سلاسل المنجد في العلوم الفيزيائية – أولى ثانوي – الوحدة 11

المقاربة الكمية لتفاعل كيميائي

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

****

المحتوى المفاهيمي : 01

الجملة الكيميائية و تطورها خلال تحول كيميائي

الجملة الكيميائية و التحول الكيميائي

• الجملة الكيميائية :

الجملة الكيميائية هي مزيج من أنواع كيميائية ، و من أجل وصف حالة جملة كيميائية في السلم العياني يجب الإشارة إلى :

- طبيعة و مكونات مختلف الأنواع الكيميائية الموجودة .
- كمية المادة لكل نوع .
- حالاتها الفيزيائية صلب (S) ، سائل (ℓ) ، غاز (g) أو محلول مائي (aq) .
- درجة الحرارة T و الضغط P خاصة في حالة الغازات .
- لون المتفاعلات .

مثال :

محلول كبريتات النحاس هي جملة كيميائية تتكون من : شوارد النحاس $Cu^{+2}_{(aq)}$ ذات اللون الأزرق ، شوارد الكبريتات $SO_4^{-2}{}_{(aq)}$ عديمة اللون ، جزيئات الماء $H_2O_{(\ell)}$ عديمة اللون .

• التحول الكيميائي :

- نقول أنه حدث تحول كيميائي في جملة كيميائية ما ، إذا حدث تغير في حالة هذه الجملة ، كاختفاء أنواع كيميائية و ظهور أنواع كيميائية جديدة .

• التفاعل الكيميائي :

- التفاعل الكيميائي هو نموذج للتحول الكيميائي يتم على المستوى المجهري ، أي يتم بين أفراد الأنواع الكيميائية ، كارتباط فرد كيميائي (ذرة ، جزئ ، شاردة ...) أو أكثر لنوع كيميائي ، مع فرد كيميائي أو أكثر لنوع كيميائي آخر قصد تشكيل فرد كيميائي جديد لنوع كيميائي آخر .

• معادلة التفاعل الكيميائي :

- يعبر عن التفاعل الكيميائي بمعادلة تسمى **معادلة التفاعل الكيميائي**، و التي تتكون من طرفين:

الطرف الأول:

يكون على اليسار و فيه تكتب رموز و صيغ الأفراد الكيميائية المختفية خلال التفاعل الكيميائي و التي تسمى **متفاعلات** .

الطرف الثاني :

- يكون على اليمين و فيه تكتب رموز و صيغ الأفراد الكيميائية المتشكلة خلال التفاعل الكيميائي و التي تسمى **نواتج** .

وبين الطرفين الأول و الثاني يوضع رمز تساوي (=) و اصطلاحا تكون جهة التفاعل من الطرف الأول (اليسار) إلى الطرف الثاني (اليمين) .

- تضاف إلى رموز و صيغ المتفاعلات و النواتج رموز أخرى صغيرة تدل على طبيعة النوع الكيميائي و هي :

(s ← صلب) ، (ℓ ← سائل) ، (g ← غاز) ، (aq ← شاردة أو محلول) .

- لكي يتحقق ما يسمى بمبدأ إنحفاظ العنصر الكيميائي (عدد ذرات كل عنصر قبل التفاعل الكيميائي مساوي لعدد ذرات نفس العنصر بعد التفاعل الكيميائي) ، و مبدأ انحفاظ الشحنة (مجموع شحن الأفراد الكيميائية المتفاعلة مساوي لمجموع شحن الأفراد الكيميائية الناتجة) ، توضع أمام صيغ و رموز الأنواع الكيميائية معاملات (أرقام) تدعى **المعاملات الستوكيومترية** ، بحيث تكون هذه المعاملات أصغر عدد طبيعي ممكن، ونحصل بذلك على الشكل النهائي لمعادلة التفاعل الكيميائي .

