| الدرس رقـــــــم 2<br>الجزء الأول: التحولات لمجموعة كيميائية | التتبع الزمني لتحول كيميائي – سرعة التفاعل<br>Suivi temporel d'une transformation chimique – Vitesse de réaction | السنة الثانية بكالوريا<br>الأستاذ: أســـــامة سطيع |
|---|---|---|

## I. التتبع الزمني لتحول كيميائي

### 1. الطرق المستعملة لتتبع تحول كيميائي

لتتبع تحول كيميائي، نحدد كمية مادة أحد النواتج المتكونة أو أحد المتفاعلات المختفية خلال الزمن، باعتماد طرق فيزيائية او طرق كيميائية:

- **الطرق الفيزيائية:**

قياس الضغط او الحجم: إذا كان أحد المتفاعلات او النواتج غازا.

قياس المواصلة: إذا كان الوسط التفاعلي يحتوي على أيونات سواء في المتفاعلات او النواتج.

قياس pH: إذا كان الوسط التفاعلي يحتوي على أيونات الاوكسونيوم $H_3O^+$.

قياس الطيف الضوئي: إذا كان أحد المتفاعلات او النواتج ملونا.

- **الطرق الكيميائية:**

المعايرة: تعتمد هذه الطريقة على معايرة أحد الأنواع الكيميائية المشاركة في التفاعل كانت متفاعلات او نواتج

يتم ربط المقدار المقاس $(P,\ V\ ,\ m\ ,\ pH\ ,\sigma)$ بتقدم التفاعل $x(t)$ ثم ندرس التطور الزمني لهذا الأخير ونستنتج تركيب المجموعة الكيميائية عند كل لحظة، وذلك باعتماد على الجدول الوصفي

### 2. بعض طرق تحديد كميات المادة

| بدلالة الكتلة m | بدلالة حجم غاز V | بدلالة ضغط غاز P | بدلالة تركيز محلول C |
|---|---|---|---|
| $n = \frac{m}{M}$ | $n = \frac{V}{V_M}$ | $n = \frac{PV}{RT}$ | $n = C.V$ |

### 3. الجدول الوصفي وتقدم التفاعل

لتتبع تطور كميات مادة كل الأنواع الكيميائية نستعمل مفهوما كيميائيا يسمى تقدم التفاعل يرمز اليه بالرمز $x$ وحدته المول $mol$ . ثم نقوم بإنجاز جدول وصفي خاص بالتفاعل يتم فيه تحديد كمية مادة كل نوع كيميائي بدلالة التقدم $x$

| معادلة التفاعل | $\alpha A$ | + | $\beta B$ | → | $\gamma C$ | + | $\lambda D$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| حالة المجموعة | تقدم التفاعل | كميات المادة بالمول (mol) | | | | | |
| الحالة البدئية | 0 | $n_i(A)$ | | $n_i(B)$ | 0 | | 0 |
| خلال التفاعل | $x$ | $n_i(A) - \alpha x$ | | $n_i(B) - \beta x$ | $\gamma x$ | | $\lambda x$ |
| الحالة النهائية | $x_f$ | $n_i(A) - \alpha x_f$ | | $n_i(B) - \beta x_f$ | $\gamma x_f$ | | $\lambda x_f$ |

- إذا كان المتفاعل المحد هو النوع A فإن $n_i(A) - \alpha x_{max} = 0$ وبالتالي قيمة التقدم الأقصى هي: $x_{max} = \frac{n_i(A)}{\alpha}$
- إذا كان المتفاعل المحد هو النوع B فإن $n_i(B) - \beta x_{max} = 0$ وبالتالي قيمة التقدم الأقصى هي: $x_{max} = \frac{n_i(B)}{\beta}$

