الوحـــــــدة الأولـــــى

المتابعة الزمنية لتحول كيميائي في وسط مائي

1ـ المدة المستغرقة في تحول كيميائي :

من خلال دراستنا ، مرعلينا أن الأنواع الكيميائية تتغير خصائصها وتركيبها عندما يحدث لها تحولا كيميائيا

ـ طرح الإشكالية : هل تستغرق التحولات الكيميائية نفس المدة الزمنية لتصل إلى حالتها النهائية ؟

نشاطات : تصنيف التحولات الكيميائية

نشاط 1 :

نضيف قطرات من محلول هيدروكسيد الصوديوم إلى أنبوب يحتوي على محلول كبريتات النحاس الثنائية.

نشاط 2 :

نضيف قطرات من كاشف أزرق البروموتيمول إلى حجم صغير من حمض الخل.

نشاط 3 :

نضيف كمية صغيرة من بلورات برمنغنات البوتاسيوم $KMnO_4$ إلى حجم $V = 5ml$ من الماء الأكسجيني H_2O_2

نشاط 4 :

نمزج حجم $V = 100cm^3$ من محلول حمض الأكساليك $H_2C_2O_{4(aq)}$ مع $(1ml)$ من محلول برمنغنات البوتاسيوم $\left(K^+ + MnO_4^-\right)$.

نشاط 5 :

نضع صفيحة من الزنك داخل حجم معين من محلول كبريتات النحاس الثنائية.

نشاط 6:

نذيب بعض بلورات من برمنغنات البوتاسيوم في الماء المقطر ثم نضع المحلول في قارورة .

الأسئلة :

1ـ ماذا يحدث بمجرد تلامس المتفاعلين في كل تجربة ؟

2ـ راقب التحول الكيميائي الحادث في التجربتين 4 و 5 لمدة $1/2h$ وسجل ملاحظاتك.

3ـ راقب التحول الكيميائي الحادث في التجربة 6 لمدة $1/2h$ وسجل ملاحظاتك.

قارن بين تطور التحول الكيميائي الحادث في التجربة 6 وتطور التحول الحادث في قارورة محضرة من طرف المخبري منذ عدة أشهر.

4- قارن بين التحولات الكيميائية الثلاثة من حيث المدة الزمنية.

5- من بين التحولات المدروسة، ماهي التحولات الممكن متابعة تطورها بالعين المجردة أو بأدوات القياس ؟

2- المتابعة الزمنية لتحول كيميائي .

2-1- بعض طرق المتابعة:

تهدف المتابعة الزمنية لتحول كيميائي بمراقبة كميات المادة المتبقية أو المتشكلة لمتفاعلات أو نواتج في لحظات مختلفة، لتحديد التقدم x(t) لغرض معرفة تركيب الجملة في أية لحظة.

الطريقة الفيزيائية :

تستعمل هذه الطريقة عندما تكون إحدى المقادير الفيزيائية القابلة للقياس في الوسط التفاعلي تتعلق بتركيز بعض الأنواع الكيميائية الموجودة في الوسط التفاعلي :

الناقلية: إذا استهلكت أو نتجت أيونات خلال التحول.

$$(CH_3)_3CCl(aq)+H_2O(l)=(CH_3)_3COH(aq)+H^+(aq)+Cl^-(aq)$$

قياس ال PH : إذا استهلكت أو نتجت أيونات $H^+_{(aq)}$ خلال التحول.

$$(CH_3)_3CCl(aq)+H_2O(l)=(CH_3)_3COH(aq)+H^+(aq)+Cl^-(aq)$$

قياس الحجم: إذا استهلك أو نتج غاز خلال التحول.

$$2H^+(aq)+2Cl^-(aq)+Zn(s)=H_2(g)+Zn^{2+}(aq)+2Cl^-(aq)$$

قياس الضغط: إذا كان التفاعل ينتج أو يستهلك غازات.

$2NO_2(g)=N_2(g)+2O_2(g)$ أو $2H^+(aq)+Mg(s)=H_2(g)+Mg^{2+}(aq)$

الطريقة الكيميائية :

سلطانترتكز على معايرة أحد الأنواع الكيميائية الذي يتميز بلونه .

