سلاسل المنجد - دروس و تمارين

3AS

الشعب العلمية و الرياضية

السلسلة 3-01-2

المتابعة الزمنية لتحول كيميائي

عرض نظري و تمارين محلولة

يمكن تحميل السلسلة بصيغة pdf من موقع المنجد :

www.sites.google.com/site/faresfergani

للمزيد (عرض نظري مفصل – تمارين – فيديوهات .....)
يرجى زيارتنا على صفحة الوحدة في نفس الموقع الإلكتروني .

لكي يصلك جديد موقع المنجد تابع صفحة الفايسبوك التالية :

facebook.com/elmoundjidff

الأستاذ فرقاني فارس
ثانوية مولود قاسم نايت بلقاسم - الخروب - قسنطينة
fares_fergani@yahoo.fr
0771998109

الإصدار : سبتمبر/2022

علوم فيزيائية

العلوم الفيزيائية

المتابعة الزمنية لتحول كيميائي

إعداد الأستاذ فرقاني فارس
ثانوية مولود قاسم نايت بلقاسم - الخروب - قسنطينة
www.sites.google.com/site/faresfergani

****

السلسلة 3 – 01 – 01

مفاهيم أساسية في الكيمياء و تمارين

1- المقادير المولية

• المول و عدد افوقادرو :

- المول هو كمية من المادة قدرها 1 mol تحتوي على العدد $6.02 \cdot 10^{23}$ (عدد أفوقادرو) من الأفراد الكيميائية لهذه المادة .

• الكتلة المولية و الحجم المولي لغاز :

- الكتلة المولية الذرية لعنصر كيميائي X التي يرمز لها بـ M و وحدتها الغرام على المول (g/mol) ، هي كتلة 1 مول (1mol) من ذرات هذا العنصر .
- الكتلة المولية الجزيئية لنوع كيميائي هي كتلة 1 mol من جزيئات هذا النوع الكيميائي
- الحجم المولي لغاز في شروط معينة من درجة الحرارة و الضغط هو حجم 1mol من هذا الغاز في هذه الشروط ، يرمز له بـ V_M و وحدته L/mol .
- في الشرطين النظاميين أين يكون الضغط مساوي للضغط الجوي العادي ($P = 1\ atm$) ، و درجة الحرارة المساوية 0^0C يكون الحجم المولي مساوي $V_M = 22.4\ L/mol$.
- العلاقة بين المقادير المولية نلخصها في العلاقة التالية :

$$n = \frac{m}{M} = \frac{V_{gaz}}{V_M} = \frac{N}{N_A} = \frac{\rho_\ell . V_\ell}{M}$$

حيث : $N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}\ mol^{-1}$.

التمرين (1) : (التمرين : 001 في بنك التمارين على الموقع) (*)

الجزء الأول

النشادر هو غاز صيغته الجزيئية المجملة NH_3 .

1- أحسب كتلته المولية الجزيئية .

2- ما هي كمية المادة الموجودة في 0.68 g من النشادر ؟

3- ما هي كمية المادة الموجودة في 15.68 L من غاز النشادر في الشرطين النظاميين ؟

4- أحسب كتلة 8.96 L من غاز النشادر في الشرطين النظاميين .

5- أحسب كتلة $3.01 \cdot 10^{22}$ جزيء من غاز النشادر .

الجزء الثاني :

حمض الخل هو سائل صيغته الجزيئية المجملة $C_2H_4O_2$.

1- أحسب كتلته المولية .

2- ما هي كمية المادة في 200 mL من حمض الخل ؟

المعطيات : $M(H) = 1\ g/mol$, $M(C) = 12\ g/mol$, $M(O) = 16\ g/mol$, $M(N) = 14\ g/mol$

$\rho(C_2H_4O_2) = 1050\ g/L$

الأجوبة :

الجزء الأول

1- الكتلة المولية لـ NH_3 :

$$M(NH_3) = M(N) + 3M(H)$$
$$M(NH_3) = 14 + (3 \cdot 1) = 17\ g/mol$$

2- كمية المادة في 0,68 g من NH_3 :

$$n(NH_3) = \frac{m(NH_3)}{M} \rightarrow n(NH_3) = \frac{0,68}{17} = 0,04\ mol$$

3- كمية المادة في 15,68 L من NH_3 في الشرطين النظاميين :

$$n(NH_3) = \frac{V(NH_3)}{V_M} \rightarrow n(NH_3) = \frac{15,68}{22,4} = 0,7\ mol$$

4- كتلة 8,96 L من NH_3 في الشرطين النظاميين :

$$\frac{m(NH_3)}{M(NH_3)} = \frac{V(NH_3)}{V_M} \rightarrow m(NH_3) = \frac{V(NH_3).M(NH_3)}{V_M} \rightarrow m(NH_3) = \frac{8,96 \cdot 17}{22,4} = 6,8\ g$$

5- كتلة $3.01 \cdot 10^{22}$ جزيء من NH_3 :

$$\frac{m(NH_3)}{M} = \frac{N}{N_A} \rightarrow m(NH_3) = \frac{M \cdot N}{N_A} \rightarrow m(NH_3) = \frac{17 \cdot 3,01 \cdot 10^{22}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 0,85g$$

الجزء الثاني :

1- الكتلة المولية لحمض الخل :

$$M(C_2H_4O_2) = M(C) + 3M(H) + M(C) + 2M(O) + M(H)$$
$$M(C_2H_4O_2) = 12 + (3 \cdot 1) + 12 + (2 \cdot 16) + 1 = 60\ g/mol$$

2- كمية المادة في 200 mL من حمض الخل :

$$n(C_2H_4O_2) = \frac{\rho \cdot V(C_2H_4O_2)}{M} \rightarrow n(C_2H_4O_2) = \frac{1050 \cdot 0,2}{60} = 3,5\ mol$$

2- قانون الغاز المثالي و عبارة الحجم المولي لغاز

● قانون الغاز المثالي :

- يتميز الغاز المثالي بعدة مقادير :

▪ الضغط P يقدر بالباسكال (Pa) و يقدر أيضا بوحدات أخرى مثل البار bar ($1bar = 10^5$ Pa) ، الضغط الجوي atm ($1atm = 1.013 . 10^5$ Pa) .

▪ الحجم V و يقدر بالمتر مكعب (m^3) و نذكر بأن : $1\ m^3 = 10^3$ L .

▪ كمية المادة n و تقدر بالمول (mol) .

▪ درجة الحرارة المطلقة T تقدر بالدرجة كلفن °K و تتعلق بدرجة الحرارة المئوية θ°C وفق العلاقة $T°K = \theta°C + 273$.

- تتعلق المقادير المميزة للغاز المثالي ببعضها وفق قانون يسمى قانون الغاز المثالي الذي يعبر عنه بالعلاقة :

$$PV = nRT$$

حيث R هو الثابت العام للغازات المثالية و المقدر بـ 8.31 وحدة دولية .

● تطبيق قانون الغاز المثالي في تحديد الحجم المولي لغاز في شروط كيفية من الضغط و درجة الحرارة :

- بتطبيق قانون الغاز المثالي $PV = nRT$ و تعريف الحجم المولي ($n = 1\ mol \rightarrow V = V_M\ L$) يمكن استنتاج عبارة الحجم المولي V_M في شروط كيفية من الضغط P و درجة الحرارة ($T = \theta + 273$) كما يلي :

$$V_M = \frac{R\,T}{P}$$

التمرين (2) : (التمرين : 002 في بنك التمارين على الموقع) (*)

1- عرف الحجم المولي V_M لغاز .

2- بتطبيق قانون الغاز المثالي أثبت أن الحجم المولي في شرطين كيفيين من الضغط P و درجة الحرارة θ يعبر عنه بالعلاقة :

$$V_M = \frac{R(\theta + 273)}{P}$$

حيث : R هو ثابت الغازات المثالية ، θ هي درجة الحرارة المئوية .

3- عينة من غاز تشغل الحجم $V = 6,15$ L في شروط يكون فيها الضغط مساوي $P = 2$ atm و درجة الحرارة $\theta = 27°C$.

أ- أحسب الحجم المولي في هذه الشروط .

ب- أوجد بطريقتين مختلفتين كمية مادة هذه العينة .

4- كتلة هذه العينة هي $m = 8$ g . أوجد الكتلة المولية لهذا الغاز و عين صيغته الجزيئية المجملة من بين الصيغ الجزيئية التالية : O_2 ، CH_4 ، CO_2 .

يعطى : $M(O) = 16$ g/mol ، $M(H) = 1$ g/mol ، $M(C) = 12$ g/mol ، $1\ atm = 1,013 . 10^5$ Pa

$R = 8,31$ (SI) .

الأجوبة :

1- تعريف الحجم المولي لغاز :

الحجم المولي V_M لغاز هو حجم مول من هذا الغاز في شرطين معينين من درجة الحرارة و الضغط .

2- إثبات أن الحجم المولي V_M يعبر عنه بالعلاقة : $V_M = \frac{R(\theta + 273)}{P}$:

- بتطبيق قانون الغاز المثالي لدينا :

$$PV = n.R.T$$

و حسب التعريف السابق للحجم المولي V_M يمكن كتابة :

$$P\,V_M = R\,T \rightarrow V_M = \frac{R\,T}{P} \quad \rightarrow V_M = \frac{R(\theta + 273)}{P}$$

3- أ- الحجم المولي للغاز :

مما سبق :

$$V_M = \frac{R(\theta + 273)}{P}$$

في الشروط التي يكون فيها : $\theta = 27°C$ ، $P = 2\ atm$ نجد :

$$V_M = \frac{8{,}31.(27 + 273)}{2 \times 1{,}013.10^5} = 1{,}23.10^{-2}\ m^3/mol = 12{,}3\ L/mol$$

ب- كمية مادة العينة :

الطريقة الأولى :

$$n = \frac{V_{gaz}}{V_M} \rightarrow n = \frac{6.15}{12{,}3} = 0{,}50\ mol$$

الطريقة الثانية :

بتطبيق قانون الغاز المثالي :

$$PV = nRT \rightarrow n = \frac{PV}{RT} \quad \rightarrow n = \frac{2\ .1{,}013.10^5\ .6{,}15.10^{-3}}{8{,}31(27 + 273)} = 0{,}50\ mol$$

4- الصيغة الجزيئية المجملة للغاز :

$$n = \frac{m}{M} \rightarrow M = \frac{m}{n} \rightarrow M = \frac{8}{0{,}5} = 16 g/mol$$

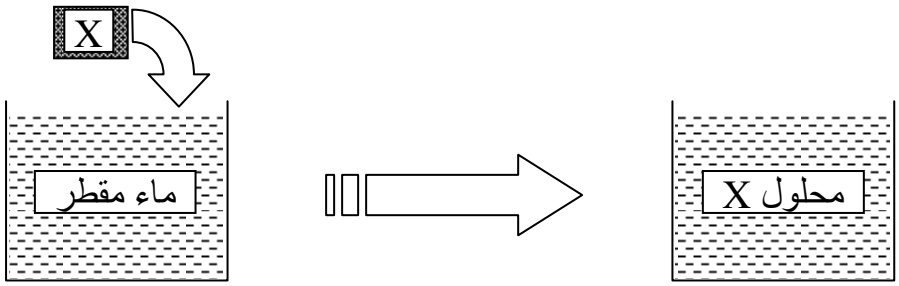
الصيغة الجزيئية المجملة للغاز هي : CH_4 لأن :

$$M(CH_4) = M(C) + 4M(H) = 12 + (4\ .\ 1\ ) = 16\ g/mol$$

3- المحاليل المائية و تراكيزها

• المحلول المائي :

- نحصل على محلول كيميائي لنوع كيميائي X بحل (إذابة) كمية من هذا النوع الكيميائي (المذاب) في حجم معين من الماء المقطر (مذيب).



- حجم المحلول الناتج مساوي لحجم المذيب (يهمل الزيادة في الحجم بفعل الانحلال) .

• التركيز المولي لمحلول مائي :

- يتميز المحلول المائي بمقدار فيزيائي يدعى **التركيز المولي** ، يرمز له بـ **C** و وحدته المول على اللتر (**mol/L**) ، يعبر عنه بالعلاقة :

$$C = \frac{n_X}{V}$$

حيث : n_X كمية مادة النوع الكيميائي X المنحلة و V هو حجم المذيب (الماء المقطر) .

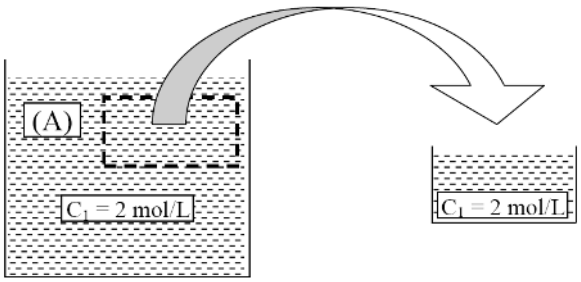
• التركيز الكتلي لمحلول مائي :

التركيز الكتلي الذي يرمز له بـ C_m ووحدته غرام على اللتر (g /L) لمحلول مائي لنوع الكيميائي X هو حاصل قسمة كتلة النوع الكيميائي X المنحل على حجم المحلول (حجم المذيب) أي :

$$C_m = \frac{m_X}{V} = MC$$

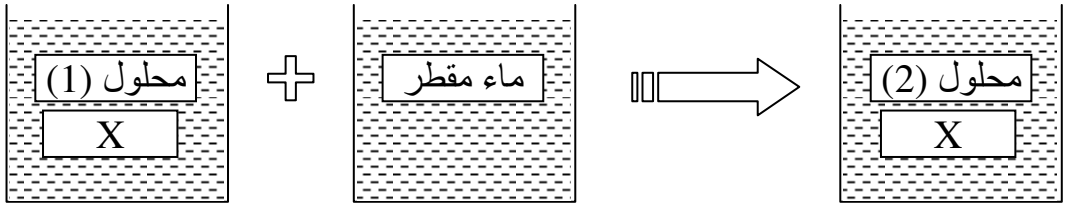
ملاحظة مهمة :

عندما نأخذ عينة من محلول (A) تركيزه المولي C_1 يكون التركيز المولي للعينة هو نفسه التركيز المولي للمحلول (A) الذي أخذت منه العينة أي C_1 .



