

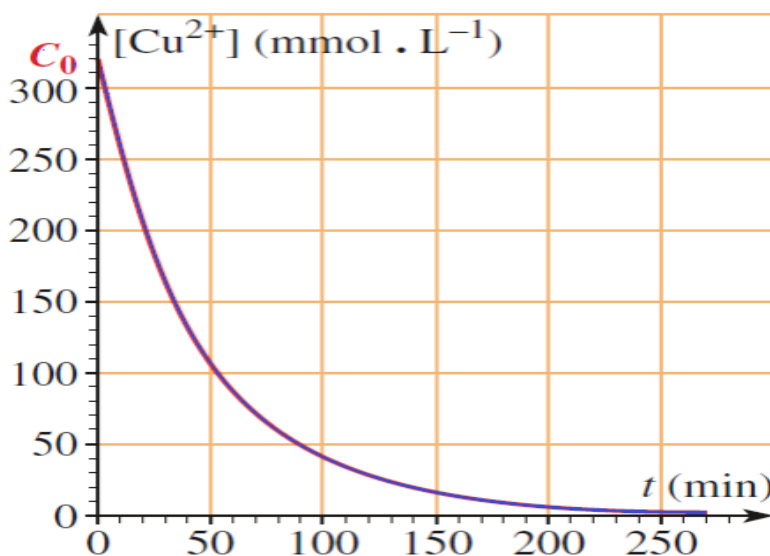
تمارين التتبع الزمني لتحول كيميائي

تمرين 1:

عند درجة الحرارة 20°C نضع في كأس كمية وافرة من مسحوق الزنك ونضيف إليها محلول كبريتات النحاس II تركيزه C_0 فيتم اختزال ايونات النحاس II وفق المعادلة الكيميائية التالية :



- 1- حدد المزدوجتين مؤكسد-مختزل المتدخلتين في التفاعل وحدد النوع الذي يلعب دور المؤكسد والمختزل
- 2- تطور تركيز أيون النحاس II خلال الزمن نمثله في المبيان التالي :
- 3-



- 2.1- حدد التركيز البدئي والنهائي لأيونات النحاس II واستنتج ما إذا كان التفاعل كلياً .
- 2.2- أنشئ جدول التقدم .
- 2.3- حدد زمن نصف التفاعل .
- 2.4- أعط تعبير السرعة الحجمية للتفاعل واحسب قيمتها عند اللحظتين $t=0$ و $t_{1/2}$.
- 2.5- ماهو العامل الحركي المبرز خلال هذه التجربة ؟
- 2.6- علل تغير السرعة الحجمية الملاحظ خلال السؤال 2.4 .

تمرين 2:

لدراسة التتبع الزمني لتطور مجموعة كيميائية ، تتوفر في المختبر على محلول (S_0) لحمض الأوكساليك $C_2H_2O_4$ تركيزه المولي $C_0 = 5,0 \cdot 10^{-1} mol \cdot L^{-1}$.

- 1- نريد تحضير محلول (S_1) لحمض الأوكساليك حجمه $V = 100 mL$ تركيزه $C = 5,0 \cdot 10^{-2} mol \cdot L^{-1}$ وذلك بتخفيف (S_0) .

- 1.1- ما هو الحجم الذي يجب أخذه من المحلول (S_0) للحصول على المحلول المخفف (S_1) .
- 1.2- حدد الطريقة المتبعة والادوات اللازمة لانجاز عملية التخفيف .
- 2- في وسط حمضي تتفاعل أيونات البرمنغنات MnO_4^- مع حمض الأوكساليك وفق تفاعل كلي .

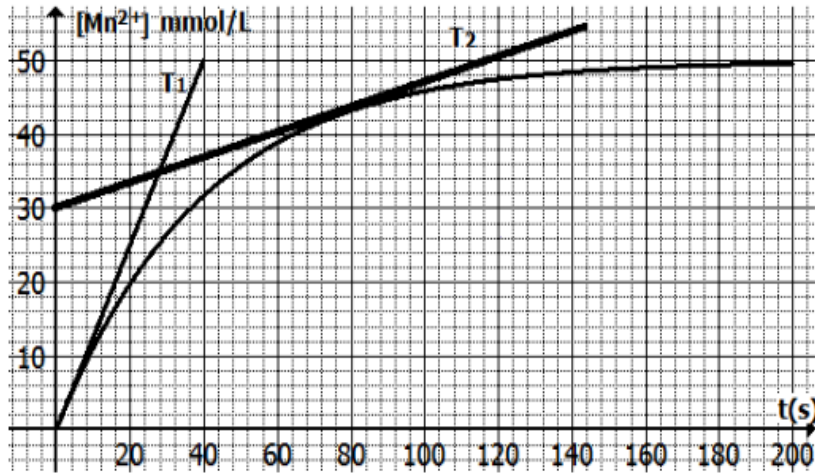
نحضر في كأس محلول (S_1) لحمض الأوكساليك حجمه $V_1 = 50 mL$ وتركيزه $C_1 = 5 \cdot 10^{-2} mol \cdot L^{-1}$ ، ونحضر في كأس ثانية محلول (S_2) لبرمنغنات البوتاسيوم ($K^+_{(aq)} + MnO_4^-$) حجمه $V_2 = 50 mL$ وتركيزه $C_2 = 10^{-1} mol \cdot L^{-1}$.