2-2- المتابعة الزمنية لتحول كيميائي عن طريق قياس الناقلية

نشاط تجريبي رقم 01 :

سلطانيتفاعل 2-كلورو-2-ميثيل بروبان مع الماء في خليط من الماء والكحول بتفاعل تام حسب المعادلة:

$$C_4H_9Cl(l)+2H_2O(l)=C_4H_9OH(aq)+H_3O^+(aq)+Cl^-(aq)$$

هذا التفاعل ينتج شوارد $H_3O^+(aq)$ و $Cl^-(aq)$ و التي تتحكم في قيمة الناقلية النوعية σ للمحلول (الوسط التفاعلي).

نصب في بيشر كمية من الماء و الكحول و نضيف للخليط $1ml$ من 2-كلورو-2-ميثيل بروبان.

الشكل- 1-

من أجل متابعة هذا التحول نغمر في البيشر مسبار (sonde) جهاز الناقلية كما هو مبين في الشكل المقابل .

نرج المزيج ثم نشغل الكرونومتر عند اللحظة $(t=O)$ ونسجل قيمة الناقلية النوعية σ في لحظات مختلفة ونسجل النتائج في الجدول التالي :

t(min)	0	3	6	9	13	16	19	22	25	28	31
σ(S/m)	0	0,49	0.98	1 ,27	1,46	1,66	1,76	1,85	1,90	1,95	1.95

1ـ أنجز جدول تقدم التفاعل.

2ـ أكتب عبارة الناقلية النوعية $\sigma(t)$ بدلالة التقدم $X\ (t)$ والناقليات المولية الشاردية $\left(\lambda_{Cl^-}\ و\ \lambda_{H_3O^+}\right)$ و V حجم المزيج

ـ استنتج عبارة $X\ (t)$ بدلالة: $\sigma(t)$ و $\left(\lambda_{Cl^-}\ و\ \lambda_{H_3O^+}\right)$ و V.

3- أكتب عبارة الناقلية النوعية σ_f بدلالة كمية المادة الإبتدائية $n_0\left(C_4H_9Cl\right)$ و V، و $\left(\lambda_{Cl^-}\ و\ \lambda_{H_3O^+}\right)$.

ـ استنتج العلاقة بين: $\sigma(t)$ و σ_f و $n_0\left(C_4H_9Cl\right)$ و $X\ (t)$.

ـ أكمل الجدول التالي:

t(min)	0	3	6	9	13	16	19	22	25	28	31
σ(S/m)	0	0,49	0.98	1 ,27	1,46	1,66	1,76	1,85	1,90	1,95	1.95
X(m mol)											

4ـ ارسم المنحنى البياني $X=f\ (t)$ ، ماذا تستنتج؟

يعطى: الكتلة الحجمية للمركب $\left(C_4H_9Cl\right)$: $\rho=0,85g/ml$

2 ـ 3 ـ المتابعة الزمنية لتحول كيميائي عن طريق المعايرة

نشاط تجريبي رقم 02 :

- I

في اللحظة $(t=0)$ نضع $100ml$ من محلول بيروكسيوديكبريتات البوتاسيوم $\left(2K^{+}+S_2O_8^{-}\right)$ ذوا التركيز $C_2=0,036mol/l$ في بيشر موضوع فوق مخلاط مغناطيسي و يحتوي على $100ml$ من محلول يود البوتاسيوم $\left(K^{+}+I^{-}\right)$ ذي التركيز المولي $C_1=0,4mol/l$.

1ـ كيف يظهر عمليا تطور الجملة ؟

2ـ أكتب معادلة التفاعل الحادث(1) علما أن الثنائيات (OX/Red) الداخلة في التفاعل هي: $\mathbf{S_2O_8^{2-}{}_{(aq)}/\ SO_4^{2-}{}_{(aq)}}$; $\mathbf{I_{2(aq)}/\ I^{-}_{(aq)}}$

3ـ أنجز جدولا لتقدم التفاعل(1) .

4ـ أوجد العلاقة بين كمية اليود n_{I_2} المتشكل، وتقدم التفاعل $X\ (t)$.

- II

لتعيين كمية ثنائي اليود المتشكلة عند لحظة t نأخذ في كل مرة من المزيج حجما $V=10ml$ ونضعه في وعاء بيشر يحتوي على ماء شديد البرودة ثم نقوم بعملية المعايرة باستعمال محلول ثيوكبريتات الصوديوم $(2Na^{+}+S_2O_3^{2-})_{(aq)}$. تركيزه $C_3=0,02mol/l$ نضيف قطرات من صمغ النشاء أو التيودان حيث يصبح المحلول أزرق ثم نواصل عملية المعايرة .