• تمديد محلول و معامل التمديد :

- تمديد محلول تركيزه المولي C_1 (أو تخفيفه) هو إضافة الماء المقطر إليه للحصول على محلول جديد تركيزه المولي C_2 يكون أقل من تركيز المحلول الأصلي ، أي $C_2 < C_1$.



$n_1(X)$ V_0 $n_2(X)$

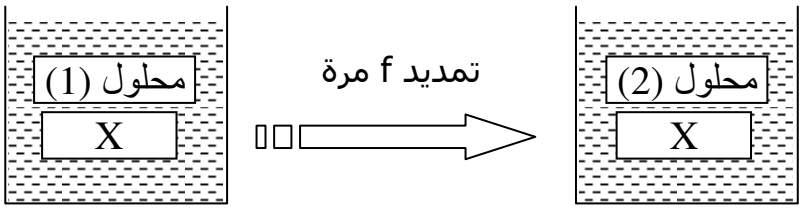
C_1 $C_2 < C_1$

V_1 $V_2 = V_1 + V_0$

$$n_1 = n_2 \rightarrow C_1V_1 = C_2V_2$$

- تسمى هذه العلاقة بقانون التمديد .

● معامل التمديد f :



$n_1(X)$ V_1 C_1 — $n_2(X)$ $V_2 = fV_1$ $C_2 = \frac{C_1}{f}$

$$f = \frac{V_2}{V_1} = \frac{C_1}{C_2}$$

التمرين (3) : (التمرين : 003 في بنك التمارين على الموقع) (*)

لتحضير محلول (B) لهيدروكسيد الصوديوم NaOH قمنا بحل $m_0 = 4$ g من هيدروكسيد الصوديوم النقي في حجم $V = 200$ mL من الماء المقطر .

1- أوجد التركيز المولي C_0 للمحلول (B) .

2- أوجد بطريقتين مختلفتين التركيز الكتلي C_{m0} للمحلول (B) .

3- ما هي كمية مادة NaOH المنحلة في عينة من المحلول (B) حجمها $V' = 50$ mL .

4- بواسطة ماصة مدرجة نسحب حجم $V_1 = 10$ mL من المحلول (B) و نضعها في كأس بيشر ثم نضيف لها حجم $V_0 = 90$ mL من الماء المقطر .

أ- كيف تسمى هذه العملية .

ب- ما هو حجم المحلول الجديد ، استنتج معامل التمديد f .

جـ- أوجد بطريقتين مختلفتين التركيز المولي C_2 للمحلول الجديد .

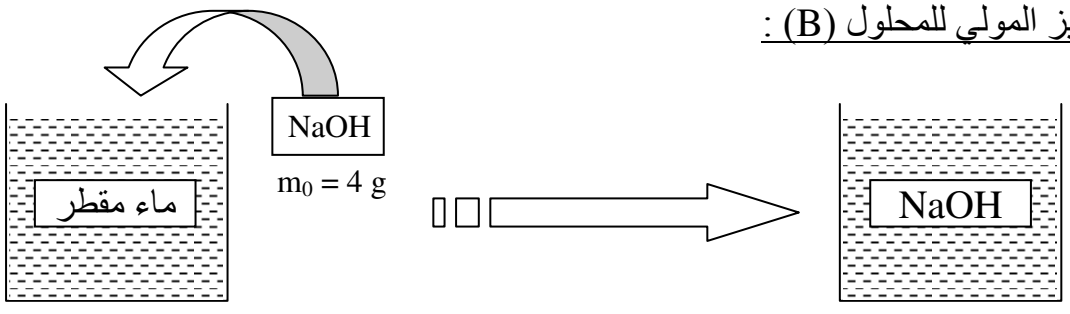
5- بواسطة ماصة مدرجة نسحب من المحلول (B) عينة أخرى حجمها $V_1 = 10$ mL و نضعها في كأس بيشر ثم نضيف لها قطعة صغيرة من هيدروكسيد الصوديوم NaOH كتلتها $m_s = 0,4$ g ، أوجد التركيز المولي C_2 للمحلول الجديد .

يعطى :

$$M(Na) = 23 \text{ g/mol} \ , \ M(O) = 16 \text{ g/mol} \ , \ M(H) = 1 \text{ g/mol}$$

الأجوبة :

1- أوجد التركيز المولي للمحلول (B) :



$$C_0 = \frac{n_0(NaOH)}{V} = \frac{\frac{m_0}{M}}{V} = \frac{m_0}{M.V}$$

• $M(NaOH) = 23 + 26 + 1 = 40$ g/mol

• $C_0 = \dfrac{4}{40 \,.\, 0{,}2} = 0{,}5$ mol/L

2- التركيز الكتلي للمحلول (B) :

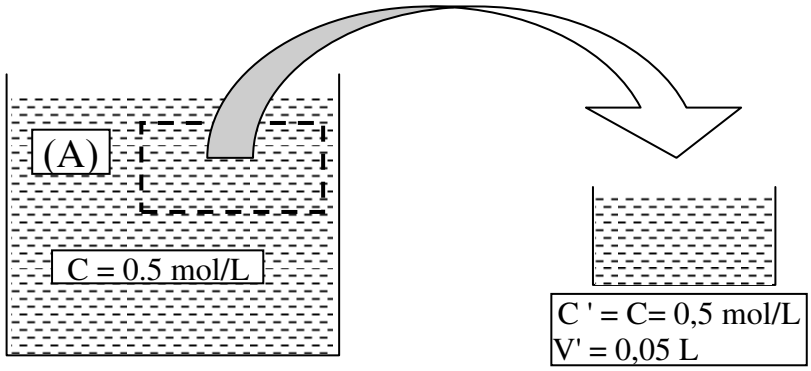
الطريقة الأولى :

$$C_{m0} = \frac{m_0}{V} \;\rightarrow\; C_{m0} = \frac{4}{0{,}2} = 20 \text{ g/L}$$

الطريقة الثانية :

$$C_{m0} = M.C = 40 \,.\, 0{,}5 = 20 \text{ g/L}$$

3- كمية مادة NaOH المنحلة في 50 mL من المحلول (B) :



$n'(NaOH) = C'.V' = 0{,}5 \,.\, 0{,}05 = 2{,}5 \,.\, 10^{-2}$ mol

4- أ- تسمى هذه العملية بالتمديد .

ب- حجم المحلول الجديد :

باعتبار V_1 ، V_2 هو حجم المحلول قبل التمديد و بعده على الترتيب ، V_0 حجم الماء المقطر المضاف يكون:

$V_2 = V_1 + V_0 = 0{,}01 + 0{,}09 = 0{,}1$ L

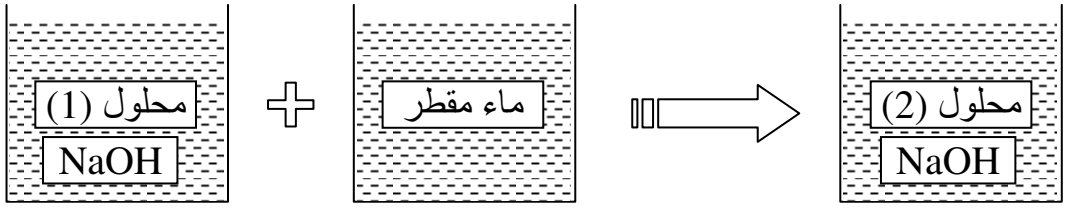
معامل التمديد :

عندما نمدد المحلول f مرة يكون حجمه الجديد (f ضعف) حجم المحلول الابتدائي أي :

$$V_2 = f\,V_1 \;\rightarrow\; f = \frac{V_2}{V_1} \;\rightarrow\; f = \frac{0.1}{0{,}01} = 10$$

جـ- تركيز المحلول الجديد :

الطريقة الأولى :



$n_1(NaOH)$ — V_0 — $n_2(NaOH)$

$C_1 = 0{,}5$ mol/L — $C_2 = ?$ mol/L

$V_1 = 0{,}01$ L — $V_2 = V_1 + V_0$

- حسب قانون التمديد :

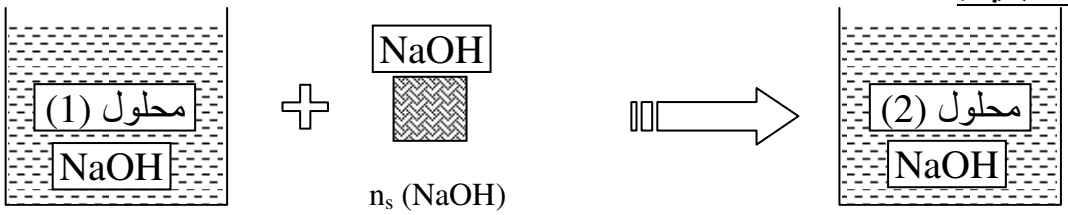
$$C_1V_1 = C_2V_2 \rightarrow C_2 = \frac{C_1V_1}{V_2} \quad \rightarrow C_2 = \frac{0,5\,.\,0,01}{0,1} = 0,05\ mol/L$$

الطريقة الثانية :

عند نمدد المحلول 10 مرات يكون :

$$C_2 = \frac{C_1}{10} = \frac{0.5}{10} = 0,05\ mol/L$$

5- تركيز المحلول الجديد :



$n_1(NaOH)$; $C_1 = 0.5\ mol/L$; $V_1 = 0.01\ L$

$n_s\ (NaOH)$; $m_s = 0,4\ g$

$n_2\ (NaOH)$; $C = ?$; $V_2 = V_1$

في هذه الحالة تكون كمية مادة NaOH في المحلول الجديد (B) مساوية لكمية مادة NaOH الموجودة في المحلول الابتدائي (A) مضاف إليها كمية مادة NH_3 الموجود في الكتلة المضافة أي :

$$n_1(NaOH) + n_S(NaOH) = n_2(NaOH)$$

$$C_1\ V_1 + \frac{m_s}{M} = C_2V_2 \rightarrow C_2 = \frac{C_1\ V_1 + \frac{m_s}{M}}{V_2} \qquad (V_2 = V_1)$$

$$C_2 = \frac{(0,5\ .\ 0,01) + \frac{0.4}{40}}{0,01} = 1,5\ mol/L$$

التمرين (4) : (التمرين : 009 في بنك التمارين على الموقع) (**)

للحصول على محلول (A) لكلور الهيدروجين HCl تركيزه المولي $C = 2\ mol/L$ ، قمنا عند الشرطين النظاميين بحل حجم $V_{(HCl)}$ من غاز كلور الهيدروجين في 100 mL من الماء المقطر .

1- أوجد قيمة $V_{(HCl)}$.

2- أوجد حجم الماء المقطر V_0 اللازم إضافته إلى عينة من المحلول (A) حجمها $V_1 = 10\ mL$ حتى نحصل على محلول تركيزه المولي $C_2 = 0,5\ mol/L$.

3- نأخذ عينة أخرى من المحلول (A) حجمها $V_1 = 10\ mL$ و نضيف لها حجم $V_2 = 40\ mL$ من محلول آخر لكلور الهيدروجين تركيزه $C_2 = 1\ mol/L$. أوجد التركيز المولي C للمحلول الجديد .

4- نريد تحضير محلول (S) حجمه $V = 500\ mL$ بتمديد عينة من المحلول (A) 100 مرة ، و لدينا الزجاجيات التالية :

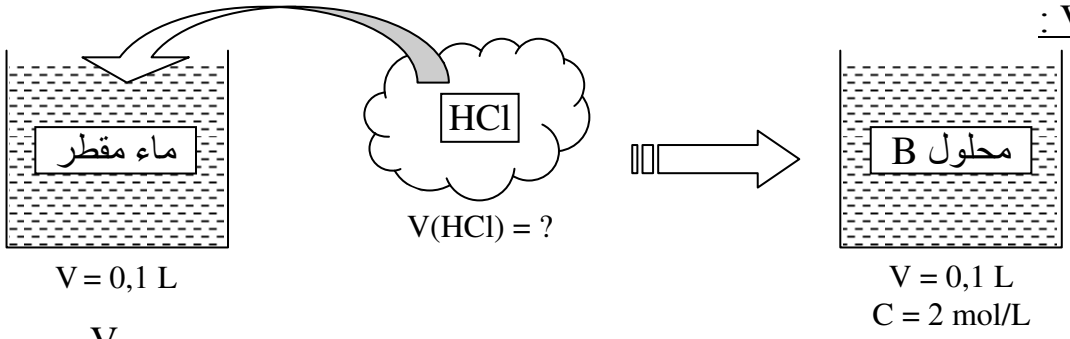
- حوجلات عيارية (500 mL ، 100 mL ، 50 mL) .
- ماصات عيارية (20 mL ، 10 mL ، 5 mL) .

