

التتبع الزمني لتحول كيميائي- سرعة التفاعل

1- التتبع الزمني لتحول كيميائي

1.1 طرق التتبع الزمني لتحول كيميائي

تتبع تحول كيميائي هو تتبع التطور الزمني لتركيز أحد المتفاعلات أو أحد النواتج .
مبدأ التتبع يتلخص في حساب تركيز المتفاعل أو الناتج في لحظات مختلفة. توجد طرق كيميائية وفيزيائية.

أ طريقة كيميائية : المعايرة

معايرة نوع كيميائي تعني تحديد تركيزه بحساب كمية مادته في حجم معين للمحلول.
أ . مبدأ المعايرة

نجعل النوع الكيميائي المعايير يتفاعل مع نوع كيميائي آخر موجود في محلول معاير ذو تركيز معروف . معادلة التفاعل تسمى معادلة تفاعل المعايرة . ويتميز التفاعل بكونه **سريع و تام وانتقائي**.
نضيف تدريجيا للمحلول المعايير أحجاما من المحلول المعاير بواسطة سحاحة. نعتبر المتفاعل المعاير لمتفاعل محد قبل التكافؤ.

اختفاء المتفاعلين المحدين المعاير و المعاير يشير إلى التكافؤ. الحجم الذي تم صبه يسمى حجم التكافؤ V_E .

بمعرفة حجم التكافؤ يمكننا حساب كمية مادة المعاير. وبمساعدة الجدول الوصفي لحصيلة المادة يمكننا حساب كمية مادة المعاير البدئية وبالتالي تركيزه في المحلول.

ب . تحديد التكافؤ

يمكننا التعرف على التكافؤ بتتبع تغيرات مقدار كيميائي أو فيزيائي فبالنسبة للمعايرة اللونية ننتبع تغير لون المحلول. يمكن أيضا تتبع تغيرات pH المحلول حيث المقدار المتغير هو pH المحلول. كما يمكن اعتبار مواصلة المحلول كمقدار متغير خلال المعايرة بقياس المواصلة.

ب طريقة فيزيائية :

• حساب الضغط او الحجم في حالة التحولات الغازية.

في حالة تحول حيث أحد المتفاعلات أو النواتج يوجد في الحالة الغازية (لو حده) فإنه يمكن تحديد كمية مادته بحساب حجمه عند درجة حرارة و ضغط ثابتين او بحساب ضغطه عند درجة حرارة و حجم معينين . فنطبق علاقة الغازات الكاملة لتحديد كمية مادة النوع الغازي. $PV=nRT$.

• المواصلة:

يسمح حساب مواصلة جزء من محلول مائي أيوني ($G = \frac{I}{U}$) من تحديد تركيز الأنواع الكيميائية بالمحلول . بالنسبة

لمحلول يحتوي على p أيون فإن موصليته تكتب كالتالي: $\sigma = \lambda_1 [X_1] + \lambda_2 [X_2] + \dots + \lambda_p [X_p]$. بتتبع تغير المواصلة يمكننا تتبع تطور تحول كيميائي. يمكننا التعبير عن تقدم التفاعل بدلالة المواصلة و بالتالي التتبع الزمني لتطور التقدم x .

1-2- تتبع تحول كيميائي بطريقة كيميائية : المعايرة

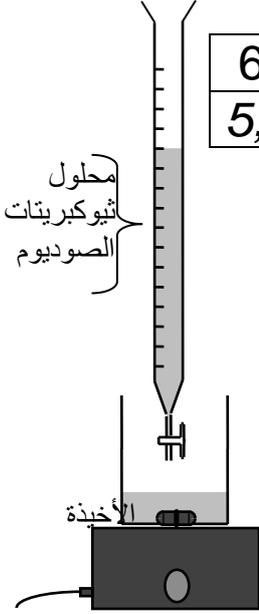
النشاط التجريبي 1: تتبع تحول كيميائي بواسطة المعايرة

المناولة: أكسدة أيونات اليودور I^- بواسطة محلول الماء الأوكسيجيني H_2O_2 .
في اللحظة $t = 0$ نصب في كأس $V_1 = 50 \text{ ml}$ من محلول H_2O_2 تركيزه $C_1 = 5,4 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$ و
 $V_2 = 50 \text{ ml}$ من محلول يودور البوتاسيوم $(K^+ + I^-)$ تركيزه $C_2 = 0,1 \text{ mol/L}$.

