا: } V_0 = ? \quad C_1 = 0,1 \text{ mol/L}$$

$$V_0 = \frac{C_1 \cdot V_1}{C_0} = \frac{0,1 \times 100 \times 10^{-3}}{0,893} = 0,011 \text{ L} = 11 \text{ ml}$$

(2) أ/ كتابة المعادلة المعتبرة عن التفاعل:



ب/ استنتاج التركيز المولى لمحلول الماء الأكسجيني الابتدائي:  
عند نقطة التكافز يكون المزيج ستوكومترى فتحقق العلاقة التالية:

## الوحدة 01: المتابعة الزمنية لتحول كيميائي

$$\frac{n(H_2O_2)}{5} = \frac{n(MnO_4^-)}{2} \Rightarrow \frac{[H_2O_2] \cdot V'}{5} = \frac{C_2 \cdot V_E}{2}$$

$$[H_2O_2] = \frac{C_2 \cdot V_E \cdot 5}{2V'} = \frac{0.02 \times 38 \times 10^{-3} \times 5}{2 \times 20 \times 10^{-3}} = 0.095 \text{ mol/l}$$

استنتاج:  $C_0$ من قانون التمديد:  $[H_2O_2] \cdot V_1 = C_0 \cdot V_0$ 

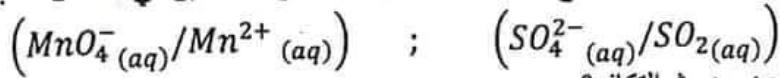
$$C_0 = \frac{[H_2O_2] \cdot V_1}{V_0} = \frac{0.095 \times 100}{11} = 0.86 \text{ mol/l}$$

ومنه النتائج لا تتوافق مع النتائج السابقة.

## التمرين 28:

إن احتراق وقود السيارات ينتج غاز  $SO_2$  الملوث للجو من جهة والمسبب للأمطار الحامضية من جهة أخرى من أجل معرفة التركيز الكتلي لغاز  $SO_2$  في الهواء، نحل  $20 \text{ m}^3$  من الهواء في  $1L$  من الماء ل الحصول على محلول  $S_0$  (نعتبر أن كمية  $SO_2$  تتحلل كلها في الماء). نأخذ حجما  $V = 50 \text{ mL}$  من  $(S_0)$  ثم نعايرها بواسطة محلول برمونغات البوتاسيوم  $(K^+ + MnO_4^-)_{(aq)}$  تركيزه  $C_1 = 2 \times 10^{-4} \text{ mol/l}$ .

(1) اكتب المعادلة المعبرة عن التفاعل المنذجة للمعايرة علماً أن الثنائيان الداخلين في التفاعل هما:



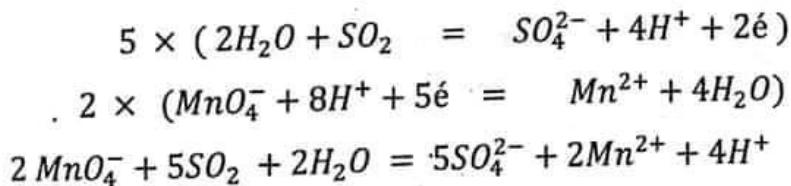
(2) كيف تكشف تجريبياً عن حدوث التكافؤ؟

(3) إذا كان حجم محلول برمونغات البوتاسيوم  $(K^+ + MnO_4^-)_{(aq)}$  المضاف عند التكافؤ  $V_E = 9.5 \text{ mL}$  استنتاج التركيز المولى ( $C$ ) للمحلول المعاير.(4) عين التركيز الكتلي لغاز  $SO_2$  المتواجد في الهواء المدروس.(5) إذا كانت المنظمة العالمية للصحة تشرط أن لا يتعدى تركيز  $SO_2$  في الهواء  $250 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ، هل الهواء المدروس ملوث؟ بره.

$$\text{يعطى: } M(S) = 32 \text{ g/mol}^{-1}, M(O) = 16 \text{ g/mol}^{-1}$$

## تصحيح التمرين 28:

(1) كتابة المعادلة المعبرة عن التفاعل:

(2) نكشف تجريبياً عن حدوث التكافؤ: بظهور اللون البنفسجي المستقر (ثبوت اللون البنفسجي) دلالة على وجود شوارد  $MnO_4^-$ .

(3) عند بلوغ التكافؤ يصبح المزيج سوكيومي ومنه تتحقق العلاقة التالية:

$$\frac{n(SO_2)}{5} = \frac{n(MnO_4^-)}{2} \Rightarrow \frac{[SO_2] \cdot V}{5} = \frac{C_1 V_E}{2}$$

$$[SO_2] = \frac{C_1 V_E}{V} \times \frac{5}{2}$$

$$[SO_2] = \frac{2 \times 10^{-4} \times 9.5 \times 10^{-3}}{50 \times 10^{-3}} \times \frac{5}{2}$$

$$[SO_2] = 9.5 \times 10^{-5} \text{ mol/l}$$

(4) تعيين التركيز الكتلي لغاز  $SO_2$  الموجود في الهواء:

$$C_m = C \times M = 9,5 \times 10^{-5} \times 64 = 6,08 \times 10^{-3} g/l$$

للتبيّن: نعلم أن: في 1 لتر من المحلول يوجد  $20m^3$  من الهواء.

$$C_m = 608 \times \frac{10^{-5}g}{L} \Rightarrow C'_m = 608 \times \frac{10^{-5}g}{20m^3}$$

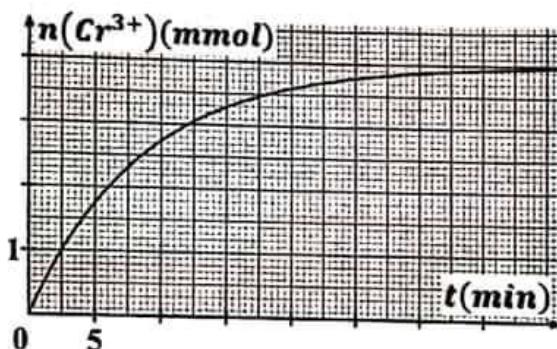
$$C'_m = 304 \times 10^{-6} g/m^3$$

(5) بما أن:  $C'_m > 250 \times 10^{-6} g/m^3$  منه الهواء ملوث.

### التمرين 29:

لدراسة تطور حركية التحول بين شوارد البيكرومات  $Cr_2O_7^{2-}$  و محلول حمض الأوكساليك  $C_2H_2O_4(aq)$  نمزج في اللحظة  $t = 0$  حجما  $V_1 = 40 mL$  من محلول بيكرومات البوتاسيوم  $(2K^+_{(aq)} + Cr_2O_7^{2-})$  تركيزه المولى  $C_1 = 0,2 mol \cdot L^{-1}$  مع حجم  $V_2 = 60mL$  من محلول حمض الأوكساليك تركيزه المولى  $C_2$ .

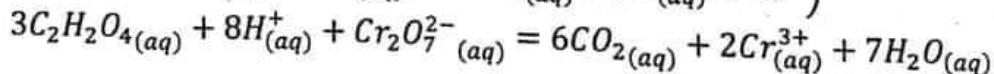
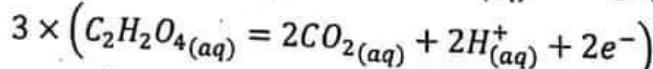
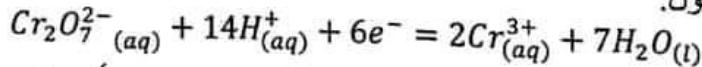
- (1) إذا كانت الثنائيان المشاركتان في التفاعل هما:  $(CO_2(aq)/C_2H_2O_4(aq)) (Cr_2O_7^{2-}/Cr^{3+}_{(aq)})$
- / اكتب المعادلة المعتبرة عن التفاعل أكسدة-إرجاع المنزج للتحول الكيميائي الحادث.
  - ب/ انشئ جدول لتقدم التفاعل.