أمثلـــة:

$2\,H_{2\,(g)} + O_{2\,(g)} = 2\,H_2O_{\,(\ell)}$

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

$Cu^{2+}_{\,(aq)} + Fe_{\,(s)} = Cu_{\,(s)} + Fe^{2+}_{\,(aq)}$

$N_{2\,(g)} + 3\,H_{2\,(g)} = 2\,NH_{3\,(g)}$

$5Fe^{2+}_{\,(aq)} + MnO_4^-{}_{(aq)} + 8H^+_{\,(aq)} = 5Fe^{3+}_{\,(aq)} + Mn^{2+}_{\,(aq)} + 4H_2O_{(\ell)}$

$6Fe^{2+}_{\,(aq)} + Cr_2O_7^{2-}{}_{(aq)} + 14H^+_{\,(aq)} = 6Fe^{3+}_{\,(aq)} + 2Cr^{3+}_{\,(aq)} + 7H_2O_{(\ell)}$

تقدم التفاعل وجدول التقدم

• مفهوم تقدم التفاعل :

من أجل متابعة تحول كيميائي لجملة في المستوى العياني من حالة ابتدائية إلى نهائية يقترح الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية " IUAPC " وسيلة تدعى تقدم التفاعل x (مقدرا بالمول mol) والذي يمكن توضيحه كالتالي :

- نعتبر التحول الكيميائي المتمثل في احتراق الميثان بغاز الأكسجين و المنمذج بالمعادلة الكيميائية التالية :

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

من هذه المعادلة يمكن قول ما يلي :

- على المستوي المجهري :

▪ لو حدث التفاعل مرة : يختفي 1 جزئ من CH_4 ، 2 جزئ من O_2 ، ليتشكل 1 جزئ من CO_2 ، 2 جزئ من الماء .

▪ لو حدث التفاعل 2 مرة : يختفي 2 جزئ من CH_4 ، 4 جزئ من O_2 ، ليتشكل 2 جزئ من CO_2 ، 4 جزئ من الماء .

▪ لو حدث التفاعل 3 مرة : يختفي 3 جزئ من CH_4 ، 6 جزئ من O_2 ، ليتشكل 3 جزئ من CO_2 ، 6 جزئ من الماء . .....

- على المستوى العياني :

▪ لو حدث التفاعل N_A مرة : يختفي (N_A) جزئ من CH_4 ، ($2N_A$) جزئ من O_2 ، ليتشكل (N_A) جزئ من CO_2 ، ($2N_A$) جزئ من الماء .

أو : يختفي (1 mol) جزئ من CH_4 ، (2 mol) جزئ من O_2 ليتشكل (1 mol) جزئ من CO_2 ، (2 mol) جزئ من الماء .

▪ لو حدث التفاعل ($2\ N_A$) مرة : يختفي (2 mol) جزئ من CH_4 ، (4 mol) جزئ من O_2 ليتشكل (2 mol) جزئ من CO_2 ، (4 mol) جزئ من الماء .

▪ لو حدث التفاعل ($3\ N_A$) مرة : يختفي (3 mol) جزئ من CH_4 ، (6 mol) جزئ من O_2 ليتشكل (3 mol) جزئ من CO_2 ، (6 mol) جزئ من الماء .

.....

▪ لو حدث التفاعل ($x\ N_A$) مرة : يختفي (x mol) جزئ من CH_4 ، (2x mol) جزئ من O_2 ، ليتشكل (x mol) جزئ من CO_2 ، (2x mol) جزئ من الماء .

يدعى المقدار x **تقدم التفاعل**

و هو يمثل عدد مرات حدوث التفاعل السابق مقدرا بـ (أفوقادرو مرة) أو بالمول (mol) و يستعمل في المستوى العياني فقط .

• جدول التقدم و التقدم النهائي :

- جدول التقدم هو عبارة عن جدول وصفي للجملة يمكن خلاله تناول الحصيلة الكمية من حالة ابتدائية إلى حالة نهائية ، مرورا بحالة انتقالية لحظية كما موضح في المثال التالي :

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

- يعبر جدول التقدم على كميات المادة للأنواع الكيميائية المتواجدة في الجملة الكيميائية (متفاعلات و نواتج) في لحظة معينة من التحول الكيميائي .
- يسمى العدد الأعظمي لمرات حدوث التفاعل مقدر بأفوقادرو مرة (أو بالمول) بالتقدم الأعظمي ، يرمز له بـ x_{max} ، و يسمى المتفاعل الذي اختفى كليا و الذي كان سبب في توقف تطور التفاعل بالمتفاعل المحد .
- إذا توقف تطور التفاعل بسبب اختفاء كلي لأحد المتفاعلات يكون التقدم النهائي x_f مساوي للتقدم الأعظمي x_{max} و يقال عن هذا التفاعل أنه **تام** .
- إذا اختفت كل المتفاعلات كليا في نهاية التفاعل يقال عن التفاعل أنه في الشروط الستوكيومترية .
- في التفاعل المنمذج بالمعادلة الكيميائية التالية :

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

يمكن إثبات أن هذا التحول الكيميائي المنمذج بهذا التفاعل يكون في الشروط الستوكيومترية إذا تحقق :

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

التمرين (1) : (التمرين : 001 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 و غاز الكلور في الحالة الابتدائية .