نسجل الحجم المضاف عند التكافؤ V_{eq} (عند التكافؤ يزول اللون الأزرق دلالة على اختفاء ثنائي اليود كليا) .

الجدول التالي يوضح نتائج المعايرة :

$t\,(\min)$	0	3	6	9	12	16	20	30	40	50	60
$V_{eq}\,(ml)$	0,0	2,5	5,1	7,1	8,4	10,6	11,4	14,1	15,6	16,1	16,4

1ـ لماذا نضيف الماء البارد إلى العينة المأخوذة قبل المعايرة .

2ـ ما هو البروتوكول التجريبي الذي يمكن إتباعه في عملية المعايرة.

3ـ أكتب معادلة التفاعل(2) تفاعل المعايرة علما أن الثنائيات الثنائيات (OX/Red) الداخلة في التفاعل هي:

$\mathbf{(S_4O_6^{2-}{}_{(aq)}/\ S_2O_3^{2-}{}_{(aq)})}$ ، $\mathbf{(I_{2(aq)}/\ I^{-}_{(aq)})}$

4ـ أنجز جدولا لتقدم التفاعل(2) .

5ـ أوجد العلاقة بين $n_0\left(I_2\right)$ المتشكلة من أجل الوسط التفاعلي $V=10ml$ والحجم V_{eq}.

6ـ أوجد العلاقة بين $n\left(I_2\right)$ المتشكلة من أجل الوسط التفاعلي $V=200ml$ والحجم V_{eq}.

ـ استنتج العلاقة بين تقدم التفاعل $X\ (t)$ و V_{eq}

ـ باستخدام العلاقة السابقة أكمل الجدول التالي :

$t\,(\min)$	0	3	6	9	12	16	20	30	40	50	60
$X\ (mmol)$											

7ـ باستخدام سلم الرسم: $\begin{cases} X\ (mmol)\Rightarrow 1Cm\rightarrow 0.5mmol \\ t\,(\min)\Rightarrow 1Cm\rightarrow 10\min \end{cases}$

ـ أرسم المنحنى البياني: $X=f\ (t)$

ـ ماذا تستنتج ؟.

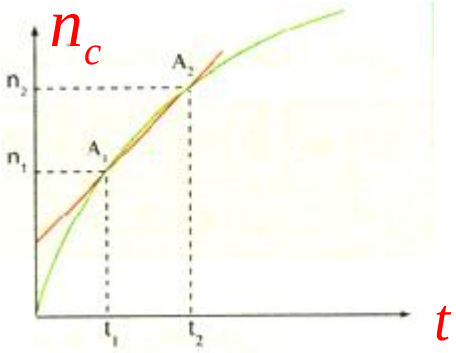
3 ـ سرعة التفاعل :

طرح الإشكالية :

ماهي سرعة التحول الكيميائي؟، ماهي أهمية دراستها، وما هي العوامل المؤثرة عليها؟

لتكن معادلة التفاعل التالية : $a.A + b.B = c.C + d.D$

3-1 ـ سرعة تشكيل النوع الكيميائي (C):

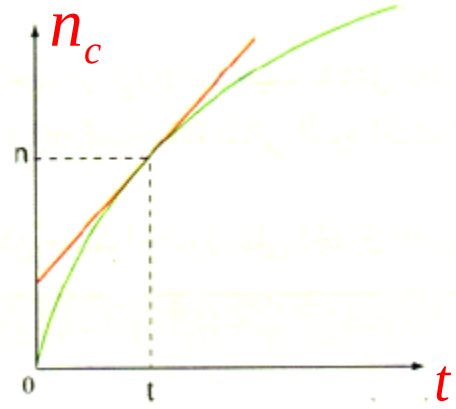


أ ـ السرعة المتوسطة لتشكيل النوع الكيميائي (C) : v_m

تعطى بالعلاقة : $v_m\,(mol/s) = \dfrac{n_2 - n_1}{t_2 - t_1} = \dfrac{\Delta n_C}{\Delta t}$

أ ـ السرعة اللحظية لتشكيل النوع الكيميائي (C) :

إذا كان قياس Δn في فترات زمنية صغيرة جدا فإن السرعة المتوسطة تؤول إلى قيمة حدية v تدعى بالسرعة اللحظية.