عند خلط المحلولين ، نلاحظ تديجيا ، انطلاق غاز ثنائي أوكسيد الكربون CO_2 واختفاء اللون البنفسجي المميز لأيونات البرمنغنات .

المزدوجتان المتفاعلتان هما: $MnO_4^-(aq)/Mn^{2+}(aq)$ و $CO_2(aq)/C_2H_2O_4(aq)$

- 2.1- هل التفاعل بطيء أم سريع ؟ علل جوابك .
- 2.2- أكتب معادلة التفاعل الحاصل .
- 2.3- أنجز الجدول الوصفي لتقدم التفاعل و حدد التقدم الأقصى .
- 2.4- أوجد العلاقة بين التقدم x و $[Mn^{2+}]$ التركيز المولي لأيونات Mn^{2+} عند اللحظة t .

3- نتبع $[Mn^{2+}]$ تركيز أيونات Mn^{2+} عند اللحظة t فنحصل على المنحنى $[Mn^{2+}] = f(t)$ الممثل في الشكل التالي :



- 3.1- أعط تعريف السرعة الحجمية للتفاعل وأوجد تعبيرها بدلالة $[Mn^{2+}]$.
- 3.2- عين قيمة السرعة عند $t=0$ وعند $t=80s$.
- 3.3- عرف زمن نصف التفاعل .
- 3.4- حدد $[Mn^{2+}]_{1/2}$ تركيز أيونات Mn^{2+} عند اللحظة $t_{1/2}$ بدلالة $[Mn^{2+}]_{max}$.
- 3.5- استنتج قيمة $t_{1/2}$ بمبانيا .

تمرين 3:

ندرس التفاعل بين فلز الزنك $Zn(s)$ ومحلول حمض الكلوريديك $H_3O^+(aq) + Cl^-(aq)$ المزدوجتان المتدخلتان في هذا التحول الكيميائي هما : $Zn^{2+}(aq)/Zn(s)$ و $H_3O^+(aq)/H_2(g)$.

1- بكتابة نصف المعادلة لكل مزدوجة ، بين أن المعادلة الحصيلة تكتب كالتالي :



- 2- لدراسة حركية هذا التفاعل ، ندخل عند اللحظة $t=0$ ، حجما $V = 50mL$ من محلول حمض الكلوريديك تركيزه $C = 0,5mol.L^{-1}$ ، ثم نضيف اليه فورا الكتلة $m = 53,5mg$ من مسحوق الزنك . نقيس قيم الضغط P_{H_2} لغاز ثنائي الهيدروجين الناتج بواسطة مقياس للضغط متصل بالحجولة بواسطة أنبوب مطاطي . يشغل الغاز حجما ثابتا عند درجة الحرارة ثابتة T . ندون نتائج القياس المحصل عليها في الجدول التالي :

t(s)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
$P_{H_2}(hPa)$	0	14	27	38	47	55	62	69	74	78	80	80

- 2.1- أحسب ، بالوحدة $mmol$ ، كميتي المادة البدئيتين : $n_i(Zn)$ و $n_i(H_3O^+)$.

2.2- باستعمال الجدول الوصفي لهذا التفاعل :

أ- أحسب التقدم الأقصى x_{max} ، ثم عين من جدول القياسات قيمة الضغط القصوى P_{max} للغاز داخل الحوجة .

ب-

ت- جد العلاقة بين تقدم التفاعل x و $n(H_2)$ كمية مادة غاز ثنائي الهيدروجين داخل الحوجة عند اللحظة t .

ج- باستعمال معادلة الحالة للغاز ، أثبت أن تعبير x بدلالة P_{H_2} و x_{max} و P_{max} عند اللحظة t ، هو :

$$x = \frac{x_{max}}{P_{max}} \times P_{H_2} = 1,013.10^{-2} P_{H_2}$$

حيث x ب $mmol$ و H_2 ب hPa .

2.3- يمثل المنحنى أسفله تغيرات تقدم التفاعل بدلالة الزمن t .