أ- ما يعني مصطلح " عيارية" المقترن بالماصات و الحوجلات المذكورة .

ب- أكتب البروتوكول التجريبي لتحضير المحلول (S) مبينا الزجاجيات المستعملة من بين ما ذكر .

الأجوبة :

1- قيمة $V_{(HCl)}$:

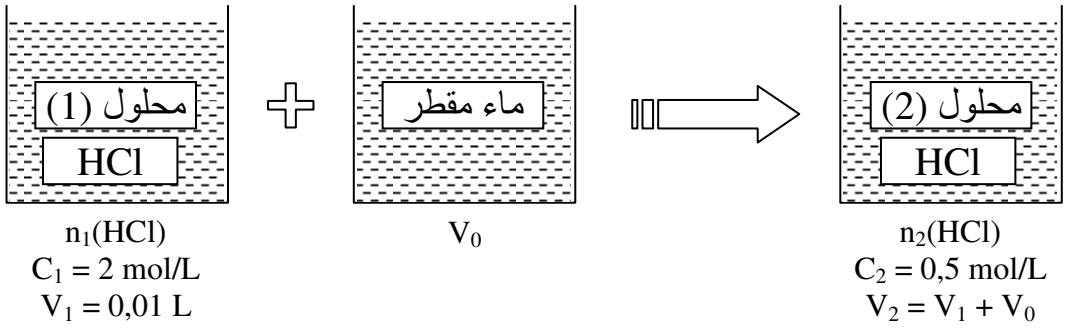


$$C_0 = \frac{n_0(HCl)}{V} = \frac{\frac{V_{(HCl)}}{V_M}}{V} = \frac{V_{(HCl)}}{V_M \cdot V} \rightarrow V_{(HCl)} = C_0 \cdot V_M \cdot V$$

$$V_{(HCl)} = 2 \ . 22,4 \ . 0,1 = 4,48 \text{ L}$$

2- حجم الماء المقطر اللازم إضافته :

الطريقة (1) :



أثناء التمديد لا تتغير كمية المادة لذا يكون :

$$n_2(HCl) = n_1(HCl) \rightarrow C_1V_1 = C_2V_2 \rightarrow C_1V_1 = C_2(V_1 + V_0)$$

$$V_1 + V_0 = \frac{C_1V_1}{C_2} \rightarrow V_0 = \frac{C_1V_1}{C_2} - V_1 \rightarrow V_0 = \frac{2 \, . \, 0,01}{0.5} - 0,01 = 0,03 \text{ L} = 30 \text{ mL}$$

الطريقة (2) :

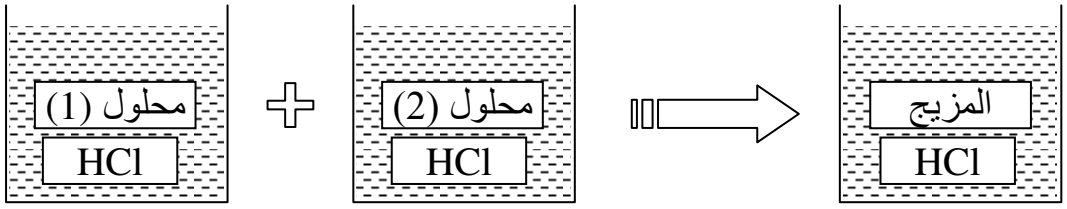
نحسب معامل التمديد :

$$f = \frac{C_2}{C_1} = \frac{2}{0,5} = 4$$

من جهة أخرى :

- $f = \frac{V_2}{V_1} \rightarrow V_2 = f \ V_1 = 4 \, . \, 0,01 = 0,04 \text{ L}$
- $V_2 = V_1 + V_0 \rightarrow V_0 = V_2 - V_1 = 0,04 - 0,01 = 0,03 \text{ L} = 30 \text{ mL}$

3- تركيز المحلول الجديد :



$n_1(HCl)$ — $C_1 = 2\ mol/L$ — $V_1 = 0,01\ L$

$n_2(HCl)$ — $C_2 = 1\ mol/L$ — $V_2 = 0,04\ L$

$n\ (HCl)$ — $C = ?$ — $V = V_1 + V_2$

بما أنه لم يحدث تحول كيميائي بين المحلولين (1) ، (2) يكون :

$$n_1(HCl) + n_2(HCl) = n(HCl)$$

$$C_1V_1 + C_2V_2 = C\ (V_1 + V_2) \rightarrow C = \frac{C_1V_1 + C_2V_2}{V_1 + V_2}$$

$$C = \frac{(2\,.\,0,01) + (1\ .\ 0,04)}{0,01 + 0,04} = 1,2\ mol/L$$

4- أ- معنى مصطلح العيارية :

هو خط دائري في أعلى الزجاجية يدل على حجم المحلول عنده .

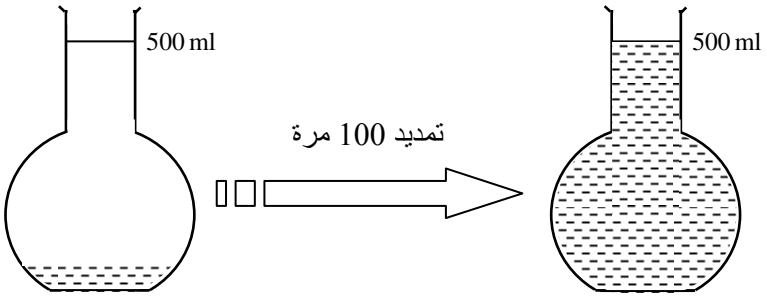
البروتوكول التجريبي :

- نحسب أولا حجم محلول (HCl) اللازم أخذه من المحلول (A) و ليكن V_0 .

$$f = \frac{V}{V_0} \rightarrow v_0 = \frac{V}{f} = \frac{500}{100} = 5mL$$

- بواسطة ماصة عيارية سعتها 5 ml مزودة بإجاصة مص ، نسحب الحجم $V_0 = 5\ mL$ من المحلول (A) و نضعه في حوجلة عيارية سعتها 500 mL تحتوي على قليل من الماء المقطر.

- نكمل الحجم بالماء المقطر إلى غاية بلوغ الخط العياري مع الرج المستمر من أجل تجانس المحلول .



$V_0 = 5\ mL$ $V_0 = 500\ mL$

ى- درجة النقاوة و النسبة الكتلية لمحلول

● درجة النقاوة :

- درجة نقاوة مادة تجارية هي نسبة المادة النقية في المادة التجارية و يعبر عنها بالعلاقة :

$$P = \frac{m}{m_0}.100$$

حيث : m هي كتلة المادة النقية و m_0 كتلة المادة التجارية غير النقية .

- لتحديد درجة نقاوة مادة تجارية نحل كتلة m_0 من المادة التجارية في حجم V من الماء المقطر ، و لحساب درجة النقاوة نحسب كتلة المادة النقية m في المادة التجارية من خلال التركيز المولي للمحلول الناتج وفق العلاقة :

$$m = M.C_0.V$$

علما أن التركيز المولي C_0 يمكن تحديده عن طريق قياس الناقلية أو عن طريق المعايرة .

مثال :

تحتوي قارورة على يود الصوديوم التجاري في شكل مسحوق ، و مسجل عليه ما يلي :

- درجة النقاوة $P = 90\%$.
- الكتلة المولية $M = 149.9\ g/mol$.
- صيغته الجزيئية NaI .

1- طلب الأستاذ من المخبري تحضير محلول (S_0) ليود الصوديوم حجمه $V = 100\ mL$ و تركيزه المولي $C_0 = 0,1\ mol/L$. أحسب كتلة يود الصوديوم التجاري m_0 اللازمة لتحضير المحلول (S_0) .

الجواب :

1- كتلة يود الصوديوم التجاري اللازمة لتحضير المحلول (S_0) :

نحسب أولا كتلة يود الصوديوم النقية التي يجب أن تكون منحلة في المحلول (S) .

$$C_0 = \frac{n_0}{V} = \frac{\frac{m}{M}}{V} = \frac{m}{M.V} \rightarrow m = C.M.V \rightarrow m = 0,1\ .\ 149,9\ .\ 0,1 = 1,5\ g$$

نحسب الآن الكتلة m_0 .

$$P = \frac{m}{m_0}.100 \rightarrow m_0 = \frac{m.100}{P} \rightarrow m_0 = \frac{1,5.100}{90} = 1,67\ g$$

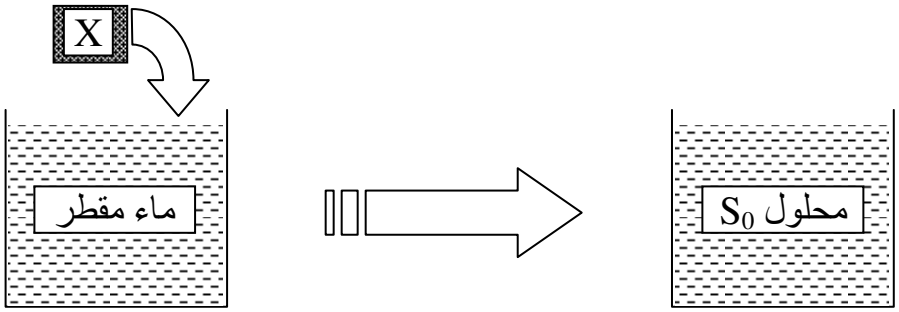
2- درجة النقاوة :

$$P = \frac{m}{m_0}.100 = \frac{7,495}{8,8}.100 = 88\%$$

● النسبة الكتلية لمحلول :

- النسبة الكتلية لمحلول P هي نسبة المادة النقية (X) في المحلول ، و يمكن القول أيضا ، النسبة الكتلة لمحلول هي كتلة النوع الكيميائي X النقية المنحلة في كل 100 g من المحلول ، و نكتب :

$$P = \frac{m}{m_0}.100$$



- إذا كانت ρ هي الكتلة الحجمية للمحلول (S_0) نكتب :

$$\rho = \frac{m_0}{V_s} \rightarrow m_0 = \rho.V_s$$

- إذا كان C_0 هو التركيز المولي للمحلول (S_0) يكون :

$$C_0 = \frac{n_0}{V_s} = \frac{\frac{m_0}{M}}{V} = \frac{m_0}{MV} \rightarrow m_0 = MC_0V_s$$

و منه تصبح عبارة النسبة الكتلية P كما يلي :

$$P = \frac{MC_0V_s}{\rho.V_s}.100 \rightarrow P = \frac{MC_0}{\rho}.100$$

- لدينا

$$d = \frac{\rho}{\rho_0} \rightarrow \rho = \rho_0.d$$

و حيث أن $\rho_0 = 1000$ g/L (الكتلة الحجمية للماء) يكون :

$$\rho = 1000.d$$

و منه يصبح :

$$P = \frac{MC_0}{1000.d}.100$$

إذن :

$$P = \frac{M.C_0}{10.d}$$

مثال :

عينة مخبرية S_0 لمحلول هيدروكسيد الصوديوم تركيزه المولي C_0 تحمل المعلومات التالية :

$P = 20\ \%$ ، $d = 1.3$ ، $M = 40\ g/mol$, $\rho(H_2O) = 1000 g/L$

حيث :

- M هي كتلة المولية لهيدروكسيد الصوديوم .
- d كثافة المحلول .
- P هي النسبة الكتلية للمحلول ، تمثل كتلة هيدروكسيد الصوديوم المنحلة في 100g من محلول العينة المخبرية .

المطلوب :

حساب قيمة C_0 .

الجواب :

- قيمة C_0 :

$$C_0 = \frac{10.d.P}{M} \quad \rightarrow C_0 = \frac{10.\ 1.3\ .20}{40} = 6.5\ mol/L$$

4- تقدم التفاعل و جدول التقدم

• مفهوم تقدم التفاعل :

تقدم التفاعل x هو عدد مرات حدوث التفاعل مقدرا بـ (أفوقادرو مرة) أو بالمول (mol) ، يستعمل في المستوى العياني فقط .

مثال :

في التحول الكيميائي المنمذج بالمعادلة الكيميائية التالية :

$$CH_{4\,(g)} + 2\ O_{2\,(g)} = CO_{2\,(g)} + 2\ H_2O_{(\ell)}$$

تقدم التفاعل x يعني هذا التفاعل حدث ($x\ N_A$ جزيء) مرة و عليه يتفاعل xN_A جزيء ($x\ mol$) من CH_4 ، و $2xN_A$ جزيء ($2x\ mol$) من O_2 ليتشكل xN_A جزيء ($x\ mol$) من CO_2 ، $2xN_A$ جزيء($2x\ mol$) من الماء

• جدول التقدم و التقدم الأعظمي :

جدول التقدم هو جدول وصفي للجملة الكيميائية يمكن خلاله تناول الحصيلة الكمية لهذه الجملة الكيميائية (المتبقي من المتفاعلات و النواتج) من حالة ابتدائية إلى حالة نهائية ، مرورا بحالة انتقالية لحظية كما موضح في المثال التالي :

حالة الجملة	التقدم x (mol)	$N_{2\,(g)} + 3\ H_{2\,(g)} \rightarrow 2\ NH_{3\,(g)}$		
الحالة الابتدائية $t = 0$	0	1	4	0
الحالة الانتقالية t	x	1 - x	4 - 3x	2x
الحالة النهائية t_f	$x_f = x_{max}$	$1 - x_{max}$	$4 - 3x_{max}$	$2x_{max}$

- قيمة تقدم التفاعل عندما يختفي أحد المتفاعلات أو جميعها تدعى التقدم الأعظمي x_{max} ، و يسمى المتفاعل الذي اختفى كليا و الذي كان سبب في توقف تطور الجملة الكيميائية بالمتفاعل المحد .