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

جـ- مثل جدول تقدم التفاعل لهذا التحول الكيميائي ، ثم عين التقدم الأعظمي x_{max} و 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 .

4- مثل في نفس البيان المنحنيين : $n(Fe) = f_1(x)$ ، $n(Cl_2) = f_2(x)$.

5- نعتبر الجملة الكيميائية السابقة تتكون في الحالة الابتدائية ($t = 0$) من 0.2 mol من الحديد ، و n mol من غاز الكلور . عين قيمة n حتى يكون التحول الكيميائي في الشروط الستوكيومترية .

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 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 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	$x_f = x_{max}$	$0.8 - 2\,x_{max}$	$0.9 - 3\,x_{max}$	$2\,x_{max}$

- التقدم الأعظمي:

- إذا اختفى Fe كليا :

$0.8 - 2\,x_{max} = 0 \rightarrow x_{max} = 0.4\,mol$

- إذا اختفى Cl_2 كليا :

$0.9 - 3\,x_{max} = 0 \rightarrow x_{max} = 0.3\,mol$

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 :

$x_f(FeCl_3) = 2\,x_{max} = 2\,.\,0.3 = 0.6\,mol$

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

- $M(FeCl_3) = 25 + (3\,.\,35.5) = 162.5\,g/mol$

$m_f(FeCl_3) = 0.6 \times 162.5 = 97.5\,g$

- 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 :

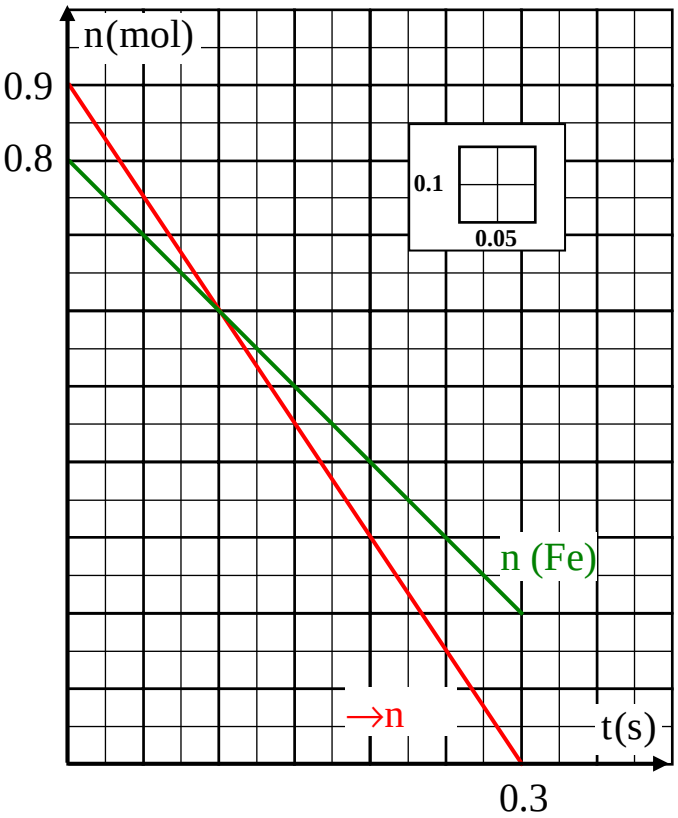
$$n_f(Cl_2) = \frac{V_f(Cl_2)}{V_M} \rightarrow V_f(Cl_2) = n_f(Cl_2).V_M$$

$$V_f(Cl_2) = 0.9\ .\ 22.4 = 20.16\ L$$

4- البيانات $n = f(x)$:

من جدول التقدم : $n(Fe) = 0.8 - 2x$ ، $n(Cl_2) = 0.9 - 3x$ ومنه يكون الجدول :

x (mol)	0	0.1	0.2	0.3
n(Fe) mol	0.8	0.6	0.4	0.2
$n(Cl_2)$ mol	0.9	0.6	0.3	0



5- قيمة n حتى يكون التحول في الشروط الستوكيومترية :