نضيف قطرات من محلول حمض الكبريتيك لتحريض الوسط وقليل من صمغ النشا (كاشف يصبح أزرق عند وجود I_2). نحرك الخليط.

عند اللحظة $t_1 = 2min$ نأخذ بواسطة ماصة معيارية $V=10mL$ من الخليط التفاعلي ونصبها في كأس يحتوي على ماء مثلج، تسمى هذه العملية بعملية الغطس (trempe). نقوم بعد ذلك بمعايرة ثنائي اليود المتكون في هذه اللحظة بواسطة محلول معاير لثيوكبريتات الصوديوم ($2Na^+ + S_2O_3^{2-}$) تركيزه $C=0,1 mol/L$. نسجل الحجم V_E للمحلول المعاير اللازم لاختفاء ثنائي اليود (اختفاء اللون الأزرق) نعيد نفس العملية في لحظات مختلفة نحصل على النتائج المدونة في الجدول التالي:

اللحظة t(min)	0	2	6	10	15	20	30	40	50	60
الحجم V_E (mL)	0,0	1,2	2,7	3,5	4,2	4,7	5,1	5,3	5,4	5,4



◆ استنمار

- 1- ما الغاية من عملية الغطس؟
- 2- اكتب معادلة التفاعل الخاص بالمعايرة. المزدوجتان المتفاعلتان هما $S_4O_6^{2-} / S_2O_3^{2-}$ و I_2 / I^-
- 3- أنشئ الجدول الوصفي الخاص بتفاعل المعايرة
- 4- عند التكافؤ يختفي كل من $S_2O_3^{2-}$ و I_2 (تفاعل تناسبي)، عبر عن $n_t(I_2)$ بدلالة V_E و C .
- 5- اكتب معادلة التفاعل بين الماء الأوكسجيني ويودور البوتاسيوم. أنشئ جدول التطور الخاص بالخليط التفاعلي.
- 6- عبر عن $n_t(I_2)$ بدلالة x_t .
- 7- أوجد قيمة x_t في 100 mL من الخليط. وأتمم الجدول التالي:

اللحظة t(min)	0	2	6	10	15	20	30	40	50	60
الحجم V_E (mL)	0,0	1,2	2,7	3,5	4,2	4,7	5,1	5,3	5,4	5,4
التقدم x (mmol)	0									

- 8- مثل المنحنى الممثل لتغيرات x بدلالة الزمن $x=f(t)$ واستنتج مبيانيا زمن نصف التفاعل $t_{1/2}$:
اللحظة التي توافق $x = \frac{x_{max}}{2}$

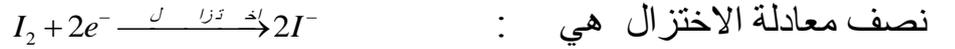
9- مثل مماس المنحنى في اللحظتين $t_1 = 10min$ و $t_2 = 30min$. أحسب قيمتي المعامل الموجه لهذين المماسين.

10- نعرف السرعة الحجمية للتفاعل في لحظة t بالعلاقة $v = \frac{1}{V} \frac{dx}{dt}$. أحسب السرعتين v_1 و v_2 في اللحظتين السابقتين. ماذا تستنتج؟

نتائج النشاط التجريبي 1

1- الغاية من عملية الغطس هي تبطيء التفاعل غاية التوقف .