- إذا اختفت كليا جميع المتفاعلات في نهاية التفاعل يقال عن التفاعل أنه في شروط ستوكيومترية و يقال عن المزيج الابتدائي أنه ستوكيوكتري .
- نعتبر التحول الكيميائي المعبر عنه بمعادلة التفاعل التالية :

$$\alpha A + \beta B = \delta C + \lambda D$$

يكون التحول في شروط ستوكيومترية (مزيج ابتدائي ستوكيومتري) إذا تحققت العلاقة :

$$\frac{n_0(A)}{\alpha} = \frac{n_0(B)}{\beta}$$

• التركيز المولي لمحلول بشواردة :

نعتبر نوع كيميائي شاردي من الشكل $A_\alpha B_\beta$ ، ينحل في حجم V من الماء المقطر ، المحلول الناتج شاردي يعبر عنه بصيغة شاردية من الشكل ($\alpha\ A^{n+} + \beta\ B^{m-}$) .

- التركيز المولي للمحلول الناتج بالشوارد A^{n+} ، B^{m-} و الذي يرمز له الترتيب بـ $[A^{+n}]$ ، $[B^{m-}]$ ، يعبر عنه بالعلاقتين :

$$[A^{n+}] = \frac{n(A^{n+})}{V} = \alpha C \quad , \quad [B^{m-}] = \frac{n(B^{m-})}{V} = \beta C$$

حيث $n(A^{n+})$ ، $n(B^{m-})$ هي كمية مادة كل من A^{n+} و B^{m-} في المحلول الناتج ، C : التركيز المولي للمحلول .

مثال :

في محلول كلور الحديد الثلاثي $(Fe^{3+} + 3Cl^-)$ ذو التركيز المولي C ، يكون : $[Fe^{3+}] = C$ ، $[Cl^-] = 3C$

التمرين (5) : (التمرين : 004 في بنك التمارين على الموقع) (*)

نسخن سلكا من الحديد Fe حتى الإحمرار ، ثم ندخله بسرعة داخل قارورة تحتوي على غاز الكلور Cl_2 ، نلاحظ تشكل دخان يميز كلور الحديد الثلاثي $FeCl_3$.

1- أكتب معادلة التفاعل الكيميائي المنمذج لهذا التحول الكيميائي .

2- نعتبر الجملة الكيميائية تتكون في الحالة الإبتدائية من 44,8 g من الحديد ، و 20,16 L من غاز الكلور Cl_2 مقاس في الشرطين النظاميين .

أ- أحسب كمية مادة كل من الحديد Fe و غاز الكلور Cl_2 في الحالة الابتدائية .

ب- بين إن كان هذا التحول الكيميائي في الشروط الستوكيومترية أم لا .

جـ- أنشئ جدولا لتقدم التفاعل الحادث ، ثم جد قيمة التقدم الأعظمي x_{max} و عين المتفاعل المحد إن وجد .

3- ما هي الأنواع الكيميائية المتواجد في الجملة الكيميائية عند نهاية التفاعل . أحسب كتلها ثم أحسب حجم غاز الكلور Cl_2 المتفاعل عند نهاية التفاعل في الشرطين النظاميين .

يعطى : $M(Fe) = 56\ g/mol$ ، $M(Cl) = 35,5\ g/mol$.

الأجوبة :

1- معادلة التفاعل :

$$2Fe_{(s)} + 3Cl_{2\,(g)} = 2FeCl_{3\,(s)}$$

2- أ- كمية مادة Fe ، Cl_2 في الحالة الابتدائية :

- $n_0(Fe) = \frac{m}{M} = \frac{44,8}{56} = 0,8\ mol$
- $n_0(Cl_2) = \frac{V(Cl_2)}{V_M} = \frac{20,16}{22,4} = 0,9\ mol$

ب- إثبات أن التحول الكيميائي في الشروط الستوكيومترية أم لا :

يكون التحول الكيميائي المنمذج بالمعادلة السابقة في الشروط الستوكيومترية إذا تحقق : $\frac{n_0(Fe)}{2} = \frac{n_0(Cl_2)}{3}$

مما سبق :

- $\frac{n_0(Fe)}{2} = \frac{0,8}{2} = 0,4\ mol$
- $\frac{n_0(Cl_2)}{3} = \frac{0,9}{3} = 0,3\ mol$

نلاحظ : $\frac{n_0(Fe)}{2} \neq \frac{n_0(Cl_2)}{3}$ ، إذن التفاعل الكيميائي الحادث المنمذج بالمعادلة السابقة ليس في الشروط الستوكيومترية .

جـ- جدول التقدم :

حالة الجملة	التقدم	$2Fe_{(s)} + 3Cl_{2(g)} = 2FeCl_{3(s)}$		
ابتدائية	x = 0	0,8	0,9	0
انتقالية	x	0,8 – 2x	0.9 – 3x	2x
نهائية	x_f =	0,8 – 2 x_{max}	0,9 – 3 x_{max}	2 x_{max}

- التقدم الأعظمي :

- بفرض ان Fe متفاعل محد :

$0,8 - 2\ x_{max} = 0 \rightarrow x_{max} = 0,4\ mol$

- بفرض أن Cl_2 متفاعل محد :

$0,9 - 3\ x_{max} = 0 \rightarrow x_{max} = 0,3\ mol$

إذن $x_{max} = 0.3\ mol$ و المتفاعل المحد هو Cl_2 .

3- الأنواع الكيميائية المتواجدة في الجملة و كتلتها :

الأنواع الكيميائية :

- كلور الحديد الثلاثي $FeCl_3$ الناتج .
- الحديد Fe المتبقي من التفاعل .

الكتل :

- من جدول التقدم كمية مادة كلور الحديد الثلاثي الناتج في نهاية التفاعل هو :

$n_f(FeCl_3) = 2\ x_{max} = 2\ .\ 0,3 = 0,6\ mol$

$n_f(FeCl_3) = \frac{m_f(FeCl_3)}{M} \rightarrow m_f(FeCl_3) = n_f(FeCl_3)\ .\ M(FeCl_3)$

- $M(FeCl_3) = 25 + (3\ .\ 35,5) = 162,5\ g/mol$
- $m_f(FeCl_3) = 0,6 \times 162,5 = 97,5\ g$

▪ من جدول التقدم كمية مادة الحديد الناتج في نهاية التفاعل هو :

$$n_f(Fe) = 0,8 - 2\ x_{max} = 0,8 - (2\ .\ 0,3) = 0,2\ mol$$

$$n_f(Fe) = \frac{m_f(Fe)}{M} \rightarrow m_f(Fe) = n_f(Fe)\,.\,M(Fe)$$

$$m_f(Fe) = 0,2\ .\ 56 = 11,2\ g$$

- حجم غاز الكلور Cl_2 في نهاية التفاعل :

من جدول التقدم كمية مادة Cl_2 المتفاعلة في نهاية التفاعل هي :

$$n_f(Cl_2) = 3\ x_{max} = 3\ .\ 0,3 = 0,9\ mol$$

و لدينا :

$$n_f(Cl_2) = \frac{V_f(Cl_2)}{V_M} \rightarrow V_f(Cl_2) = n_f(Cl_2)\,.\,V_M$$

$$V_f(Cl_2) = 0,9\ .\ 22,4 = 20,16\ L$$

التمرين (6) : (التمرين : 005 في بنك التمارين على الموقع) (*)

لدينا محلول من كبرتات النحاس ($Cu^{2+}_{(aq)} + SO_4^{2-}$) ذو اللون الأزرق حجمه 600 mL ، تركيزه المولي C = 0.6 mol/L ، أدخلنا فيه صفيحة من الألمنيوم Al كتلتها m = 13,5 g . نلاحظ حدوث تحول كيميائي مرفق باختفاء كلي للون الأزرق . التحول الكيميائي الحادث منمذج بالمعادلة الكيميائية التالية :

$$2Al_{(s)} + 3Cu^{2+}_{(aq)} = 2Al^{3+}_{(aq)} + 3Cu_{(s)}$$

1- على ماذا يدل اختفاء اللون الأزرق .

2- أنشئ جدولا لتقدم التفاعل .

3- جِد قيمة التقدم الأعظمي x_{max} و حدد المتفاعل المحد .

4- اعتمادا على جدول التقدم ، جِد ما يلي في الحالة النهائية :

أ- كتلة النحاس Cu المترسبة .

ب- كتلة الألمنيوم Al المتبقية .

جـ- كتلة الألمنيوم Al المتفاعلة .

د- تركيز المحلول الناتج بالشوارد Al^{3+} .

5- عند ترشيح المحلول الناتج و تبخيره نحصل على نوع كيميائي . ما اسمه ؟ و ما هي صيغته الجزيئية ؟

يعطى : M(Cu) = 63,5 g/mol ، M(Al) = 27 g/mol .

رموز بعض الشوارد و أسمائها			
الشاردة	اسمها	الشاردة	اسمها
Na^+	الصوديوم	Cl^-	الكلور
Al^{+3}	الألمنيوم	NO_3^-	النترات
Fe^{2+}	الحديد الثنائي	SO_4^{-2}	الكبريتات

الأجوبة :

1- يدل اختفاء اللون الأزرق على اختفاء كلي لشوارد النحاس Cu^{2+} (أصل هذا اللون) .

2- جدول التقدم :

حالة الجملة	التقدم	$2Al_{(s)} + 3Cu^{2+}_{(aq)} = 2Al^{3+}_{(s)} + 3\,Cu_{(s)}$			
ابتدائية	$x = 0$	0,5	0,36	0	0
انتقالية	x	$0,5 - 2x$	$0,36 - 3x$	$2x$	$3x$
نهائية	x_{max}	$0,5 - 2x_{max}$	$0,36 - 3x_{max}$	$2x_{max}$	$3x_{max}$

$$n_0(Cu^{2+}) = CV = 0,6 \cdot 0,6 = 0,36\ mol$$

$$n_0(Al) = \frac{m(Al)}{M} = \frac{13,5}{27} = 0,5\ mol$$

3- مقدار التقدم الأعظمي x_{max} و المتفاعل المحد :

- بفرض أن Al متفاعل محد :

$$0,5 - 2x_{max} = 0 \rightarrow x_{max} = 0,25$$

- بفرض أن Cu^{2+} متفاعل محد :

$$0,36 - 3\,x_{max} = 0 \rightarrow x_{max} = 0,12\ mol$$

إذن $x_{max} = 0,12\ mol$ و المتفاعل المحد هو Cu^{2+} .

4- أ- كتلة النحاس المترسبة :

من جدول التقدم كمية مادة النحاس المترسبة في نهاية التفاعل هي :

$$n_f(Cu) = 3x_{max} = 3 \cdot 0,12 = 0,36\ mol$$

و منه :

$$n_f(Cu) = \frac{m_f(Cu)}{M} \rightarrow m_f(Cu) = n_f(Cu) \cdot M(Cu)$$

$$m_f(Cu) = 0,36 \cdot 63,5 = 22,86\ g$$

ب- كتلة الألمنيوم المتبقية :

من جدول التقدم كمية مادة الألمنيوم المتبقية في نهاية التفاعل هي :

$$n_f(Al) = 0,5 - 2x_{max} = 0,5 - (2 \cdot 0,12) = 0,26\ mol$$

$$n_f(Al) = \frac{m_f(Al)}{M} \rightarrow m_f(Al) = n_f(Al) \cdot M(Al) \rightarrow m_f(Al) = 0,26 \cdot 27 = 7,02\ g$$

جـ- كتلة الألمنيوم المتفاعلة :

من جدول التقدم كمية مادة الألمنيوم المتفاعلة في نهاية التفاعل هي :

$$n_f(Al) = 2x_{max} = 2 \cdot 0,12 = 0,24\ mol$$

و منه :

$$n_f(Al) = \frac{m_f(Al)}{M} \rightarrow m_f(Al) = n_f(Al) \cdot M(Al) \rightarrow m_f(Al) = 0,24 \cdot 27 = 6,48\ g$$

د- تركيز المحلول الناتج بالشوارد $\left[Al^{+3}\right]_f$ في نهاية التفاعل :

$$\left[Al^{3+}\right]_f = \frac{n_f(Al^{3+})}{V} \quad (\ V = 600\ mL = 0,6\ L\ )$$

من جدول التقدم كمية مادة شوارد الألمنيوم المتشكلة عند نهاية التفاعل هي :

$$n_f(Al^{3+}) = 2x_{max} = 2 \cdot 0,12 = 0,24\ mol$$

إذن :

$$[Al^{3+}]_f = \frac{0,24}{0,6} = 0,4 \text{ mol/L}$$

هـ- اسم و صيغة المحلول الناتج :

المحلول الناتج يحتوي على شوارد الألمنيوم Al^{3+} الناتجة عن التفاعل و شوراد الكبريتات SO_4^{2-} التي لم تدخل في التفاعل و عليه اسم المحلول الناتج هو كبريتات الألمنيوم صيغته الشاردية : $(2Al^{+3} + 3SO_4^{2-})$

و صيغته الإحصائية : $Al_2(SO_4)_3$

التمرين (7) : (التمرين : 010 في بنك التمارين على الموقع) (**)

لدينا محلول من كبريتات الحديد الثنائي $(Fe^{2+}_{(aq)} + SO_4^{2-}_{(aq)})$ حجمه 200 mL ، تركيزه المولي C_0 ، أدخلنا فيه صفيحة من الألمنيوم Al كتلتها m_0 . نلاحظ حدوث تحول كيميائي مرفق باختفاء كلي للون الأخضر كما نلاحظ أيضا اختفاء كلي لقطعة الألمنيوم Al و تشكل راسب نزنه بعد ترشيح المحلول الناتج فنجد m = 6,72 g . التحول الكيميائي الحادث منمذج بالمعادلة :

$$2Al_{(s)} + 3Fe^{2+}_{(aq)} = 2Al^{3+}_{(aq)} + 3Fe_{(s)}$$

1- على ماذا يدل اختفاء اللون الأخضر .