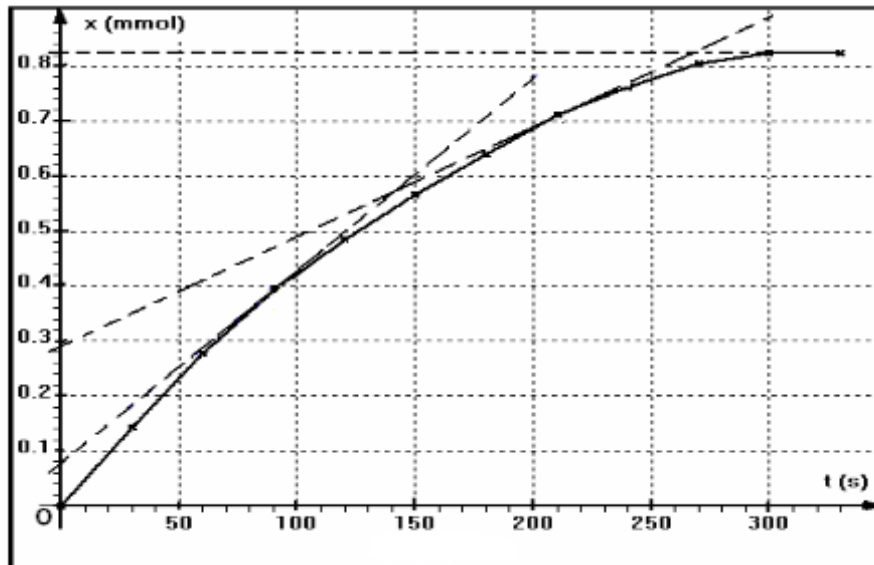
أ- عين مبيانيا السرعة الحجمية عند كل من التاريخين $t_1 = 90s$ و $t_2 = 210s$.

ب- عين مبيانيا زمن نصف التفاعل .

نعطي :

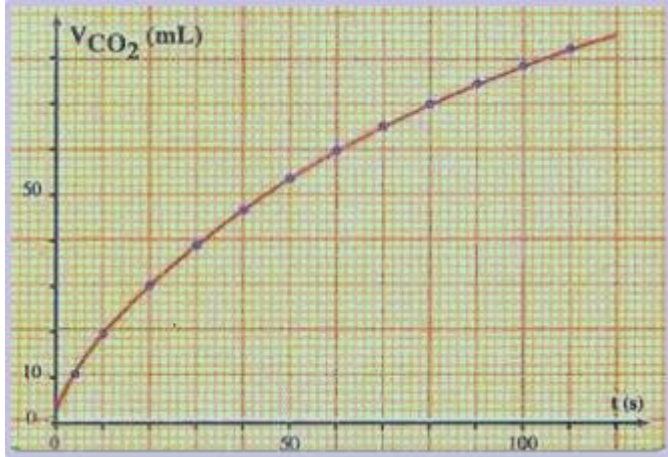
معادلة الغازات الكاملة : $P_{H_2}.V = n(H_2).R.T$

الكتلة المولية : $M(Zn) = 65g.mol^{-1}$



تمرين 4:

نصب في كاس حجما $V=100\text{mL}$ من محلول حمض الكلوريدريك $C=100\text{ mmol/L}$ على 2g من كربونات الكالسيوم ، فيحدث تفاعل حسب المعادلة التالية :



نقيس حجم ثنائي أوكسيد الكربون P_{CO_2} الناتج عن التفاعل عند درجة الحرارة 20°C وتحت الضغط 1013hPa يعطي المنحنى التالي تغيرات V_{CO_2} بدلالة الزمن .

1- احسب كمية مادة أيونات الأوكسونيوم H_3O^+ وكمية مادة كربونات الكالسيوم CaCO_3 البدئيتين ب mmol .

- 2- أنشئ الجدول الوصفي للتفاعل الحاصل واستنتج التقدم الأقصى .
- 3- عب عن V_{CO_2} بدلالة التقدم $x(t)$ ودرجة الحرارة T والضغط P و R .
- 4- استنتج تعبير السرعة الحجمية للتفاعل الحاصل بدلالة V_{CO_2} .
- 5- حدد زمن نصف التفاعل .
- 6- حدد تركيز أيونات الكالسيوم Ca^{2+} عند نهاية التفاعل .
نعطي:

$$M(\text{O}) = 16\text{g}.\text{mol}^{-1} , M(\text{C}) = 12\text{g}.\text{mol}^{-1} , M(\text{Ca}) = 40\text{g}.\text{mol}^{-1}$$
$$R = 8,314\text{J}.\text{mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

تصحيح تمارين التتبع الزمني لتحول كيميائي

تمرين 1:

1- المزدوجتين المتدخلتان في هذا التفاعل هما:
 Zn^{2+}/Zn و Cu^{2+}/Cu

النوع الذي يلعب دور المؤكسد هو Cu^{2+} .
 والنوع الذي يلعب دور المختزل هو Zn .