2- معادلة التفاعل الخاص بالمعايرة هي :



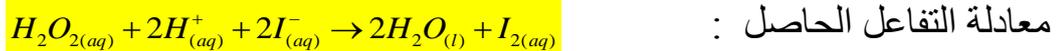
3- الجدول الوصفي الخاص بالمعايرة :

معادلة التفاعل				معادلة التفاعل	
$2S_2O_3^{2-} + I_2 \rightarrow S_4O_6^{2-} + 2I^-$				معادلة التفاعل	
كميات المادة (mol)				التقدم x (mol)	حالة المجموعة
C.V	$n(I_2)$	0	0	0	الحالة البدئية
C.V -2x	$n(I_2) - x$	x	2x	x	خلال التحول
C.V _E -x _E	$n(I_2) - x_E$	x _E	2x _E	x _E	عند التكافؤ

4- لنعبر عن $n_t(I_2)$ بدلالة x_t عند التكافؤ الخليط تناسبى ومنه يختفي كلا المتفاعلين نجد إذا :

$$\left. \begin{aligned} C.V_E - 2x_E = 0 \rightarrow x_E = \frac{C.V_E}{2} \\ n_t(I_2) - x_E = 0 \Rightarrow x_E = n_t(I_2) \end{aligned} \right\} n_t(I_2) = \frac{C.V_E}{2} \quad (1)$$

5- معادلة التفاعل الحاصل بين الماء الأكسيجيني و أيونات الأيودور هي :



الجدول الوصفي الخاص بالتحول الحاصل كالتالي :

$H_2O_{2(aq)} + 2H^+_{(aq)} + 2I^-_{(aq)} \rightarrow 2H_2O_{(l)} + I_{2(aq)}$				المعادلة الكيميائية	
كميات الماد (mol)				التقدم X (mol)	حالة المجموعة
$C_1 \cdot V_1$		$C_2 \cdot V_2$		0	البدئية
$C_1 \cdot V_1 - x_t$		$C_2 \cdot V_2 - 2x_t$		x_t	خلال التحول (عند اللحظة t)
$C_1 \cdot V_1 - x_f$		$C_2 \cdot V_2 - 2x_f$		x_f	النهائية

6- لنعبر عن $n_t(I_2)$ بدلالة x_t : حسب الجدول الوصفي
وحسب نتائج تفاعل المعايرة فإن $n_t(I_2) = C \cdot V_E / 2$ في العينة 10mL
إذا في الخليط الكلي (100mL = 10 * 10mL)

$$n_t(I_2) = 10 \cdot \frac{C \cdot V_E}{2}$$

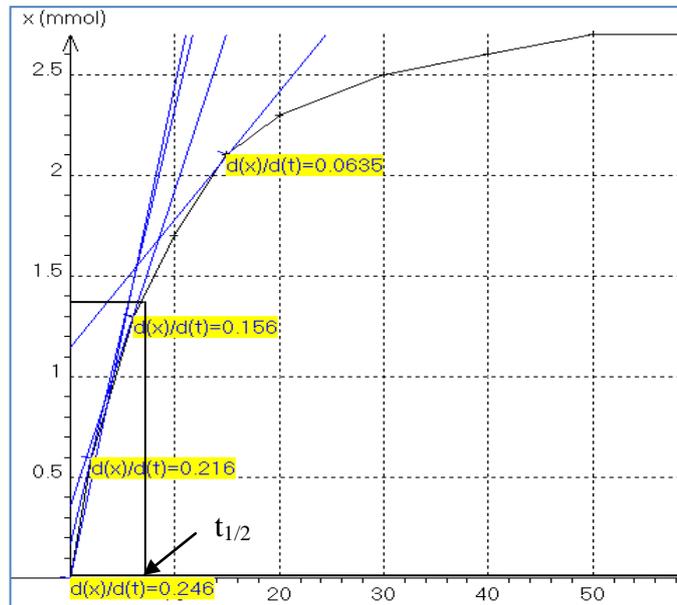
$$n_t(I_2) = 5C \cdot V_E$$

نستنتج إذا :

7- لنتمم جدول القياسات السابق:

اللحظة t(min)	0	2	6	10	15	20	30	40	50	60
الحجم V_E (mL)	0,0	1,2	2,7	3,5	4,2	4,7	5,1	5,3	5,4	5,4
التقدم x_t (mol)	0	0,6	1,3	1,7	2,1	2,3	2,5	2,6	2,7	2,7

8- لنمثل المنحنى $x=f(t)$



$$x_{1/2} = x_{max} / 2$$

$$حيث \quad t_{1/2} = 6 \text{ min}$$

مبيانيا نجد

9- لنحدد المعامل الموجه للمماس : عند اللحظة $t_1=10\text{min}$ $x'(t_1)=(dx/dt)_{t_1}=0,101\text{mmol/min}$
عند اللحظة $t_2=30\text{min}$ $x'(t_2)=(dx/dt)_{t_2}=0,018\text{mmol/min}$

10- قيمتا السرعة عند هاتين اللحظتين : عند t_1 لدينا $v_i = \frac{1}{V} \cdot \frac{dx}{dt}$ $V=0,1\text{L}$

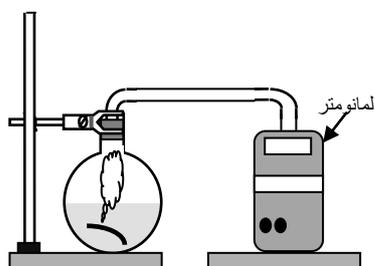
إذا $v_1 = 1,01\text{mmol} / \text{L} \cdot \text{min}$

و $v_2 = 0,18\text{mmol} / \text{L} \cdot \text{min}$

نستنتج أن $v_2 < v_1$ ، تنقص السرعة بتقدم التفاعل

3-1 تتبع تحول كيميائي بطريقة فيزيائية: قياس الضغط

نشاط تجريبي(2):تتبع تحول كيميائي بقياس الضغط



ندخل في حوجلة سعتها 500mL ،متصلة بمانومتر حجما $V=200\text{mL}$ من محلول حمض الكلوريدريك ($H_3O^+(aq) + Cl^-(aq)$) ذي التركيز $C = 0,1\text{mol/L}$ وكتلة $m=84\text{mg}$ من المغنيزيوم Mg. نسجل خلال مدد زمنية قيم الضغط التي يشير إليها المانومتر وندون النتائج في جدول : (درجة الحرارة ثابتة $=20^\circ\text{C}$)

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)
													x(mol)= n(H ₂)

المعطيات: الكتلة المولية $M(\text{Mg})=24,3\text{g/mol}$ وثابتة الغازات الكاملة $R=8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

1-المزدوجتان المتدخلتان في التفاعل هما $\text{Mg}_{(aq)}^{2+}/\text{Mg}_{(s)}$ و $\text{H}_3\text{O}^+_{(aq)}/\text{H}_2(\text{g})$ ، أكتب معادلة تفاعل الأكسدة والإختزال .

2 – ما طبيعة الغاز الناتج ؟ كيف يمكن إبرازه؟

3-ما الضغط P_0 للهواء المحصور داخل الحوجلة مباشرة قبل حدوث التفاعل ؟

4-ما سبب تزايد الضغط داخل الحوجلة ؟

5-بتطبيق معادلة الحالة للغاز الكامل ، أحسب كمية المادة $n(\text{H}_2)$ لثنائي الهيدروجين الناتج في كل لحظة تاريخها t ودونها في الجدول السابق.

6-أحسب كمية المادة البدئية لكل من المتفاعلين . عين المتفاعل المحد.

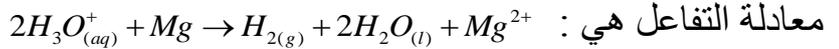
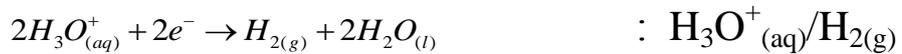
7-ما ما فائدة إبقاء درجة حرارة الوسط التفاعلي ثابتة ؟

8- بين أن التقدم x يساوي كمية المادة $n(\text{H}_2)$ في كل لحظة .