- (2) يمثل الشكل المنحنى البياني لتطور كمية مادة  $Cr^{3+}_{(aq)}$  بدلاً من الزمن. أوجد من البيان:
- / سرعة تشكيل شوارد  $Cr^{3+}_{(aq)}$  في اللحظة  $t = 20 min$ .
  - ب/ التقدم النهائي للتفاعل  $x$ .
  - ج/ زمن نصف التفاعل  $t_{1/2}$ .
- (3) أ/ باعتبار التحول تماماً عن المتفاعل المد.
- ب/ أوجد التركيز المولى لمحلول حمض الأوكساليك  $C_2$ .

### تصحيح التمرين 29:

/ المعادلة المنزجة للتحول:



ب/ جدول تقدم التفاعل:

معادلة التفاعل		$3C_2H_2O_4(aq) + Cr_2O_7^{2-}_{(aq)} + 8H^+_{(aq)} = 6CO_2(aq) + 2Cr^{3+}_{(aq)} + 7H_2O_{(aq)}$					
$t = 0$	0	$C_2 \cdot V_2$	$C_1 \cdot V_1$	بالزيادة	0	0	بالزيادة
$t \neq 0$	$x$	$C_2 \cdot V_2 - 3x$	$C_1 \cdot V_1 - x$	بالزيادة	$6x$	$2x$	بالزيادة
$t_f$	$x_f$	$C_2 \cdot V_2 - 3x_f$	$C_1 \cdot V_1 - x_f$	بالزيادة	$6x_f$	$2x_f$	بالزيادة

(2) / سرعة تشكيل شوارد  $Cr^{3+}_{(aq)}$  :

$$v(t) = \frac{dn(Cr^{3+}_{(aq)})}{dt} \approx 5 \times 10^{-5} mol \cdot min^{-1}$$

## الوحدة 01: المتابعة الزمنية لتحول كيميائي

ب/حساب التقدم النهائي:

$$2x_f = 4 \times 10^{-3} \text{ mol} \Rightarrow x_f = 2 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

ج-حساب  $t_{1/2}$ : من أجل  $x = \frac{x_f}{2}$  فإن:

$$n_{Cr^{3+}}(t_{1/2}) = \frac{n_f(Cr^{3+})}{2}$$

بالإسقاط نجد:  $t_{1/2} \approx 6 \text{ min}$ (3) أ/المتفاعل المحد: باعتبار التفاعل تام  $x_{max} = x_f = 2 \times 10^{-3} \text{ mol}$ نفرض أن  $Cr_2O_7^{2-}$  هو المحد إذن:  $x_{max} = c_1 \cdot V_1 = 8 \text{ mmol}$  وهذا مرفوض  
وعليه المتفاعل المحد هو حمض الأكساليك.

ب/تركيز محلول حمض الأوكساليك:

$$c_2 = \frac{3x_{max}}{V_2} = 0.1 \text{ mol.L}^{-1}$$

التمرين 30:

نسكب في بישر حجما  $V_1 = 50 \text{ mL}$  من محلول يود البوتاسيوم ( $K_{(aq)}^+ + I_{(aq)}^-$ ) تركيزه المولى  $C_1 = 3.2 \times 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$  ثم نضيف له حجما  $V_2 = 50 \text{ mL}$  من محلول بيروكسوبيربريتات البوتاسيوم ( $2K_{(aq)}^+ + S_2O_8^{2-} \rightarrow I_2(aq)$ ) تركيزه المولى  $C_2 = 0.20 \text{ mol.L}^{-1}$ . نلاحظ أن المزيج التفاعلي يصفر، ثم باذن لونا بنينا نتيجة التشكيل التدريجي لثاني اليود  $I_2(aq)$  وأن الثنائيين المشاركتين في التفاعل هما:

$$\left( S_2O_8^{2-}(aq) / SO_4^{2-}(aq) \right) \text{ و } \left( I_2(aq) / I_{(aq)}^- \right)$$

1) اكتب المعادلة المعبرة عن التفاعل المنمذج للتحول الكيميائي الحادث.

2) أنشئ جدولًا لتقدم التفاعل، ثم عين المتفاعل المحد.

3) بين أن التركيز المولى لثاني اليود المتشكل  $I_2(aq)$  في كل لحظة  $t$  يعطى بالعلاقة:

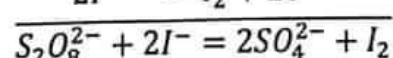
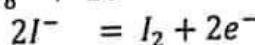
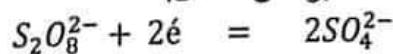
$$V = V_1 + V_2 \quad \text{حيث} \quad [I_2(aq)] = \frac{c_1 V_1}{2V} - \frac{[I_{(aq)}^-]}{2}$$

4) سمحت إحدى طرق متابعة التحول الكيميائي بحساب التركيز المولى لشوارد اليود  $[I_{(aq)}^-]$  كل 5 min في المزيج التفاعلي ودونت النتائج في الجدول التالي:

$t(\text{min})$	0	5	10	15	20	25
$[I_{(aq)}^-](10^{-2} \text{ mol.L}^{-1})$	16.0	12.0	9.6	7.7	6.1	5.1
$[I_2(aq)](10^{-2} \text{ mol.L}^{-1})$						

أ/ أكمل الجدول، ثم ارسم المنحنى البياني  $f(t) = [I_2(aq)]$ .ب/ عرف زمن نصف التفاعل،  $t_{1/2}$ ، ثم عين قيمته.ج/ احسب سرعة التفاعل في اللحظة  $t = 20 \text{ min}$ ، ثم استنتج سرعة اختفاء شوارد اليود في نفس اللحظة.تصحيح التمرين 30:

1) كتابة المعادلة المعبرة عن التفاعل:



قبل لارسطو : كيف تحكم  
على إنسان؟ فلأجاب : أسلمه كم  
كتابا يقرأ وماذا يقرأ؟

(2) إنشاء جدول التقدم:

معادلة التفاعل		$S_2O_8^{2-} + 2I^- = 2SO_4^{2-} + I_2$			
الحالة	التقدم	كميات المادة (mol)			
ابتدائية	0	$n_2$	$n_1$	0	0
التقالي	$x$	$n_2 - x$	$n_1 - 2x$	$2x$	$x$
نهائية	$x_f$	$C_2 \cdot V_2 - x_f$	$n_1 - 2x_f$	$2x_f$	$x_f$

$$n_1 = C_1 \times V_1 = 3.2 \times 10^{-1} \times 50 \times 10^{-3} = 0.016 \text{ mol}$$

$$n_2 = C_2 \times V_2 = 0.2 \times 50 \times 10^{-3} = 0.01 \text{ mol}$$

تعين المتفاعل المد:

$$\begin{cases} n_1 - 2x_{max} = 0 \\ n_2 - x_{max} = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} x_{max} = 8 \times 10^{-3} \text{ mol} & \text{(مقبول)} \\ x_{max} = 10^{-2} \text{ mol} & \text{(مرفوض)} \end{cases}$$