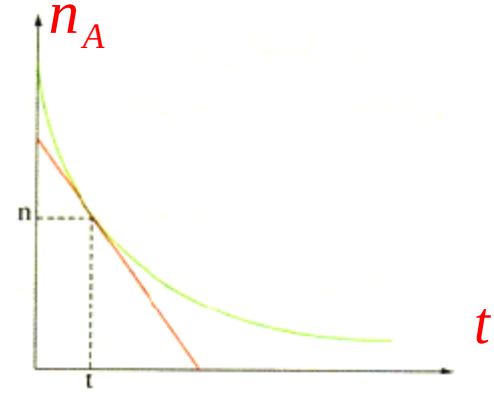
$$v\,(mol/s) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{dn_C}{dt}$$

و تمثل بيانيا ميل المماس للمنحنى $n_c = f(t)$ عند تلك اللحظة t

3-2 ـ سرعة إختفاء النوع الكيميائي (A):

أ ـ السرعة المتوسطة لاختفاء النوع الكيميائي (A)

تعطى بالعلاقة : $v_m\,(mol/s) = -\dfrac{n_2 - n_1}{t_2 - t_1} = -\dfrac{\Delta n_A}{\Delta t}$



أ ـ السرعة اللحظية لاختفاء النوع الكيميائي (A) :

تعطى بالعلاقة : $v\,(mol/s) = -\dfrac{dn_A}{dt} = \dfrac{|dn_A|}{dt}$

ملاحظة : الإشارة السالبة تعني فقط أن النوع الكيميائي (A) في تناقص

ـ تمرين تطبيقي :

استعمال المنحنى البياني $x = f(t)$ السابق في المتابعة الزمنية لتحول كيميائي عن طريق المعايرة أحسب سرعة التفاعل عند اللحظات $(t_1 = 3\,min; t_2 = 16\,min; t_3 = 50\,min)$

3-3- السرعة الحجمية لتشكل وإختفاء نوع كيميائي :

لتكن معادلة التفاعل التالية: $a.A + b.B = c.C + d.D$

إذا كان التفاعل يتم في وسط مائي حجمه V تعرف السرعة الحجمية لتشكل النوع الكيميائي (C) بالعلاقة :

$$v_C\left(mol/l.s\right) = \frac{1}{V}.\frac{dn_C}{dt}$$

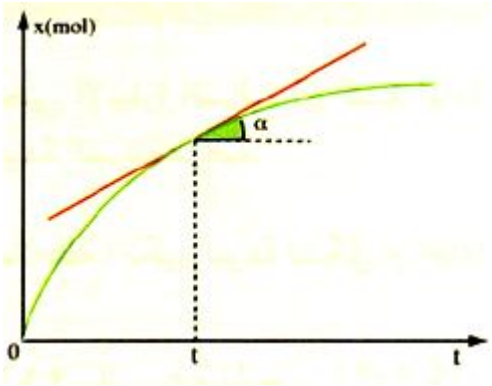
و تعرف كذلك السرعة الحجمية لاختفاء النوع الكيميائي (A) بالعلاقة:

$$v_A\left(mol/l.s\right) = -\frac{1}{V}.\frac{dn_A}{dt}$$

- إذا كان حجم الوسط التفاعلي ثابت $(V = cte)$ فإن:

$$\left.\begin{matrix} n_c = [C].V \\ n_A = [A].V \end{matrix}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{matrix} v_C = \frac{1}{V}.\frac{d\left([C].V\right)}{dt} = \frac{V.d\left([C]\right)}{V.dt} = \frac{d\left([C]\right)}{dt} \\ v_A = -\frac{1}{V}.\frac{d\left([A].V\right)}{dt} = -\frac{V.d\left([A]\right)}{V.dt} = -\frac{d\left([A]\right)}{dt} \end{matrix}\right.$$

- ليكن X هو تقدم التفاعل.