يكون التحول الكيميائي المنمذج بالمعادلة السابقة في الشروط الستوكيومترية إذا تحقق :

$$\frac{n_0(Fe)}{2} = \frac{n_0(Cl_2)}{3}$$

$$\frac{0.2}{2} = \frac{n}{3} \rightarrow n = \frac{0.2\ .\ 3}{2} = 0.3\ mol$$

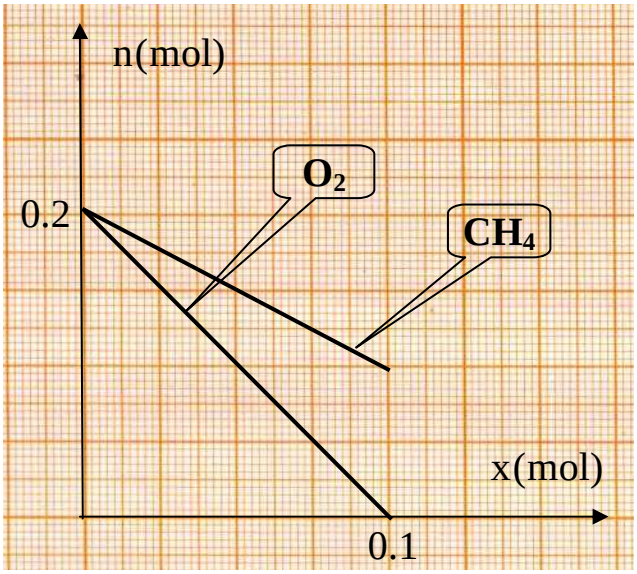
التمرين (2) : (التمرين : 006 في بنك التمارين على الموقع)

ملاحظة : في كل التمرين يأخذ $V_M = 24\,L/mol$.

- ينمذج احتراق غاز الميثان CH_4 بالأكسجين O_2 بالمعادلة التالية:

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

- المنحنيين $n(CH_4) = f(t)$ و $n(O_2) = g(t)$ التاليين يمثلان على الترتيب تغيرات كمية مادة غاز الميثان CH_4 و كمية مادة غاز ثنائي الأكسجين O_2 بدلالة تقدم التفاعل x .



1- أنشئ جدولا لتقدم التفاعل .

2- اعتمادا على البيان :

أ- عين كميتي المادة الابتدائية لكل من الميثان CH_4 و ثنائي الأكسجين O_2 .

ب- حدد المتفاعل المحد إن وجد ثم عين التقدم الأعظمي x_{max} .

3- اعتمادا على جدول التقدم أوجد في نهاية التفاعل :

أ- كتلة الماء H_2O .

ب- حجم CO_2 الناتج في نهاية التفاعل مقاس في الشرطين النظاميين .

يعطى : $M(H) = 1\,g/mol$ ، $M(C) = 12\,g/mol$.

الأجوبة :

1- جدول التقدم :

الحالة	التقدم	CH_4 +	$2O_2$ =	CO_2 +	$2H_2O$
ابتدائية	$x = 0$	$n_0(CH_4)$	$n_0(CO_2)$	0	0
انتقالية	x	$n_0(CH_4) - x$	$n_0(CO_2) - 2x$	x	2x
نهائية	x_{max}	$n_0(CH_4) - x_{max}$	$n_0(CO_2) - 2x_{max}$	x_{max}	$2x_{max}$

2- أ- كميتي المادة الابتدائية لكل من الميثان CH_4 و ثنائي الأكسجين O_2 :

من البيان :

$n_0(CH_4) = n(O_2) = 0.2\ mol$

ب- المتفاعل المحد و التقدم الأعظمي x_{max} :

نلاحظ أن ثنائي الأكسجين O_2 اختفى كليا قبل غاز الميثان CH_4 و عليه :

- هو المتفاعل المحد هو CH_4 .
- التقدم الأعظمي : $x_{max} = 0.1\ mol$.

