الكيمياء ١٢

الفصل الأول تفاعلات التأكسد (الأكسدة) والاختزال
Oxidation - Reduction Reactions

١-١ التأكسد والاختزال Oxidation -Reduction

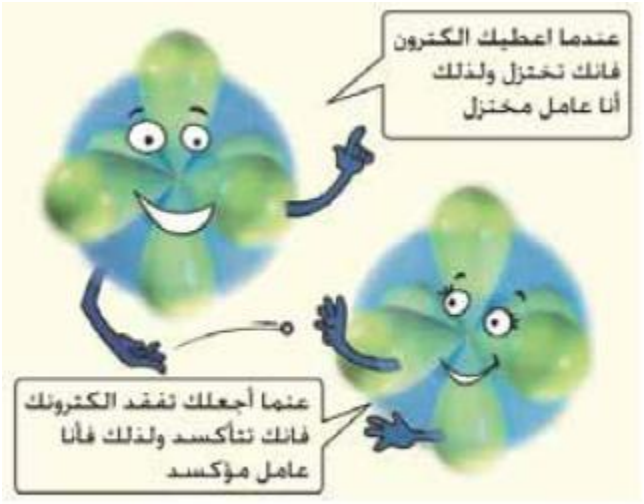
عملية التأكسد والإختزال "Redox Reaction": هما عمليتان متلازمتان, أي أنهما تحدثان في وقت واحد وفي تفاعل واحد.

تسمى عملية التأكسد: نصف تفاعل التأكسد.

تسمى عملية الإختزال: نصف تفاعل الإختزال.

(١) تفاعلات الأكسدة Oxidation reaction:

الأكسدة هي عملية فقدان للإلكترونات من قبل الذرات أو الجزيئات أو الأيونات ينتج عنها زيادة في الشحنة الموجبة أو نقصان في الشحنة السالبة.



العامل المؤكسد والعامل المختزل

(٢) تفاعلات الإختزال Reduction reaction:

هي عملية اكتساب للإلكترونات من قبل الذرات أو الجزيئات أو الأيونات ينتج عنها نقصان في الشحنة الموجبة أو زيادة في الشحنة السالبة.

إذن:

التأكسد: العملية التي يتم فيها فقد المادة للإلكترونات.
الإختزال: العملية التي يتم فيها كسب المادة للإلكترونات.
العامل المختزل: هو المادة التي تمنح الإلكترونات لمادة أخرى.
العامل المؤكسد: هو المادة التي تستقبل الألكترونات من مادة أخرى.

١-٢ عدد التأكسد Oxidation Number :

- هو عدد الشحنات الكهربية (+ أو -) التي تحملها ذرة العنصر في المركبات الكيميائية (أيونية أم تساهمية).
- ولحساب عدد التأكسد يتبع الخطوات التالية:-

الرقم	القاعدة	أمثلة
١	عدد التأكسد للذرة في أي عنصر منفرد (غير متحد) يساوي صفرا .	عدد التأكسد لكل من الصوديوم Na ، والنحاس Cu، والهيدروجين H_2 ، والكلور Cl_2 ، الماغنيسيوم Mg يساوي صفرا .

الرقم	القاعدة	أمثلة
٢	عدد التأكسد للأيون أحادي الذرة في أي مركب كيميائي يساوي الشحنة الكهربائية التي يحملها (مقدارا وإشارة).	عدد تأكسد أيون الماغنيسيوم Mg^{2+} هو+2 ، وأيون الكلوريد Cl^- هو(-1) ، و أيون الكبريتيد S^{2-} هو (-2) .

الرقم	القاعدة	أمثلة
٣	عدد تأكسد الهيدروجين في جميع مركباته يساوي (+1).	يستثنى من ذلك هيدريدات الفلزات مثل NaH ، LiH،CaH_2 فيكون عدد تأكسد الهيدروجين في كل منها (-1) .