2-1- التركيز البدئي والنهائي لأيون النحاس II نحدده مبيانيا حيث :

$$[Cu^{2+}]_0 = 0,32 mol.L^{-1}$$

$$[Cu^{2+}]_f = 0$$

بما أن ايوات النحاس الثاني تختفي كليا عند نهاية التفاعل فإن التفاعل كلي

2-2- جدول التقدم :

$Cu^{2+}_{(aq)} + Zn_{(s)} \rightarrow Cu_{(s)} + Zn^{2+}_{(aq)}$				معادلة التفاعل	
كميات المادة بالمول				التقدم	الحالة
C_0V	بوفرة	0	0	0	البدئية
$C_0V - x$	بوفرة	x	x	x	الوسيطة
$C_0V - x_{max}$	بوفرة	x_{max}	x_{max}	x_{max}	النهائية

2.3- زمن نصف التفاعل نحدده مبيانيا حيث :

من خلال جدول التقدم لدينا Cu^{2+} متفاعل محدد:

$$x_{max} = C_0V$$

$$x\left(t_{\frac{1}{2}}\right) = \frac{x_{max}}{2} = \frac{C_0V}{2}$$

$$[Cu^{2+}]_{1/2} = \frac{C_0V - \frac{C_0V}{2}}{V} = \frac{C_0}{2}$$

$$[Cu^{2+}]_{1/2} = \frac{0.32}{2} = 0.16 mol.L^{-1}$$

مبيانيا نجد الزمن الموافق للتركيز $[Cu^{2+}]_{1/2} = 0.16 mol.L^{-1}$ هو $t_{1/2} = 30 min$.

2.4- تحديد السرعة الحجمية عند $t=0$ وعند $t=t_{1/2}$:

حسب تعريف السرعة الحجمية :

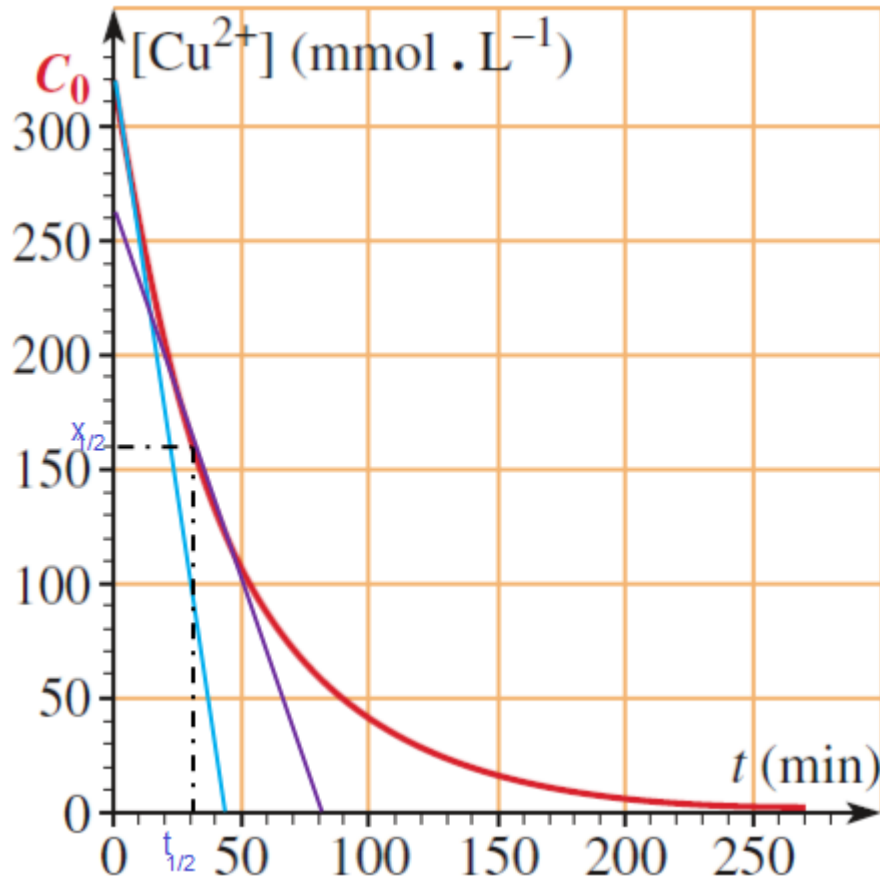
$$v = \frac{1}{V} \frac{dx}{dt}$$

$$\frac{d[Cu^{2+}]}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{C_0V - x}{V} \right) = -\frac{1}{V} \frac{dx}{dt} : \text{وبالتالي } [Cu^{2+}] = \frac{C_0V - x}{V}$$