☜ التقدم الأقصى $x_{max}$ يوافق أصغر قيمة

## II. سرعة الحجمية لتفاعل

### 1. تعريف

نعبر عن السرعة الحجمية $v$ لتفاعل عند لحظة $t$ بالعلاقة التالية:

$$v(t) = \frac{1}{V}.\frac{dx}{dt}$$

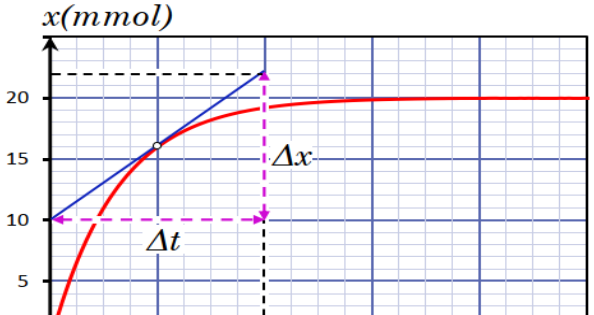
$v$ السرعة الحجمية للتفاعل ب $mol.m^{-3}.s^{-1}$ نستعمل كذلك الوحدة $mol.L^{-1}.min^{-1}$

$V$ حجم الخليط التفاعلي ب $m^3$ او $L$

$\frac{dx}{dt}$ مشتقة تقدم التفاعل بالنسبة للزمن عند لحظة $t$ مع $x$ بالمول (mol) و $t$بالثانية $s$ او $min$

ملاحظة: سرعة التفاعل او السرعة الحجمية مقدار موجب ويعبر عنه بوحدات مختلفة.

### 2. تحديد سرعة تفاعل عند اللحظة $t$




✍ نخط منحنى تقدم التفاعل $x(t)$ بدلالة الزمن $t$

✍ نخط مماس هذا المنحنى عند اللحظة $t_i$

✍ المقدار $\frac{dx}{dt}$ يساوي قيمة المعامل الموجه للماس $\frac{\Delta x}{\Delta t}$

مثال: أحسب بالوحدة $mmol.L^{-1}.min^{-1}$ السرعة الحجمية للتفاعل عند اللحظة $4\ min$ علما ان حجم الخليط التفاعلي هو $V = 200\ mL$

لدينا العلاقة $v_4 = \frac{1}{V}.\frac{dx}{dt}$

نعوض $dx$ ب $\Delta x$ ونعوض $dt$ ب $\Delta t$

$$v_4 = \frac{1}{V}.\frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{1}{0,2}.\frac{(22-10)\times10^{-3}}{(8-0)} = 7,5\ mmol.L^{-1}.min^{-1}$$

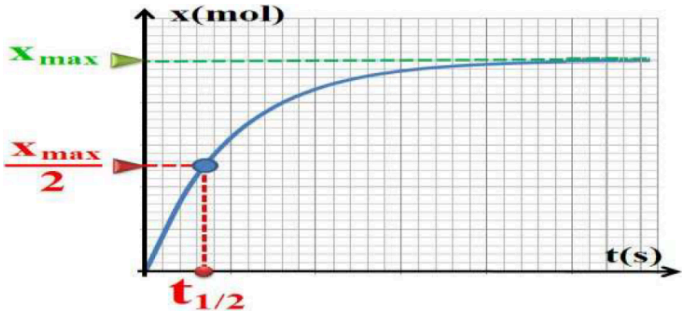
## III. زمن نصف التفاعل $t_{\frac{1}{2}}$

### 1. تعريف

زمن نصف تفاعل $t_{\frac{1}{2}}$ هو المدة الزمنية اللازمة لكي يصل التقدم $x(t)$ نصف قيمته النهائية. أي عند $t_{\frac{1}{2}}$

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

في حالة تفاعل كلي $(x_f = x_{max})$




### 2. تحديد زمن نصف التفاعل $t_{\frac{1}{2}}$

لتحديد زمن نصف التفاعل مبيانيا انطلاقا من المنحنى تغيرات تقدم التفاعل $x(t)$, نتبع الخطوات التالية:

- نحدد قيمة التقدم الأقصى $x_{max}$ بخط مقارب للمنحنى $x(t)$
- نحدد نقطة تقاطع الخط الافقي ذي الارتوب $\frac{x_{max}}{2}$ بالمنحنى $x(t)$
- نحدد زمن نصف التفاعل $t_{\frac{1}{2}}$ وذلك بتحديد افصول نقطة التقاطع

### 3. الفائدة من تحديد زمن نصف التفاعل $t_{\frac{1}{2}}$

تمكن معرفة قيمة زمن نصف التفاعل من اختيار التقنية الملائمة لتتبع تحول كيميائي:

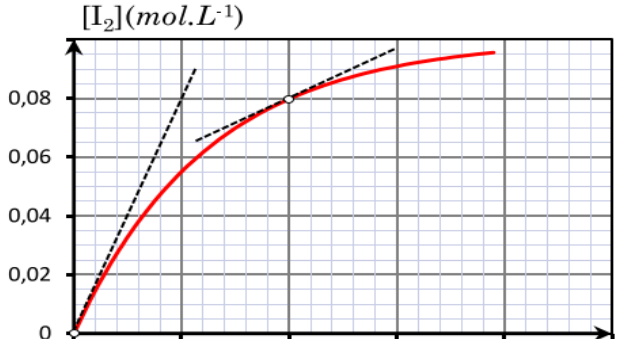
- عندما يكون $t_{\frac{1}{2}} < 1\ s$ الملاحظة العينية غير ممكنة
- عندما يكون $t_{\frac{1}{2}} \geq 1\ min$ يمكن تتبع تحول كيميائي باستعمال تقنية المعايرة
- أثناء التتبع الزمني للتحول، يجب أن تكون المدة الزمنية بين كل قياسين أصغر بكثير من زمن $t_{\frac{1}{2}}$ نصف التفاعل لضمان سلامة الدراسة

## IV. تتبع تطور تحول كيميائي باعتماد تقنية المعايرة

### 1. نشاط 1

عند اللحظة $t = 0$ نحضر لترا من محلول مائي $S$ وذلك بمزج حجم $V_1 = 0,50\ L$ من محلول يودور البوتاسيوم تركيزه $\left(K^+_{(aq)} + I^-_{(aq)}\right)$ المولي $C_1 = 0,40\ mol.L^{-1}$ مع حجم $V_2 = 0,50\ L$ من محلول بيروكسوثنائي كبريتات $S_2O_8^{2-}$ ذي تركيز مولي $C_2 = 0,30\ mol.L^{-1}$. المزدوجتان المتدخلتان في التفاعل هما $\frac{I_2}{I^-}$ و $\frac{S_2O_8^{2-}}{SO_4^{2-}}$

1. اكتب نصف معادلة أكسدة - اختزال المقرونة بالمزدوجتين $\frac{I_2}{I^-}$ و $\frac{S_2O_8^{2-}}{SO_4^{2-}}$ ثم استنتج المعادلة الحصيلة للتفاعل
2. احسب كمية المادة البدئية لكل من المتفاعلين $I^-_{(aq)}$ و $S_2O_{8\,(aq)}^{2-}$ ثم استنتج التركيزين المولليين البدئيين لهذين المتفاعلين
3. أنشئ الجدول الوصفي لتقدم التفاعل ثم حدد المتفاعل المحد والتقدم الأقصى $x_{max}$
4. باعتمادك على الجدول الوصفي بين ان $x(t) = [I_2](t).V_T$ بحيث $\left(V_T = V_1 + V_2\right)$
5. استنتج قيمة التركيز الأقصى $[I_2]_{max}$ لثنائي اليود المتكون عند نهاية التفاعل
6. لتتبع تطور هذا التفاعل عن درجة الحرارة $50°C$ نأخذ بصفة منتظمة على رأس كل دقيقة عينات من المحلول ثم نضيف لها الماء المثلج وبعد ذلك نحدد التركيز المولي لثنائي اليود المتكون خلال الزمن عن طريق معايرته بواسطة ايونات ثيوكبريتات $S_2O_3^{2-}$ ادت القياسات