2- أنشئ جدولا لتقدم التفاعل .

3- هل التفاعل الجادث في شروط ستوكيومترية ؟ أوجد قيمة التقدم الأعظمي x_{max} .

4- اعتمادا على جدول التقدم ، جِد :

أ- كتلة الألمنيوم Al الابتدائية m_0 .

ب- التركيز المولي C_0 لمحلول كبريتات الحديد الثنائي .

جـ- تركيز المحول الناتج بالشوارد Al^{3+} و بالشوارد SO_4^{2-} في نهاية التفاعل .

يعطى : M(Fe) = 56 g/mol ، M(Al) = 27 g/mol .

الأجوبة :

1- يدل اختفاء اللون الأخضر على اختفاء كلي لشوارد الحديد الثنائي Fe^{2+} أصل هذا اللون .

2- جدول التقدم :

حالة الجملة	التقدم	$2Al_{(S)}$ +	$3Fe^{2+}_{(aq)}$ =	$2Al^{3+}_{(aq)}$ +	$3Fe_{(s)}$
ابتدائية	x = 0	$n_0(Al)$	$n_0(Fe^{2+})$	0	0
انتقالية	x	$n_0(Al) - 2x$	$n_0(Fe^{2+}) - 3x$	2x	3x
نهائية	x_{max}	$n_0(Al) - 2x_{max}$	$n_0(Fe^{2+}) - 3x_{max}$	$2x_{max}$	$3x_{max}$

3- المتفاعل المحد :

- كل من المتفاعلين Fe^{2+} و Al اختفى كليا في نهاية التفاعل و عليه التفاعل الحادث في شروط ستوكيومترية .

● التقدم الأعظمي x_{max} :

النوع الكيميائي الذي قمنا بترشيحه هو النوع الكيميائي المترسب في نهاية التفاعل و هو الحديد (علما أن الألمنيوم تفاعل كليا و لايوجد في نهاية التفاعل) و عليه كتلة الحديد المترسبة في نهاية التفاعل هي $m_f(Fe) = 6,72$ g و لدينا :

$$n_f(Fe) = \frac{m_f(Fe)}{M(Fe)} = \frac{6,72}{56} = 0,12 \text{ mol}$$

من جدول التقدم و عند نهاية التفاعل يكون :

$$n_f(Fe) = 3x_{max} \rightarrow x_{max} = \frac{n_f(Fe)}{3} \rightarrow x_{max} = \frac{0,12}{3} = 0,04 \text{ mol}$$

4- أ- كتلة الألمنيوم الابتدائية :

الألمنيوم إختفى كليا في نهاية التفاعل و عليه يكون :

$$n_0(Al) - 2x_{max} = 0 \rightarrow n_0(Al) = 2x_{max} = 2 \cdot 0,04 = 0,08 \text{ mol}$$

و لدينا :

$$n_0(Al) = \frac{m_0(Al)}{M(Al)} \rightarrow m_0(Al) = n_0(Al).M \rightarrow m_0(Al) = 0,08 \cdot 27 = 2,16 \text{ g}$$

ب- التركيز المولي C_0 لمحلول كبريتات الحديد الثنائي :

بما أن شوارد الحديد الثنائي اختفت كليا في نهاية التفاعل يكون :

$$n_0(Fe^{2+}) - 3x_{max} = 0 \rightarrow n_0(Fe^{2+}) = 3\, x_{max} = 3 \cdot 0,04 = 0,12 \text{ mol}$$

و لدينا :

$$n_0(Fe^{2+}) = C_0\, V \rightarrow C_0 = \frac{n_0(Fe^{2+})}{V} \rightarrow C_0 = \frac{0,12}{0,2} = 0,6 \text{ mol/L}$$

جـ- التركيز المولي للمحلول الناتج بالشوارد Al^{3+} ، SO_4^{2-} :

- $[Al^{3+}] = \frac{n_f(Al^{3+})}{V}$

من جدول التقدم كمية مادة شوارد الألمنيوم الناتجة عند نهاية التفاعل هي :

$$n_f(Al^{3+}) = 2x_{max} = 2 \cdot 0,04 = 0,08 \text{ mol}$$

- حجم المحلول أثناء التحول الكيميائي لا يتغير و يبقى على حاله كما كان في الحالة الابتدائية أي $V = 0,2$ L ومنه :

$$[Al^{3+}]_f = \frac{0,08}{0.2} = 0,4 \text{ mol/L}$$

- $[SO_4^{2-}]_f = \frac{n_f(SO_4^{-2})}{V}$

شوارد SO_4^{2-} لم تدخل إلى التفاعل و عليه فإن كمية مادة SO_4^{2-} في نهاية التفاعل هي نفسها كمية مادة SO_4^{2-} في الحالة الابتدائية و عليه يكون :

$$n_f(SO_4^{2-}) = n_0(SO_4^{2-}) = C_0\, V = 0,6 \cdot 0,2 = 0,12 \text{ mol}$$

إذن :

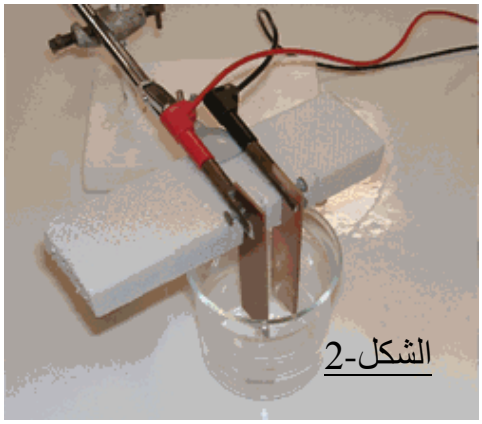
$$[SO_4^{2-}]_f = \frac{0,12}{0,2} = 0,6 \text{ mol/L}$$

5- الناقلية الكهربائية للمحاليل المائية الشاردية

● الناقلية G لمحلول مائي شاردي :

- المحاليل المائية الشاردية هي محاليل مائية تحتوي على شوارد موجبة و شوارد سالبة و بالتالي هي ناقلة للتيار الكهربائي كون أنها تحتوي على هذه الشوارد .
- تزداد ناقلية محلول شاردي للتيار الكهربائي بازدياد التراكيز المولية لشوارده .
- يعبر عن ناقلية المحلول للتيار الكهربائي بمقدار يدعى **الناقلية** يرمز له بـ G ووحدته السيمنس (S) ، حيث يكون المحلول ناقل للتيار الكهربائي أكثر كلما كانت قيمة G أكبر .
- لقياس الناقلية G لمحلول شاردي ما نقوم بحصر حجم من هذا المحلول بين صفيحتين معدنيتين متماثلتين مساحة سطح كل منها S وتفصل بينهما مسافة L ، ثم نطبق عليهما بواسطة مولد من نوع GBF توترا كهربائيا (الشكل-1) .
- تسمي جملة الصفيحتين المذكورتين و المحلول المحصور بينهما **خلية** قياس الناقلية (الشكل-2) و تدعى الصفيحتين بلبوسي الخلية .

الشكل-1


الشكل-2

- تتميز خلية قياس الناقلية بثابت يدعى ثابت الخلية ، يرمز له بـ K ، وحدته المتر (m) و يعبر عنه بالعلاقة :

$$K = \frac{S}{L}$$

حيث S مساحة أحد اللبوسين (تقدر بالمتر مربع m^2) ، L البعد بين اللبوسين (يقدر بالمتر m)
- إذا كانت U هي قيمة التوتر الذي يشير إليه مقياس الفولط الموصول على التفرع مع خلية قياس الناقلية ، و I هي قيمة شدة التيار الكهربائي التي يشير إليها مقياس الأمبير الموصول على التسلسل مع خلية قياس الناقلية ، يعبر عن ناقلية المحلول بالعلاقة التالية :

$$G = \frac{I}{U}$$

• المقاومة R :

- تعرف مقاومة محلول مائي شاردي و التي يرمز لها بـ R ووحدتها الأوم (Ω) على أنها مقلوب الناقلية G لهذا المحلول أي :

$$R = \frac{1}{G} = \frac{U}{I}$$

- وحدة المقاومة R هي **الأوم (Ω)** .

• الناقلية النوعية σ لمحلول شاردي :

- تجريبيا وجد أن الناقلية G لمحلول شاردي تتناسب طرديا مع ثابت الخلية K أي : $G = a\,K$ ، ثابت التناسب a هو ثابت يميز المحلول يدعى الناقلية النوعية للمحلول يرمز لها بـ δ و وحدتها السيمنس على المتر (S/m) و نكتب :

$$G = \delta\,K \rightarrow \sigma = \frac{G}{K}$$

• الناقلية النوعية المولية λ :

- تجريبيا وجد أن الناقلية النوعية σ لمحلول تتناسب طرديا مع التركيز المولي C لهذا المحلول أي $\delta = a\,C$ ، ثابت التناسب a هو ثابت يميز المحلول يدعى الناقلية النوعية المولية للنوع الكيميائي المنحل في المحلول يرمز له بـ λ و وحدته $S.m^2/mol$ و نكتب :

$$\sigma = \lambda\,C$$

حيث C التركيز المولي للمحلول و يقدر بـ (mol/m^3) . (نذكر أن : $1mol/L = 10^3\ mol/m^3$) .

• الناقلية النوعية المولية للشاردة الموجبة $\lambda(X^{n+})$ و للشاردة السالبة $\lambda(Y^{m-})$:

في محلول مائي شاردي أو وسط تفاعلي يحتوي على الشوارد X^{n+} ، Y^{m-} .... سواء دخلت في التفاعل (تظهر في المعادلة الكيميائية) أم لم تدخل (لا تظهر في المعادلة الكيميائية) تعطى عبارة الناقلية النوعية σ لهذا المحلول بعلاقة آخرى بدلالة الناقلية النوعية المولية الشاردية $\lambda(X^{n+})$ ، $\lambda(Y^{m-})$ ..... للشوارد (X^{n+}) ، (Y^{m-}) ... كما يلي :

$$\sigma = \lambda(X^{n+})\,[X^{n+}] + \lambda(Y^{m-})\,[Y^{m-}] + ...$$

- نذكر أنه في محلول ذو الصيغه الشاردية $(aX^{n+} + bY^{m-})$ و التركيز المولي C و الذي نحصل عليه بحل كمية من النوع الكيميائي X_aY_b في حجم V من الماء المقطر يكون :

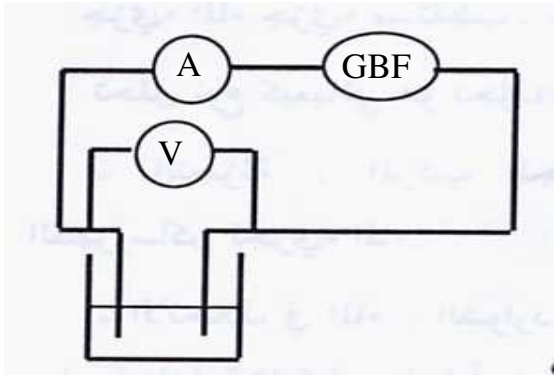
$$C = \frac{n(X_aY_b)}{V}$$

$$[X^{n+}] = \frac{n(X^{n+})}{V} = a\,C$$

$$[Y^{m-}] = \frac{n(Y^{m-})}{V} = b\,C$$

التمرين (8) : (التمرين : 006 في بنك التمارين على الموقع) (*)

نحقق التركيبة المبينة في الشكل المقابل و التي تسمح بقياس الناقلية G لمحلول كلور الصوديوم ($Na^+ + Cl^-$) تركيزه المولي $C = 10^{-3}\ mol/L$.



- يشير كل من مقياس الأمبير و الفولط إلى القيمتين $I = 0,126\ mA$ ، $U = 1\ V$.

يعطى : مساحة لبوس خلية قياس الناقية : $S = 1\ cm^2$ ، المسافة بينهما $L = 1\ cm$.

1- أحسب :
- ناقلية المحلول G .
- مقاومة المحلول R .
- ثابت الخلية المستعملة K .
- الناقلية النوعية للمحلول σ .

2- علما أن الناقلية النوعية المولية الشاردية للصوديوم هي : $\lambda(Na^+) = 5,01\ mS.m^2/mol$. أوجد الناقلية النوعية المولية لشاردة الكلور Cl^- .