الرقم	القاعدة	أمثلة
٤	عدد تأكسد الأكسجين في جميع مركباته يساوي (- 2).	يستثنى من ذلك فوق الأكاسيد مثل فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 ، فوق أكسيد البوتاسيوم K_2O_2 فيكون عدد تأكسد الأكسجين فيها هو (-1) ،وفي فلوريد الأكسجين OF_2 يكون عدد تأكسد الأكسجين (+2) وذلك لأن للفلور سالبية كهربائية أكبر من الأكسجين.

الرقم	القاعدة	أمثلة
٥	عدد التأكسد لكل عنصر من عناصر المجموعات (1، 2، 3) في مركباته يساوي رقم المجموعة مسبوقا بالإشارة الموجبة .	عدد تأكسد K في K_2SO_4 يساوي $(+1)$ ، عدد تأكسد Ca في $Ca(NO_3)_2$ يساوي $(+2)$.

الرقم	القاعدة	أمثلة
٦	عددتأكسد الهالوجينات ($C1$, Br , I) في مركباتها يساوي (-1) أما في مركباتها الأكسجينية فلها أعداد تأكسد موجبة تتراوح بين $+1$ و$+7$، ما عدا الفلور في مركباته فهو دائما (-1) .	عدد تأكسد الكلور في $A1C1_3$ يساوي (-1) ، عدد تأكسد البروم في $MgBr_2$ يساوي (-1).

الرقم	القاعدة	أمثلة
٧	مجموع أعداد التأكسد للذرات المكونة لجزيء مركب متعادل يساوي صفرا أي أن (مجموع الشحنات الموجبة = مجموع الشحنات السالبة) .	في حمض الكبريتيك H_2SO_4 يكون : [عدد تأكسد (4) ذرات أكسجين (O)] + [عدد تأكسد ذرة كبريت (S)] + [عدد تأكسد (2) ذرة هيدروجين (H)] = صفرا .

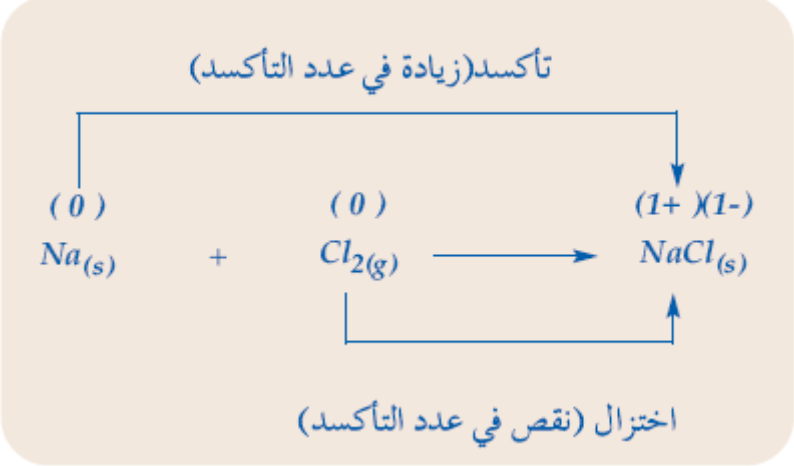
الرقم	القاعدة	أمثلة
٨	مجموع أعداد التأكسد للذرات المكونة لأيون عديد الذرات يساوي شحنة هذا الأيون مقدارا وإشارة (أي يساوي الفرق بين الشحنات الموجبة والسالبة)	في الأيون MnO_4^- يكون : [عدد تأكسد (4) ذرات (O)] + [عدد تأكسد لذرة (Mn)] = -1

١-٣ تفاعلات التأكسد والاختزال بمفهوم عدد التأكسد
Redox Reactions Using Oxidation Number Concept

باستخدام عدد التأكسد يمكن توضيح عمليتي التأكسد والاختزال, العامل المؤكسد والعامل المختزل وكذلك التغير في عدد التأكسد كالآتي:-

١- تحسب عدد تأكسد كل عنصر وبعد التفاعل.

٢- العناصر التي حدث لها تغير في عدد التأكسد يكون قد حدث لها تأكسد أو اختزال, أما العناصر التي لم يحدث لها تغير في عدد التأكسد فهي لم تتأكسد ولم تختزل.