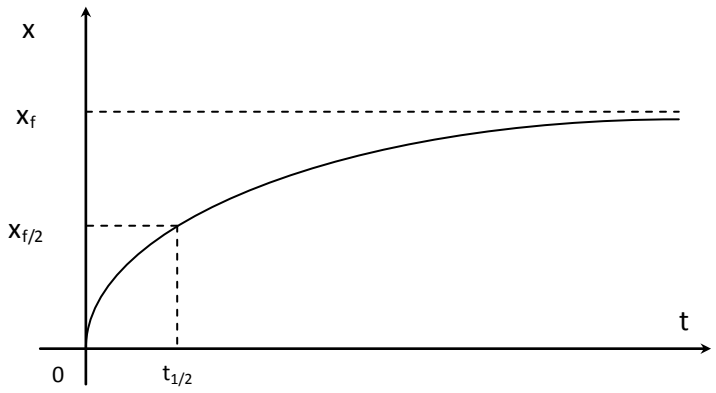
- نعرف سرعة التفاعل عند اللحظة t بالعلاقة: $v\left(mol/s\right) = \frac{dx}{dt}$

- إذا كان حجم الوسط التفاعلي ثابت $(V = cte)$ فإن السرعة الحجمية للتفاعل تعطى بالعلاقة :

$$\boxed{v\left(mol/l.s\right) = \frac{1}{V}\frac{dx}{dt}}$$

3-4- زمن نصف التفاعل $t_{1/2}$:

هو المدة اللازمة ليبلغ التقدم نصف قيمته النهائية.



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

ملاحظة:

عند تبلغ كمية مادة نوع كيميائي أو تركيزه نصف قيمته النهائية x_f (أو نصف قيمته الأعظمية x_{max} في حالة تفاعل تام).

تمرين تطبيقي:

باستغلال المنحنى البياني $x = f(t)$ السابق في المتابعة الزمنية لتحول كيميائي عن طريق المعايرة حدد زمن نصف التفاعل.

4- العوامل الحركية:

نسمي عاملا حركيا لتفاعل كيميائي كل ما يغير من سرعة التفاعل.

4-1- تأثير درجة الحرارة :

- عمل مخبري:

نشاط (01) : تفاعل حمض الأكساليك $C_2H_2O_4$ مع برمنغنات البوتاسيوم $(K^+ + MnO_4^-)$ في درجتي حرارة مختلفتين.

نضع في بيشرين 1 و2 حجم $V = 10mL$ من حمض الأكساليك $C_2H_2O_4$ تركيزه المولي $0.5mol/L$.

نضيف إلى البيشرين 1 و 2 حجم $V = 30mL$ من محلول برمنغنات البوتاسيوم $(K^+ + MnO_4^-)$ تركيزه $0.1mol/L$

نترك البيشر 1 في درجة حرارة عادية و نضع الثاني في حمام مائي درجة حرارته $60^\circ C$.

الأسئلة :

1- قم بالتجربة ودون ملاحظاتك ؟

2- أرسم كيفيا على نفس المنحنى بيان تطور سرعة التفاعل $X = f(t)$ للتفاعل الحادث في البيشرين 1 و2.

3- ماذا تستنتج؟

4-2- تأثير التركيز الابتدائي للمتفاعلات :

نشاط (02) : تفاعل محلول ثيوكبريتات الصوديوم مع محلول حمض كلور الهيدروجين.

نضع في بيشر 1 حجم $V = 15mL$ من محلول ثيوكبريتات الصوديوم $(2Na^+ + S_2O_3^{2-})_{(aq)}$ تركيزه المولي : $0,1mol/L$

و 2 نضع في بيشر 2 نفس الحجم $V = 15mL$ من محلول ثيوكبريتات الصوديوم $(2Na^+ + S_2O_3^{2-})_{(aq)}$ تركيزه المولي : $0,05mol/L$

نضيف إلى البيشرين 1 و 2 حجم $V = 30mL$ من محلول حمض كلور الهيدروجين $(H_3O^+ + Cl^-)$.

الأسئلة :

1- قم بالتجربة ودون ملاحظاتك ؟

2- أرسم كيفيا على نفس المنحنى بيان تطور سرعة التفاعل $X = f(t)$ للتفاعل الحادث في البيشرين 1 و2.

3- ماذا تستنتج؟

4-3- تأثير الوسيط :

الوسيط هو نوع كيميائي يسرع التفاعل دون أن يظهر في معادلة التفاعل ولا يغير في الحالة النهائية للجملة.

نشاط (03) : تفكك الماء الأكسجيني H_2O_2 بوجود أنزيم الكتلاز (في الكبد) و شوارد الحديد الثلاثية Fe^{+3}.