إذن المتفاعل المد هو:  $I^-$ 

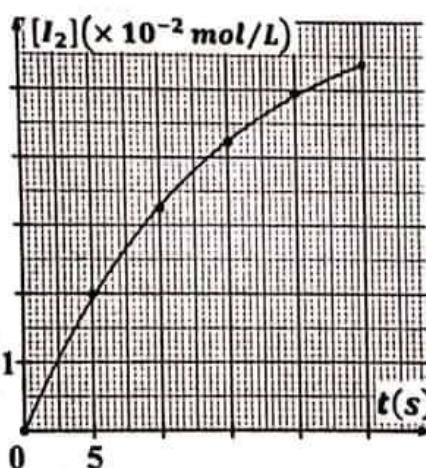
$$(3) \text{ لنبين أن: } V = V_1 + V_2 = \frac{C_1 \cdot V_1}{2V} - \frac{[I^-]}{2} \text{ حيث } [I_2] \text{ حسب}$$

$$n(I^-) = n_1 - 2n(I_2) \quad \text{، ومنه: } n(I_2) = x \quad n(I^-) = n_1 - 2x$$

$$2n(I_2) = n_1 - n(I^-) \Rightarrow 2[I_2] \times V = C_1 \times V_1 - [I^-] \times V \quad \text{أي:}$$

$$[I_2] = \frac{C_1 V_1 - [I^-] \cdot V}{2 \times V} \Rightarrow [I_2] = \frac{C_1 \cdot V_1}{2V} - \frac{[I^-]}{2}$$

$$\therefore [I_2] = 0.08 - \frac{[I^-]}{2} \quad \text{أكمل الجدول:} \quad [I_2] = 0.08 - \frac{[I^-]}{2}$$



t(min)	0	5	10	15	20	25
[I <sub>2</sub> ](10 <sup>-2</sup> mol/l)	0	2	3.2	4.15	4.95	5.45

رسم المنحنى:

ب/زمن نصف التفاعل: هو الزمن اللازم للبلوغ التفاعل نصف تقدمه النهائي  $x_{max}$ .

$$\text{تعين قيمته: } x(t_{1/2}) = \frac{x_{max}}{2}$$

$$\text{من جدول التقدم: } n(I_2) = x = [I_2] \cdot V$$

$$[I_2] \cdot V = \frac{x_{max}}{2}$$

$$[I_2]_{t_{1/2}} = \frac{x_{max}}{2V} = \frac{[I_2]_{max}}{2}$$

$$[I_2]_{t_{1/2}} = \frac{8 \times 10^{-3}}{2 \times 0.1} = 4 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$$

بما ينطوي على محور الأزمنة نجد  $t_{1/2} \approx 14 \text{ min}$

## الوحدة 01: المتابعة الزمنية لتحول كيميائي

ج/حساب سرعة التفاعل عند  $t = 20 \text{ min}$ بما أن:  $v = \frac{dx}{dt}$  ، ولدينا من جدول التقدم:

$$v = \frac{d[I_2] \cdot V}{dt} = V_t \times \frac{d[I_2]}{dt} = 0,1 \times \frac{(4,95 - 2,2)}{(20 - 0)} \times 10^{-2} = 1,37 \times 10^{-4} \text{ mol/min}$$

استنتاج سرعة اختفاء شوارد اليود عند  $t = 20 \text{ min}$ 

$$v_{(I^-)} = \frac{1}{2} \times v_{(I_2)} \Rightarrow v_{(I^-)} = 2v = 2 \times 1,37 \times 10^{-4}$$

$$\Rightarrow V_{(I^-)} = 2,75 \times 10^{-4} \text{ mol/min}$$

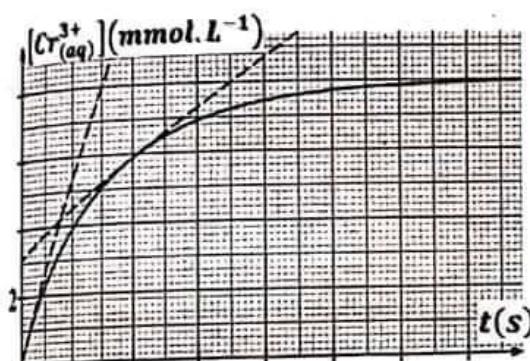
## التمرين 31:

لدراسة تطور التفاعل الحادث بين محلول حمض الأوكساليك  $H_2C_2O_4(aq)$  ومحلول بيكرومات البوتاسيوم  $(Cr^{3+})_{(aq)} + 2K^+ + Cr_2O_7^{2-}$  بدلالة الزمن، حضرنا مزيجاً تفاعلياً يحتوي على حجم  $V_1 = 100 \text{ mL}$  من محلول حمض الأوكساليك الذي تركيزه المولى  $C_1 = 3.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$  وحجم  $V_2 = 100 \text{ mL}$  من محلول بيكرومات البوتاسيوم الذي تركيزه المولى  $c_2 = 0.8 \times 10^{-2}$  وبوضع قطرات من حمض الكبريت

المركيز، نتابع تطور المزيج التفاعلي من خلال معايرة شوارد الكروم  $Cr^{3+}$  المتشكلة بدلالة الزمن فنحصل على المنحنى البياني (الشكل) الذي يمثل تطور التركيز المولى لشوارد الكروم  $[Cr^{3+}]$  بدلالة الزمن  $t$ .

(1) كيف نصنف هذا التفاعل من حيث مدة استغرائه؟

(2) اعتماداً على المعطيات والمنحنى البياني أكمل جدول التقدم المعين لهذا التفاعل.



ال الحالات	كميات المادة (mmol)				
الابتدائية		بوفرة			بوفرة
الانتقالية		بوفرة			بوفرة
النهائية		بوفرة			بوفرة

هل التفاعل تام أم غير تام؟ لماذا؟

(3) عَرَفْ زَمْنَ نَصْفِ التَّفَاعُلِ  $t_{1/2}$ ، ثُمَّ قَبَرْ قِيمَتِهِ بِيَانِيَا.(4) أ/ عَرَفْ السَّرْعَةَ الْحُجْمِيَّةَ  $v$  لِلتَّفَاعُلِ، ثُمَّ عَبَرَ عَنْهَا بِدَلَالَةِ التَّرْكِيزِ الْمُولَى لِشَوَارِدِ الْكَرُومِ  $[Cr^{3+}]$ ب/ احْسَبْ السَّرْعَةَ الْحُجْمِيَّةَ فِي الْلَّهُظَتَيْنِ  $t = 0$  و  $t = 8s$ 

ج/ فَسَرْ عَلَى الْمُسْتَوْىِ الْمَجْهُورِيِّ تَنَاقُصَ هَذِهِ السَّرْعَةِ مَعَ مَرْورِ الزَّمْنِ.

## تصحيح التمرين 31:

(1) نصف هذا التفاعل من حيث مدة استغرائه بأنه بطيء لاستغرقه عدة ثوانٍ.  
(2) إكمال الجدول:

المعادلة	كميات المادة (mmol)					
الحالات	القدم	$3H_2C_2O_4 + Cr_2O_7^{2-} + 8H^+ = 2Cr^{3+} + 6CO_2 + 7H_2O$				
ابتدائية	$x = 0$	3	0,8	بوفرة	0	0
انتقالية	$x$	$3 - 3x$	$0,8 - x$	بوفرة	$2x$	$6x$
نهائية	$x_f$	$3 - 3x_f$	$0,8 - x_f$	بوفرة	$2x_f$	$6x_f$

$$n_1 = C_1 \times V_1 = 3 \times 10^{-2} \times 100 \times 10^{-3} = 3 \times 10^{-3} \text{ mol} = 3 \text{ mmol}$$

$$n_2 = C_2 \times V_2 = 0,8 \times 10^{-2} \times 100 \times 10^{-3} = 0,8 \times 10^{-3} \text{ mol} = 0,8 \text{ mmol}$$

حتى يكون التفاعل تام فإنه يختفي على الأقل أحد المتفاعلات ومنه إيجاد  $x_{max}$

$$\begin{cases} n_1 - 3x_{max} = 0 \\ n_2 - x_{max} = 0 \end{cases} \begin{cases} x_{max} = 10^{-3} \text{ mol} \\ x_{max} = 0,8 \times 10^{-3} \text{ mol} \end{cases}$$

ومنه:  $Cr_2O_7^{2-}$  ومنه المتفاعل المهد هو:  $x_{max} = 0,8 \times 10^{-3} \text{ mol}$

حساب  $[Cr^{3+}]_f$ :

$$[Cr^{3+}]_f = \frac{n}{V} = \frac{2x_{max}}{V} = 8 \text{ mmol/L}$$

وهو ما يوافق البيان إذ نلاحظ بيانيا أنه في نهاية التفاعل  $[Cr^{3+}]_f = 8 \text{ mmol/l}$  ومنه هذا التفاعل تام.