- 9- خط المبيان الذي يمثل الدالة $x=f(t)$ باستعمال السلم $1\text{cm} \leftrightarrow 20\text{s}$ و $1\text{cm} \leftrightarrow 0,4\text{mmol}$. حاول
خط المنحنى باستعمال أحد البرانم المجدولة Excel أو regressi
10- خط المماسات لمنحنى $x=f(t)$ عند اللحظات $t=0$ و $t=60\text{s}$ و $t=200\text{s}$.
11- استنتج مبيانيا التقدم الأقصى x_{max} واللحظة $t_{1/2}$ الموافقة لتقدم x يساوي $\frac{x_{\text{max}}}{2}$

نتائج النشاط التجريبي 2:

1- المزدوجتان المتدخلتان في التفاعل هما :



- 2- الغاز الناتج هو غاز ثاني الهيدروجين H_2 ويمكن إبرازه بتقديم لهب حيث يتفرقع بطريقة خاصة .
3- الضغط P_0 للهواء داخل الحوجة قبل حدوث التفاعل هو الضغط عند $t=0\text{s}$: $P_0=1009\text{ hPa}$
4- يتزايد الضغط داخل الحوجة بسبب تزايد كمية مادة الغاز الناتج خلال التحول الكيميائي .
5- لنحسب كمية مادة الغاز الناتج عند كل لحظة :

نطبق معادلة الحالة للغاز الكامل : $P_{\text{gaz}} \cdot V_{\text{gaz}} = n_{\text{gaz}} \cdot R \cdot T$

غير أن ضغط غاز الهيدروجين الناتج عند اللحظة t هو $P_{\text{gaz}} = P_t - P_0$

وحجم الغاز هو : $V_{\text{gaz}} = V_{\text{ballon}} - V_{\text{solution}}$

ومنه كمية مادة الغاز الناتجة هي : $n(\text{H}_2) = \frac{P_{\text{gaz}} \cdot V_{\text{gaz}}}{R \cdot T}$

لنتم ملاً الجدول السابق :

t(s)	0	18	52	71	90	115	144	160	174	193	212	238	266
x(mmol)=n(H ₂)	0	0,38	1,1	1,45	1,84	2,33	2,83	3,1	3,25	3,42	3,5	3,54	3,54

6- لنحسب كمية المادة البدئية لكل متفاعل :

بالنسبة لكمية مادة حمض الكلوريدريك نجد : $n_0(\text{H}_3\text{O}^+) = C \cdot V_s = 0,1 \cdot 0,2 = 0,02\text{mol}$

بالنسبة لفلز المنغنيزيوم نجد : $n_0(\text{Mg}) = m/M = 84 \cdot 10^{-3} / 24 = 3,5\text{mmol}$

لننشئ الجدول الوصفي للتطور :

المعادلة الكيميائية				
$2\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})} + \text{Mg} \rightarrow \text{H}_{2(\text{g})} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} + \text{Mg}^{2+}$			التقدم x (mol)	حالة المجموعة
كميات المتفاعلات (mol)				
C.V	$n_0(\text{Mg})$	0	0	البدئية
C.V-2x	n_0-x	x	x	خلال التحول (عند اللحظة)
C.V-2x _f	n_0-x_f	x _f	x _f	النهائية