إذن يمكن معرفة الآتي:

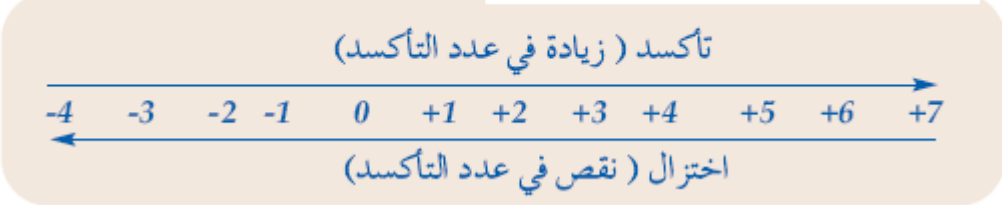
التأكسد: هو زيادة في عدد التأكسد.

الإختزال: هو نفصان في عدد التأكسد.

العامل المؤكسد: هو المادة التي تحتوي على عنصر ينقص عدد تأكسده.

العامل المختزل: هو المادة التي تحتوي على عنصر يزيد عدد تأكسده.

ويمكن الاستعانة بالمخطط التالي لمعرفة التغير في أعداد التأكسد:



٣- قد تسلك المواد في بعض التفاعلات حسب طبيعة الوسط الذي يتم فيه التفاعل كالتالي

سلوك العامل المؤكسد　　سوك العامل المختزل

أكسيد الكبريت (SO_2) سلوك العامل المؤكسد عند تفاعله مع الهيدروجين، كما في المعادلة :

$$SO_{2\,(g)} + 2H_{2(g)} \longrightarrow S_{(s)} + 2H_2O_{(l)}$$

ويسلك سلوك العامل المختزل عند تفاعله مع الكلور كما في المعادلة :

$$SO_{2\,(g)} + Cl_{2\,(g)} + 2H_2O_{(l)} \longrightarrow 2HCl_{(aq)} + H_2SO_{4\,(aq)}$$

ويمكن تلخيص عمليتي التأكسد والاختزال بالجدول

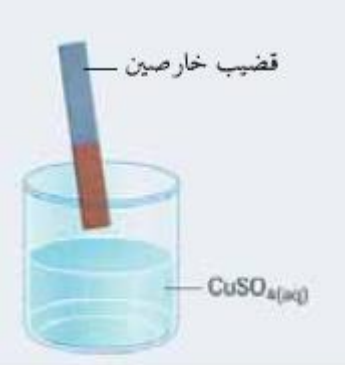
التأكسد	الاختزال
الاتحاد بالأكسجين	الاتحاد بالهيدروجين
نزع(فقدان) الهيدروجين	فقدان (نزع) الأكسجين
زيادة عدد التأكسد	نقصان عدد التأكسد
فقدان (خسارة) الإلكترونات	اكتساب الإلكترونات

٤-بعض المواد تقوم بدور العامل المختزل فقط:

إذا كانت المادة تحتوي على عنصر له أقل في عدد التأكسد فإن هذه القيمة لا يمكن أن تقل عن ذلك.

٤-١ تلقائية التفاعلات Spontaneity of Reactions:

إذا تواجدت مادتان معاً إحدهما تميل لفقد الكتروناتها وتميل الأخرى لاكتساب الالكترونات فإن تفاعل التأكسد والإختزال يحدث بينهما بصورة تلقائية



$$Zn_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} \longrightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + Cu_{(s)}$$

يكتسب إلكترونات	يفقد إلكترونات
(عملية اختزال)	(عملية تأكسد)
يقل عدد تأكسده	يزداد عدد تأكسده
عامل مؤكسد	عامل مختزل

ومن هذا الترتيب يمكن التنبؤ بتلقائية التفاعلات باستخدام القاعدة الآتية :

عامل مؤكسد+ عامل مختزل تحته في الترتيب = تفاعلا تلقائيا
عامل مؤكسد+ عامل مختزل فوقه في الترتيب = عدم حدوث تفاعل

اتجاه	$Ag^{+}_{(aq)} + e^{-} \rightleftharpoons Ag_{(s)}$	اتجاه
قوة	$Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^{-} \rightleftharpoons Cu_{(s)}$	قوة
العوامل	$Pb^{2+}_{(aq)} + 2e^{-} \rightleftharpoons Pb_{(s)}$	العوامل
المؤكسدة	$Ni^{2+}_{(aq)} + 2e^{-} \rightleftharpoons Ni_{(s)}$	المختزلة

بعض المفاهيم الهامة

✍ عندما يكون **أيون عامل مؤكسد قوي** فإن ذراته **عامل مختزل ضعيف** والعكس صحيح.