(3) تعريف زمن نصف التفاعل  $t_{1/2}$ : هو الزمن اللازم لبلوغ التفاعل نصف تقدمه الأعظمي.

$$[Cr^{3+}] = \frac{2x}{V_T} \rightarrow [Cr^{3+}]_{t_{1/2}} = \frac{2x_{t_{1/2}}}{V_T} \quad \text{-إيجاد قيمة بيانيا:}$$

$$[Cr^{3+}]_{t_{1/2}} = \frac{2x_{t_{1/2}}}{V_T} = \frac{2 \times \frac{x_f}{2}}{V_T} = \frac{x_f}{V_T} = \frac{0,8 \times 10^{-3}}{0,2} = 4 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$$

يسقط هذه النتيجة على البيان نجد:  $t_{(1/2)} = 4s$

(4) / تعريف السرعة الحجمية:

هي مقدار تغير تقدم التفاعل بالنسبة للزمن خلال وحدة حجم، تعطى العبارة

-التعبير عنها: من جدول التقدم:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{1}{2} \times \frac{dn(Cr^{3+})}{dt} \quad \text{ومنه:} \quad \frac{dn(Cr^{3+})}{dt} = 2 \frac{dx}{dt} \quad \text{أي:} \quad n(Cr^{3+}) = 2x \quad \text{لدينا:}$$

$$v_{vol} = \frac{1}{V_T} \times \frac{1}{2} \times \frac{d[Cr^{3+}].V_T}{dt} \quad \Rightarrow \quad v_{vol} = \frac{1}{2} \times \frac{d[Cr^{3+}]}{dt}$$

ب/حساب السرعة الحجمية:

$$v_{vol}(t = 0 \text{ s}) = \frac{1}{2} \times \frac{(8 - 0)}{(6 - 0)} \times 10^{-3} = 6,66 \times 10^{-4} \text{ mol/L.s}$$

$$v_{vol}(t = 8 \text{ s}) = \frac{1}{2} \times \frac{(6 - 3)}{(8 - 0)} \times 10^{-3} = 1,87 \times 10^{-4} \text{ mol/L.s}$$

ج/التفسير: مع مرور الزمن يقل عدد الأفراد الكيميائية المتفاعلة وبالتالي تتناقص التصادمات الفعالة مما يؤدي إلى تناقص سرعة التفاعل إلى أن تنعدم.

في الحياة رذيلتان اثنان فقط أن تخذب على نفسك وأن تخاف من انسان يمرض مثلك ويموت مثلك .. تخلاص منها وكن جري القلب .. تكن رجلا فاضلا

مصطفى محمود

التمرين 32:

لمتابعة تطور تفاعل حمض الأوكساليك  $H_2C_2O_4(aq)$  مع شوارد ثاني الكرومات  $Cr_2O_7^{2-}$  نزع في اللحظة  $t = 0 \text{ min}$  حجم:  $V_1 = 50 \text{ mL}$  من محلول حمض الأكساليك، تركيزه المولى:  $C_1 = 12 \text{ mmol/L}$  مع حجم:  $V_2 = 50 \text{ mL}$  من محلول ثاني كرومات البوتاسيوم  $(2K^+ + Cr_2O_7^{2-})$  تركيزه المولى:  $C_2 = 16 \text{ mmol/L}$  ويوجد وفرة من حمض الكبريت المركز. تنمذج التحول الحاصل بالمعادلة التالية:

$$3H_2C_2O_4(aq) + Cr_2O_7^{2-}(aq) + 8H^+ = 6CO_2(g) + 2Cr^{3+} + 7H_2O(l)$$

أ/ حدد الثنائيان (*Ox/Red*) المشاركتين في التفاعل.

ب/ أنشئ جدول تقدم التفاعل، ثم حدد المتفاعل المحدد.

2) البيان يمثل تغيرات التركيز المولى لحمض الأوكساليك بدلاًلة الزمن.

أ/ عرف السرعة الحجمية للتفاعل.

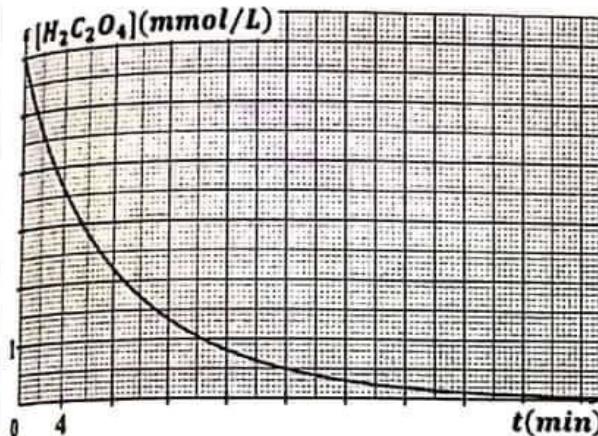
ب/ بين أن عباره السرعة الحجمية للتفاعل في أي لحظة تكتب بالعلاقة:

$$v = -\frac{1}{3} \times \frac{d[H_2C_2O_4]}{dt}$$

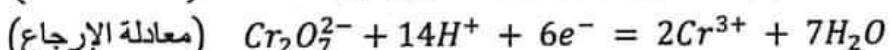
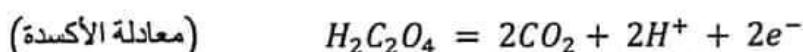
ج/ احسب قيمة السرعة الحجمية للتفاعل في اللحظة:

$$t = 12 \text{ min}$$

3) عرف زمن نصف التفاعل، ثم احسبه.

تصحيح التمرين 32:

أ/ تحديد الثنائيات:



ومنه الثنائيتين هما:  $(Cr_2O_7^{2-}/Cr^{3+})$  ;  $(CO_2/H_2C_2O_4)$

ب/ جدول تقدم التفاعل:

المعادلة		$3H_2C_2O_4 + Cr_2O_7^{2-} + 8H^+ = 2Cr^{3+} + 6CO_2 + 7H_2O$					
الحالة	التقدم	كميات المادة (mol)					
ابتدائية	$x = 0$	$n_1$	$n_2$	بوفرة	0	0	بوفرة
انتقالية	$x$	$n_1 - 3x$	$n_2 - x$	بوفرة	$2x$	$6x$	بوفرة
نهائية	$x_f$	$n_1 - 3x_f$	$n_2 - x_f$	بوفرة	$2x_f$	$6x_f$	بوفرة

$$n_1 = C_1 \times V_1 = 12 \times 10^{-3} \times 50 \times 10^{-3} = 0,6 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n_2 = C_2 \times V_2 = 16 \times 10^{-3} \times 50 \times 10^{-3} = 0,8 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

تحديد المتفاعل المحدد:

$$\begin{cases} n_1 - 3x_{max} = 0 \\ n_2 - x_{max} = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} x_{max} = 0,2 \times 10^{-3} \text{ mol} \\ x_{max} = 0,8 \times 10^{-3} \text{ mol} \end{cases}$$

ومنه:  $x_f = 0,2 \times 10^{-3} \text{ mol}$  ومنه المتفاعل المحدد هو:  $H_2C_2O_4$

