

التتبع الزمني لتحول كيميائي - سرعة التفاعل
Suivi d'une transformation chimique - Vitesse de réaction

(I) تتبع الطور الزمني لمجموعة كيميائية.

(1) تقديم :

تتبع التطور الزمني لمجموعة كيميائية هو إمكانية حساب كمية مادة المتفاعلات و النواتج في كل لحظة و ذلك بتتبع كمية مادة أو تركيز أو ضغط أو حجم أحد مكونات المجموعة الكيميائية ولذلك يمكن استعمال عدة طرق:

- المعايرة الملوانية.
- قياس المواصلة (إذا كان الوسط المتفاعل ينتج أيون أو يستهلك أيون)
- قياس pH (إذا كان الوسط يحتوي على أيونات الأوكسونيوم تخضع لتحول كيميائي).
- قياس الضغط أو الحجم (إذا كان الوسط المتفاعل ينتج غاز أو يستهلك غاز).

(2) السرعة الحجمية لتفاعل.

✓ تقديم :

السرعة الحجمية لتفاعل تعبر عن كمية المادة الناتج أو كمية المتناقصة للمتفاعل في حجم معين خلال وحدة من الزمن ونعبر عنها رياضيا بالعلاقة :

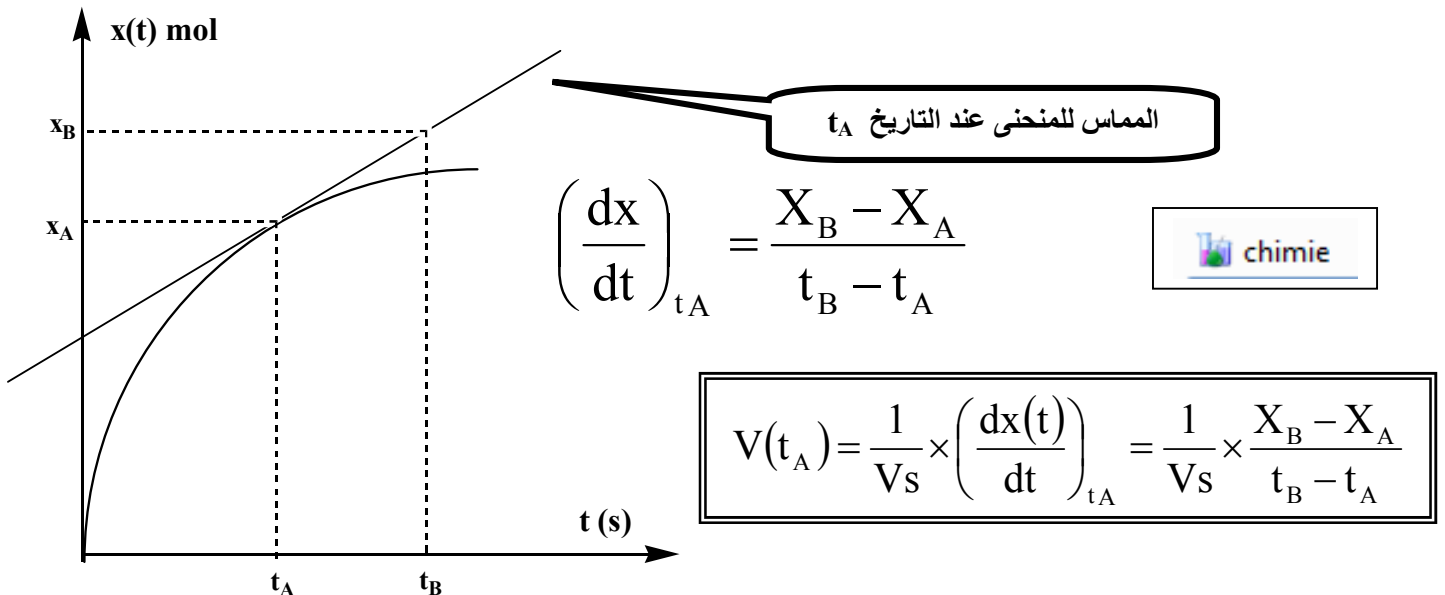
$$V(t) = \frac{1}{V_s} \times \left(\frac{dx(t)}{dt} \right)_t$$