3- أ- كمية المادة الابتدائية للمتفاعلات :

من جدول التقدم كمية مادة الماء الناتج في نهاية التفاعل :

$n_f(H_2O) = 2\ x_{max} = 2 \cdot 0{,}1 = 0{,}2\ mol$

$$n_f(H_2O) = \frac{m_f(H_2O)}{M}$$

- $M(H_2O) = (2 \cdot 1) + 16 = 18\ g/mol$
- $m_f(H_2O) = 0{,}2 \cdot 18 = 3.6\ g$

ب- حجم CO_2 الناتج في نهاية التفاعل :

من جدول التقدم كمية مادة CO_2 الناتجة في نهاية التفاعل :

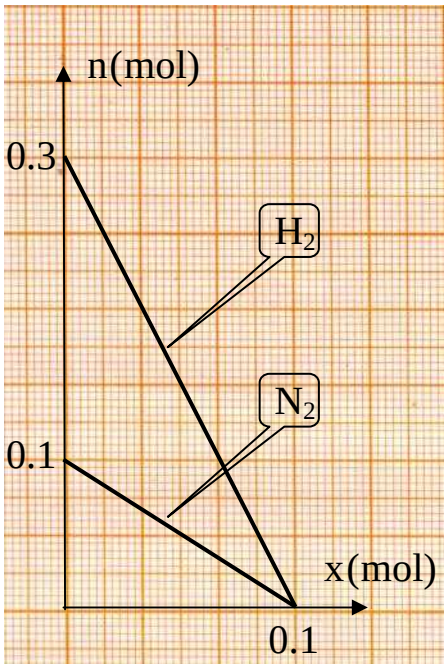
$n_f(CO_2) = x_{max} = 0{,}1\ mol$

$$n_f(CO_2) = \frac{V(CO_2)}{V_M} \rightarrow V(CO_2) = n_f(CO_2) \cdot V_M$$

$V(CO_2) = 0{,}1 \cdot 22.4 = 2.24\ L$

التمرين (3) : (التمرين : 002 في بنك التمارين على الموقع)

تمثل الوثيقة الآتية تغيرات $n(N_2)$ و $n(H_2)$ بدلالة تقدم التفاعل x ، خلال التحول الكيميائي الحادث عند مزج حجمين من غازي الآزوت N_2 و الهيدروجين H_2 في الشرطين النظاميين ، لينتج اثر ذلك غاز النشادر NH_3 في شروط معينة .



1- أكتب معادلة التفاعل المنمذج لهذا التحول .
3- اعتمادا على الوثيقة :
أ- هل يوجد متفاعل محد ؟ برر إجابتك .
ب- عين كميات المادة الابتدائية للمتفاعلات و كذا قيمة التقدم الأعظمي .
3- مثل جدول تقدم التفاعل ثم أوجد :
أ- حجم غازي الهيد وجين H_2 و الآزوت N_2 قبل حدوث التفاعل (الحالة الابتدائية) .
ب- حجم غاز النشادر NH_3 الناتج في نهاية التفاعل .
جـ- كتلة غاز الهيدروجين المتفاعلة في نهاية التفاعل .
4- مثل المنحنى البياني $n(NH_3) = f(x)$. يعطى : $M(H) = 1\ g/mol$.
يعطى : $V_M = 22.4\ L/mol$ ، $M(H) = 1\ g/mol$.

الأجوبة :

1- معادلة التفاعل :

$$3H_{2\,(g)} + N_{2\,(g)} = 2NH_{3\,(g)}$$

2- لا يوجد متفاعل محد لأن كل من H_2 و N_2 اختفى كليا عند نهاية التفاعل و ذلك اعتمادا على الوثيقة ، بمعنى أن التحول الكيميائي الحادث في شروط ستوكيومترية .
3- أ- كميات المادة الابتدائية للمتفاعلات :
من الوثيقة :

$n_0(H_2) = 0.3\ mol$
$n_0(N_2) = 0.1\ mol$

ب- التقدم الأعظمي x_{max} :
من الوثيقة و عند نهاية التفاعل أين تختفي كل كميتي مادة غاز الهيدروجين و الأكسجين يكون : $x_{max} = 0.1\ mol$.
4- جدول التقدم :

الحالة	التقدم	$3\,H_2$	+ N_2	= $2NH_3$
ابتدائية	$x = 0$	0.3	0.1	0
انتقالية	x	0.3 - x	0.1 - x	2x
نهائية	$x_f = x_{max}$	0.3 - x_{max}	0.1 - x_{max}	2 x_{max}

أ- حجمي غازي H_2 ، N_2 قبل حدوث التفاعل :