أ/ تعريف السرعة الحجمية:

هي مقدار تغير تقدم التفاعل لواحد لتر من المحلول خلال وحدة زمن تعطى العباره:

$$v_{vol} = \frac{1}{V} \times \frac{dx}{dt}$$

بشكلين ان:  $v_{vol} = -\frac{1}{3} \times \frac{d[H_2C_2O_4]}{dt}$   
 من جدول التقدم: و منه  $x = \frac{n_1 - n(H_2C_2O_4)}{3}$

$$n(H_2C_2O_4) = n_1 - 3x \quad \Rightarrow \quad x = \frac{n_1 - n(H_2C_2O_4)}{3}$$

لدينا:  $v_{vol} = \frac{1}{V} \times \frac{dx}{dt}$

$$v_{vol} = \frac{1}{V} \times \frac{d}{dt} \left( \frac{n_1 - n(H_2C_2O_4)}{3} \right) \Rightarrow v_{vol} = \frac{1}{3V} \times \frac{d(-n(H_2C_2O_4))}{dt} : \text{بالتعريض نجد:}$$

$$v_{vol} = \frac{-1}{3V} \times \frac{d(n_{H_2C_2O_4})}{dt} \Rightarrow v_{vol} = \frac{-1}{3V} \times \frac{d[H_2C_2O_4] \times 4}{dt}$$

$$v_{vol} = -\frac{1}{3} \times \frac{d[H_2C_2O_4]}{dt}$$

ج/ حساب قيمتها عند  $t = 12 \text{ min}$

$$v_{vol} = -\frac{1}{3} \times \left( \frac{(1,3 - 2,9) \times 10^{-3}}{12 - 0} \right) = 4,4 \times 10^{-5} \text{ mol/l.min}$$

(3) زمن نصف التفاعل  $t_{1/2}$ : هو الزمن اللازم لبلوغ التفاعل نصف تقدمه الأعظمي.  
 حلية: لدينا من جدول التقدم:

$$n(H_2C_2O_4) = n_1 - 3x \quad \Rightarrow \quad [H_2C_2O_4] = \frac{n_1 - 3x}{V_T}$$

$$V_T = V_1 + V_2 \quad \text{مع} \quad [H_2C_2O_4]_{t_{1/2}} = \frac{n_1 - 3x(t_{1/2})}{V_T}$$

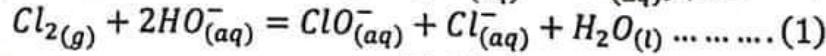
$$[H_2C_2O_4]_{t_{1/2}} = \frac{n_1 - 3\left(\frac{x_f}{2}\right)}{V_T} = \frac{0,6 \times 10^{-3} - 3 \times \left(\frac{0,2 \times 10^{-3}}{2}\right)}{10^{-1}} = 3 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$$

يسقط هذه القيمة نجد:  $t_{1/2} \approx 5,6 \text{ min}$

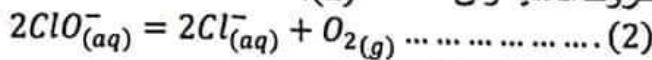
### التمرين 33:

- كتب على قارورة ماء جافيل المعلومات التالية:
- يحفظ في مكان بارد ممزولاً عن الأشعة الضوئية.
- لا يمزج مع منتجات أخرى.
- بعلاقته لمحلول حمضي ينتج غاز سام.

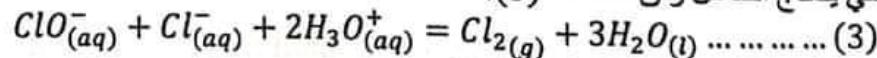
إن ماء جافيل منتج شائع، يستعمل في التنظيف والتطهير. نحصل على ماء جافيل مع تفاعل غاز ثانوي الكلور  $Cl_2$  مع محلول هيدروكسيد الصوديوم ( $NaOH_{(aq)}$ ) ينمذج هذا التحول بالمعادلة (1):



يتطلب ماء جافيل ببطء في الشروط العادية وفق المعادلة (2):



لما في وسط حمضي ينمذج التفاعل وفق المعادلة (3):



(1) انجز جدولًا لتقدم التفاعل المنفذ وفق المعادلة (2).

(2) اعتماداً على البيانات (الشكل)، المعتبرين عن تغيرات تركيز شوارد  $ClO_{(aq)}^-$  في التفاعل المنفذ بالمعادلة (2) بدلالة الزمن.

## الوحدة 01: المتابعة الزمنية لتحول كيميائي

أ/ استنتج تركيز شوارد  $\text{ClO}^-$  في اللحظة:  $t = 8\text{ semaines}$

$$\theta_2 = 40^\circ\text{C} \quad \theta_1 = 30^\circ\text{C}$$

ب/ عرف السرعة الحجمية للتفاعل، وبين أن عبارتها تكتب بالشكل التالي:

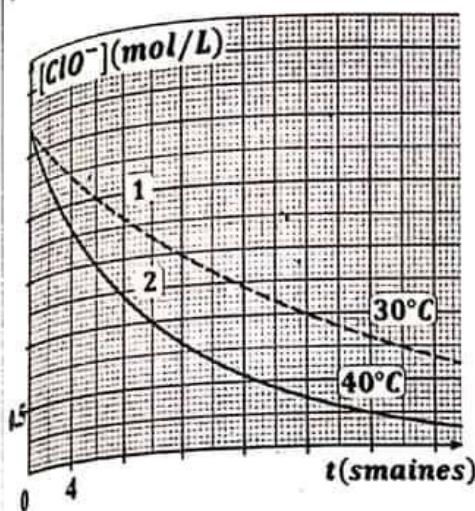
$$v_{vol} = -\frac{1}{2} \times \frac{d[\text{ClO}^-]}{dt}$$

ج/ احسب قيمة السرعة الحجمية في اللحظة:  $t = 0$  من أجل درجتي الحرارة:  $\theta_1 = 30^\circ\text{C}$  و  $\theta_2 = 40^\circ\text{C}$

د/ هل النتائج المحصل عليها في السؤالين (2-أ) و(2-ج) تبرر المعلومة "يحفظ في مكان بارد؟" على.

(3) عرف زمن نصف التفاعل، ثم جد قيمته انطلاقاً من المنحنى (2)، علماً أن التفكك تام.

(4) أعط رمز واسم الغاز السام المشار على القارورة.



## تصحيح التمرين 33:

(1) إنشاء جدول التقدم للمعادلة (2)

المعادلة		كميات المادة (mol)		
الحالة	التقدم	$n_0$	$2x$	$x_f$
ابتدائية	$x = 0$	$n_0$	0	0
انتقالية	$x$	$n_0 - 2x$	$2x$	$x$
نهائية	$x_f$	$n_0 - 2x_f$	$2x_f$	$x_f$

أ/ تركيز شوارد ( $\text{ClO}^-$ ) في اللحظة  $t = 8\text{ semaines}$

$$[\text{ClO}^-] = 1,8 \text{ mol/L} : \theta_1 = 30^\circ\text{C}$$

$$[\text{ClO}^-] = 1,2 \text{ mol/L} : \theta_2 = 40^\circ\text{C}$$

ب/تعريف السرعة الحجمية للتفاعل: هي مقدار تغير تقدم التفاعل لواحد لتر من محلول خالٍ وحدة زمن