التجريبية إلى خط منحنى تغير تركيز ثنائي اليود الناتج بدلالة الزمن $[I_2] = f(t)$ (الشكل جانبه)

1.6 ما الفائدة من استعمال الماء المثلج

2.6 حدد معللا جوابك زمن نصف التفاعل $t_{\frac{1}{2}}$

3.6 احسب السرعة الحجمية لتكون ثنائي اليود عند اللحظتين $t_0 = 0$ و $t_1 = 20\ min$ فسر النتائج المحصل عليها

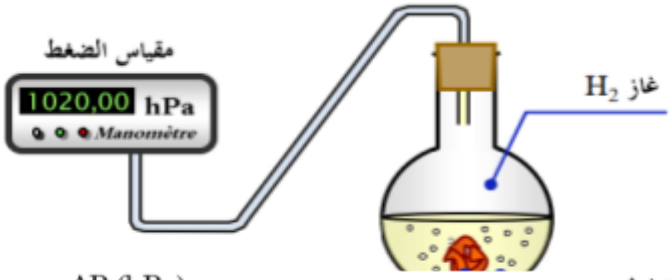
## V. تتبع تطور تحول كيميائي باعتماد تقنية قياس الضغط

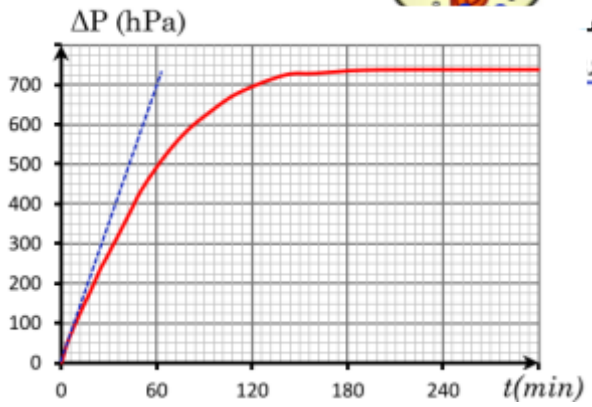
### 1. نشاط 2

عند لحظة $t = 0$ نلقي شريطا رقيقا من الزنك $Zn_{(s)}$ كتلته $m = 0,50\ g$ في حوجلة من فئة $1L$ بها حجم $V_a = 75\ mL$ من محلول حمض الكلوريدريك $\left(H_3O^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}\right)$ تركيزه المولي $C = 0,40\ mol.L^{-1}$ (الشكل 1)

معطيات

- الكتلة المولية للزنك: $M(Mg) = 65,4\ g.mol^{-1}$
- المزدوجتان المتدخلتان هما: $\frac{Zn^{2+}}{Zn}$ و $\frac{H_3O^+}{H_2}$
- معادلة الحالة للغازات الكاملة: $PV = nRT$
- نهمل حجم المحلول $V_a$ امام حجم الحوجلة $V$




1. اكتب المعادلة الحصيلة التفاعل
2. اذكر مع التعليل تقنيات أخرى لتتبع تطور هذا التفاعل
3. احسب كمية المادة البدئية المتفاعلين $n_0(Zn)$ و $n_0(H_3O^+)$
4. أنشئ الجدول الوصفي ثم حدد التقدم الأقصى $x_{max}$
5. يمثل المنحنى الممثل في الشكل 2 تغير الضغط داخل الحوجلة بدلالة الزمن $\Delta P = P_t - P_0$ حيث $P_t$ يمثل الضغط الكلي عند لحظة $t$ و $P_0$ الضغط عن اللحظة $t_0 = 0$، $P_0 = 1020\ hPa$

1.5 بتطبيق معادلة الحالة للغازات الكاملة اثبت التعبير التالي:

$$x = \frac{x_{max}}{\Delta P_{max}}.\Delta P \quad \text{مع} \quad \Delta P_{max} = P_{max} - P_0$$