- $n_0(H_2) = \dfrac{V(H_2)}{V_M} \rightarrow V_0(H_2) = n_0(H_2).V_M$

$$V_0(H_2) = 0.3.22.4 = 6.72\ L$$

- $n_0(N_2) = \dfrac{V(N_2)}{V_M} \rightarrow V_0(N_2) = n_0(N_2).V_M$

$$V_0(H_2) = 0.1.22.4 = 2.24\ L$$

ب- حجم غاز النشادر NH_3 في نهاية التفاعل :
عند نهاية التفاعل و اعتمادا على جدول التقدم ، كمية مادة NH_3 الناتجة في نهاية التفاعل هي :
$n_f(NH_3) = 2\ x_{max} = 2\ .\ 0.1 = 0.2\ mol$

و لدينا :

$$n_f(NH_3) = \frac{V_f(NH_3)}{V_M} \rightarrow V_f(NH_3) = n_f(NH_3) . V_M$$

$$V_f(NH_3) = 0.2 \ . \ 22.4 = 4.48\ L$$

جـ- كتلة غاز الهيدروجين المتفاعلة في نهاية التفاعل :

من جدول التقدم ، كمية مادة H_2 المتفاعلة في نهاية التفاعل هي :

$$n_f(H_2) = 3x_{max} = 3 \ . \ 0.1 = 0.3\ mol$$

و لدينا :

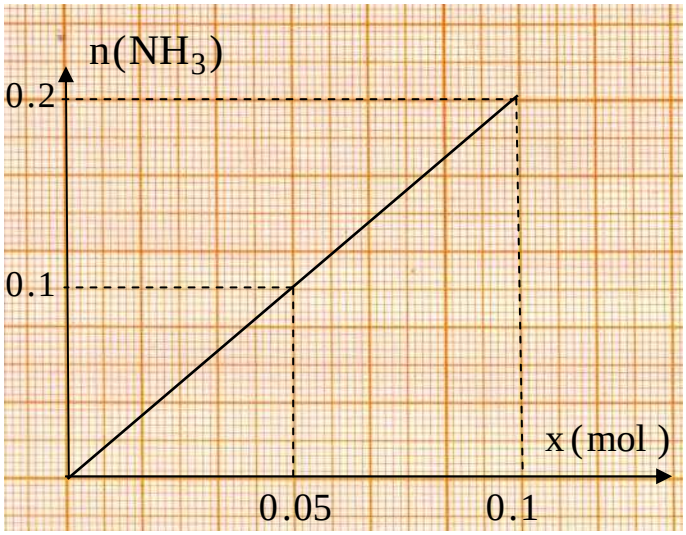
$$n_f(H_2) = \frac{m_f(H_2)}{M(H_2)} \rightarrow m_f(H_2) = n_f(H_2) . M(H_2)$$

- $M(H_2) = 2 \ . \ 1 = 2\ g/mol$
- $m_f(NH_3) = 0.3 \ . \ 2 = 0.6\ g$

5- المنحنى $n(NH_3) = f(x)$:

x (mol)	0	0.05	0.1
$N(NH_3) = 2x$	0	0.1	0.2

و منه المنحنى البياني $n(NH_3) = f(x)$ يكون كما يلي :



التراكيز المولية لمحلول بشوارده

● التركيز المولي لمحلول بشواردة :

نعتبر نوع كيميائي من الشكل $A_\alpha B_\beta$ ، ينحل في حجم V من الماء المقطر ، التفاعل الكيميائي المنمذج لهذا الانحلال يعبر عنه بالمعادلة الكيميائية التالية :

$$A_\alpha B_\beta = \alpha\, A^{n+} + \beta\, B^{m-}$$

إذا كانت n_0 هي كمية المادة للنوع الكيميائي $A_\alpha B_\beta$ المنحلة في حجم V من الماء المقطر يعبر عن التركيز المولي للمحلول الناتج بالعبارة :

$$C = \frac{n_0}{V}$$

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

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

حين $n(A^{n+})$ ، $n(B^{m-})$ هي كمية المادة لكل من A^{n+} و B^{m-} في المحلول الناتج .

● العلاقة بين التركيز المولي للمحلول بالتركيز المولي للمحلول بشواردة :

نمثل جدول التقدم للتفاعل المنمذج لانحلال النوع الكيميائي $A_\alpha B_\beta$ في الماء المقطر (التحول السابق) .