تعطى العباره:  $v_{vol} = \frac{1}{V} \times \frac{dx}{dt}$  - لنبين أن:

$$v_{vol} = -\frac{1}{2} \times \frac{d[\text{ClO}^-]}{dt}$$

من جدول التقدم:

$$n(\text{ClO}^-) = n_0 - 2x \Leftarrow 2x = n_0 - n(\text{ClO}^-) \Leftarrow x = \frac{n_0}{2} - \frac{n(\text{ClO}^-)}{2}$$

$$v_{vol} = \frac{1}{V} \times \frac{d(\frac{n_0}{2} - \frac{n(\text{ClO}^-)}{2})}{dt} \Rightarrow v_{vol} = \frac{1}{V} \times \frac{-1}{2} \times \frac{d(n(\text{ClO}^-))}{dt}$$

$$v_{vol} = \frac{1}{V} \times \frac{-1}{2} \times \frac{d([\text{ClO}^-] \times V)}{dt} \Rightarrow v_{vol} = -\frac{1}{2} \times \frac{d[\text{ClO}^-]}{dt}$$

ج/حساب السرعة الحجمية عند  $t = 0$ :

$$v_{vol} = -\frac{1}{2} \times \left( \frac{0 - 2,7}{14 - 0} \right) = 9,6 \times 10^{-2} \text{ mol/L.semaine} : \theta = 30^\circ$$

$$v_{vol} = -\frac{1}{2} \times \left( \frac{0 - 2,7}{8 - 0} \right) = 16,8 \times 10^{-2} \text{ mol/L.semaine} : \theta = 40^\circ$$

د/ النتائج المحصل عليها في السؤالين المذكورين تبرر المعلومة المذكورة لأن زيادة درجة الحرارة تسرع تفكك شوارد  $\text{ClO}^-$  إلى  $\text{Cl}^-$  و  $\text{O}_2$  (درجة الحرارة عامل حركي).

(3) تعرّف زمن نصف التفاعل: هو الزمن اللازم لبلوغ التفاعل نصف تقدمه الأعظمي.  
أيجاد قيمته بيانياً (المنحنى 2): من البيان نجد:

$$[ClO^-]_{t_{1/2}} = \frac{[ClO^-]_0}{2} = \frac{2,7}{2} = 1.35 \text{ mol/L}$$

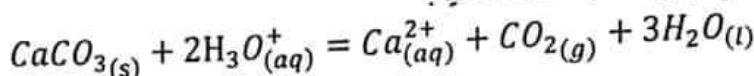
$$t_{1/2} = 7,2 \text{ semaines}$$

بالتقط هذه القيمة نجد:

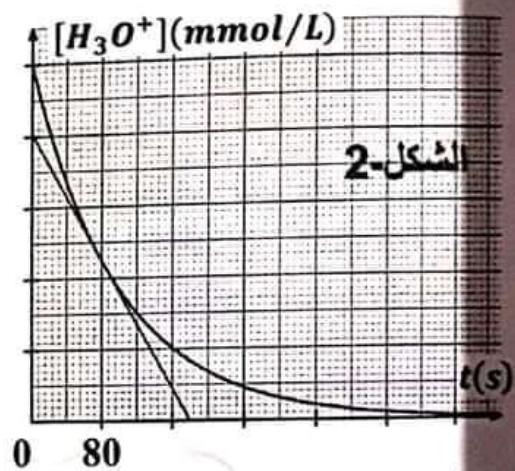
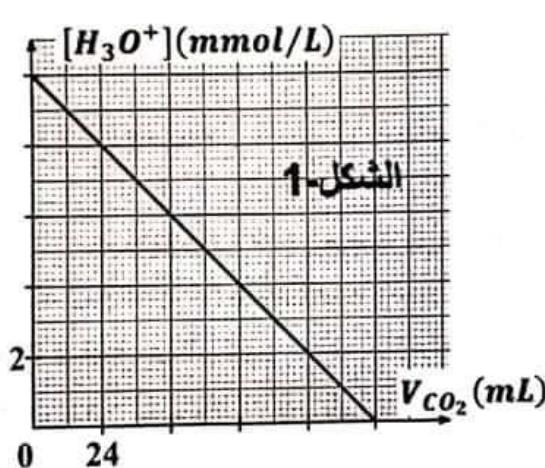
(4) رمز الغاز  $Cl_2$  واسمها: عاز الكلور (هو غاز خانق سام لونه أخضر).

### التمرين 34:

من أجل المتابعة الزمنية لتحول كربونات الكالسيوم  $CaCO_3$  الصلبة مع حمض كلور الماء  $(H_3O^+ + Cl^-)_{aq}$ ، الذي ينذج بتفاعل كيميائي يعبر عنه بالمعادلة التالية:



نضع في دورق حجماً  $V$  من حمض كلور الماء تركيزه المولى  $c$  ونصيب إليه  $2g$  من كربونات الكالسيوم، يسمح تجهيز مناسب بقياس حجم غاز ثاني أكسيد الكربون  $V_{CO_2}$  المنطلق عند لحظات مختلفة، تمت معالجة النتائج المحصل عليها بواسطة برمجية خاصة ، فاعطت المنحنين الموافقين للشكليين 1 - 2.



(1) أنجز جدول لتقدير التفاعل.

(2) أثبت أن التركيز المولى لشوارد  $H_3O^+_{(aq)}$  في أي لحظة يعطى بالعلاقة:

$$[H_3O^+] = c - \frac{2V_{CO_2}}{V \cdot V_M}$$

حيث  $V_M$  الحجم المولى للغازات. (نعتبر:  $V_M = 24L \cdot mol^{-1}$ )

(3) بالأعتماد على المنحنى الموافق للشكل - 1 جد:

أ/ كلا من التركيز المولى الابتدائي  $c$  للمحلول الحمضي وحجم الوسط التفاعلي  $V$ .

ب/ القيمة النهائية لتقدير التفاعل واستنتاج المتفاعلات المحددة.

(4) المنحنى  $(t) = f([H_3O^+])$  الموضح في الشكل - 2 ينقصه سلم الرسم الخاص بالتركيز  $[H_3O^+]$ .

أ/ حدد سلم الناقص في الرسم.

ب/ احسب السرعة الحجمية للتفاعل عند اللحظة  $t = 80s$ .

ج/ جد من المنحنى زمن نصف التفاعل وحدد أهميته.

يعطى :  $M(O) = 16 g \cdot mol^{-1}$  ;  $M(C_a) = 40 g \cdot mol^{-1}$  ;  $M(C) = 12 g \cdot mol^{-1}$

## الوحدة 01: المتابعة الزمنية لتحول كيميائي

تصحيح التمرين 34:

(1) جدول تقدم التفاعل:

معادلة التفاعل		$CaCO_{3(s)} + 2H_3O^{+}_{(aq)} = Ca^{2+}_{(aq)} + CO_{2(g)} + 3H_2O_{(l)}$	كميات المادة (mol)	بزيادة
الحالة	النقدم			
$t=0$	$x=0$	$n_1 = \frac{m}{M} = 0,02$		
$t > 0$	$x > 0$	$n_1 - x$		
$t \infty$	$x_f$	$n_1 - x_f$		

(2) إثبات العلاقة:

$$[H_3O^+] = C - \frac{2V_{CO_2}}{V \cdot V_m}$$

$$\begin{cases} n_{H_3O^+} = C \cdot V - 2x \\ n_{CO_2} = x \end{cases} \Rightarrow n_{H_3O^+} = C \cdot V - 2 \cdot n_{CO_2}$$

$$[H_3O^+] \times V = C \cdot V - 2 \left( \frac{V_{CO_2}}{V_M} \right)$$

$$[H_3O^+] = C - \frac{2V_{CO_2}}{V \cdot V_m}$$

$$[H_3O^+] = a \cdot V_{CO_2} + b$$

$$[H_3O^+] = -\frac{2}{V \cdot V_m} V_{CO_2} + c$$

بالمطابقة نجد:  $c = b = 10 \text{ mmol.L}^{-1}$ 

$$a = -\frac{2}{V \cdot V_m} \Rightarrow V = -\frac{2}{a \cdot V_m}$$

حيث  $a$  قيمة ميل المنحنى.