المعامل الموجه للمماس للمنحنى عند التاريخ t ب mol/s

السرعة الحجمية ب $\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$

حجم المحلول ب m^3 أو L

نحصل على سرعة التفاعل عند التاريخ t بتحديد المعامل الموجه للمماس للمنحنى الذي يمثل تغيرات $x = f(t)$ عند هذه اللحظة ثم نقسمه على حجم المحلول.



✓ العوامل الحركية

تسمى المقادير التي تؤثر على سرعة تطور مجموعة كيميائية بالعوامل الحركية، وهي :

▪ درجة الحرارة:

تتزايد السرعة الحجمية لتحول مع تزايد درجة الحرارة.

▪ التركيز البدئي للمفاعلات:

تتزايد السرعة الحجمية لتحول مع تزايد التركيز البدئي للمفاعلات.

▪ الحفاز:

الحفاز هو كل نوع كيميائي يساعد في تسريع التفاعل دون أن يظهر له أثر في معادلة الحصيلة

(3) زمن نصف التفاعل:

✓ تعريفه:

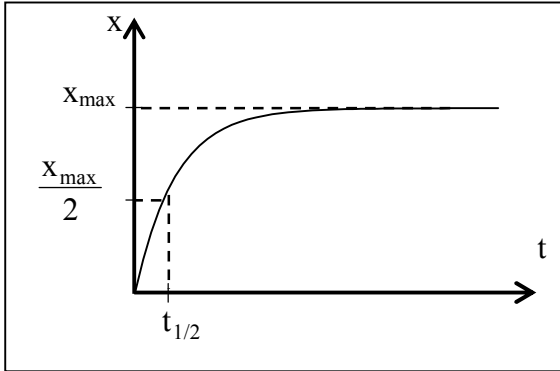
زمن نصف التفاعل $t_{1/2}$ هو المدة الزمنية اللازمة لكي يأخذ تقدم التفاعل x نصف قيمته النهائية x_f أي .

$$x(t_{1/2}) = \frac{x_f}{2}$$

بالنسبة لتفاعل تام « $x_f = X_{max}$ » ، $t_{1/2}$ هو المدة الزمنية اللازمة لاختفاء نصف كمية مادة التفاعل

المحد X_{max} ، أي عند $t = t_{1/2}$ لدينا:

$$x(t_{1/2}) = \frac{X_{max}}{2}$$



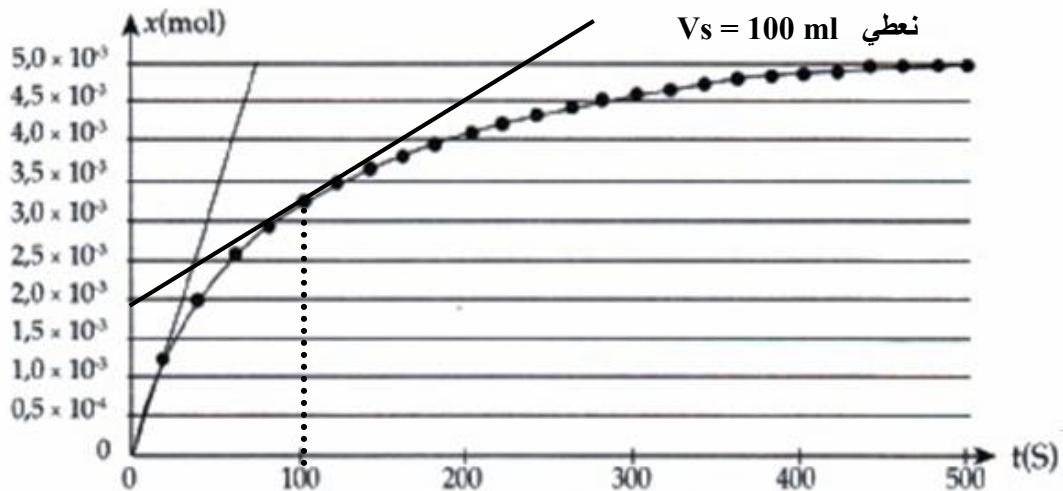
✓ الطريقة المبيانية لتحديد $t_{1/2}$:

تمرين تطبيقي :

(1) أحسب السرعة الحجمية عند بداية التفاعل .