✍ وعندما تكون ذرات الفلز **عامل مختزل قوي** فإن أيوناته **عامل مؤكسد ضعيف**.

١-٥ موازنة معادلات التأكسد والاختزال Balancing Redox Equations

١-٥-١ طريقة التفاعلات النصفية Half - Reactions Method

إن معادلة التأكسد والاختزال تتكون من معادلتين تسمى كل معادلة " نصف تفاعل " أحداهما تمثل تفاعل التأكسد والأخرى تمثل تفاعل الاختزال ، ولموازنة معادلات التأكسد والاختزال بهذه الطريقة نتبع الخطوات التالية:

١- نكتب المعادلة الكلية للتفاعل ثم نفصل هذه المعادلة إلى معادلتين نصفيتين إحداهما نصف تفاعل تأكسد والأخرى نصف تفاعل اختزال .

٢- نوازن كلا من المعادلات النصفية من حيث عدد الذرات، فإذا كان هنالك فرق في عدد ذرات الأكسجين (في الوسط الحمضي) تتم إضافة جزيئات ماء (H_2O) بمقدار الفرق إلى الطرف الذي ينقصه الأكسجين وتضاف أيونات هيدروجين (H^+) إلى الطرف الآخر لمساواة أعداد الهيدروجين .

٣- نوازن كلا من المعادلات النصفية كهربائيا وذلك بإضافة إلكترونات إلى أحد طرفي المعادلة، بحيث تتساوى الشحنات الكهربائية في طرفيها.

٤- نضرب إحدى المعادلتين أوكلتيهما بأبسط أرقام صحيحة لمساواة عدد الإلكترونات المفقودة بعدد الإلكترونات المكتسبة ، ثم نجمع المعادلتين النصفيتين جمعا جبريا وذلك بحذف الإلكترونات والمكونات الأخرى المتساوية في أعدادها من طرفي المعادلة .

وإذا كان وسط التفاعل قاعديا تضاف إلى طرفي المعادلة أيونات هيدروكسيل (OH^-) بمقدار عدد أيونات الهيدروجين (H^+) الموجودة، وتدمج لتكوين الماء ثم توازن جزيئات الماء .

٥-التأكد من موازنة المعادلة من حيث عدد الذرات وعدد الشحنات الكهربائية .

١-٥-٢ طريقة تغير أعداد التأكسد Oxidation Numbers Change Method

من المهم في هذه الطريقة تعيين أعداد التأكسد لكل ذرة أو أيون ثم البحث عن التغيرات في هذه الأعداد ، وذلك لأن هذه التغيرات مرتبطة بالتغير في أعداد الإلكترونات .وتتلخص هذه الطريقة بالخطوات الآتية :

١- نعين أعداد التأكسد لكل ذرة أو أيون في المعادلة ونلاحظ التغير في أعداد التأكسد .

$$ClO^-_{3\,(aq)} + I_{2(s)} \longrightarrow Cl^-_{(aq)} + IO^-_{3\,(aq)}$$

$$\overset{5+\ 2-}{ClO^-_{3\,(aq)}} + \overset{0}{I_{2(s)}} \longrightarrow \overset{1-}{Cl^-_{(aq)}} + \overset{5+\ 2-}{IO^-_{3\,(aq)}}$$

نلاحظ أن الكلور اختزل، فقد نقص عدد تأكسده من (+5) إلى (-1) وبالتالي فإن مقدار التغير يساوي (6)، واليود تأكسد فقد زاد عدد تأكسده من (0) إلى (+5) وبالتالي فإن مقدار التغير يساوي (5) .