من خلال الجدول وإذا اعتبرنا أن الحمض هو المتفاعل المحد أي أن : $C \cdot V - 2x_f = 0$

$$x_f = C \cdot V / 2 = 0,01 \text{ mol} \quad \text{إذا}$$

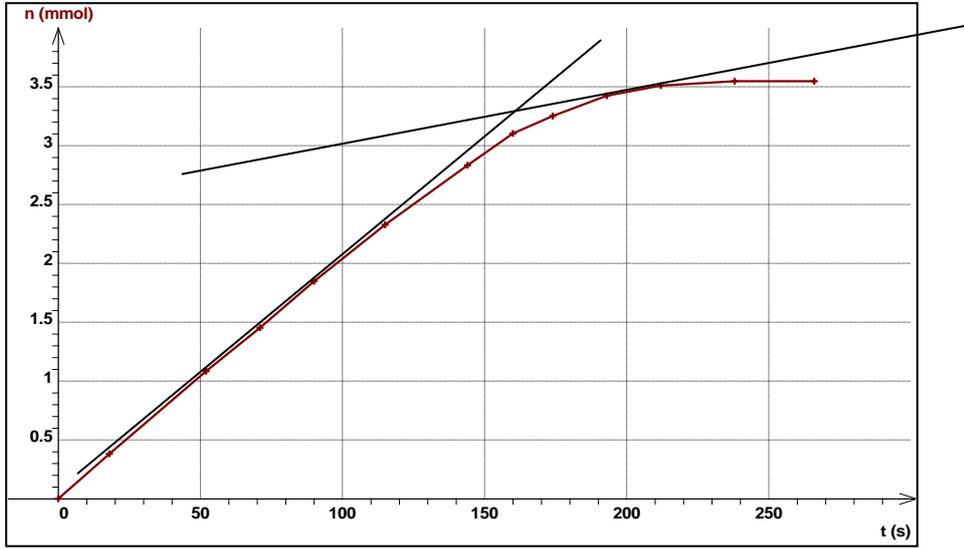
$$n_f(\text{Mg}) = n_0 - x_f = 0,0035 - 0,01 = -0,0065 \text{ mol} \quad \text{نعوض } x_f \text{ في}$$

الشيء الذي يستحيل نستنتج إذا أن المتفاعل المحد هو المنغنيزيوم

7- نعلم أن درجة الحرارة هي من متغيرات الحالة للغازات وبتغييرها تتغير أيضا كمية المادة للغاز الناتج ونحن في هذا النشاط نريد تتبع تطور التحول بقياس الضغط وليس بتغيير الحرارة لذا استلزم الأمر إبقاء درجة الحرارة ثابتة .

8- من خلال الجدول الوصفي نستنتج في كل لحظة أن : $n(\text{H}_2) = x$

9- لنمثل منحنى الدالة $x = f(t)$



10- مبيانيا ميلان المماسات ينقص مع الزمن ومنه تغير x ينقص مع الزمن إذا السرعة الحجمية تنقص مع الزمن .

11- لنحدد مبيانيا التقدم الأقصى : $x_{\max} = 3,5 \text{ mmol}$ ومنه $x_{1/2} = x_{\max} / 2$

نستنتج إذا قيمة $t_{1/2} = 85 \text{ s}$

2. التطور الزمني لتقدم التفاعل الكيميائي.

تتم نمذجة التحول الكيميائي بتفاعل كيميائي واحد. حيث نعبر عن التفاعل بمعادلة التفاعل توازن بمساعدة معاملات التناسب. نستعين بجدول وصفي لتحول المجموعة الكيميائية يستعمل تقدم التفاعل الكيميائي. فبالنسبة لتفاعل كيميائي $\alpha A + \beta B \rightarrow \gamma C + \lambda D$ يكون الجدول كالتالي:

معادلة التفاعل		$\alpha A + \beta B \rightarrow \gamma C + \lambda D$			
حالات المجموعة	التقدم	كمية المادة			
الحالة البدئية	0	n(A)	n(B)	n(C)	n(D)
الحالة البينية	X	$n_{(A)} - \alpha X$	$n_{(B)} - \beta X$	$n_{(C)} + \gamma X$	$n_{(D)} + \lambda X$
الحالة النهائية	X_m	$n_{(A)} - \alpha X_m$	$n_{(B)} - \beta X_m$	$n_{(C)} + \gamma X_m$	$n_{(D)} + \lambda X_m$