الحالة	التقدم	$A_\alpha B_\beta$ =	$\alpha\, A^{n+}$ +	$\beta\, B^{m-}$
ابتدائية	$x = 0$	n_0	0	0
انتقالية	x	$n_0 - x$	$\alpha\, x$	$\beta\, x$
نهائية	$x_f = x_{max}$	$n_0 - x_{max}$	$\alpha\, x_{max}$	$\beta\, x_{max}$

- لدينا :

- $C = \frac{n_0}{V}$
- $[A^{+n}] = \frac{n(A^{+n})}{V} \rightarrow [A^{n+}] = \frac{\alpha\, x_{max}}{V}$
- $[B^{m-}] = \frac{n(B^{m-})}{V} \rightarrow [B^{m-}] = \frac{\beta\, x_{max}}{V}$

من جدول التقدم و في حالة أن التفاعل تام بمعنى النوع الكيميائي $A_\alpha B_\beta$ انحل كليا في الماء يكون :

$n_0 - x_{max} = 0 \rightarrow x_{max} = n_0$

ليصبح :

$$\left[A^{n+}\right]=\frac{\alpha\, n_0}{V}=\alpha\frac{n_0}{V} \rightarrow \left[A^{n+}\right]=\alpha\, C$$

$$\left[B^{m-}\right]=\frac{\beta\, n_0}{V}=\beta\frac{n_0}{V} \rightarrow \left[B^{m-}\right]=\beta\, C$$

نتيجة :

في محلول مائي شاردي (لا يكون وسط تفاعلي) تركيزه المولي C و صيغة الشاردية ($\alpha\, A^{n+} + \beta\, B^{m-}$) يكون :

$$\boxed{\left[A^{n+}\right]=\alpha\, C \;\;,\;\; \left[B^{m-}\right]=\beta\, C}$$

مثال :

- لدينا محلول كبريتات الحديد الثلاثي ($2Fe^{3+} + 3SO_4^{2-}$) ، تركيزه المولي C = 0.2 mol/L ، في هذا المحلول يكون :

$$\left[Fe^{3+}\right]=2\, C=2\,.\,0.2=0.4\ mol/L$$

$$\left[SO4^{2-}\right]=3\, C=3\,.\,0.2=0.6\ mol/L$$

التمرين (4) : (التمرين : 003 في بنك التمارين على الموقع)

- الجدول التالي يعطي أسماء لبعض الشوارد الموجبة و السالبة :

الشاردة	اسمها	الشاردة	اسمها
Na^+	الصوديوم	Cl^-	الكلور
K^+	البوتاسيوم	NO_3^-	النترات
Ca^{2+}	الكالسيوم	MnO_4^-	البرمنغنات
Fe^{2+}	الحديد الثنائي	$Cr_2O_7^{2-}$	ثنائي الكرومات
Fe^{3+}	الحديد الثلاثي	SO_4^{2-}	الكبريتات
Na^+	الصوديوم	HO^-	الهيدروكسيد
		$S_2O_8^{2-}$	البيروكسوديكبريتات
		$S_2O_3^{2-}$	الثيوكبريتات

1- أكتب الصيغة الشاردية و الصيغة الإحصائية (المجملة) للأنواع الكيميائية التالية :

- كلور الصوديوم .
- هيدروكسيد الحديد الثلاثي .
- كبريتات الحديد الثلاثي .
- كلور الحديد الثنائي .
- نترات البوتاسيوم .
- بيروكسوديكبريتات البوتاسيوم .
- هيدروكسيد الصوديوم .
- برمنغنات البوتاسيوم .
- ثيوكبريتات الصوديوم .
- هيدروكسيد الكالسيوم .
- ثنائي كرومات البوتاسيوم .

2- محلول (S) لكبريتات الحديد الثلاثي حجمه V = 100 mL و تركيزه المولي C = 2 mol/L ، أحسب كمية مادة شوارد الحديد الثنائي Fe^{3+} و كمية مادة شوارد الكبريتات SO_4^{2-} المنحلتين في المحلول (S) .

الأجوبة :

1- الصيغة الشاردية للمحاليل و الصيغة الإحصائية للأنواع الكيميائية المنحلة في هذه المحاليل .