٢- باستخدام التغير في أعداد التأكسد نكتب عدد الإلكترونات التي انتقلت من/ إلى كل ذرة ثم نكتب عدد الإلكترونات التي انتقلت من/إلى كل مادة متفاعلة والذي يساوي مقدار التغير في عدد التأكسد وعدد الذرات.

$$\overset{5+\ 2-}{ClO^-_{3(aq)}} + \overset{0}{I_{2(s)}} \longrightarrow \overset{1-}{Cl^-_{(aq)}} + \overset{5+\ 2-}{IO^-_{3\ (aq)}}$$

$6e^-/Cl$

$5e^-/I$

$6e^-/ClO^-_3$

$10e^- / I_2$

٣- بما أن أعداد الإلكترونات المفقودة في عملية التأكسد يجب أن تساوي أعداد الإلكترونات المكتسبة في عملية الاختزال لذلك نضرب أعداد الإلكترونات التي انتقلت من/إلى المواد المتفاعلة في أبسط رقم صحيح لمساواة أعداد الإلكترونات .

$$\overset{5+\ 2-}{ClO^-_{3\ (aq)}} + \overset{0}{I_{2(s)}} \longrightarrow \overset{1-}{Cl^-_{(aq)}} + \overset{5+\ 2-}{IO^-_{3\ (aq)}}$$

$6e^-/Cl$

$5e^-/I$

$6e^-/ClO^-_3$

$10e^- / I_2$

x5

x3

وبذلك يصبح عدد الإلكترونات = 30 إلكترونا لكل من التأكسد والاختزال .

٤- نستخدم هذه الأرقام الصحيحة في مساواة أعداد الذرات على طرفي معادلة التفاعل

كما يلي(يضرب الأيون IO^-_3 في الرقم 6) وذلك لأن اليود على الطرف الأيسر يوجد بشكل جزيء :

$$\overset{5+\ 2-}{5ClO^-_{3(aq)}} + 3I_{2(s)} \longrightarrow \overset{1-}{5Cl^-_{(aq)}} + \overset{5+\ 2-}{6\ IO^-_{3(aq)}}$$

٥- لمساواة عدد ذرات الأكسجين تضاف إلى الطرف الذي ينقصه أكسجين جزيئات ماء (H_2O) بمقدار الفرق في عدد الأكسجين، وتضاف أيونات هيدروجين $(H+)$ إلى الطرف الآخر لمساواة أعداد الهيدروجين (وذلك إذا كان وسط التفاعل حمضيا) .

$$3H_2O_{(l)} + 5ClO^-_{3(aq)} + 3I_{2\ (s)} \longrightarrow 5Cl^-_{(aq)} + 6\ IO^-_{3(aq)} + 6H^+_{(aq)}$$

وإذا كان وسط التفاعل قاعديا تضاف إلى طرفي المعادلة أيونات هيدروكسيل (OH^-) بمقدار عدد أيونات (H^+) الموجودة وتدمج لتكوين الماء ثم توازن جزيئات الماء .

تعتمد الحسابات الكيميائية لتفاعلات التأكسد والاختزال على موازنة معادلة التفاعل ومعرفة النسبة بين أعداد مولات المواد المتفاعلة مع بعضها بعضا وبين أعداد مولات المواد الناتجة ، ثم تحويل المولات إلى كتلة أو العكس من العلاقات الآتية:

١) الكتلة = الكتلة المولية × عدد المولات

$$Mass\ (g) = Molar\ mass(g/mol)\ x\ Number\ of\ moles$$

٢) المولارية = عدد المولات ÷ حجم المحلول باللتر

$$Molarity(M) = Number\ of\ moles\ \div solution\ Volume$$

٦-١ تطبيقات صناعية لتفاعلات التأكسد والاختزال
: Industrial Applications for Redox Reactions

١- قصر الألوان Bleaching

تعني كلمة قصر الألوان إزالة اللون أو تخفيفه، وتستخدم المواد القاصرة للألوان Bleaching agents على نطاق واسع في صناعة الورق والمنسوجات.