$$. V = 1L \quad \text{ومنه:} \quad a = \frac{\Delta([H_3O^+])}{\Delta V_{CO_2}} = -0,0833 \text{ mol.L}^{-1}$$

ب/ المتفاعل المحد وقيمة  $x_f$ :

$$x_f = 5 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

أ/ تحديد السلم الناقص في الرسم:

$$\text{لما } 5cm \text{ ومن البيان -2- نجد أن هذه القيمة ممثلة ب} \quad c = [H_3O^+]_0 = 10 \text{ mmol.L}^{-1} : t = 0 \quad 1cm \rightarrow 2 \text{ mmol.L}^{-1} \text{ ومنه:}$$

ب/ حساب السرعة الحجمية لما  $t = 80s$ 

$$V_{VOL(80s)} = \frac{1}{V} \cdot \frac{dx}{dt} = -\frac{1}{2} \times \frac{d[H_3O^+]}{dt} = [0,015 ; 0,025] \text{ mmol.L}^{-1}.S^{-1}$$

$$\text{ج/ تحديد زمن نصف التفاعل: } t_{1/2} = \frac{x_f}{2} \Rightarrow [H_3O^+]_{t_{1/2}} = \frac{[H_3O^+]_0}{2} = 5 \text{ mmol.L}^{-1}.s^{-1}$$

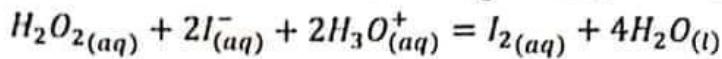
ببساطة هذه القيمة على البيان -2- نجد:  $t_{1/2} \approx 64s$ 

أهمية: - المقارنة بين تفاعلين من ناحية السرعة.

- تحديد القيمة التقريرية لمدة التفاعل (من  $7t_{1/2}$  إلى  $4t_{1/2}$ )

التمرين 35:

لدراسة حركة التفاعل الكيميائي البطيء والتابع بين الماء الأكسجيني  $H_2O_{2(aq)}$  و محلول بود البوتاسيوم  $K_{(aq)}^+ + I_{(aq)}^-$  في وسط حمضي و المنفذ بالمعادلة:



مزجنا في بישر عند اللحظة  $t = 0$  درجة الحرارة  $25^\circ C$ , حجما  $V_1 = 100 \text{ mL}$  من محلول الماء الأكسجيني تركيزه المولى  $C_1 = 4.5 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$  مع حجم  $V_2 = 100 \text{ mL}$  من محلول بود البوتاسيوم تركيزه المولى  $C_2 = 6 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$  وبضع قطرات من محلول حمض الكبريت المركز  $(2H_3O_{(aq)}^+ + SO_4^{2-})$

اكتب المعادلتين النصفيتين للأكسدة والإرجاع.

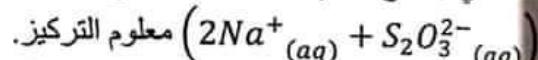
احسب كمية المادة  $(H_2O_2)_{n_0}$  للماء الأكسجيني و  $(I^-)_{n_0}$  لشوارد اليود في المزيج الابتدائي.

أعد كتابة جدول التقدم للتفاعل وأكمله.

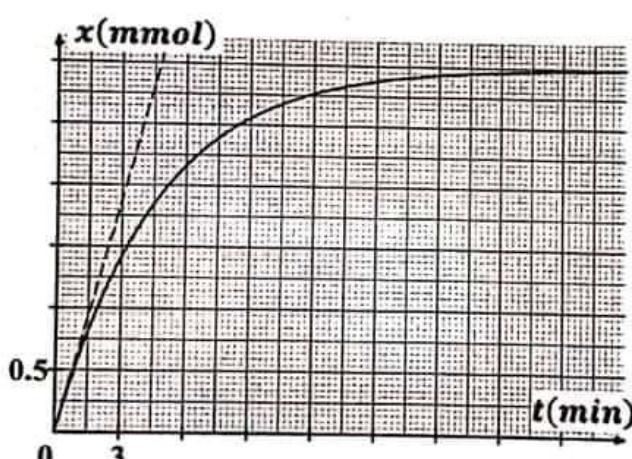
معادلة التفاعل		$H_2O_{2(aq)} + 2I_{(aq)}^- + 2H_3O_{(aq)}^+ = I_2_{(aq)} + 4H_2O_{(l)}$			
الحالة	القدم	كميات المادة (mol)			
ابتدائية	0				
انتقالية	$x$			بوفرة	
نهائية	$x_f$				بوفرة

استنتج المتفاعل المد.

II. تحديد كمية ثانوي اليود  $I_2_{(aq)}$  المتشكلة في لحظات زمنية مختلفة، نأخذ في كل مرحلة نفس الحجم من المزيج التفاعلي ونضع فيه (ماء + جليد) وبضع قطرات من صبغ النساء ونعايره بمحلول ثيوکبريتات الصوديوم



معالجة النتائج المتحصل عليها مكتننا من رسم المنحنى  $f(t) = x$  الممثل لتطور تقدم التفاعل الكيميائي المدروس في المزيج الأصلي بدلاة الزمن (الشكل)



ما الهدف من إضافة الماء والجليد؟

ضع رسمًا تخطيطياً للتجهيز التجريبي المستخدم في عملية المعايرة.

أعرف وأكتب عبارة السرعة الحجمية للتفاعل.

ب/ احسب السرعة الحجمية للتفاعل في اللحظتين

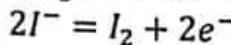
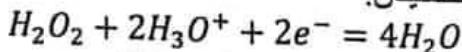
$$t_1 = 9 \text{ min} \quad t_0 = 0$$

ج/ عبر عن سرعة اختفاء شوارد  $I_{(aq)}^-$  بدلاة

السرعة الحجمية للتفاعل واحسب قيمتها في اللحظة  $t_1$ .

تصحيح التمرين 35:

المعادلتان النصفيتان:



كميات المادة الابتدائية  $n_0(I^-)$  و  $(H_2O_2)_{n_0}$

$$\begin{cases} n_0(H_2O_2) = C_1 \cdot V_1 = 4.5 \times 10^{-3} \text{ mol} \\ n_0(I^-) = C_2 \cdot V_2 = 6.0 \times 10^{-3} \text{ mol} \end{cases}$$

## الوحدة 01: المتابعة الزمنية لتحول كيميائي

(3) جدول تقدم التفاعل:

معادلة التفاعل	$H_2O_{(aq)} + 2I_{(aq)}^- + 2H_3O_{(aq)}^+ = I_2_{(aq)} + 4H_2O_{(l)}$			كميات المادة (mmol)	
الحالة	$I^-$	$I_2$			
ابتدائية	0	4,5	6,0	0	
انتقالية	$x$	$4,5 - x$	$6,0 - 2x$	بوفرة	$x$
نهائية	$x_f$	1,5	0		3

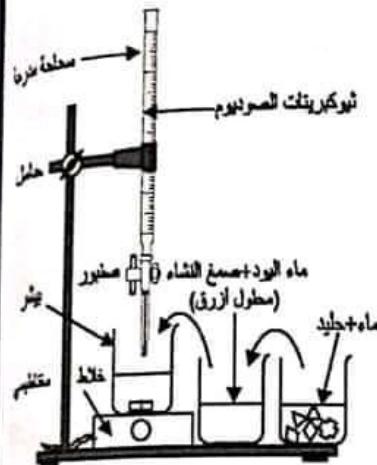
4) من الجدول وفي الحالة النهائية لدينا:  $0 = (I^-)_f - n_I$ , ومنه شوارد اليود  $I^-$  هي المتفاعل المحدد.1-II) التوقف الآني (التعطيل) لتفاعل تشكيل ثانوي اليود  $I_2$  في اللحظة المعتبرة  $t$ .

