

## التتبع الزمني لتحول كيميائي

## مسلك العلوم الرياضية و الفيزيائية

ما يجب أن تعرفه

✓ الحركة الكيميائية هي دراسة التطور الزمني لتحويلات كيميائية و تتم هذه الدراسة بتتبع تكون احد النواتج أو تتبع اختفاء أحد المتفاعلات بدلالة الزمن

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

✓ نعرف السرعة الحجمية  $V$  عند اللحظة  $t$  لتفاعل يحدث في حجم ثابت

$$V = \frac{1}{V_S} \left( \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \right)$$

✓ تحسب السرعة المتوسطة الحجمية من خلال منحنى تطور كمية المادة بدلالة الزمن

✓ زمن نصف التفاعل  $t_{1/2}$  هو المدة الزمنية اللازمة لكي يصل التقدم  $x$  إلى نصف قيمته النهائية  $x_f$   $x(t_{1/2}) = \frac{x_f}{2}$

**تمرين 1** (تؤكسد ايونات البرمنغنات  $MnO_4^-$  ببطء في وسط حمض، أيونات الأوكسالات  $C_2O_4^{2-}$ )

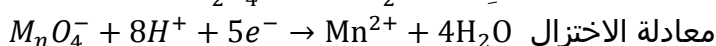
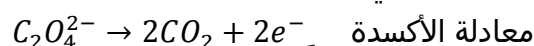
نمزج بسرعة  $V_1 = 20cm^3$  من محلول مائي البرمنغنات البوتاسيوم تركيزه  $C_1 = 0,2mol/l$  و  $V_2 = 20cm^3$  من محلول مائي لأوكسالات الصوديوم  $(2Na^+ + C_2O_4^{2-})$  تركيزه  $C_2 = 0,5mol/l$  مع اضافة قطرات من حمض الكبريتيك. نعين التركيز المولي لايونات البرمنغنات المتبقية في المحلول خلال الزمن

|       | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| mol/l | 0,096 | 0,093 | 0,060 | 0,030 | 0,012 | 0,005 | 0,003 | 0,002 |

1. أكتب المعادلة الحصيلة للتفاعل علما أن المزدوجتين المتفاعلتين هما  $MnO_4^- / Mn^{2+}$  و  $CO_2 / C_2O_4^{2-}$
2. أحسب كمية مادة البدئية لايونات البرمنغنات في الخليط . هل تبقى أيونات الأوكسالات عند نهاية التفاعل ؟
3. خط المنحنى  $[MnO_4^-] = f(t)$  ؟ باعتماد السلم  $1min \rightarrow 1cm$  و  $10^{-2}mol/l \rightarrow 1cm$
4. أحسب السرعة المتوسطة لاختفاء أيونات  $MnO_4^-$  بين اللحظتين  $t_1 = 3min$  و  $t_2 = 6min$
5. عين ميانيا سرعة اختفاء  $MnO_4^-$  عند اللحظة  $t = 4min$  ؟

## الجواب

معادلة الحصيلة



المعادلة الحصيلة نضرب طرفي المعادلة الأولى في العدد 5 و طرفي المعادلة الثانية في العدد 2

2. كمية مادة البدئية لايونات البرمنغنات في الخليط  $n_0(MnO_4^-) = C_1 \cdot V_1 = 2 \cdot 10^{-3}mol$

الجدول الوصفي

| كميات المادة بالمول | تقدم التفاعل |            |
|---------------------|--------------|------------|
|                     |              | ح البدئية  |
|                     |              | ح الوسيطة  |
|                     |              | ح النهائية |