الماء الأكسجيني H_2O_2 يلعب دور مؤكسد و مرجع في نفس الوقت هذه الظاهرة تسمى التفكك الذاتي.

أكتب معادلة التفكك الذاتي للماء الأكسجيني علما أن الثنائيات OX/Red الداخلة في التفاعل هي :

$$\left(H_2O_{2(aq)} / H_2O\right);\left(O_{2(g)} / H_2O_{2(aq)}\right)$$

نسكب في ثلاثة بياشر 1 و2 و3 حجما قدره $V = 10ml$ من الماء الأكسجيني.

- نترك البيشر 1 كشاهد .
- نضيف إلى البيشر 2 حجما من محلول كلور الحديد الثلاثية
- نضيف إلى البيشر 3 قطعة صغيرة من الكبد كمنبع لأنزيم الكتلاز.

الأسئلة :

1- قم بالتجربة ودون ملاحظاتك ؟

2- ما هو دور كل من أنزيم الكتلاز (في الكبد) و شوارد كلور الحديد الثلاثية Fe^{+3} في هذه التجارب

3- أعط تعريفا للوسيط؟

2- أرسم كيفيا على نفس المنحنى بيان تطور سرعة التفاعل $X = f(t)$ للتفاعل الحادث في البيشر 1 (حالة عدم وجود وسيط) و البيشرين 2 و 3 (حالة وجود وسيط) .

3- ماذا تستنتج؟

أنواع الوساطة :

1. الوساطة المتجانسة : إذا كان الوسيط من نفس الحالة الفيزيائية للمتفاعلات

2. الوساطة الغير المتجانسة : إذا كانت الحالة الفيزيائية للوسيط تختلف عن الحالة الفيزيائية للمتفاعلات.

3. الوساطة الأنزيمية : إذا كان الوسيط أنزيما .

التفسير المجهري :

- الحركة البرونية : وهي الحرة العشوائية السريعة للأفراد الكيميائية (ذرات ، جزيئات ، شوارد) المتواجدة في المائع تحت تأثير جزيئات هذا الأخير.

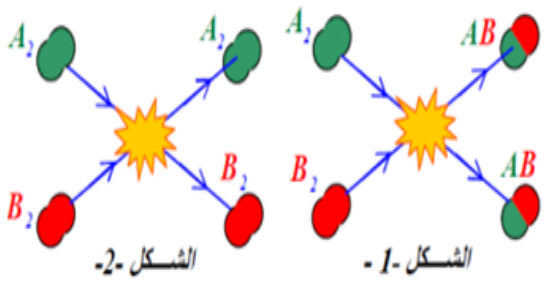
- الحركة الناتجة عن الحرارة : إن التغير في درجة حرارة المائع يؤدي إلى تغير الطاقة الحركية للأفراد الكيميائية الموجودة في المائع تسمى هذه الحركة : الحركة الحرارية.

الاصطدام الفعال :

لنعتبر فردين كيميائيين A_2B_2 تؤدي الاصطدامات فيما بينهما إلى تشكيل الجزيئات AB . لكي يكون الاصطدام فعالا (أي تشكل الجزيء AB) يجب كسر الرابطة $A-A$ و $B-B$ ، ثم تشكيل الرابطة $A-B$ وهذا يتطلب تقديم طاقة تتمثل في الطاقة الحركية للأفراد الكيميائية.

- إذا كانت هذه الطاقة كافية لحدوث التفاعل كان التصادم فعالا (شكل 1)

- إذا كانت هذه الطاقة غير كافية لحدوث التفاعل كان التصادم غير فعال (شكل 2).



الشكل -1- الشكل -2-

4-4 - أهمية العوامل الحركية :

1- تأثير درجة الحرارة :

1/ رفع درجة الحرارة لتسريع طهي الأطعمة باستخدام قدر الضغط.

2/ تبريد الأطعمة أو تجميدها بوضعها في ثلاجة للتقليل من سرعة تحللها و فسادها .

3/ السقي : التبريد المفاجئ لجملة كيميائية لتوقيف تطورها .

2- تأثير تركيز الأنواع المتفاعلة :

في الصناعة يمدد الوسط التفاعلي بالماء ، بغرض التحكم في التفاعلات العنيفة وإيقافها .

3- تأثير الوسائط :

1/ إن نوع الوسيط يحدد طبيعة النوع الكيميائي الناتج .

2/ في الطب ، الإنزيمات تساعد على التشخيص و التداوي .