(2) أحسب السرعة الحجمية عند التاريخ $t = 100$ s .

(3) أوجد قيمة $t_{1/2}$ زمن نصف التفاعل



(II) أمثلة تجريبية لتتبع الطور الزمني لمجموعة كيميائية:

(1) تتبع تحول كيميائي بقياس الضغط:

نشاط تجريبي:

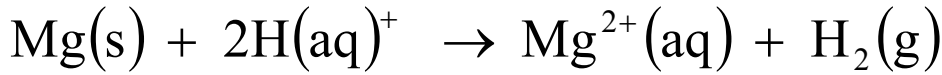
الهدف : تتبع تحول كيميائي بقياس الضغط:

ندخل في حوالة سعتها $500ml$ حجما $V = 200ml$ من محلول حمض الكلوريدريك تركيزه $C = 10^{-1} mol/l$ ونغلق بسدادة الحوالة بعد أن ندخل فيها شريط من المنغيزيوم Mg كتلته $m = 84mg$ ثم نصل الحوالة بمانومتر إلكتروني.

في اللحظة $t = 0s$ نبدأ بقياس قيم الضغط التي يشير إليها المانومتر عند درجة حرارة $T = 20^\circ C$.
نعطي في الجدول أسفله قيم الضغط داخل الحوالة بدلالة الزمن t :

266	238	212	193	174	160	144	115	90	71	52	18	0	$t(s)$
1297	1297	1294	1287	1273	1261	1239	1198	1159	1127	1097	1040	1009	$P(hPa)$
													$n_{exp}(H_2)$

معادلة التفاعل الحاصل :



- (1) عين الضغط P_0 داخل الحوالة قبل حدوث التفاعل و اذكر ما هو الغاز المسؤول عن هذا الضغط .
- (2) اذكر سبب زيادة الضغط داخل الحوالة
- (3) أحسب القيمة التجريبية $P_{exp}(H_2)$ الضغط التجريبي للغاز عند نهاية التفاعل.
- (4) أنشئ الجدول الوصفي ثم أحسب X_{max} و حصيلة المادة للتفاعل.
- (5) استنتج اضغط النظري $P_{th}(H_2)$ اعتمادا على X_{max} , قارن هذه القيمة مع القيمة التجريبية في السؤال 3, ماذا تستنتج؟
- (6) بتطبيق معادلة الغازات الكاملة , أحسب $n_{exp}(H_2)$ في كل لحظة .
- (7) انطلاقا من الجدول الوصفي أعط العلاقة بين X تقدم التفاعل و $n(H_2)$ في كل لحظة t .
- (8) مثل الدالة $X = f(t)$ باستعمال سلم مناسب .
- (9) استنتج مبيانيا قيمة X_{max} .
- (10) استنتج مبيانيا $t_{1/2}$.
- (11) أحسب السرعة الحجمية للتفاعل عند $t = 0s$ و $t = 212s$ ماذا تستنتج.

استثمار :

(1) الضغط P_0 داخل الحوجة يساوي $P_0 = 1009 \text{ hPa}$ و هو راجع للهواء الموجود داخل الحوجة.

(2) زيادة الضغط داخل الحوجة راجع إلى تكون الغاز H_2 الناتج عند التفاعل.