2) لاحظ الشكل.

3) أ/ السرعة الحجمية هي سرعة التفاعل في وحدة الحجم.

$$\text{عباراتها: } v_{vol} = \frac{1}{V} \cdot v(t) = \frac{1}{V} \cdot \frac{dx(t)}{dt}$$

ب/ بيانيا:



$$v_{vol}(0 \text{ min}) = 3,33 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$v_{vol}(9 \text{ min}) = 0,55 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$v(I^-) = 2V \cdot v_{vol}$$

$$v(I^-)(9 \text{ min}) = 0,22 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{min}^{-1}$$

## التمرين 36:

عند اللحظة  $t = 0$  نزح حجما  $V_1 = 50 \text{ mL}$  من محلول برميغات البوتاسيوم  $(K^+ + MnO_4^-)$  المحمض تركيزه $C_1 = 0,2 \text{ mol/L}$  وحجا  $V_2 = 50 \text{ mL}$  من محلول لحمض الأوكساليك  $H_2C_2O_4$  تركيزه  $C_2 = 0,6 \text{ mol/L}$ تعطى الثنائيات  $(Ox/Red)$  الداخلة في التفاعل:  $(CO_2(aq)/H_2C_2O_4(aq))$ ,  $(MnO_4^-/Mn^{2+})$ 

1) اعط تعريف لكل من المؤكسد والمرجع.

2) اكتب المعادلتين النصفيتين واستنتج معادلة تفاعل أكسدة-إرجاع.

3) أنشئ جدول تقدم التفاعل.

4) هل المزيج الابتدائي في الشروط المستوكيومترية للتفاعل؟

5) لمتابعة تطور التفاعل نسجل خلال كل دقيقة التركيز المولى للمزيج بشوارد البرميغات  $MnO_4^-$  في الجدول التالي:

$t(\text{min})$	0	1	2	3	4	5	6	7
$[MnO_4^-] (\times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1})$	100	98	92	60	30	12	5	3

أ/ احسب التركيز المولى الابتدائي  $L^-$  و  $MnO_4^-$  في المزيج.ب/ بين أن التركيز المولى  $[Mn^{2+}]$  عند اللحظة  $(t)$  يعطى بالعلاقة:

$$[Mn^{2+}](t) = \frac{C_1}{2} - [MnO_4^-](t)$$

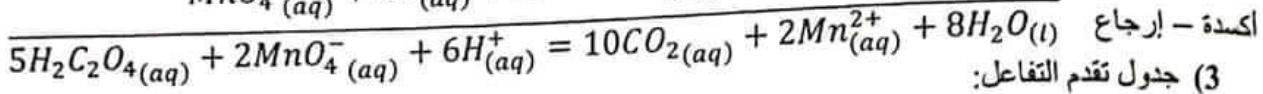
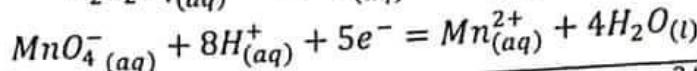
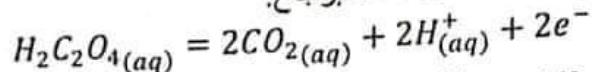
ج/ ارسم منحني تغيرات  $[MnO_4^-]$  بدلالة الزمند/ اوجد عبارة السرعة الحجمية للتفاعل بدلالة  $(t)$  ثم احسب قيمتها عند اللحظة  $t = 2 \text{ min}$

تصحيح التمرين 36:

(1) المؤكسد: كل فرد كيميائي يكتسب إلكتروناً أو أكثر خلال تفاعل كيميائي.

المرجع: كل فرد كيميائي يتخلّى عن الإلكترون أو أكثر خلال تفاعل كيميائي.

(2) كتابة المعادلتين النصفيتين واستنتاج معادلة تفاعل أكسدة-إرجاع:



أكسدة - إرجاع جدول تقدم التفاعل:

المعادلة		$5H_2C_2O_4(aq) + 2MnO_4^-(aq) + 6H^+(aq) = 10CO_2(aq) + 2Mn^{2+}(aq) + 8H_2O(l)$					
ابتدائية	$x = 0$	$C_2 \cdot V_2$	$C_1 \cdot V_1$	بزيادة	0	0	بزيادة
انتقالية	$x$	$C_2 \cdot V_2 - 5x$	$C_1 \cdot V_1 - 2x$	بزيادة	$10x$	$2x$	بزيادة
نهائية	$x_f$	$C_2 \cdot V_2 - 5x_{max}$	$C_1 \cdot V_1 - 2x_{max}$	بزيادة	$10x_f$	$2x_f$	بزيادة

(4) المزيج ليس ستوكيموري لأن:  $\frac{C_2 \cdot V_2}{5} = 6 \text{ mmol}$  و  $\frac{C_1 \cdot V_1}{2} = 5 \text{ mmol}$

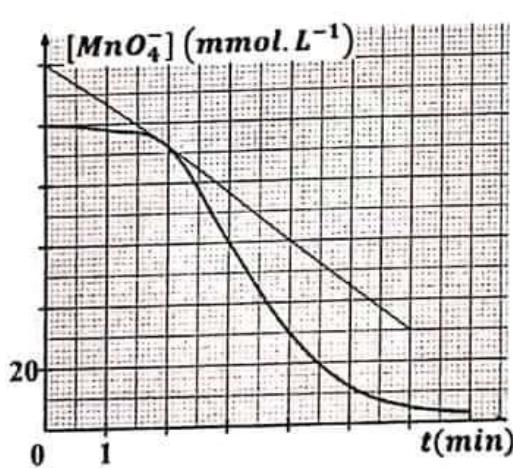
$$\frac{C_1 \cdot V_1}{2} \neq \frac{C_2 \cdot V_2}{5} \quad \text{ومنه:}$$

(5) أ/ التركيز المولى الابتدائي  $MnO_4^-$  و  $H_2C_2O_4$  في المزيج.

$$[MnO_4^-]_0 = \frac{C_1 \cdot V_1}{V_1 + V_2} = 0,1 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$[H_2C_2O_4]_0 = \frac{C_2 \cdot V_2}{V_1 + V_2} = 0,3 \text{ mol.L}^{-1}$$

ب/ إثبات العلاقة:



$$[Mn^{2+}] = \frac{2x}{V_T}$$

$$[MnO_4^-] = \frac{C_1 \cdot V_1 - 2x}{V_T} = \frac{C_1 \cdot V_1}{V_T} - \frac{2x}{V_T}$$

حيث:  $V_T = 2 \cdot V_1$

$$[Mn^{2+}](t) = \frac{C_1}{2} - [MnO_4^-](t)$$

ج/ رسم المنحني:

د/ السرعة الحجمية للتفاعل:

$$v_{vol} = -\frac{1}{2} \times \frac{d[MnO_4^-]}{dt}$$

$$v_{vol} \in [7,3 ; 8,3], \text{ mmol.L}^{-1}.min^{-1}$$

التمرين 37:

نريد إجراء متتابعة زمنية لتحول كيميائي بين الألمنيوم  $Al$  و محلول حمض كلور الماء  $(H_3O^+ + Cl^-)$  الذي يندرج بتفاعل كيميائي تام معادلته:  $2Al(s) + 6H_3O^+ = 2Al^{3+} + 3H_2O(l) + 6H_2(g)$ . نضع في حوجة قطعة من الألمنيوم  $Al$  كتتها  $m_0$  مملحمة ثم نضيف إليها في اللحظة  $t = 0$  الحجم  $V = 100 \text{ mL}$  من محلول حمض كلور الماء تركيزه المولى  $C$ .