2.5 حدد معللا جوابك، زمن نصف التفاعل $t_{\frac{1}{2}}$

3.5 احسب السرعة الحجمية للتفاعل عند اللحظة $t_0 = 0$

## VI. تتبع تطور تحول كيميائي باعتماد تقنية قياس المواصلة

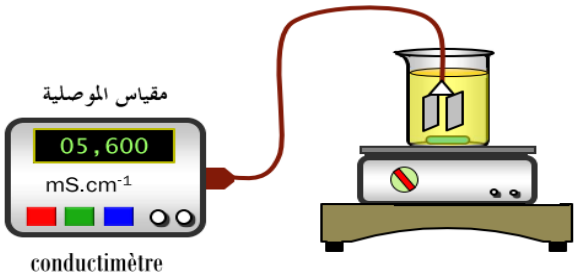
### 1. نشاط 3

عند درجة الحرارة 40°C نصب في كأس حجما $V_e = 30\ mL$ من الماء المقطر وحجما $V_{as} = 19\ mL$ من الاسيتون (الاسيتون يجعل الخليط متجانسا) ثم نغمر مجس مقياس الموصلية، نضيف الى الخليط حجما $V_{RCl} = 1\ mL$ من 2-كلورو- 2- مثيل بروبان $\left(CH_3\right)_3C - Cl$ والذي سنرمز له $R - Cl$ فيحدث تحول كيميائي ننمذجه بالمعادلة الكيميائية التالية:

$$RCl + H_2O \rightarrow H^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)} + ROH$$

معطيات:

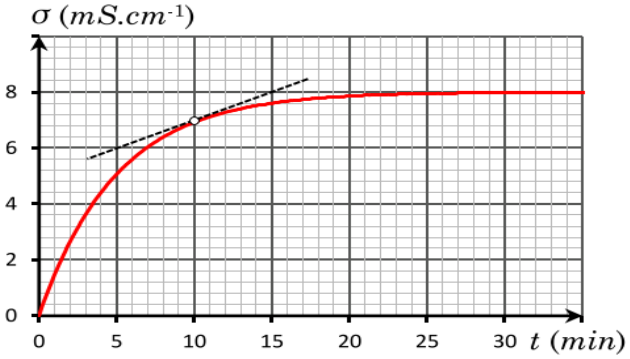
- الكتلة المولية ل $RCl$: $M(RCl) = 92,6\ g.mol^{-1}$
- كثافة $RCl$ هي: $d = 0,85$
- الكتلة الحجمية للماء: $\rho_{eau} = 10^3\ g.L^{-1}$
- حجم الخليط التفاعلي هو $V = 50\ mL$
- نعبر عن موصلية محلول بالعلاقة التالية $\sigma = \sum \lambda_i . [X_i]$




1. تحقق أن كمية المادة البدئية ل $RCl$ هي $n_0 = 9,18.10^{-3}\ mol$
2. أنشئ الجدول الوصفي التفاعل، ثم استنتج التقدم الأقصى $x_{max}$

3. ما هي الأنواع الكيميائية المسؤولة عن تغير موصلية الخليط

4. لتكن $\sigma(t)$موصلية الخليط عند لحظة $t$ و $\sigma_f$ موصلية الخليط عند الحالة النهائية




1.4 اوجد تعبير الموصلية $\sigma(t)$بدلالة التقدم التفاعل $x$ وحجم المحلول $V$ والموصليات المولية الايونية $\lambda_{H^+}$ و $\lambda_{Cl^-}$

2.4 استنتج التعبير التالي: $x(t) = \frac{x_{max}}{\sigma_f}.\sigma(t)$

3.4 فسر تزايد موصلية الخليط خلال الزمن

4.4 حدد معللا جوابك زمن نصف التفاعل $t_{\frac{1}{2}}$

5.4 احسب السرعة الحجمية للتفاعل عند اللحظة $t = 10\ min$