3/ تستعمل الوساطة في الصناعة بشكل واسع ، خاصة في الصناعة البتروكيميائية .

ملحق للوحدة

اسم المحلول	الصيغة	الصيغة	Ox/Red	المعادلة النصفية الالكترونية	الملاحظة
ان يود البوتاسيوم	محلول مرجع	$K^+_{(aq)} + I^-_{(aq)}$	$I_{2(aq)} / I^-_{(aq)}$	$2\,I^-_{(aq)} = I_{2(aq)} + 2\,e^-$	ظهور اللون الأسمر
بيركسو ديكبرتات سلطان البوتايبوم	محلول مؤكسد	$2K^+_{(aq)} + S_2O_8^{2-}{}_{(aq)}$	$S_2O_8^{2-}{}_{(aq)} / SO_4^{2-}{}_{(aq)}$	$S_2O_8^{2-}{}_{(aq)} + 2\,e^- = 2\,SO_4^{2-}{}_{(aq)}$	
ثيوكبرتات سلطان الصوديوم	محلول مرجع	$2Na^+_{(aq)} + S_2O_3^{2-}{}_{(aq)}$	$S_4O_6^{2-}{}_{(aq)} / S_2O_3^{2-}{}_{(aq)}$	$2\,S_2O_3^{2-}{}_{(aq)} = S_4O_6^{2-}{}_{(aq)} + 2e^-$	
ن محلول ثنائي اليود	محلول مؤكسد	$I_{2(aq)}$	$I_{2(aq)} / I^-_{(aq)}$	$I_{2(aq)} + 2\,e^- = 2\,I^-_{(aq)}$	زوال اللون الأسمر
محلول الماء سلطان الأكسجيني	محلول مرجع	$H_2O_{2(aq)}$	$O_{2(g)} / H_2O_{2(aq)}$	$H_2O_{2(aq)} = O_{2(g)} + 2\,H^+_{(aq)} + 2\,e^-$	
محلول الماء سلطان الأكسجيني	محلول مؤكسد	$H_2O_{2(aq)}$	$H_2O_{2(aq)} / H_2O_{(l)}$	$H_2O_{2(aq)} + 2\,H^+_{(aq)} + 2\,e^- = 2\,H_2O_{(l)}$	
محلول برمنغانات سلطان البوتاسيوم	محلول مؤكسد	$K^+_{(aq)} + MnO_4^-{}_{(aq)}$	$MnO_4^-{}_{(aq)} / Mn^{2+}_{(aq)}$	$MnO_4^-{}_{(aq)} + 8\,H^+_{(aq)} + 5\,e^- = Mn^{2+}_{(aq)} + 4\,H_2O_{(l)}$	زوال اللون البنفسجي
محلول بيكروما سلطان البوتاسيوم	محلول مؤكسد	$2K^+_{(aq)} + Cr_2O_7^{2-}{}_{(aq)}$	$Cr_2O_7^{2-}{}_{(aq)} / Cr^{3+}{}_{(aq)}$	$Cr_2O_7^{2-}{}_{(aq)} + 14H^+_{(aq)} + 6^{e-} = 2Cr^{3+} + 7H_2O_{(l)}$	زوال اللون البرتقالي
محلول حمض سلطان الأكساليك	محلول مرجع	$H_2C_2O_{4(aq)}$	$CO_{2(g)} / H_2C_2O_{4(aq)}$	$H_2C_2O_{4(aq)} = 2CO_{2(g)} + 4H^+_{(aq)} + 4e^-$	
ن محلول كحولي	محلول مرجع	$C_nH_{2n+2}O_{(aq)}$	$C_nH_{2n}O_{2(aq)} / C_nH_{2n+2}O_{(aq)}$	$C_nH_{2n+2}O_{(aq)} + 2H_2O_{(l)} = C_nH_{2n}O_{2(aq)} + 2H^+_{(aq)} + 2e^-$	
محلول برمنغانات سلطان البوتاسيوم	محلول مؤكسد	$K^+_{(aq)} + MnO_4^-{}_{(aq)}$	$MnO_4^-{}_{(aq)} / MnO_{2(s)}$	$MnO_4^-{}_{(aq)} + 4\,H^+_{(aq)} + 3\,e^- = MnO_{2(s)} + 2\,H_2O_{(l)}$	زوال اللون البنفسجي