(3) حساب $P_{\text{exp}}(H_2)$:

عند التاريخ t :

$$P_T = P_0 + P(H_2) \Leftrightarrow P(H_2) = P_T - P_0$$

عند التاريخ t_f :

$$P(H_2) = P_T - P_0 = 1297 - 1009 = 288 \text{ hPa}$$

(4)

$$n_0(\text{Mg}) = \frac{m(\text{Mg})}{M(\text{Mg})} = \frac{84.10^{-3}}{24} = 3,5.10^{-3} \text{ mol}$$

$$n_0(H^+) = [H^+] \times V = C(HCl) \times V = 10^{-1} \times 200.10^{-3} = 2.10^{-2} \text{ mol}$$

معادلة التفاعل			
الحالة			
التقدم			
كمية المادة بـ المول			
$3,5.10^{-3}$	2.10^{-2}	0	0
$3,5.10^{-3} - x$	$2.10^{-2} - 2x$	x	x
$3,5.10^{-3} - x_{\text{max}}$	$2.10^{-2} - 2x_{\text{max}}$	x_{max}	x_{max}
0	13.10^{-3}	$3,5.10^{-3}$	$3,5.10^{-3}$

لحساب X_{max} :

Mg	H+(aq)
$3,5.10^{-3} - x_{\text{max}} = 0$	$2.10^{-2} - 2x_{\text{max}} = 0$
$x_{\text{max}} = 3,5.10^{-3}$	$x_{\text{max}} = 10^{-2}$
$x_{\text{max}} = 3,5.10^{-3}$	

حصيلة المادة :

■ المتفاعلات :

$$n_f(\text{Mg}) = 0 \quad ; \quad n_f(H^+) = 13.10^{-3} \text{ mol}$$

■ النواتج :

$$n_f(\text{Mg}^{2+}) = 3,5.10^{-3} \text{ mol} \quad ; \quad n_f(H_2) = 3,5.10^{-3} \text{ mol}$$

■ الأنواع الكيميائية المتفرجة :

$$n_f(\text{Cl}^-) = n_0(\text{Cl}^-) = [\text{Cl}^-] \times V = C(HCl) \times V = 2.10^{-2} \text{ mol}$$

(5) استنتاج الضغط النظري

$$P_{th}(H_2) \times V(H_2) = n_f(H_2)_{th} \times R \times T$$

$$P_{th}(H_2) = \frac{n_f(H_2)_{th} \times R \times T}{V(H_2)}$$

$$V(H_2) = 500 - 200 = 300 \text{ ml}$$

$$P_{th}(H_2) = \frac{8,31 \times (20 + 273) \times 3,5 \cdot 10^{-3}}{300 \cdot 10^{-6}} = 28\,406 \text{ Pa} = 284 \text{ hPa}$$

$$P_{th}(H_2) \cong P_{exp}(H_2)$$

(6) حساب $n_{exp}(H_2)$ في كل لحظة :

$$n(H_2)_{exp} = \frac{P_{exp}(H_2) \times V(H_2)}{R \times T} = \frac{(P_T(t) - P_0) \times V(H_2)}{R \times T}$$

$$n(H_2)_{exp} = \frac{(P_T(t) - 1009) \times 300 \cdot 10^{-6}}{8,31 \times 293} = (P_T(t) - 1009) \times 1,23 \cdot 10^{-5}$$