نعلم أن: $[Cu^{2+}] = \frac{C_0V - x}{V}$ وبالتالي وبالتالي :
 تعبير السرعة الحجمية يصبح:

$$v = -\frac{d[Cu^{2+}]}{dt}$$

نمثل مماس المنحنى $[Cu^{2+}] = f(t)$ عند كل من اللحظتين $t=0$ و $t_{1/2} = 30 min$ ونختار نقطتين من كل مماس لحساب المعامل الموجه.



$$v = -\frac{\Delta[Cu^{2+}]}{\Delta t}$$

عند $t=0$ لدينا:

$$v_0 = -\frac{0,32 - 0}{0 - 42} = 7,4. mmol. L^{-1}. min^{-1}$$

عند $t=t_{1/2}$ لدينا:

$$v_{1/2} = -\frac{0,16 - 0,10}{30 - 50} = 3 mmol. L^{-1}. min^{-1}$$

2.5- العامل الحركي المبرز خلال هذه التجربة هو تراكيز المتفاعلات حيث أنها تتناقص تدريجيا مع تطور التفاعل .

2.6- تتناقص السرعة الحجمية خلال التفاعل ويرجع ذلك لتناقص تركيز المتفاعل Cu^{2+} .

تمرين 2:

1- تخفيف المحلول (S_0)

1.1- علاقة التخفيف تكتب : $C_0 \cdot V_0 = C \cdot V$

$$V_0 = \frac{C \cdot V}{C_0} = \frac{5 \cdot 10^{-2} \times 100}{5 \cdot 10^{-1}} = 10 mL$$

1.2- الطريقة لانجاز عملية التخفيف والادوات اللازمة للعملية .

- ماصة من فئة 10mL .

- حوالة معيارية من فئة 100mL .

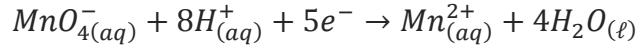
- ماء مقطر .

نأخذ بواسطة ماصة حجما 10mL من المحلول (S₀) ونسكبه في الحوجلة المعيارية ونضيف الماء المقطر تدريجيا مع التحريك ، عند الاقتراب من الخط المعياري نضيف المحلول قطرة قطرة حتى الوصول الى الخط المعياري .

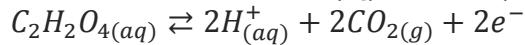
2- تتبع تطور نوع كيميائي في خليط تفاعلي بدلالة الزمن .

2.1- معادلة التفاعل الحاصل :

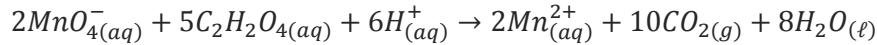
نصف معادلة المزدوجة : $MnO_4^-(aq)/Mn^{2+}(aq)$



نصف معادلة المزدوجة : $CO_2(aq)/C_2H_2O_4(aq)$



المعادلة الحصيلة :



الجدول الوصفي :

معادلة التفاعل	$2MnO_4^-(aq)$	$5C_2H_2O_4(aq)$	$6H^+(aq)$	\rightarrow	$2Mn^{2+}(aq)$	$10CO_2(g)$	$8H_2O(\ell)$
الحالة البدئية	C_2V_2	C_1V_1	بوفرة		0	0	بوفرة
خلال التحول	$C_2V_2 - 2x$	$C_1V_1 - 5x$	بوفرة		$2x$	$10x$	بوفرة
الحالة النهائية	$C_2V_2 - 2x_{max}$	$C_1V_1 - 5x_{max}$	بوفرة		$2x_{max}$	$10x_{max}$	بوفرة

التقدم الاقصى:

$$\frac{n_0(MnO_4^-)}{2} = \frac{C_2V_2}{2} = \frac{10^{-1} \times 50.10^{-3}}{2} = 2,5.10^{-3} mol$$

$$\frac{n_0(C_2H_2O_4)}{5} = \frac{C_1V_1}{5} = \frac{5.10^{-2} \times 50.10^{-3}}{5} = 5.10^{-4} mol$$

$$\frac{n_0(MnO_4^-)}{2} > \frac{n_0(C_2H_2O_4)}{5}$$

التقدم الاقصى هو: $x_{max} = 5.10^{-4} mol$

المتفاعل المحد هو: $C_2H_2O_4$

2.4- علاقة التقدم x و $[Mn^{2+}]$:

حسب الجدول الوصفي :

$$n(Mn^{2+}) = 2x \Rightarrow [Mn^{2+}] = \frac{n(Mn^{2+})}{V_1 + V_2} = \frac{2x}{V_1 + V_2}$$

$$2x = [Mn^{2+}](V_1 + V_2) \Rightarrow x = \frac{[Mn^{2+}](V_1 + V_2)}{2}$$

1.3- تعريف السرعة الحجمية :

تعرف السرعة الحجمية للتفاعل خارج المشتقة الاولى للتقدم بالنسبة للزمن على الحجم الكلي للخليط التفاعلي .

حسب العلاقة التالية :

$$v = \frac{1}{V_T} \frac{dx}{dt}$$

حسب التعبير: $x = \frac{[Mn^{2+}](V_1 + V_2)}{2}$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{(V_1 + V_2)}{2} \frac{d[Mn^{2+}]}{dt} = \frac{V_T}{2} \frac{d[Mn^{2+}]}{dt}$$

السرعة الحجمية تكتب :

$$v = \frac{1}{V_T} \frac{V_T}{2} \frac{d[Mn^{2+}]}{dt} \Rightarrow v = \frac{1}{2} \frac{d[Mn^{2+}]}{dt}$$

3.2- حساب السرعة عن اللحظة t=0 وعند اللحظة t=80s :

$$v(t=0) = \frac{V_T}{2} \left(\frac{\Delta[Mn^{2+}]}{\Delta t} \right)_{t=0}$$

حيث المقدار $\left(\frac{\Delta[Mn^{2+}]}{\Delta t} \right)_{t=0}$ يمثل المماس للمنحنى $[Mn^{2+}] = f(t)$ عند $t=0$.

$$v(t=0) = \frac{1}{2} \times \frac{25 - 0}{20 - 0} = 6,25 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

عند t=80s :

$$v(t=80s) = \frac{1}{2} \times \frac{(47 - 30) \cdot 10^{-3}}{(100 - 0)} = 8,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

3.3- تعريف زمن نصف التفاعل :

هو المدة التي يصل فيها تقدم التفاعل نصف قيمته النهائية .

3.4- تحديد تركيز أيونات Mn^{2+} عند اللحظة $t_{1/2}$ بدلالة $[Mn^{2+}]_{max}$:

$$\begin{cases} x_{\frac{1}{2}} = \frac{V_T}{2} [Mn^{2+}]_{\frac{1}{2}} \\ x_{\frac{1}{2}} = \frac{x_{max}}{2} \end{cases} \Rightarrow \frac{x_{max}}{2} = \frac{V_T}{2} [Mn^{2+}]_{\frac{1}{2}} \Rightarrow x_{max} = V_T [Mn^{2+}]_{\frac{1}{2}}$$

ومن جهة أخرى :

$$x_{max} = \frac{V_T}{2} [Mn^{2+}]_{max}$$

$$[Mn^{2+}]_{\frac{1}{2}} = \frac{[Mn^{2+}]_{max}}{2}$$

3.5- قيمة زمن نصف التفاعل مبيانيا :

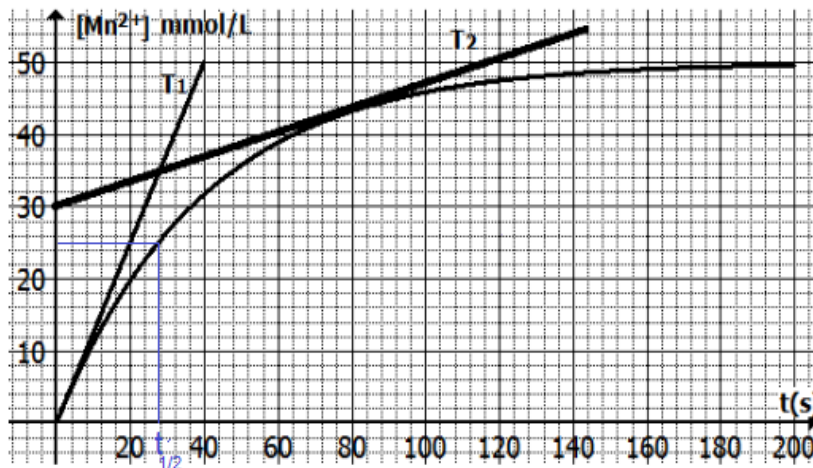
حسب المبيان لدينا:

$$[Mn^{2+}]_{max} = 50 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$[Mn^{2+}]_{\frac{1}{2}} = \frac{50}{2} = 25 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