أثناء تحول كيميائي تنقص كمية مادة المتفاعلات وترتفع كمية مادة النواتج أي تقدم التفاعل يكبر.

$$x = \frac{n_{i(A)} - n_{(A)}}{\alpha}; \quad x = \frac{n_{i(B)} - n_{(B)}}{\beta}$$

يمكننا كتابة المعادلات التالية :

$$x = \frac{n_{(C)} - n_{i(C)}}{\gamma}; \quad x = \frac{n_{(D)} - n_{i(D)}}{\lambda}$$

$$n(A) = [A]V; \quad n(B) = [B]V \dots\dots \text{مع}$$

كيفما كان النوع الكيميائي فإن لمنحنى تطور التقدم بدلالة الزمن نفس الشكل. حيث التقدم دالة زمنية منعدمة في اللحظة الصفر وتنتهي إلى قيمة حدية X_m حينما يتناهي الزمن إلا اللانهاية. إذا كان التحول تام يكون للمنحنى مماس أفقي معادلته $X = X_m$.

3 سرعة التفاعل الكيميائي وزمن نصف التفاعل

3,1 تعريف

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

نعرف سرعة التفاعل v بالعلاقة: v حجم وسط التفاعل.

السرعة v دالة زمنية و $\frac{dx}{dt}$ مشتقة الدالة $x(t)$ بالنسبة للزمن. وحدة السرعة في $\text{mol} \cdot L^{-1} \cdot S^{-1}$.

3.2 التحديد المبياني لسرعة التفاعل

يمكن تحديد سرعة التفاعل مبيانيا انطلاقا من منحنى الدالة x بلالة t .

قيمة سرعة التفاعل في اللحظة t تساوي قيمة المعامل الموجه للمماس منحنى الدالة x بدلالة الزمن في اللحظة t . مقسوما على حجم المحلول

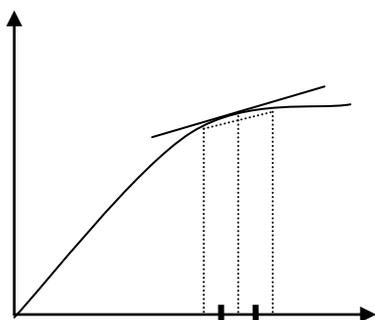
طرق تحديد السرعة

أ الطريقة الاولى

رقبل أنه في لحظة t أن المعامل الموجه للمماس للمنحنى في هذه اللحظة يساوي المعامل الموجه للوتر الرابط بين نقطتين توتران النقطة.

ب الطريقة الثانية:

يمكن رسم مباشرة المماس للمنحنى ثم نقوم بحساب المعامل الموجه له. ج الطريقة الثالثة : استعمال مجدول يسمح بحساب السرعة (أنظر النشرات 1 و 2)



تطور السرعة زمنيا:

عموما يمكن ملاحظة أن المعامل الموجه للمماس ينقص مع الزمن قيمته القصوى تكون في اللحظة الصفر. حينما تصبح السرعة منعدمة تكون المجموعة الكيميائية في الحالة النهائية.

زمن نصف التفاعل (أنظر النشاط التجريبي 1 و 2)

أ تعريف

زمن نصف التفاعل ورمزه $t_{1/2}$ هو المدة الزمنية التي يستغرقها التفاعل ليصل تقدم التفاعل x إلى نصف قيمته عند نهاية التفاعل. في حالة التفاعل التام قيمة التقدم النهائي تساوي التقدم القصوي $x = \frac{1}{2} x_m$. في هذه الحالة يساوي زمن نصف التفاعل المدة اللازمة لاختفاء نصف كمية مادة المتفاعل المحد البدئية. أو تكون نصف كمية مادة أحد المتفاعلات النهائية.

ب أهميته

يعطي زمن نصف التفاعل فكرة عن سرعة التفاعل. كما تسمح معرفته باختيار طريقة تتبع تطور المجموعة. إذا كان صغيرا لا يمكن استعمال تقنية المعايرة لتتبع تطور المجموعة.