(١) مواد قاصرة تعمل كعوامل مؤكسدة:

يعتمد عمل المواد القاصرة للألوان على خواصها كعوامل مؤكسدة أو مختزلة للمواد الملونة ومنها :

* **مواد قاصرة تعمل كعوامل مؤكسدة :** يعمل غاز الكلور المذاب في الماء على قصر الألوان لأنه يكون أيون الهيبوكلوريت ويتم التفاعل كما يلي :

$$Cl_{2(g)} + H_2O_{(l)} \longrightarrow HClO_{(aq)} + HCl_{(aq)}$$

$$HClO_{(aq)} \longrightarrow H^+_{(aq)} + ClO^-_{(aq)}$$

ومن أمثلة هذه المواد أملاح الهيبوكلوريت مثل هيبوكلوريت الصوديوم $NaClO$ وهيبوكلوريت الكالسيوم $Ca(ClO)_2$ الذي يستخدم في تبييض عجينة الورق ذات اللون الداكن،وكذلك أملاح الكلوريت مثل كلوريت الصوديوم $NaClO_2$ ، ومن التطبيقات العملية على استخدام العوامل المؤكسدة في قصر الألوان :

أ) إزالة ألوان البقع الملونة عن الأقمشة البيضاء ، ويستخدم لذلك محلول مخفف من هيبوكلوريت الصوديوم ، كما يمكن استخدام مادة فوق بورات الصوديوم الأكثر أمانا على الملابس الملونة .

ب) قصر ألوان المنسوجات : يستخدم محلول فوق أكسيد الهيدروجين (10-15%) لقصر لون القطن وخيوط البوليستر .

(٢) * مواد قاصرة تعمل كعوامل مختزلة :

* **مواد قاصرة تعمل كعوامل مختزلة :** المركبات الكبريتية مثل غاز ثاني أكسيد الكبريت وكبريتيت الصوديوم Na_2SO_3 وكبريتيت الصوديوم الهيدروجينية $NaHSO_3$ تعمل كعوامل مختزلة قاصرة للألوان، وذلك لأنها عندما تذوب في الماء تكون أيون الكبريتيت القاصر للألوان :

$$SO_{2(g)} + H_2O_{(l)} \longrightarrow H_2SO_{3(aq)}$$

$$H_2SO_{3(aq)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + HSO^-_{3\,(aq)}$$

$$HSO^-_{3\,(aq)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + SO^{2-}_{3\,(aq)}$$

ومن التطبيقات العملية على استخدام هذه المواد قصر لون بعض المواد الغذائية مثل استخدام غاز SO_2 في قصر لون السكر في أثناء تكريره ، وفي قصر لون الطحين والشحوم غير الصالحة للأكل لاستخدامها في الصناعة ، وكمادة حافظة للعنب والتفاح في أثناء التخزين لأنه يساعد على تفتيح لونها .

٢- استخلاص الفلزات من خاماتها Metal Extraction

ويسمى استخلاص العناصر من خاماتها بعلم التعدين *metallurgy* ، وقد جاء مصطلح الاختزال في هذا العلم مرتبطا بإنتاج الفلزات من مركباتها، ومن الأمثلة على ذلك استخلاص كل من الحديد والقصدير والنحاس من مركباتها بواسطة عوامل مختزلة مناسبة كما في المعادلات التالية :

$$Fe_2O_{3\,(s)} + 3CO_{(g)} \longrightarrow 2Fe_{(s)} + 3CO_{2\,(g)}$$

$$SnO_{2(s)} + C_{(s)} \longrightarrow Sn_{(s)} + CO_{2\,(g)}$$

٣- معالجة المياه Water treatment

ويتم ذلك بإضافة الكلور
(Cl_2) إليه بنسبة قليلة ومحددة فهو يعمل كعامل مؤكسد قاتل للجراثيم ولكنه مادة سامة إذا زاد تركيزه عن الحد المقرر .