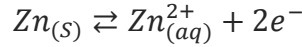
$$t_{1/2} \approx 28s$$

نجد:

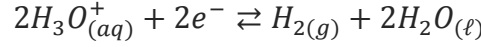


تمرين 3:

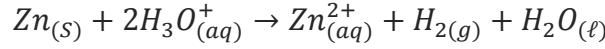
1- نصف معادلة المزدوجة : $Zn_{(aq)}^{2+}/Zn_{(s)}$:



نصف معادلة المزدوجة : $H_3O_{(aq)}^{+}/H_{2(g)}$:



المعادلة الحصيلة :



2- 2.1 حساب $n_i(Zn)$ و $n_i(H_3O^{+})$:

$$n_i(H_3O^{+}) = C.V = 0,5 \times 50.10^{-3} = 25.10^{-3} mol = 25 mmol$$

$$n_i(Zn) = \frac{m}{M(Zn)} = \frac{53,5.10^{-3}}{65} = 8,23.10^{-4} mol = 0,823 mmol$$

2.2 - أ-الجدول الوصفي :

معادلة التفاعل		$Zn_{(s)} + 2H_3O_{(aq)}^{+} \rightarrow Zn_{(aq)}^{2+} + H_{2(g)} + 2H_2O_{(\ell)}$				
حالة المجموعة	التقدم	كميات المادة ب (mmol)				
البدئية	0	0,823	25	0	0	بوفرة
الوسيطة	x	0,823 - x	25 - 2x	x	x	بوفرة
النهائية	x_{max}	0,823 - x_{max}	25 - 2 x_{max}	x_{max}	x_{max}	بوفرة

المتفاعل المحد هو Zn وبالتالي :

$$0,823 - x_{max1} = 0 \Rightarrow x_{max1} = 0,823 mmol$$

المتفاعل المحد هو $H_3O_{(aq)}^{+}$ وبالتالي :

$$25 - 2x_{max2} = 0 \Rightarrow x_{max2} = \frac{25}{2} = 12,5 mmol$$

نستنتج المتفاعل المحد هو Zn والتقدم الاقصى هو $0,823 mmol$

من خلال جدول القياسات الضغط القصوي للغاز هو $P_{max} = 80 hPa$

ب- العلاقة بين x و P_{H_2} :

من الجدول الوصفي : $n(H_2) = x$

ج- اثبات العلاقة :

معادلة الحالة للغاز الكامل :

$$P.V = n.R.T \Rightarrow P.V = x.R.T$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x = \frac{V}{R.T} \times P \\ x_{max} = \frac{V}{R.T} \times P_{max} \end{array} \right. \Rightarrow \frac{x}{x_{max}} = \frac{\frac{V}{R.T} \times P}{\frac{V}{R.T} \times P_{max}} \Rightarrow \frac{x}{x_{max}} = \frac{P}{P_{max}}$$

نستنتج :

$$x = \frac{x_{max}}{P_{max}} \times P = \frac{0,823.10^{-3}}{80.10^2} P$$

$$x = 1,03.10^{-2} P_{H_2}$$

2.3-أ- التعيين المبياني للسرعة الحجمية :

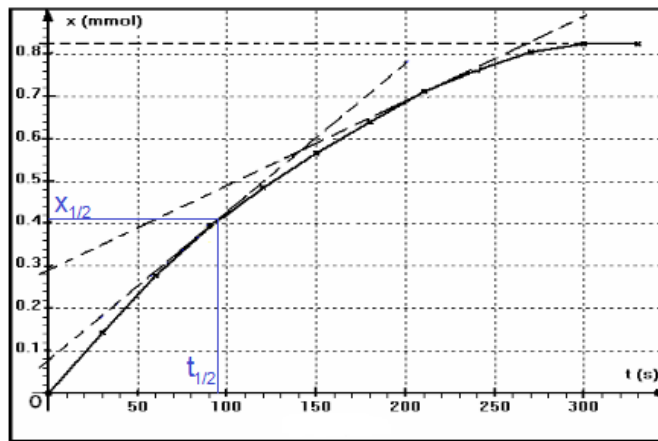
$$v(t = 90s) = \frac{1 \Delta x}{V \Delta t} = \frac{1}{50.10^{-3}} \times \frac{0,39 - 0,08}{90 - 0} = 6,89.10^{-2} \text{mmol}.L^{-1}.s^{-1}$$

$$v(t = 210) = \frac{1 \Delta x}{V \Delta t} = \frac{1}{50.10^{-3}} \times \frac{0,71 - 0,28}{210 - 0} = 4,09.10^{-2} \text{mmol}.L^{-1}.s^{-1}$$