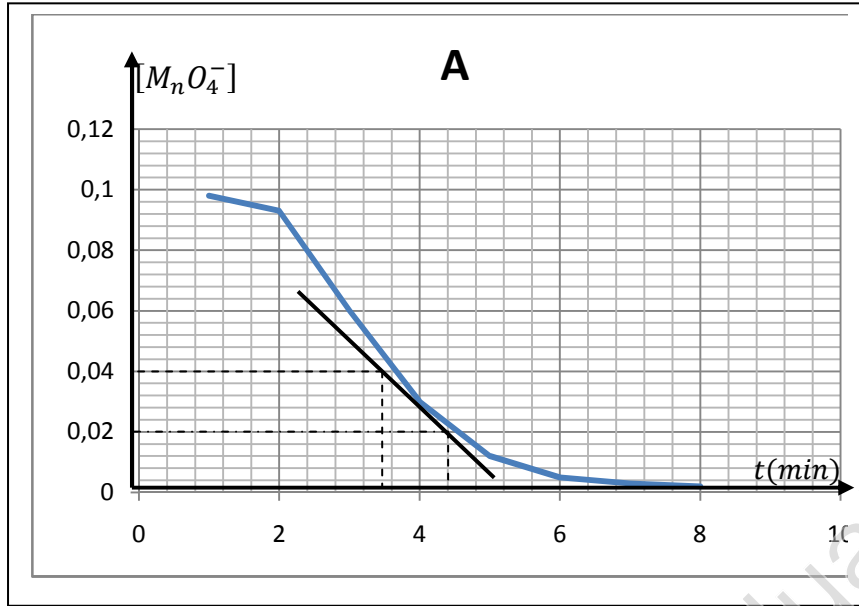
نفترض أن المتفاعل المحد هو  $MnO_4^-$  اذن  $n_0(MnO_4^-) - 2x_f = 0$  اذن :

نفترض أن المتفاعل المحد هو  $C_2O_4^{2-}$  اذن :  $n_0(C_2O_4^{2-}) - 5x_f$  اذن

ذ: بنساعد صلاح الدين

خلال هذا التحول سيتم الاختفاء الكلي لـ  $M_nO_4^-$  و  $C_2O_4^{2-}$

تمثيل  $[M_nO_4^-] = f(t)$



4. السرعة المتوسطة لاختفاء أيونات  $M_nO_4^-$  بين اللحظتين  $t_1 = 3min$  و  $t_2 = 6min$  لدينا

$$V = -\frac{1}{2} \frac{d[M_nO_4^-]}{dt} = -\frac{1}{2} \frac{\Delta[M_nO_4^-]}{\Delta t} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{[M_nO_4^-]_2 - [M_nO_4^-]_1}{t_2 - t_1}$$

$$V = -\frac{1}{2} \cdot \frac{0,005 - 0,06}{6 - 3} \text{ /د.ن: } 9,1.10^{-3} \text{ mol. L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

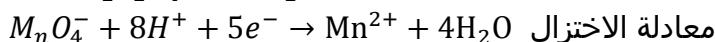
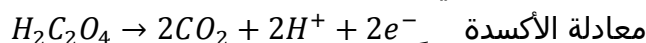
6. سرعة اختفاء  $M_nO_4^-$  عند اللحظة  $t = 4min$  نرسم المماس للمنحنى عند اللحظة  $t = 4min$  (أنظر الشكل أعلاه)

## تمرين 2

( تأكسد حمض الأوكساليك في وسط محمض بأيونات البرمنغنات  $M_nO_4^-$  )

1. علما أن حمض الأوكساليك هو مختزل المزدوجة  $CO_2/H_2C_2O_4$  أكتب نصفي معادلة الأكسدة و الاختزال واستنتج المعادلة الحصيلة لتأكسد هذا الحمض ؟
2. عرف سرعة اختفاء أيونات  $M_nO_4^-$  عند اللحظة  $t$  ؟
3. ماهي العلاقة الموجودة بين سرعة اختفاء أيون البرمنغنات و سرعة اختفاء حمض الأوكساليك عند كل لحظة ؟

### 1. معادلة الحصلة



المعادلة الحصلة نضرب طرفي المعادلة الأول في العدد 5 و طرفي المعادلة الثانية في العدد 2

## 2. تعريف سرعة الاختفاء

سرعة الاختفاء هي تغير كمية مادة المتفاعلات بدلالة الزمن و نعبر عن ذلك رياضيا بالعلاقة التالية:

في حالة المتغير هو تقدم التفاعل  $x$

حيث  $x$  يمثل تقدم التفاعل  $V = \frac{1}{V_s} \left( \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \right)$  أو  $V = \frac{1}{V_s} \frac{dx}{dt}$

في حالة المتغير هو التركيز  $[X]$

حيث  $a$  يمثل معامل تناسب النوع الكيميائي  $X$  في معادلة التفاعل

$$V = -\frac{1}{a} \frac{d[X]}{dt} = \frac{1}{2} \frac{\Delta[X]}{\Delta t} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{[X]_2 - [X]_1}{t_2 - t_1}$$

3. العلاقة الموجودة بين سرعة اختفاء أيون البرمنغنات و سرعة اختفاء حمض الأوكساليك عند كل لحظة

### الجدول لوصفي

|           |  |  |        |  |  |         |            |
|-----------|--|--|--------|--|--|---------|------------|
|           |  |  |        |  |  |         |            |
| كميات الم |  |  |        |  |  | تقدم    |            |
| أداة بالم |  |  |        |  |  | التفاعل |            |
|           |  |  |        |  |  |         | ح البدنية  |
|           |  |  |        |  |  |         | ح الوسطية  |
|           |  |  | $2x_F$ |  |  |         | ح النهائية |

لدينا من خلال الجدول لوصفي

أي  $\frac{n_0(H_2C_2O_4)}{5V} = \frac{n_0(MnO_4^-)}{2V}$  حيث  $V$  هو حجم الخليط ومنه  $\frac{[H_2C_2O_4]}{5} = \frac{[MnO_4^-]}{2}$  إذن  $[MnO_4^-] = \frac{2}{5} [H_2C_2O_4]$

سرعة اختفاء أيون البرمنغنات  $V(MnO_4^-) = -\frac{1}{2} \frac{d[MnO_4^-]}{dt} = \frac{1}{5} \frac{d[H_2C_2O_4]}{dt} = V(H_2C_2O_4)$

**تمرين 3** (في شرط معينة لدرجة الحرارة و الضغط يمكن تحليل غاز الايثانال إلى غاز الميثان و غاز أحادي

أوكسيد الكربون يمكن نمذجة هذا التحلل وفق المعادلة التالية

ندخل عند اللحظة  $t = 0$  نعتبرها أصلاً لتواريخ، في إناء حجمه  $V = 1L$  ثابت ودرجة حرارته ثابتة  $1mol$  من الاثنان .

نقيس ضغط الخليط الغازي، عند كل لحظة بواسطة مضغوط فرقي مرتبط بالإناء . ندون النتائج المحصل عليها في

الجدول التالي.

|  |     |     |     |     |     |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|
|  | 0   | 5   | 10  | 25  | 50  |
|  | 225 | 262 | 290 | 337 | 375 |

1. نسمى  $x$  كمية مادة الايثانال التي تختفى عند اللحظة  $t$ . حدد تعبير كمية مادة الميثان  $n(CH_4)$  و كمية

مادة أحادي أوكسيد الكربون  $n(CO)$  الذين يظهران في نفس اللحظة؟.

**ذ: بنساعد صلاح الدين**

مسلك العلوم الرياضية و الفيزيائية      التتبع الزمني لتحول كيميائي

2. ما كمية المادة الكلية  $n$  للغازات الموجودة في الإناء؟
3. نقبل أن الخليط يحقق قانون الغازات الكاملة ونذكر أنه في هذه الشروط ( $V = cte$  و  $T = cte$ ) يكون الضغط متناسبا مع كمية المادة الغازية أعط تعبير  $x$  بدلالة  $p$  و  $p_0$  ضغط الخليط الغازي عند اللحظة  $t = 0$  ؟
4. أحسب التركيز المولي  $[CO]$  لأحادي أوكسيد الكربون عند مختلف اللحظات المدونة في الجدول السابق .
5. مثل  $[CO] = f(t)$  ؟ باعتماد السلم  $5min \rightarrow 1cm$  و  $0,1mol/l \rightarrow 1cm$
6. أحسب سرعة تكون أحادي أوكسيد الكربون عند اللحظة  $t = 10min$  ؟