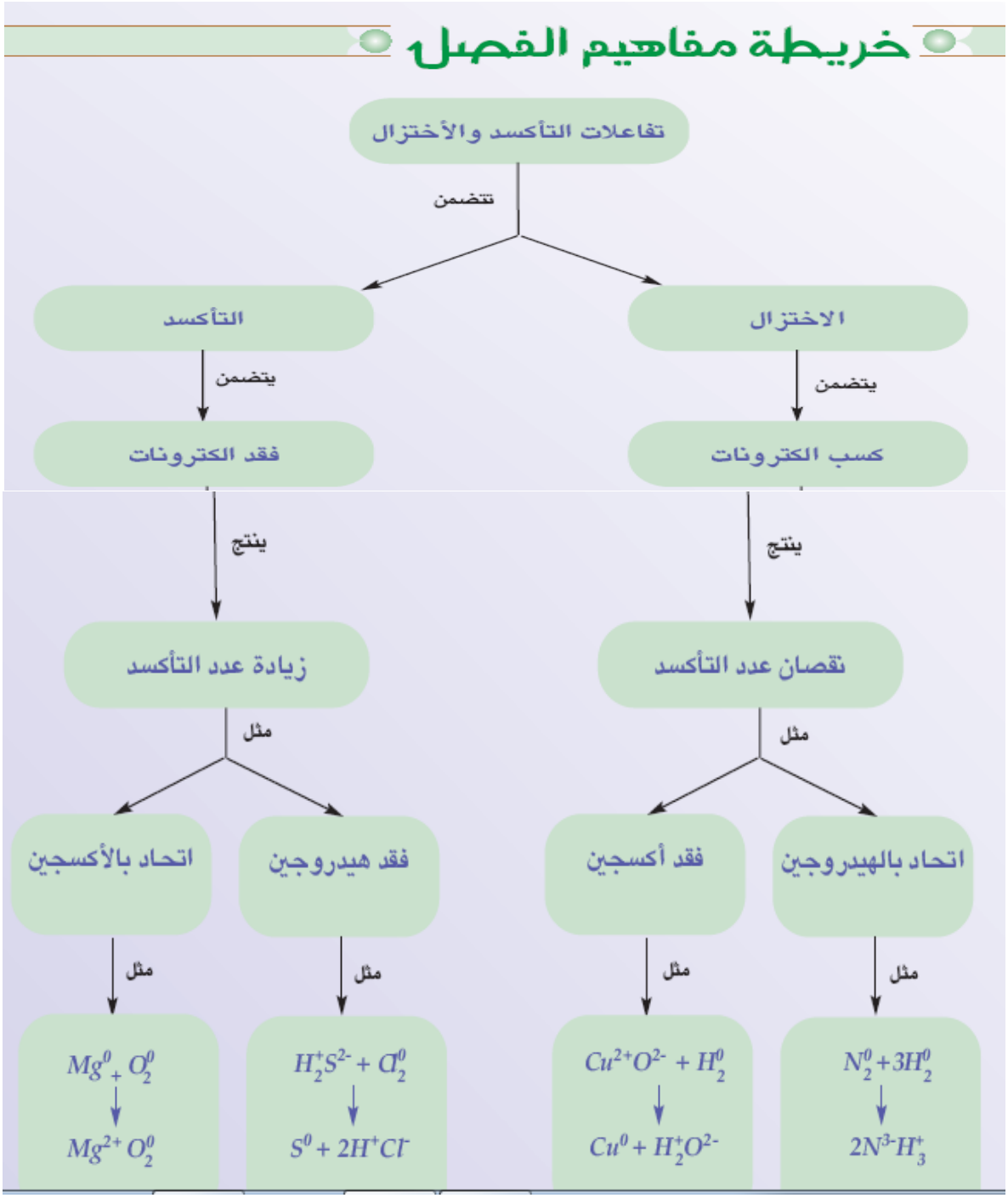
ونتيجة لذلك فقد ازداد الاتجاه لاستخدام الأوزون (O_3) كمادة معقمة بدلا من الكلور ، فالأوزون مادة مؤكسدة قوية تقتل الكائنات الحية الدقيقة وتزيل الألوان والروائح دون أن يكون له آثار سلبية على الصحة.