ب- قيمة زمن نصف التفاعل:

$$x_{1/2} = \frac{x_{max}}{2} = \frac{0,823}{2} = 0,41 \text{mmol}$$

مبيانيا الزمن الموافق للتقدم $x_{1/2} = 0,41 \text{mmol}$ هو $t_{1/2} = 95s$



تمرين 4:

1- كمية مادة H_3O^+ و $CaCO_3$ البدئيتين :

$$n_i(H_3O^+) = C.V = 100.10^{-3} \times 100.10^{-3} = 0,01 \text{mol} = 10 \text{mmol}$$

$$n_i(CaCO_3) = \frac{m}{M(CaCO_3)} = \frac{2}{40 + 12 + 16 \times 3} = 0,02 \text{mol} = 20 \text{mmol}$$

2- جدول التقدم:

معادلة التفاعل		$CaCO_{3(s)} + 2H_3O^+_{(aq)} \rightarrow Ca^{2+}_{(aq)} + CO_{2(g)} + 3H_2O_{(l)}$				
الحالة	التقدم	كميات المادة ب : mmol				
البدئية	0	20	10	0	0	بوفرة
البيئية	x	20 - x	10 - x	x	x	بوفرة
النهائية	x_{max}	20 - x_{max}	10 - x_{max}	x_{max}	x_{max}	بوفرة

$$\frac{n_i(CaCO_3)}{1} = 20 \text{mmol}$$

$$\frac{n_i(H_3O^+)}{2} = \frac{10}{2} = 5 \text{mmol}$$

$$x_{max} = \frac{n_i(H_3O^+)}{2} < n_i(CaCO_3)$$

التقدم الأقصى هو $x_{max} = 5 \text{mmol}$ والمتفاعل المحد هو H_3O^+ .

3- حسب جدول التقدم لدينا : $n_{CO_2} = x$
نعلم أن:

$$P \cdot V_{CO_2} = n_{CO_2} \cdot R \cdot T \Rightarrow V_{CO_2} = \frac{n_{CO_2} \cdot R \cdot T}{P}$$

$$V_{CO_2} = \frac{x(t) \cdot R \cdot T}{P}$$

4- تعبير السرعة الحجمية :
نعلم أن :

$$x(t) = \frac{P \cdot V_{CO_2}}{R \cdot T} \quad \text{مع} \quad v = \frac{1}{V_S} \frac{dx(t)}{dt}$$

$$v = \frac{1}{V_S} \frac{d}{dt} \left(\frac{P \cdot V_{CO_2}}{R \cdot T} \right) \Rightarrow v = \frac{P}{V_S \cdot R \cdot T} \frac{dV_{CO_2}}{dt}$$

5- تحديد زمن نصف التفاعل مبيانيا :

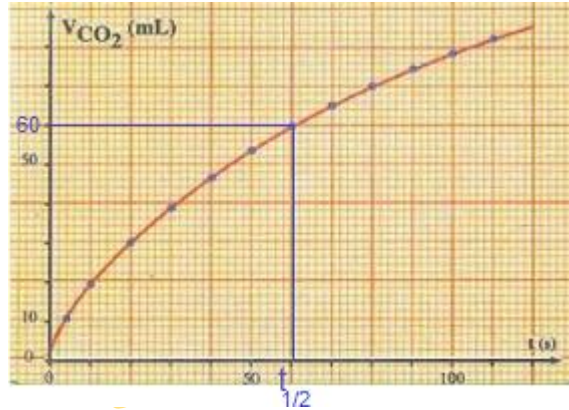
$$x_{1/2} = \frac{x_{max}}{2} = \frac{5 \text{ mmol}}{2} = 2,5 \text{ mmol}$$

نحدد تقدم زمن نصف التفاعل : $2,5 \text{ mmol}$
نحدد حجم ثنائي أوكسيد الكربون عند لحظة $t_{1/2}$:

$$V_{CO_2} = \frac{x(t_{1/2}) \cdot R \cdot T}{P} = \frac{2,5 \cdot 10^{-3} \times 8,314 \times (273 + 20)}{1013 \cdot 10^2} = 6 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$V_{CO_2} = 60 \text{ mL}$$

عند الحجم 60 mL نجد تقريبا اللحظة $t_{1/2} = 60 \text{ s}$ أنظر المبيان .



6- تركيز أيون الكالسيوم عند نهاية التفاعل :

من خلال الجدول الوصفي لدينا:

$$n(\text{Ca}^{2+}) = x_{max} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$[\text{Ca}^{2+}]_f = \frac{x_{max}}{V_S} = \frac{5 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{100 \cdot 10^{-3} \text{ L}} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$