الأجوبة :

1- ناقلية المحلول :

$$G = \frac{I}{U} \rightarrow G = \frac{0,126.10^{-3}}{1} = 0,126.10^{-3}\ S$$

● مقاومة المحلول :

$$R = \frac{1}{G} \rightarrow R = \frac{1}{0,126.10^{-3}} = 7,94.10^{3}\ \Omega$$

● ثابت الخلية :

$$K = \frac{S}{L} \rightarrow K = \frac{10^{-4}}{10^{-2}} = 10^{-2}\ m = 1\,cm$$

● الناقلية النوعية δ للمحلول :

$$G = \delta\, K \rightarrow \sigma = \frac{G}{K} \rightarrow \sigma = \frac{0,126\ .10^{-3}}{10^{-2}} = 1,26.10^{-2}\ S/m$$

2- الناقلية النوعية المولية الشاردية لشاردة الكلور $\lambda(Cl^-)$:

$$\sigma = \lambda(Na^+)\left[Na^+\right] + \lambda(Cl^-)\left[Cl^-\right]$$

$$\lambda(Cl^-)\left[Cl^-\right] = \sigma - \lambda(Na^+)\left[Na^+\right]$$

$$\lambda(Cl^-) = \frac{\sigma\ - \lambda(Na^+)\left[Na^+\right]}{\left[Cl^-\right]}$$

- $C = 10^{-3}\ mol/L = 1\ mol/m^3$
- $\left[Na^+\right] = C = 1\ mol/m^3$
- $\left[Cl^-\right] = C = 1\ mol/m^3$

$$\lambda(Cl^-) = \frac{1,26.10^{-2}\ - (5,01.10^{-3}.1)}{1} = 7,59.10^{-3}\ Sm^2/mol$$

التمرين (9) : (التمرين : 072 في بنك التمارين على الموقع) (**)

نحل كمية من غاز كلور الهيدروجين HCl حجمها V_{HCl} عند الشرطين النظاميين في حجم V = 100 mL من الماء المقطر فنحصل على محلول مائي (S) لحمض كلور الهيدروجين HCl تركيزه المولي C . التفاعل الكيميائي المنمذج لهذا الانحلال يعبر عنه بالمعادلة :

$$HCl + H_2O = H_3O^+ + Cl^-$$

1- مثل جدول التقدم لهذا التفاعل .

2- المحلول (S) ناقل للتيار الكهربائي ، لماذا ؟ هل ناقلية المحلول الناتج تزداد أثناء الانحلال أم تتناقص ؟ علل .

3- كمية مادة الماء في المحلول (S) معتبرة أمام كمية مادة كلور الهيدروجين HCl في نفس المحلول نقول عن الماء في هذه الحالة أنه بوفرة . عبر عن التقدم الأعظمي x_{max} بدلالة التركيز المولي للمحلول C و حجمه V .

4- عبر عن الناقلية النوعية σ_{max} للمحول (S) في نهاية التفاعل بدلالة التقدم الأعظمي x_{max} و الحجم V للمحلول (S) و الناقلية النوعية المولية الشاردية $\lambda(Cl^-)$ ، $\lambda(H_3O^+)$ ، (يهمل تركيز شوارد الهيدروكسيد HO^- في المحلول أمام التراكيز الأخرى)

5- قسنا الناقلية النوعية للمحلول (S) عند نهاية التفاعل فكانت النتيجة : $\sigma_{max} = 42.63\ mS/m$ أحسب :

أ- التقدم الأعظمي x_{max} .

ب- التركيز المولي C للمحول .

جـ- حجم غاز كلور الهيدروجين V_{HCl} المنحل في المحلول (S) .

يعطى :

$$\lambda(H_3O^+) = 35.0 \cdot 10^{-3}\ S.m^2.mol^{-1} \quad , \quad \lambda(Cl^-) = 7.63 \cdot 10^{-3}\ S.m^2.mol^{-1}$$

الأجوبة :

1- جدول التقدم :

الحالة		HCl	+ H_2O	= H_3O^+	+ Cl^-
ابتدائية	x = 0	$n_0(HCl)$	$n_0(H_2O)$	0	0
انتقالية	x	$n_0(HCl) - x$	$n_0(H_2O) - x$	x	x
نهائية	x_{max}	$n_0(HCl) - x_{max}$	$n_0(H_2O) - x_{max}$	x_{max}	x_{max}

2- المحلول (S) ناقل للتيار الكهربائي لأنه يحتوي على الشوارد الموجبة H_3O^+ و الشوارد السالبة Cl^- (تهمل الشوارد HO^-) .

- ناقلية المحلول تتزايد أثناء الانحلال ، لأن الشوارد المسئولة عن الناقلية موجودة ضمن النواتج و لا أحد منها ضمن المتفاعلات و النواتج تراكيزها تتزايد أثناء الانحلال .

3- عبارة x_{max} بدلالة C و V :

الماء بوفرة و بالتالي HCl يكون حتما متفاعل محد لذلك يكون من جدول التقدم :

$$n_0(HCl) - x_{max} = 0 \rightarrow x_{max} = n_0(HCl)$$

كمية مادة HCl المنحلة في حالة غازية هي نفسها كمية مادة HCl المتواجدة في المحلول عند نهاية التفاعل أي :

$$n_0(HCl) = \frac{V_g(Cl)}{V_M} = CV$$

و كون أنه طلب منا عبارة x_{max} بدلالة C و V ، نكتب : $x_{max} = CV$.

4- عبارة σ_{max} بدلالة x_{max} ، $\lambda(H_3O^+)$ ، $\lambda(Cl^-)$:

$$\delta_{max} = \lambda(H_3O^+)[H_3O^+]_f + \lambda(Cl^-)[Cl^-]_f$$

$$\delta_{max} = \lambda(H_3O^+)\frac{n_f(H_3O^+)}{V} + \lambda(Cl^-)\frac{n_f(Cl^-)}{V}$$

من جدول التقدم :

- $n_f(H_3O^+) = x_{max}$
- $n_f(Cl^-) = x_{max}$

يصبح لدينا :

$$\sigma_{max} = \lambda(H_3O^+)\frac{x_{max}}{V} + \lambda(Cl^-)\frac{x_{max}}{V} \rightarrow \sigma_{max} = \frac{\lambda(H_3O^+) + \lambda(Cl^-)}{V}x_{max}$$

5- أ- قيمة x_{max} :

من العلاقة السابقة :

$$x_{max} = \frac{\delta_{max}V}{\lambda(H_3O^+) + \lambda(Cl^-)} \rightarrow x_{max} = \frac{42{,}63.10^{-3} \times 0{,}1.10^{-3}(m^3)}{35.10^{-3} + 7{,}63.10^{-3}} = 10^{-4}\,mol$$

ب- التركيز المولي C :

وجدنا سابقا $x_{max} = CV$ ومنه :

$$C = \frac{x_{max}}{V} \rightarrow C = \frac{10^{-4}}{0{,}1\,(L)} = 10^{-3}\ mol/L$$

جـ- حجم غاز كلور الهيدروجين V(HCl) المنحل في (S) :

$$C = \frac{\frac{V(HCl)}{V_M}}{V} = \frac{V(HCl)}{V_M.V} \rightarrow V(HCl) = C.V_M.V$$

$$V(HCl) = 10^{-3} \times 22{,}4 \times 0{,}1 = 2{,}24\ .\ 10^{-3}\ L$$

6- المعايرة اللونية أكسدة- إرجاع

• مفهوم تفاعلي الأكسدة و الإرجاع و تفاعل الأكسدة الإرجاعية :

- الأكسدة : هي عملية فقدان إلكترون أو أكثر من طرف فرد كيميائي خلال تفاعل كيميائي ، مثل :

$$Cu = Cu^{+2} + 2e^-$$

- الإرجاع : هو عملية اكتساب إلكترون أو أكثر من طرف فرد كيميائي خلال تفاعل كيميائي ، مثل :

$$Al^{+3} + 3\,e^- = Al$$

- المرجع : هو الفرد الكيميائي الذي يفقد الإلكترونات في تفاعل الأكسدة ، مثل Cu سابقا .
- المؤكسد : هو الفرد الكيميائي الذي يكتسب الإلكترونات في تفاعل الإرجاع ، مثل Al^{+3} سابقا .
- الأكسدة الإرجاعية : هو تفاعل كيميائي يحدث فيه انتقال إلكترون أو أكثر من المرجع إلى المؤكسد .

ملاحظة :

تفاعلي الأكسدة و الإرجاع في تفاعل الأكسدة الإرجاعية يحدثان في آن واحد و لا يحدث تفاعل أكسدة بدون إرجاع كما لا يحدث تفاعل إرجاع من دون تفاعل أكسدة .

• مفهوم الثنائية مؤكسد – مرجع (مر/مؤ) :

في الحالة العامة يرمز للثنائية مؤكسد – مرجع بالرمز **(مر / مؤ)** حيث **(مر)** هو المرجع ، و **(مؤ)** هو المؤكسد وهذه الثنائية توافقها **معادلة نصفية إلكترونية** تكون من الشكل :

$$\text{مر} \rightleftharpoons \text{مؤ} + n\,e^-$$

• أمثلة عن الثنائيات (مر/ مؤ) :

$Mg \rightleftharpoons Mg^{2+} + 2\,e^-$ (Mg^{2+}/Mg)

$Na \rightleftharpoons Na^+ + e^-$ (Na^+/Na)

$Mn^{2+} + 12H_2O \rightleftharpoons MnO_4^- + 8H_3O^+ + 5e^-$ (MnO_4^-/Mn^{2+})

$2Cr^{3+} + 21H_2O \rightleftharpoons Cr_2O_7^{-2} + 14H_3O^+ + 6e^-$ $(Cr_2O_7^{2-}/Cr^{3+})$

ملاحظة :

- إن حدوث الأكسدة أو الإرجاع في المثالين الأخيرين لا يتم إلا في وجود وسط حمضي الذي يتوفر على شوارد الهيدرونيوم H_3O^+ ، لذا ظهرت في المعادلة النصفية الإلكترونية الشاردة H_3O^+ .

• كيفية كتابة معادلة الأكسدة الإرجاعية في وسط حمضي :

لكتابة معادلة الأكسدة الإرجاعية في وسط حمضي نتبع الخطوات التالية :

- نقسم معادلة الأكسدة الإرجاعية إلى معادلتين نصفيتين إحداهما أكسدة و الأخرى إرجاع .
- نوازن في كل معادلة نصفية الذرات التي عانت الأكسدة و الذرات التي عانت الإرجاع (الذرات الأساسية ، أو الذرات ما عدا الأكسجين و الهيدروجين) .
- نوازن في كل معادلة نصفية ذرات الأكسجين و ذلك بإضافة جزيئة ماء H_2O واحدة مقابل كل ذرة أكسجين ناقصة في الطرف الذي يحتوي على العدد الأصغر من ذرات الأوكسجين.
- نوازن في كل معادلة نصفية ذرات الهيدروجين و ذلك بإضافة شاردة هيدروجين H^+ مقابل كل ذرة هيدروجين ناقصة في المكان المناسب ، و يمكن أيضا إضافة شاردة هيدرونيوم (H_3O^+) مقابل كل ذرة هيدروجين ناقصة في الطرف الذي يحتوي على العدد الأصغر من ذرات الهيدروجين ، و في نفس الوقت نضيف و بنفس العدد جزيئات الماء H_2O إلى الطرف الآخر .
- لتحقيق مبدأ إنحفاظ الشحنة (مجموع الشحنات قبل التفاعل يساوي مجموع الشحنات بعد التفاعل) ، نوازن في كل معادلة نصفية الشحنات و ذلك بإضافة الإلكترونات في الطرف ذو الشحنة الأكبر .
- بهدف الحصول على عدد الإلكترونات المفقودة في تفاعل الأكسدة مساوي لعدد الإلكترونات المكتسبة في تفاعل الإرجاع نضرب طرفي معادلة الأكسدة في عدد مناسب و طرفي معادلة الإرجاع في عدد مناسب آخر ، و بجمع المعادلتين الناتجتين طرفا إلى طرف ، نحصل على معادلة الأكسدة الإرجاعية .