اسم النوع الكيميائي	الصيغة الشاردية	الصيغة المجملة
كلور الصوديوم	$(Na^+ + Cl^-)$	$NaCl$
كلور الحديد الثنائي	$(Fe^{2+} + 2Cl^-)$	$FeCl_2$
هيدروكسيد الصوديوم	$(Na^+ + HO^-)$	$NaOH$
هيدروكسيد الكالسيوم	$(Ca^{2+} + 2HO^-)$	$Ca(OH)_2$
هيدروكسيد الحديد الثلاثي	$(Fe^{3+} + 3HO^-)$	$Fe(OH)_3$
نترات البوتاسيوم	$(K^+ + NO_3^-)$	KNO_3
برمنغنات البوتاسيوم	$(K^+ + MnO_4^-)$	$KMnO_4$
ثنائي كرومات البوتاسيوم	$(2K^+ + Cr_2O_7^{2-})$	$K_2Cr_2O_7$
كبريتات الحديد الثلاثي	$(2Fe^{3+} + 3SO_4^{2-})$	$Fe_2(SO_4)_3$
بروكسوديكبريتات البوتاسيوم	$(2K^+ + S_2O_8^{2-})$	$K_2S_2O_8$
ثيوكبريتات الصوديوم	$(2Na^+_{(aq)} + S_2O_3^{-2})$	$Na_2S_2O_3$

2- كمية مادة شوارد الكبريتات SO_4^{2-} و كمية مادة شوارد الحديد الثنائي Fe^{3+} المنحلة في المحلول (S) :

الصيغة الشاردية محلول كبريتات الحديد الثلاثي هي ($3Fe^{3+} + 3SO_4^{2-}$) لذلك يكون :

$$n(Fe^{3+}) = [Fe^{3+}]V = 2C\,V = 2.2.0.1 = 0.4\,mol$$

$$n(SO_4^{2-}) = [SO_4^{2-}]V = 3C\,V = 3.2.0.1 = 0.6\,mol$$

التمرين (5) : (التمرين : 004 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 :

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

1- على ماذا يدل اختفاء اللون الأزرق .

2- أنشئ جدول التقدم لهذا التفاعل .

3- أوجد الأعظمي x_{max} في نهاية التفاعل محددا المتفاعل المحد .

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

أ- كتلة النحاس المترسبة .

ب- كتلة الألمنيوم المتبقية .

جـ- كتلة الألمنيوم 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 (الإحصائية)

يعطى : $M(Al) = 27\ g/mol$ ، $M(Cu) = 63.5\ g/mol$.

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	$x_f = x_{max}$	$0.5 - 2x_{max}$	$0.36 - 3x_{max}$	$2x_{max}$	$3x_{max}$

$$n_0(Cu^{2+}) = [Cu^{2+}]V = CV = 0.6 \,.\, 0.6 = 0.36\ mol$$

$$n_0(Al) = \frac{m(Al)}{M} = \frac{13.5}{27} = 0.5\ mol$$

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

- إذا اختفى Al كليا :

$$0.5 - 2x_{max} = 0 \rightarrow x_{max} = 0.25$$

- إذا اختفى Cu^{2+} كليا :

$$0.36 - 3\,x_{max} = 0 \rightarrow x_{max} = 0.12\ mol$$

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 :

$$n_fCu) = 3x_{max} = 3 \,.\, 0.12 = 0.36\ mol$$

و منه :

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

$$m_f(Cu) = 0.36 \,.\, 63.5 = 22.86\ g$$

ب- كتلة الألمنيوم المتبقية :

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

$$n_f(Al) = 0.5 - 2x_{max} = 0.5 - (2 \,.\, 0.12) = 0.26\ mol$$

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

$$m_f(Al) = 0.26 \,.\, 27 = 7.02\ g$$

جـ- كتلة الألمنيوم المتفاعلة :

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

$$n_f(Al) = 2x_{max} = 2 \cdot 0.12 = 0.24 \text{ mol}$$

و منه :

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

$$m_f(Al) = 0.24 \cdot 27 = 6.48 \text{ g}$$

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

$$\left[Al^{3+}\right]_f = \frac{n_f(Al^{3+})}{V} \quad (V = 600 \text{ mL} = 0.6 \text{ L})$$

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

$$n_f(Al^{3+}) = 2x_{max} = 2 \cdot 0.12 = 0.24 \text{ mol}$$

بالتعويض في عبارة $\left[Al^{3+}\right]_f$ نجد :

$$\left[Al^{3+}\right]_f = \frac{0.24}{0.6} = 0.4 \text{ mol/L}$$

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 :

$$Al_2(SO_4)_3$$