الجواب

| كميات المادة بالمول | تقدم التفاعل |            |  |
|---------------------|--------------|------------|--|
|                     | 0            | ح البدئية  |  |
|                     |              | ح الوسطية  |  |
|                     |              | ح النهائية |  |

1. تعبير كمية مادة الميثان  $n(CH_4)$  التي تظهر في اللحظة  $t$   $n(CH_4) = x$
- تعبير كمية مادة الميثان  $n(CO)$  التي تظهر في اللحظة  $t$   $n(CO) = x$
2. كمية المادة الكلية الموجودة في الخليط عند اللحظة  $t$   $n_T = n_0(CH_3CHO) - 1x + n(CH_4) + n(CO)$  ادن:

3. من خلال الجدول الوصفي لدينا  $n(CO) = x$  و بما أن الخليط يحقق قانون الغازات الكاملة فان:  
 $PV(CO) = n(CO).R.T$  و بالتالي:  $P(CO)V(CO) = x.R.T$  أي

$$x = \frac{P(CO)V(CO)}{RT}$$

$$p = P(CO) + p_0 \text{ ضغط الخليط عند اللحظة } t \text{ ومنه: } p(CO) = p - p_0$$

$$V(CO) \text{ حجم الغاز عند اللحظة } t$$

$$p_0 \text{ حجم خليط عند اللحظة } t = 0$$

$$P(CO) \text{ ضغط الغاز عند اللحظة } t$$

$$x = \frac{(p-p_0)V(CO)}{RT} \text{ أخير نجد المعادلة A}$$

$$\text{معادلة الغازات الكاملة عند اللحظة } t = 0 \text{ هي: } p_0.V = n_0RT \text{ مع: } n_0 = 1mol$$

$$\text{ادن: } p_0.V_0 = RT_0 \text{ ومنه نجد: } p_0 = \frac{RT}{V_0}$$

$$\text{بما أن: } (V = cte \text{ و } T = cte); \text{ و نعلم } R = cte \text{ فان: } \frac{RT}{V_0} = \frac{RT}{V} = \frac{RT}{V(CO)} = p_0 \text{ نعوض في المعادلة A فنجد:}$$

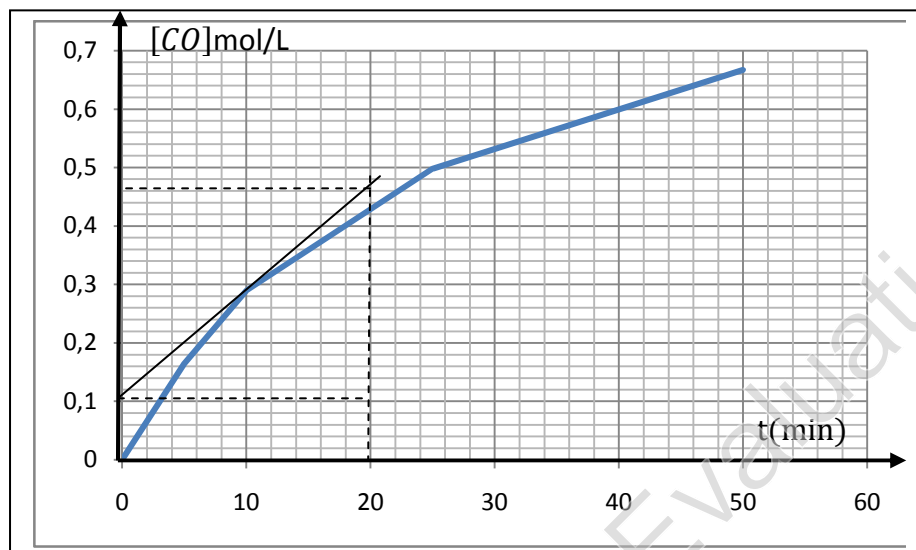
4. تحديد تعبير  $[CO]$  التركيز المولي لأحادي الكربون