• مثال على كيفية كتابة معادلة تفاعل الأكسدة الإرجاعية في وسط حمضي :

مثال : إرجاع شاردة ثنائي الكرومات $Cr_2O_7^{-2}$ ، إلى شاردة الكروم Cr^{3+} ، بواسطة شاردة الحديد الثنائي Fe^{2+} :

- الثنائيتين (مر/مؤ) المشاركتين في التفاعل هما :

$$(Fe^{3+}/\mathbf{Fe^{2+}}) \quad , \quad (\mathbf{Cr_2O_7^{2-}}/Cr^{3+})$$

- في هذا التفاعل تأكسدت شوارد الحديد الثنائي Fe^{2+} إلى شوارد الحديد الثلاثي Fe^{3+} وفق معادلة الأكسدة التالية :

$$Fe^{2+} = Fe^{3+} + e^-$$

- في الوقت الذي تتأكسد فيه شوارد الحديد الثنائي Fe^{2+} ترجع شوارد ثنائي الكرومات $Cr_2O_7^{2-}$ إلى شوارد الكروم Cr^{3+} وفق معادلة الإرجاع ذات الخطوات التالية :

$Cr_2O_7^{2-} = \mathbf{2}Cr^{3+}$

$Cr_2O_7^{2-} = 2Cr^{3+} + \mathbf{7H_2O}$

$Cr_2O_7^{2-} + \mathbf{14H^+} = 2Cr^{3+} + 7H_2O + \mathbf{4H_2O}$

$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + \mathbf{6e^-} = 2Cr^{3+} + 7H_2O$

معادلة الأكسدة الإرجاعية :

- بضرب طرفي معادلة الأكسدة في العدد (6) و طرفي معادلة الإرجاع في العدد (1) نجد :

$6Fe^{2+} = 6Fe^{3+} + 6e^-$

$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- = 2Cr^{3+} + 7H_2O$

- بجمع المعادلتين الناتجتين طرف إلى طرف نجد :

$6Fe^{2+} + Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- = 6Fe^{3+} + 2Cr^{3+} + 7H_2O + 6e^-$

و باختزال عدد الإلكترونات ، نحصل على معادلة الأكسدة الإرجاعية التالية :

$$6Fe^{2+} + Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ = 6Fe^{3+} + 2Cr^{3+} + 7H_2O$$

- إذا وازنا ذرات الهيدروجين بشوارد الهيدرونيوم H_3O^+ و بنفس الخطوات السابقة نحصل على المعادلة التالية :

$$6Fe^{2+} + Cr_2O_7^{2-} + 14H_3O^+ = 6Fe^{3+} + 2Cr^{3+} + 21H_2O$$

نكتب باختصار المعادلات كما يلي :

$\times 6 \mid Fe^{2+} = Fe^{3+} + e^-$

$\times 1 \mid Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- = 2Cr^{3+} + 7H_2O$

$6Fe^{2+} + Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ = 6Fe^{3+} + 2Cr^{3+} + 7H_2O$

أو :

$\times 6 \mid Fe^{2+} = Fe^{3+} + e^-$

$\times 1 \mid Cr_2O_7^{2-} + 14H_3O^+ + 6e^- = 2Cr^{3+} + 21H_2O$

$6Fe^{2+} + Cr_2O_7^{2-} + 14H_3O^+ = 6Fe^{3+} + 2Cr^{3+} + 21H_2O$

التمرين (10) : (التمرين : 007 في بنك التمارين على الموقع) (**)

أكتب المعادلتين النصفيتين للأكسدة و الإرجاع ثم معادلات الأكسدة الإرجاعية في الحالات التالية :

الحالة	الثنائيتين (مر/مؤ) الداخلتين في التفاعل	الفردين الكيميائيين المتفاعلين
(1)	(Pb^{2+}/Pb) (Cu^{2+}/Cu)	Cu^{2+} , Pb
(2)	(Fe^{3+}/Fe) (Cl_2/Cl^-)	Fe , Cl_2
(3)	(I_2/I^-) $(S_2O_8^{2-}/SO_4^{2-})$	I^- , $S_2O_8^{2-}$

(4)	(Fe^{3+}/Fe^{2+}) $(Cr_2O_7^{2-}/Cr^{3+})$	Fe^{2+} , $Cr_2O_7^{2-}$ **في وسط حمضي**
(5)	(Fe^{3+}/Fe^{2+}) (MnO_4^-/Mn^{2+})	Fe^{2+} , MnO_4^- **في وسط حمضي**
(6)	(Al^{3+}/Al) (H_3O^+/H_2)	Al , H_3O^+
(7)	(O_2/H_2O_2) (MnO_4^-/Mn^{2+})	H_2O_2 , MnO_4^- **في وسط حمضي**
(8)	(H^+/H_2) (CuO/Cu)	CuO , H_2 **في وسط حمضي**
(9)	(BrO_3^- / Br_2) (Br_2 / Br^-)	BrO_3^- , Br^- **في وسط حمضي**
(10)	$(CH_3COOH/CH_3\text{-}CH_2OH)$ $(Cr_2O_7^{2-}/Cr^{3+})$	$CH_3\text{-}CH_2OH$, $Cr_2O_7^{2-}$ **في وسط حمضي**

الأجوبة :

المعادلتين النصفيتين للأكسدة و الإرجاع و معادلة الأكسدة الإرجاعية :

• التفاعل (1) بين Pb و Cu^{2+} :

$\times 1 \mid Pb = Pb^{2+} + 2e^-$
$\times 1 \mid Cu^{2+} + 2e^- = Cu$

$Pb + Cu^{2+} = Pb^{2+} + Cu$

• التفاعل (2) بين Fe و Cl_2 :

$\times 2 \mid Fe = Fe^{3+} + 3e^-$
$\times 3 \mid Cl_2 + 2e^- = 2Cl^-$

$2Fe + 3Cl_2 = 2Fe^{3+} + 6Cl^-$

• التفاعل (3) بين I^- و $S_2O_8^{2-}$:

$\times 1 \mid 2I^- = I_2 + 2e^-$
$\times 1 \mid S_2O_8^{2-} + 2e^- = 2SO_4^{2-}$

$2I^- + S_2O_8^{2-} = I_2 + 2SO_4^{2-}$

• التفاعل (4) بين Fe^{2+} و $Cr_2O_7^{2-}$:

$\times 6 \mid Fe^{2+} = Fe^{3+} + e^-$
$\times 1 \mid Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- = 2Cr^{3+} + 7H_2O$

$6Fe^{2+} + Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ = 6Fe^{3+} + 2Cr^{3+} + 7H_2O$

عندما نوازن الهيدروجين بـ H_3O^+ بدل H^+ :

$$\begin{array}{l|l} \times 6 & Fe^{2+} = Fe^{3+} + e^- \\ \times 1 & Cr_2O_7^{2-} + 14H_3O^+ + 6e^- = 2Cr^{3+} + 21H_2O \end{array}$$

$$6Fe^{2+} + Cr_2O_7^{2-} + \mathbf{14H_3O^+} = 6Fe^{3+} + 2Cr^{3+} + \mathbf{21H_2O}$$

• التفاعل (5) بين Fe^{2+} و MnO_4^- :

$$\begin{array}{l|l} \times 5 & Fe^{2+} = Fe^{3+} + e^- \\ \times 1 & MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- = Mn^{2+} + 4H_2O \end{array}$$

$$5Fe^{2+} + MnO_4^- + 8H^+ = 5Fe^{3+} + Mn^{2+} + 4H_2O$$

عندما نوازن الهيدروجين بـ H_3O^+ بدل H^+ :

$$\begin{array}{l|l} \times 5 & Fe^{2+} = Fe^{3+} + e^- \\ \times 1 & MnO_4^- + 8H_3O^+ + 5e^- = Mn^{2+} + 12H_2O \end{array}$$

$$5Fe^{2+} + MnO_4^- + \mathbf{8H_3O^+} = 5Fe^{3+} + Mn^{2+} + \mathbf{12H_2O}$$

• التفاعل (6) بين Al و H_3O^+ :

$$\begin{array}{l|l} \times 2 & Al = Al^{3+} + 3e^- \\ \times 3 & 2H_3O^+ + 2e^- = H_2 + 2H_2O \end{array}$$

$$2Al + 6H_3O^+ = 2Al^{3+} + 3H_2 + 6H_2O$$

• التفاعل (7) بين H_2O_2 و MnO_4^- :

$$\begin{array}{l|l} \times 5 & H_2O_2 = O_2 + 2H^+ + 2e^- \\ \times 2 & MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- = Mn^{2+} + 4H_2O \end{array}$$

$$5H_2O_2 + 2MnO_4^- + 16H^+ = 5O_2 + 2Mn^{2+} + 10H^+ + 8H_2O$$

و باختزال H^+ يصبح :

$$5H_2O_2 + 2MnO_4^- + 6H^+ = 5O_2 + 2Mn^{2+} + 8H_2O$$

عندما نوازن الهيدروجين بـ H_3O^+ بدل H^+ :

$$\begin{array}{l|l} \times 5 & H_2O_2 + 2H_2O = O_2 + 2H_3O^+ + 2e^- \\ \times 2 & MnO_4^- + 8H_3O^+ + 5e^- = Mn^{2+} + 12H_2O \end{array}$$

$$5H_2O_2 + 2MnO_4^- + \mathbf{16H_3O^+} + 10H_2O = 5O_2 + 2Mn^{2+} + 10H_3O^+ + \mathbf{24H_2O}$$

و باختزال H^+ يصبح :

$$5H_2O_2 + 2MnO_4^- + 6H_3O^+ = 5O_2 + 2Mn^{2+} + 14H_2O$$

• التفاعل (8) بين CuO و H_2 :

$$\begin{array}{l|l} \times 1 & CuO + 2H^+ + 2e^- = Cu + H_2O \\ \times 1 & H_2 = 2H^+ + 2e^- \end{array}$$

$$CuO + 2H^+ + H_2 = Cu + 2H^+ + H_2O$$

و باختزال H^+ يصبح :

$$CuO + H_2 = Cu + H_2O$$

• التفاعل (9) بين BrO_3^- و Br^- :

$\times 1 \mid 2BrO_3^- + 2H^+ + 10e^- = Br_2 + 6H_2O$
$\times 5 \mid 2Br^- = Br_2 + 2e^-$

$2BrO_3^- + 10Br^- + 12H^+ = Br_2 + 5Br_2 + 6H_2O$
$2BrO_3^- + 10Br^- + 12H^+ = 6Br_2 + 6H_2O$

و بالاختزال نجد :

$BrO_3^- + 5Br^- + 6H^+ = 3Br_2 + 3H_2O$

عندما نوازن الهيدروجين بـ H_3O^+ بدل H^+ :

$\times 1 \mid 2BrO_3^- + \mathbf{12H_3O^+} + 10e^- = Br_2 + \mathbf{18H_2O}$
$\times 5 \mid 2Br^- = Br_2 + 2e^-$

$2BrO_3^- + 10Br^- + \mathbf{12H_3O^+} = Br_2 + 5Br_2 + \mathbf{18H_2O}$
$2BrO_3^- + 10Br^- + \mathbf{12H_3O^+} = 6Br_2 + \mathbf{18H_2O}$

و بالاختزال نجد :

$BrO_3^- + 5Br^- + \mathbf{6H_3O^+} = 3Br_2 + \mathbf{9H_2O}$

• التفاعل (10) بين $CH_3\text{-}CH_2OH$ و $Cr_2O_7^{2-}$:

$\times 3 \mid CH_3\text{-}CH_2OH + H_2O = CH_3\text{-}COOH + 4H^+ + 4e^-$
$\times 2 \mid Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$

$3CH_3\text{-}CH_2OH + 2Cr_2O_7^{2-} + 28H^+ + 3H_2O = 3CH_3\text{-}COOH + 4Cr^{3+} + 12H^+ + 14H_2O$

و باختزال H^+ يصبح :

$3CH_3\text{-}CH_2OH + 2Cr_2O_7^{2-} + 16H^+ = 3CH_3\text{-}COOH + 4Cr^{3+} + 11H_2O$

عندما نوازن الهيدروجين بـ H_3O^+ بدل H^+ :

$\times 3 \mid CH_3\text{-}CH_2OH + 5H_2O = CH_3\text{-}COOH + 4H_3O^+ + 4e^-$
$\times 2 \mid Cr_2O_7^{2-} + 14H_3O^+ + 6e^- \rightarrow 2Cr^{3+} + 21H_2O$

$3CH_3\text{-}CH_2OH + 2Cr_2O_7^{2-} + 28H_3O^+ + 15H_2O = 3CH_3\text{-}COOH + 4Cr^{3+} + 12H^+ + 42H_2O$

و باختزال H_3O^+ يصبح :

$3CH_3\text{-}CH_2OH + 2Cr_2O_7^{2-} + 16H_3O^+ = 3CH_3\text{-}COOH + 4Cr^{3+} + 27H_2O$

التمرين (11) : (التمرين : 075 في بنك التمارين على الموقع) (**)

يحضر ثنائي كرومات البوتاسيوم $K_2Cr_2O_7$ بشكل تقني من عملية صهر مشترك لمعدن الكروميت مع كربونات البوتاسيوم و كاربونات الكالسيوم ، وبإجراء عملية الأكسدة بتيار من الهواء ، أما مخبرياً ، فإن عملية تحضير ثنائي كرومات البوتاسيوم تتم من خلال تفاعل نترات البوتاسيوم KNO_3 مع أكسيد الكروم الثلاثي Cr_2O_3 ، و يكون ثنائي كرومات البوتاسيوم على شكل بلورات برتقالية اللون .

1- لتحضير محلول (A) لثنائي كرومات البوتاسيوم $(2K^+ + Cr_2O_7^{2-})$ قمنا بحل 2,94 g من ثنائي كرومات البوتاسيوم النقي $K_2Cr_2O_7$ في 100 mL من الماء المقطر .