مثال اللحظة عند $t = 18 \text{ s}$ لدينا $P_T = 1040 \text{ hPa}$

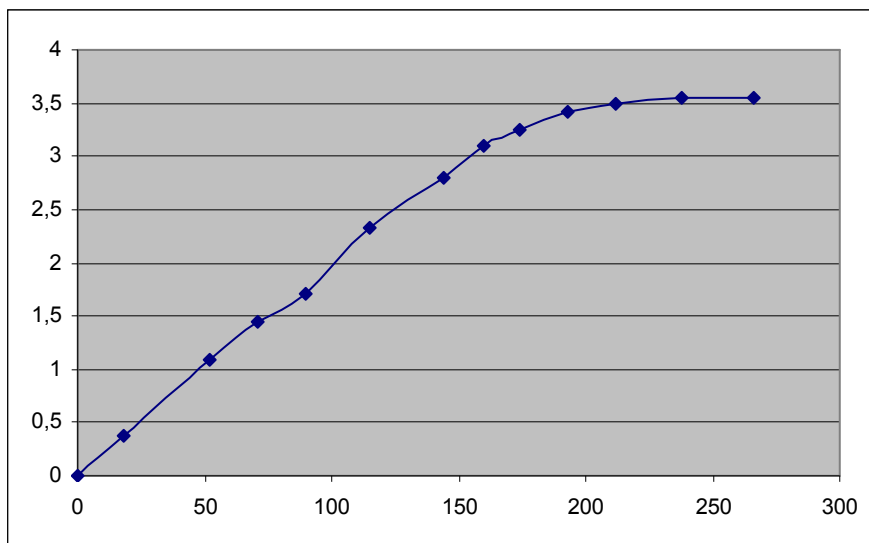
$$n(H_2)_{exp} = (1040 - 1009) \times 1,23 \cdot 10^{-5} = 0,38 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \quad \text{إذن :}$$

266	238	212	193	174	160	144	115	90	71	52	18	0	$t(s)$
1297	1297	1294	1287	1273	1261	1239	1198	1159	1127	1097	1040	1009	$P(hPa)$
3.54	3.54	3.5	3.41	3.24	3.09	2.8	2.32	1.7	1.45	1.08	0.38	0	$n_{exp}(H_2)$

(7) العلاقة بين X تقدم التفاعل و $n(H_2)$ في كل لحظة t : أي الحالة الوسطية

$$n(H_2) = x$$

(8) الدالة $X = f(t)$



$$X_{max} = x_f = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

(9) مبيانيا لدينا

$$t_{1/2} = 90 \text{ s}$$

(10) مبيانيا لدينا

(11) السرعة الحجمية للتفاعل عند $t = 0 \text{ s}$

$$V_{t=0} = \frac{1}{V_s} \times \left(\frac{dx}{dt} \right)_{t=0} = \frac{1}{200 \cdot 10^{-3}} \times a_{t=0}$$

ماذا تستنتج. $t = 212 \text{ s}$

$$V_{t=0} = \frac{1}{V_s} \times \left(\frac{dx}{dt} \right)_{t=0} = \frac{1}{200 \cdot 10^{-3}} \times a_{t=0}$$

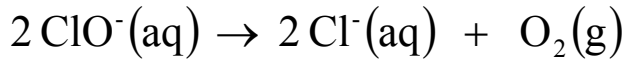
استنتاج :

تنخفض سرعة التفاعل مع مرور الزمن و ذلك راجع إلى انخفاض تركيز المتفاعلات

(2) تتبع تحول كيميائي بقياس الحجم:

نشاط : تمرين

يتفكك ماء جافيل ببطء و بكيفية كلية وفق المعادلة التالية :



تتوفر على قارورة بها ماء جافيل تحتوي على المعلومات التالية :

الحجم : $V = 250 \text{ ml}$

التركيب : محلول مائي لتحت كلوريت الصوديوم L'hypochlorite de sodium

(Na^+ , ClO^-) حيث ClO^- هو أيون تحت الكلوريت hypochlorite

لدراسة حركية التفاعل نستعمل حجما $V_1 = 200 \text{ ml}$ من المحلول أعلاه حيث نقيس عند ضغط P ثابت و درجة حرارة T ثابتة حجم غاز ثنائي الأوكسجين $V(\text{O}_2)$ المتكون.

نعطي في الجدول أسفله قيم الحجم $V(\text{O}_2)$ المتكون بدلالة الزمن t : نعطي : $V_m = 22,4 \text{ L/mol}$

450	420	390	360	330	300	270	240	210	180	150	120	90	60	30	0	t(s)
295	291	286	278	269	255	246	231	212	189	163	138	106	74	42	0	$V(\text{O}_2)$ ml
13.2	13	12.8		12	11.4	11	10.3	9.5	8.4	7.3	6.2	4.7	3.3	1.9	0	$n_{\text{exp}}(\text{O}_2)$ mmol

(1) أحسب كمية مادة O_2 عند اللحظة $t = 360 \text{ s}$.