$$\text{من خلال الجدول الوصفي لدينا } n(CO) = x \text{ كمية مادة CO عند اللحظة } t$$

$$\frac{n(CO)}{V} = \frac{x}{V} \text{ ادن: } [CO] = \frac{x}{V} \text{ وبالتالي } [CO] = \frac{1}{V} \cdot \left( \frac{p-p_0}{p_0} \right)$$

|  |     |       |       |       |       |
|--|-----|-------|-------|-------|-------|
|  | 0   | 0,163 | 0,289 | 0,498 | 0,667 |
|  | 0   | 5     | 10    | 25    | 50    |
|  | 225 | 262   | 290   | 337   | 375   |

5. تمثيل تغيرات التركيز بدلالة الزمن  $[CO] = f(t)$



6. سرعة تكون أحادي أوكسيد الكربون عند اللحظة  $t = 10 \text{ min}$   
 تعبير سرعة تكون أحادي أوكسيد الكربون  $V([CO]) = \frac{d[CO]}{dt} = \frac{\Delta[CO]}{\Delta t}$   
 نرسم المماس للمنحنى عند اللحظة  $t = 10 \text{ min}$  (أنظر الشكل)

$$V([CO]) = 1,53 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

ت ع

**تمرين 4** (يعتبر تنائي اليود عنصرا أساسيا يحتاجه الجسم بكميات صغيرة جدا ويتركز وجوده في الغدة الدرقية لإنتاج هرمون الثيروكسين لتنظيم درجة الحرارة ولتطور الجسم و الدماغ قلته في الجسم تؤدي إلى تضخم الغدة الدرقية و يؤدي إلى ولادة أطفال معاقين ذهنيا . يهدف هذا التمرين إلى تحضير تنائي اليود  $I_2$ )

يؤدي تفاعل أيون اليودور  $I^-$  مع أيونات البيروكسوثنائي كبريتات  $S_2O_8^{2-}$  إلى تكون تنائي اليود  $I_2$

عند اللحظة نحضر  $V = 1 \text{ L}$  محلول مائي  $S$  و ذلك بمزج  $V_1 = 0,5 \text{ L}$  من محلول يودور البوتاسيوم  $(K^+ + I^-)$  ذي التركيز  $C_1 = 0,4 \text{ mol/L}$  مع  $V_2 = 0,5 \text{ L}$  من محلول بيروكسوثنائي كبريتات البوتاسيوم  $(K^+ + S_2O_8^{2-})$  تركيزه  $C_2 = 0,2 \text{ mol/L}$ . نأخذ تدريجيا من المحلول  $S$  الذي تبقى درجة حرارته ثابتة عينات، بصفة منتظمة يمكننا من تتبع تطور التفاعل و ذلك بتعيين عن طريق المعايرة، التركيز المولي لتنائي اليود  $I_2$  المتكون بدلالة الزمن و ندون النتائج في الجدول التالي:

|               |   |     |   |    |    |    |    |
|---------------|---|-----|---|----|----|----|----|
|               | 0 | 2,5 | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 |
| $[I_2]$ mol/L | 0 |     |   |    |    |    |    |

1. أكتب المعادلة الحصيلة لهذا التفاعل علما أن المزدوجتين المتفاعلتين هما  $I_2/I^-$  و  $S_2O_8^{2-}/SO_4^{2-}$  ؟

2. مثل  $[I_2] = f(t)$  ؟

3. أحسب التركيز المولي البدئي لكل من أيون اليودور  $I^-$  و أيونات البيروكسوثائي كبريتات  $S_2O_8^{2-}$  في المحلول S ؟

4. خلال هذه التجربة نقوم بتخفيف العينة المأخوذة مباشرة بالماء المثلج قبل المعايرة . ما مزايا هذه العملية ؟