4- التفسير الميكروسكوبي

1-4- تنكير

تتعلق السرعة الحجمية لتحول ببعض العوامل تسمى عوامل حركية. إن درجة حرارة مجموعة كيميائية وتراكيز المتفاعلات عوامل حركية: عند ارتفاع درجة الحرارة أو تركيز متفاعل أو كلاهما معا، تزيد السرعة الحجمية للتفاعل.

2-4- تفسير ميكروسكوبي

أ) الارتجاج الحراري:

إن الكيانات الكيميائية المتواجدة في مائع تتحرك بسدعة وبصفة دائمة وعشوائية، مما يجعلها تتصادم بتردد مرتفع. فكلما ارتفعت درجة الحرارة كلما زادت سرعات الكيانات وتردد تصادماتها.

إذا اعتبرنا خليطا متكونا من جزيئات A_2 و B_2 ، تمكن التصادمات بين الجزيئات من تحولها إلى جزيئات AB .

سؤال: هل جميع التصادمات تؤدي إلى تكون الجزيئات AB ؟

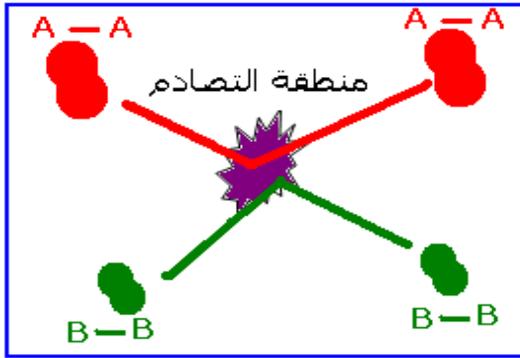
جواب: لكي يكون التصادم فعالا (تتكون الجزيئات AB) يجب كسر الرابطة $A-A$ و الرابطة $B-B$ لتكون رابطين $A-B$.

إذ يستلزم الأمر توفير كمية كافية من الطاقة؛ لكن إذا كانت هذه الكمية من الطاقة غير كافية يكون التصادم غير فعال كما يشير النموذج التالي:

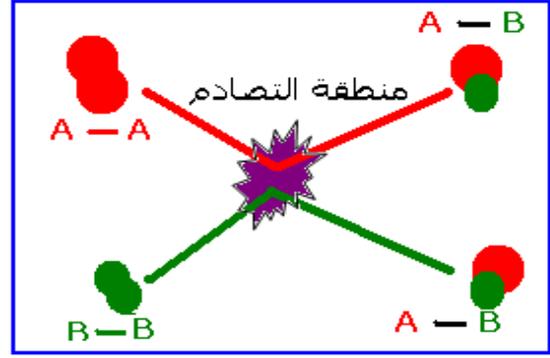
ب) العوامل الحركية

تتعلق سرعة التفاعل باحتمال وقوع التصادم الفعال بين الكيانات الكيميائية المتواجدة في حجم معين خلال مدة زمنية معينة.

فكلما كان الاحتمال كبيرا كلما كانت سرعة التفاعل مرتفعة.



تصادم غير فعال



تصادم فعال

✓ تأثير التركيز البدئي :

يزيد تردد التصادمات ، عندما يزيد عدد الكيانات الكيميائية المتواجدة في حجم معين ، ومنه يزيد احتمال وقوع تصادم فعال

نستنتج أنه كلما كان التركيز البدئي مرتفعا كلما كانت سرعة التفاعل كبيرة .

✓ تأثير درجة الحرارة :

عند ارتفاع درجة الحرارة يرتفع الارتجاج الحراري وهذا يزيد في تردد التصادمات بين الكيانات الكيميائية ويرفع من سرعتها وبالتالي الزيادة في طاقتها الحركية ، الشيء الذي يزيد في احتمال وقوع تصادمات فعالة نستنتج أنه كلما زادت الحرارة كلما كانت سرعة التفاعل كبيرة .