(2) عبر عن تقدم التفاعل X بدلالة كمية مادة O_2 المتكون.

(3) مثل المنحنى $X = f(t)$.

(4) إعط تعبير سرعة التفاعل ثم أحسب قيمتها عند $t = 240 \text{ s}$.

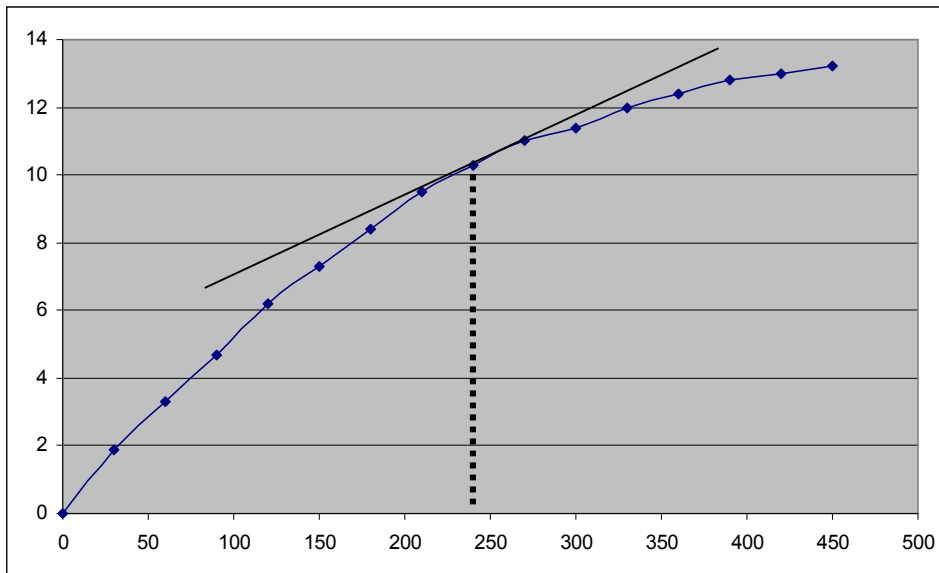
(5) عرف ثم أوجد مدة نصف التفاعل $t_{1/2}$.

(1) حساب $n(\text{O}_2)$ عند اللحظة $t = 360 \text{ s}$.

$$n(\text{O}_2) = \frac{V(\text{O}_2)}{V_m} = \frac{278.10^{-3}}{22,4} \cong 12,41 \text{ mmol}$$

(2) تعبير تقدم التفاعل X بدلالة $n(\text{O}_2)$ المتكون.

$2 \text{ClO}^-(\text{aq}) \rightarrow 2 \text{Cl}^-(\text{aq}) + \text{O}_2(\text{g})$			معادلة التفاعل	
كمية المادة بـ المول			التقدم	الحالة
$n_0(\text{ClO}^-)$	0	0	0	البداية
$n_0(\text{ClO}^-) - 2x$	$2x$	x	x	خلال التحول
$n_0(\text{ClO}^-) - 2x_{\text{max}}$	$2x_{\text{max}}$	x_{max}	x_{max}	النهائية

إذن : $X = n(\text{O}_2)$ (3) مثل المنحنى $X = f(t)$.(4) تعبير السرعة التفاعل ثم حساب قيمتها عند $t = 240 \text{ s}$.

$$V(t) = \frac{1}{V_s} \times \left(\frac{dx(t)}{dt} \right)_t$$

$$V_{t=240s} = \frac{1}{200.10^{-3}} \times \left[\frac{x_1 - x_2}{t_1 - t_2} \right] \approx 2,3.10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}.\text{s}^{-1}$$

(5) مبيانيا لدينا : $t_{1/2} \cong 130 \text{ s}$