أ- أكتب البروتوكول التجريبي لتحضير المحلول (A) .
ب- أوجد التركيز المولي C_0 للمحلول الناتج :
يعطى : $M(K) = 39\ g/mol$ ، $M(O) = 16\ g/mol$ ، $M(Cr) = 52\ g/mol$.
2- للتأكد من قيمة التركيز المولي C_0 السابقة نأخذ $10\ mL$ من المحلول (A) و نمددها 10 مرات فنحصل على محلول ممدد تركيزه المولي C_1 ، نأخذ $V_1 = 20\ mL$ من هذا المحلول الممدد و نعايرها بمحلول كبريتات الحديد الثنائي $(Fe^{2+} + SO_4^{2-})$ المحمض تركيزه المولي $C_2 = 0,2\ mol/L$ ، نلاحظ أنه يلزم للتكافؤ إضافة $V_{2E} = 6\ mL$ من محلول كبريتات الحديد الثنائي .
أ- أكتب معادلة التفاعل المنمذج لتفاعل المعايرة إذا علمت أن الثنائيتين (مر/مؤ) الداخلتين في التفاعل هما :
(Fe^{3+}/Fe^{2+}) , $(Cr_2O_7^{2-}/Cr^{3+})$
ب- أوجد التركيز المولي C_1 للمحلول الممدد المعايَر ثم استنتج التركيز المولي C_0 للمحلول (A) الابتدائي .

الأجوبة :

1- أ- البروتوكول التجريبي :
- نزن بواسطة ميزان إلكتروني الكتلة $m = 2,94\ g$ من ثنائي كرومات البوتاسيوم .
- بواسطة قمع زجاجي نضع هذه الكتلة في حوجلة عيارية سعتها $100\ mL$ تحتوي على كمية قليلة من الماء المقطر ، ثم نرج المزيج حتى تختفي كليا كتلة ثنائي كرومات البوتاسيوم .
- نضيف الماء المقطر حتى بلوغ الخط العياري مع الرج المستمر من أجل تجانس المجلول .
ب- التركيز المولي C_0 للمحلول الناتج :

$$C_0 = \frac{n_0(K_2Cr_2O_4)}{V} = \frac{\frac{m_0}{M}}{V} = \frac{m_0}{M.V}$$

- $M = (2 \cdot 39) + (2 \cdot 52) + (7 \cdot 16) = 294\ g/mol$
- $C_0 = \frac{2,94}{294 \cdot 0,1} = 0,1\ mol/L$

2- أ- معادلة التفاعل :

$$\begin{array}{l|l} \times 6 & Fe^{2+} = Fe^{3+} + e^- \\ \times 1 & Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- = 2Cr^{3+} + 7H_2O \end{array}$$
$$5Fe^{2+} + Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ = 6Fe^{3+} + 2Cr^{3+} + 7H_2O$$

ب- التركيز C_1 للمحلول الممدد و التركيز C_0 للمحلول الابتدائي :
اعتمادا على معادلة التفاعل يكون عند التكافؤ :

$$\frac{n_0(Fe^{2+})}{6} = n_0(Cr_2O_7^{2-})$$

$$\frac{C_2V_{2E}}{6} = C_1V_1 \rightarrow C_1 = \frac{C_2V_{2E}}{6V_1} \rightarrow C_1 = \frac{0,2 \cdot 6 \cdot 10^{-3}}{6 \cdot 20 \cdot 10^{-3}} = 10^{-2}\ mol/L$$

و كون أن المحلول الممدد المعايَر مدد 10 مرات يكون :

$$C_1 = \frac{C_0}{10} \rightarrow C_0 = 10\ C_1 = 10 \cdot 10^{-2} = 0.1\ mol/L$$

و هي نفس النتيجة المتحصل عليها سابقا .

التمرين (12) : (التمرين : 019 في بنك التمارين على الموقع) (**)

لتحديد التركيز المولي C لمحلول الماء الأكسجيني H_2O_2 نتبع الطريقتين التاليتين :

الطريقة الأولى :

نأخذ حجما $V = 14\ mL$ من الماء الأكسجيني H_2O_2 و نعايره في وسط حمضي بمحلول برمنغنات البوتاسيوم $(K^+ + MnO_4^-)$ ذو التركيز المولي $C' = 0,1\ mol/L$ فيكون الحجم اللازم للتكافؤ $V'_E = 20\ mL$.

1- إذا كانت الثنائيتان (ox/red) الداخلتان في الفاعل هما (MnO_4^-/Mn^{2+}) و (O_2/H_2O_2) ، أكتب معادلة الأكسدة الإرجاعية للتفاعل الحادث .

2- لماذا عايرنا الماء الأكسجيني في وسط حمضي ؟

3- أذكر البروتوكول التجريبي لتحقيق عملية المعايرة .

4- أثبت أن تركيز الماء الأكسجيني يعطى بالعلاقة $C = \frac{5C'V'_E}{2V}$ و أحسب قيمته .

الطريقة الثانية :

نمزج حجما $V = 250\ mL$ من الماء الأكسجيني ذو التركيز المولي C مع حجم $V' = 500\ mL$ من برمنغنات البوتاسيوم ذو التركيز $C' = 0,1\ mol/L$ في وسط حمضي فيكون حجم غاز الأكسجين المنطلق في نهاية التفاعل هو $V(O_2) = 2\ L$ في الشرطين النظاميين .

1- احسب كمية المادة الابتدائية لشاردة البرمنغنات MnO_4^- .

2- أنجز جدول التقدم للتفاعل الكيميائي الحادث .

3- أثبت أن التقدم الأعظمي هو $x_{max} = 1,79 \cdot 10^{-2}\ mol$ و بين أن الماء الأكسجيني هو المتفاعل المحد .

4- استنتج اعتمادا على جدول التقدم أحسب التركيز المولي C للماء الأكسجيني و قارنه مع النتيجة السابقة .

5- احسب تركيز المزيج بالشاردة Mn^{2+} في نهاية التفاعل .

التمرين (13) : (التمرين : 031 في بنك التمارين على الموقع) (**)

يحفظ الماء الأكسجيني (محلول لبروكسيد الهيدروجين $H_2O_{2\ (aq)}$ في قارورات خاصة بسبب التفكك الذاتي البطيء) . تحمل الورقة الملصقة على قارورة من الماء الأكسجيني منتجة حديثا موجودة في مخبر الثانوية في المختبر الكتابة ماء أكسجيني (10V) ، و تعني (1L) من الماء الأكسيجيني ينتج بعد تفككه 10L من غاز ثنائي الأكسجين في الشرطين النظاميين حيث الحجم المولي $V_M = 22.4\ L.mol^{-1}$.

1- ينمذج التفكك الذاتي للماء الأكسجيني بالتفاعل ذي المعادلة الكيميائية التالية :

$$2H_2O_{2(aq)} = 2H_2O_{(\ell)} + O_{2(aq)}$$

أ- بين أن التركيز المولي للماء الأكسجيني هو : $C_0 = 0.893\ mol.L^{-1}$.

ب- نضع في حوجلة حجما V_i من الماء الأكسجيني و نكمل الحجم بالماء المقطر إلى $100\ mL$.

- كيف تسمى هذه العملية ؟
- استنتج الحجم V_i علما أن المحلول الناتج تركيزه المولي $C_1 = 0.1\ mol.L^{-1}$.

2- لغرض التأكد من الكتابة السابقة (10V) عايرنا $20\ mL$ من المحلول الممدد بواسطة محلول برمنغنات البوتاسيوم ($K^+_{(aq)} + MnO_4^-{}_{(aq)}$) المحمض ، تركيزه المولي $C_2 = 0.02\ mol.L^{-1}$ فكان الحجم المضاف عند التكافؤ $V_E = 40\ mL$.

أ- أكتب معادلة التفاعل أكسدة- إرجاع المنمذج لتحول المعايرة علما أن الثنائيتين الداخلتين في هذا التفاعل هما :

$$(MnO_4^-{}_{(aq)} / Mn^{2+}_{(aq)}) \ ، \ (O_{2\ (aq)}/H_2O_{2\ (aq)})$$

ب- استنتج التركيز المولي لمحلول الماء الأكسجيني الابتدائي ، و هل تتوافق هذه النتيجة التجريبية مع ما كتب على ملصوقة القارورة ؟

3- توجد في مخبر الثانوية قارورة أخرى للماء الأكسجيني تحمل الكتابة 10V أيضا و لكنها قديمة استلمها مخبر الثانوية قبل سنتين ، باعتبار التركيز المولي للماء الأكسجيني في هذه القارورة هو C' .

أ- اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات التالية مع التعليل : $C' = C_0$ ، $C' > C$ ، $C' < C$.

ب- اقترح طريقة تمكن مخبري الثانوية من معرفة إن كان الماء الأكسجيني في مخبر الثانوية الذي يحمل الكتابة 10V محضر حديثا أم قديما .

الأجوبة :

1- أ- إثبات أن التركيز المولي للماء الأكسجيني هو $C = 0.893\ mol.L^{-1}$:

الحالة	التقدم	$2H_2O$	= $2H_2O$	+ O_2
ابتدائية	$x = 0$	n_0	بوفرة	0
انتقالية	x	$n_0 - 2x$	بوفرة	x
نهائية	x_{max}	$n_0 - 2x_{max}$	بوفرة	x_{max}

- نحسب التقدم الأعظمي x_{max} عندما يتفكك $V(H_2O) = 1L$ من الماء الأكسجيني و ينتج عن ذلك $V(O_2) = 10\ L$ من غاز الأكسجين في الشرطين النظاميين :

- من جدول التقدم و عند نهاية التفاعل :

$$n_f(O_2) = x_{max} \rightarrow x_{max} = \frac{V(O_2)}{V_M} = \frac{10}{22,4} = 0,446\ mol$$

- من جدول التقدم أيضا و عند نهاية التفاعل :

$$n_0(H_2O_2) - 2x_{max} = 0$$

$$C_0 V(H_2O_2) = 2x_{max} \rightarrow C_0 = \frac{2x_{max}}{V(H_2O_2)}$$

$$C_0 V(H_2O_2) = 2x_{max} \rightarrow C_0 = \frac{2 . 0,446}{1} = 0,89\ mol/L$$

ب- تسمى العملية بالتخفيف (أو التمديد) .

جـ- قيمة V_1 :

أثناء التمديد لا تتغير كمية المادة و عليه :

$$n_1(H_2O_2) = n_1(H_2O_2)$$
$$C_1V_1 = CV_i$$

(V_1 هو الحجم الكلي : $V_1 = 100\ mL$)

$$V_i = \frac{C_1V_1}{C} \rightarrow V_i = \frac{0.1 . 0.1}{0.893} = 1.12.10^{-2}\ L \approx 11\ mL$$

2-أ- معادلة التفاعل أكسدة- إرجاع المنمذج لتحول المعايرة :

$$5 \times \left| H_2O_2 = O_2 + 2H^+ + 2e^- \right.$$
$$2 \times \left| MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- = Mn^{2+} + 4H_2O \right.$$
$$5H_2O_2 + 2MnO_4^- + 16H^+ = 5O_2 + 2Mn^{2+} + 10H^+ + 8H_2O$$

و باختزال H^+ تصبح المعادلة الإجمالية للتفاعل المنمذج للمعايرة كما يلي :

$$5H_2O_2 + 2MnO_4^- + 6H^+ = 5O_2 + 2Mn^{2+} + 8H_2O$$

ب- التركيز المولي للماء الأكسجيني :

عند التكافؤ و من المعادلة يكون :

$$\frac{n_0(H_2O_2)}{5} = \frac{n_0(MnO_4^-)}{2} \quad \rightarrow \frac{CV}{5} = \frac{C_2V_E}{2} \rightarrow C = \frac{5\,C_2V_E}{2V}$$

$$C = \frac{5\ .0.02.40.10^{-3}}{2\ .\ 20.10^{-3}} = 0.1\,mol/L$$

و هو تركيز محلول الماء الأكسجيني المخفف ، نحسب الآن تركيز محلول الماء الأكسجيني الابتدائي :

$$CV_i = C_1V_1 \rightarrow C = \frac{C_1.V_1}{V_i} \rightarrow C = \frac{0,1\ .\ 0.1}{1.12\ .\ 10^{-2}} = 0.893\,mol/L$$

و هي نفس القيمة المتحصل عليها سابقا $C_0 = 0.893\ mol/L$.

3- اختيار الإجابة الصحيحة :

بما أن القارورة مكتوب عليها 10V هذا يعني أن التركيز المولي للماء الأكسجيني الموجود بها يساوي $C_0 = 0.893\ mol.L^{-1}$ عندما تم تحضيره و قد تم حساب هذه القيمة سابقا ، و كون أن الماء الأكسجيني يتفكك ذاتيا بمرور الزمن ، هذا يعني أن التركيز المولي C للماء الأكسجيني يتناقص بمرور الزمن ، لذا يكون $C' < C_0$.

ب- الطريقة تمكن مخبري الثانوية من معرفة إن كان الماء الأكسجيني في مخبر الثانوية محضر حديثا أم قديما :

كنا ذكرنا سابقا ، الكتابة 10V تعني أن التركيز المولي للماء الأكسجيني عندما تم تحضيره يساوي $C_0 = 0.893\ mol.L^{-1}$ ، و لمعرفة إن كان هذا الماء الأكسجيني محضر حديثا أم لا نحدد تركيزه المولي الحالي و نقارنه بالتركيز C_0 المولي الموافق للكتابة 10V إذا كان أقل فهو محضر قديما و إذا كان يساوي فهو محضر حديثا و مستحيل يكون أكبر .

** الأستاذ : فرقاني فارس **
ثانوية مولود قاسم نايت بلقاسم
الخروب - قسنطينة
Fares_Fergani@yahoo.Fr

نرجو إبلاغنا عن طريق البريد الإلكتروني بأي خلل في الدروس أو التمارين و حلولها .
وشكرا مسبقا

لتحميل نسخة من هذا الملف و للمزيد . أدخل موقع الأستاذ :

www.sites.google.com/site/faresfergani