5. ما سرعة تكون ثنائي اليود عند اللحظة  $t = 10min$  و استنتج سرعة اختفاء أيونات اليود و عند نفس اللحظة ؟

### الجواب

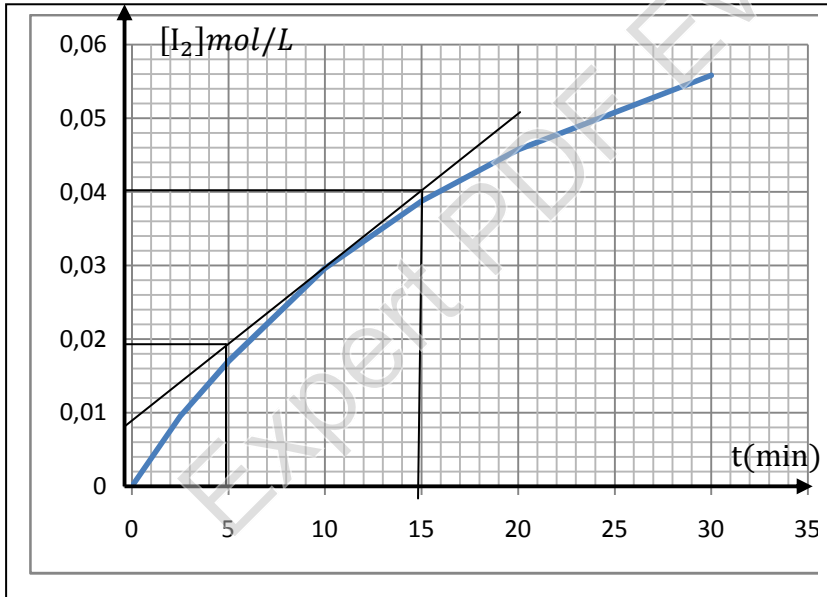
1. معادلة الحصيلة

معادلة الأكسدة

معادلة الاختزال

المعادلة الحصيلة بجمع طرفي المعادلتين :  $S_2O_8^{2-} + 2I^- \rightarrow I_2 + 2SO_4^{2-}$

2. تمثيل  $[I_2] = f(t)$



3. التركيز البدئي ل  $I^-$  و  $S_2O_8^{2-}$

ت ع

ت ع

4. نقوم بتخفيف العينة المأخوذة مباشرة بالماء المثلج قبل المعايرة من أجل توقيف التفاعل لأن ارتفاع درجة يعتبر من بين العوامل المؤثرة على تغير سرعة التفاعل (ارتفاع درجة حرارة الوسط تؤدي إلى الزيادة في سرعة التفاعل )

5. سرعة تكون ثنائي اليود عند اللحظة  $t = 10min$

بنفس الطريقة السابقة (أنظر)

$$V([I_2]) = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

ت ع

$$V([I_2]) = \frac{d[I_2]}{dt} = \frac{1}{2} \frac{d[I^-]}{dt} = V([I^-]) : \text{ادن } [I^-] = 2[I_2] \text{ هي: } [I^-] \text{ و } [I_2] \text{ بيت تركيز}$$

**تمرين 5** ( يتكون تنائي اوكسيد الكربون  $CO_2$  في المغارات بتأثير المياه الحمضية على كربونات الكالسيوم  $CaCO_3$  الموجودة في الأحجار الكلسية)

لدراسة هذا التفاعل نصب في حوجة حجمها  $V_S = 100mL$  من محلول حمض الكلوريدريك ( $H_3O^+ + Cl^-$ ) تركيزه  $C = 0,1mol/L$  و نضيف اليه كتلة  $m = 2g$  من كربونات الكالسيوم علما أن شروط التفاعل هي  $\theta = 25^\circ$  و  $P_{atm} = 10^5 Pa$