٤- التصوير الضوئي (الفوتوغرافي) Photography :

يسقط الضوء المنعكس عن الجسم المراد تصويره من خلال عدسة آلة التصوير (الكاميرا) إلى لوحة الفيلم الضوئي التي تتكون من صفيحة بلاستيكية رقيقة مطلية بمحلول غروي من بروميد الفضة ($AgBr$) فإن حبيبات بروميد الفضة التي تعرضت للضوء تتأثر به بحيث تتأكسد أيونات البروميد (Br^-) وتختزل أيونات الفضة (Ag^+) كما يلي :

$$2Br^- \longrightarrow Br_2 + 2e^- \quad \text{.....(تأكسد)}$$

$$Ag^+ + e^- \longrightarrow Ag \quad \text{.....(اختزال)}$$


خريطة مفاهيم الفصل
تفاعلات التأكسد والأختزال
تتضمن
التأكسد
الاختزال
يتضمن
يتضمن
فقد الكترونات
كسب الكترونات
ينتج
ينتج
زيادة عدد التأكسد
نقصان عدد التأكسد
مثل
مثل
اتحاد بالأكسجين
فقد هيدروجين
فقد أكسجين
اتحاد بالهيدروجين
مثل
مثل
مثل
مثل
$Mg^0 + O_2^0$
$Mg^{2+} O_2^0$
$H_2^+S^{2-} + Cl_2^0$
$S^0 + 2H^+Cl^-$
$Cu^{2+}O^{2-} + H_2^0$
$Cu^0 + H_2^+O^{2-}$
$N_2^0 + 3H_2^0$
$2N^{3-}H_3^+$

أمثلة محلولة

مثال (١) :

احسب عدد التأكسد لكل من الكروم في دايكرومات البوتاسيوم $K_2Cr_2O_7$ ، والنيتروجين في نترات الألومنيوم $Al(NO_3)_3$.

الحل

حساب عدد تأكسد الكروم :

[عدد تأكسد(7) ذرات أكسجين]+[عدد تأكسد(2)ذرة كروم] +[عدد تأكسد(2) ذرة بوتاسيوم] = صفرا .

$$(7 \times 2-) + (2 \times Cr) + (2 \times 1+) = 0$$

$$(14-) + (2Cr) + (2+) = 0$$

$$2Cr = +12$$

$$Cr = +6$$

حساب عدد تأكسد النيتروجين :

[عدد تأكسد (9) ذرات أكسجين] + [عدد تأكسد(3) ذرات نيتروجين] + [عدد تأكسد ذرة ألومنيوم] = صفرا .

$$(9 \times 2-) + (3 \times N) + (1 \times 3+) = 0$$

$$3N = +15 \qquad N = +5$$

مثال (٢) :

احسب عدد التأكسد للمنغنيز في أيون المنغنات MnO_4^{2-} .

الحل

[عدد تأكسد(4) ذرات أكسجين] + [عدد تأكسد ذرة منغنيز] = -2

$$(4 \times 2-) + Mn = -2$$

$$Mn \text{ عدد تأكسد } = +6$$

مثال (3)

أذيب $0.76\ g$ من كبريتات الحديد (II) في الماء حتى أصبح حجم المحلول $40\ mL$ ، وقد وجد أنه يلزمها $50\ mL$ من محلول بيرمنغنات البوتاسيوم لأكسدتها في وسط حمضي حسب المعادلة

$$Fe^{2+}_{(aq)} + MnO_4^-{}_{(aq)} \longrightarrow Fe^{3+}_{(aq)} + Mn^{2+}_{(aq)}$$

احسب تركيز محلول بيرمنغنات البوتاسيوم .

الحل

- نكتب معادلة التفاعل الموزونة

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

- نحسب عدد مولات كبريتات الحديد (II)

الكتلة المولية لـ $FeSO_4 = 56 + 32 + 4(16) = 152 g/mol$

عدد مولات $FeSO_4 = \dfrac{0.76g}{152g/mol} = 0.005\ mole$

- من وزن المعادلة

(النسبة المولية) كبريتات الحديد (II) : بيرمنغنات البوتاسيوم

$$\begin{matrix} 1\ mole & : & 5\ mole \\ ? & & 0.005\ mole \end{matrix}$$

عدد مولات بيرمنغنات البوتاسيوم $= \dfrac{0.005}{5} = 0.001\ mole$

تركيز محلول بيرمنغنات البوتاسيوم $= \dfrac{0.001}{0.05} = 0.02\ M$