1. أكتب المعادلة الحصيلة للتفاعل؟
  2. أنشي الجدول الوصفي لهذا التفاعل و حدد المتفاعل المحد ؟
  3. عبر عن التقدم  $x(t)$  عند اللحظة  $t$  بدلالة  $V(CO_2)$  المتكون و  $T$  و  $P_{atm}$  و  $R$  ثابتة الغازات الكاملة ؟
  4. أحسب الحجم الأقصى الممكن تحصيله في هذه الحالة ؟
  5. عبر عن السرعة الحجمية للتفاعل بدلالة  $V(CO_2)$  ,  $T$  ,  $P_{atm}$  ,  $R$  و  $V_S$  ؟
  6. كيف تتطور السرعة الحجمية للتفاعل مع الزمن ؟
- نعطي  $M(CaCO_3) = 100g/mol$  و  $V_m = 24L/mol$  و  $R = 8,31j.mol^{-1}.K^{-1}$  و  $T = \theta + 272,5$

### الجواب

1. المعادلة الحصيلة للتفاعل  
 $CaCO_3 + 2H_3O^+ \rightarrow Ca^{2+} + CO_2 + 3H_2O$

2. الجدول الوصفي

| $CaCO_3 + 2H_3O^+ \rightarrow Ca^{2+} + CO_2 + 3H_2O$ |  |  |  |       |              |
|-------------------------------------------------------|--|--|--|-------|--------------|
| كميات المتفاعلات بالمول                               |  |  |  |       | تقدم التفاعل |
|                                                       |  |  |  | بوفرة | ح البدئية    |
|                                                       |  |  |  | بوفرة | ح الوسطية    |
|                                                       |  |  |  | بوفرة | ح النهائية   |

نفترض أن المتفاعل المحد هو  $H_3O^+$  ادن:

نفترض أن المتفاعل المحد هو  $CaCO_3$  ادن

$$n_0(CaCO_3) - x_f = 0 \Rightarrow x_f = n_0(CaCO_3) \Rightarrow x_f = \frac{m}{M(CaCO_3)} = \frac{2}{100} \Rightarrow x_f = 2.10^{-2}mol$$

المتفاعل المحد يوافق أصغر تقدم نهائي ، ادن المتفاعل المحد هو  $H_3O^+$   
 3. التقدم  $x(t)$  عند اللحظة  $t$  بدلالة  $V(CO_2)$  المتكون و  $T$  و  $P_{atm}$  و  $R$  ثابتة الغازات الكاملة  
 لدينا  $n(CO_2) = x$

$$PV(CO_2) = n(CO_2)RT \Rightarrow PV(CO_2) = xRT \text{ معادلة الغازات الكاملة}$$

ذ: بنساعد صلاح الدين

$$x = \frac{PV(CO_2)}{RT} \quad \text{ادن:}$$

4. الحجم الأقصى الممكن تحصيله في هذه الحالة يوافق التقدم الأقصى  $x_m = x_f = 0,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$

$$V(CO_2) = \frac{xRT}{P} \Rightarrow V(CO_2) = \frac{0,5 \cdot 10^{-2} \cdot 8,31}{10^5}$$

$$V(CO_2) = 12,37 \cdot 10^{-2} L \quad \text{ت ع}$$

5. السرعة الحجمية للتفاعل بدلالة  $V_S$  و  $R$  ,  $P_{atm}$  ,  $T$  ,  $V(CO_2)$

سرعة تكون تنائي أوكسيد الكربون :

$$V = \frac{1}{V_S} \frac{d \frac{PV(CO_2)}{RT}}{dt} \quad \text{ادن} \quad x = \frac{PV(CO_2)}{RT} \quad \text{و نعلم} \quad V = \frac{1}{V_S} \frac{dx}{dt} \quad \text{لدينا}$$

$$V = \frac{1}{V_S} \cdot \frac{P_{atm}}{RT} \frac{dV(CO_2)}{dt} \Rightarrow V = \frac{P_{atm}}{V_S \cdot RT} \frac{dV(CO_2)}{dt} \quad \text{نجد:} \quad \frac{dV(CO_2)}{dt}$$

6. تناقص السرعة الحجمية مع الزمن إلا أن تنعدم عند نهاية التفاعل