

١٢

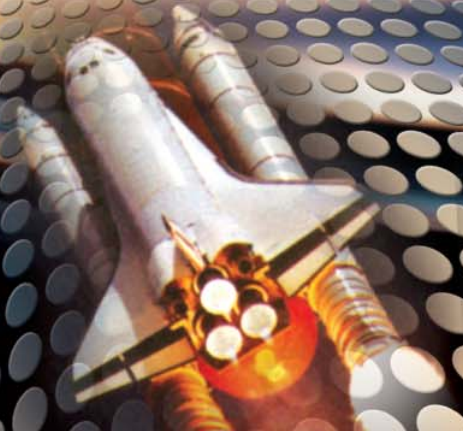
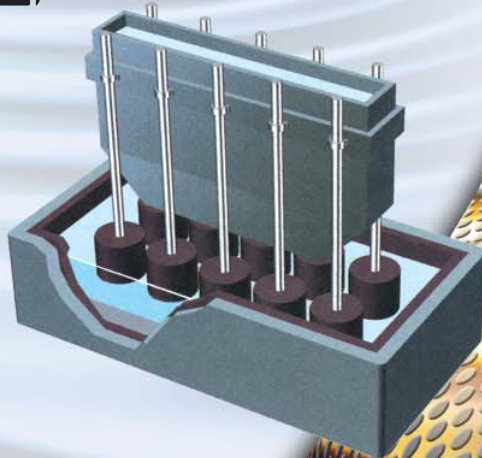


سَلْطَنَةُ عُومَانِ  
وَزَارَةُ التَّرْبِيَةِ وَالتَّعْلِيمِ

# الكيمياء

للفصل الثاني عشر

الفصل الدراسي الأول





سَلْطَنَةُ عُثْمَانِ  
وَزَارَةُ التَّحْقِيقِ وَالتَّعْلِيمِ



الطبعة التجريبية

١٤٣٥ هـ - ٢٠١٤ م



# الكيمياء

## للمصف الثاني عشر

جميع حقوق الطبع والنشر والتوزيع محفوظة لوزارة التربية والتعليم



الإشراف الفني

مركز إنتاج الكتاب المدرسي والوسائل التعليمية بالمديرية العامة لتطوير المناهج



حضرة صاحب الجلالة سلطان قابوس بن سعيد المعظم



الموضوع	الصفحة
المحتويات	٥
تقديم	٩
المقدمة	١٠

## الوحدة الأولى: التغيرات الكهروكيميائية

١٢

### Electrochemical Changes



١٤

### الفصل الأول: تفاعلات الأكسدة (الإكسدة) والإختزال

#### Oxidation - Reduction Reactions

١٦	(١-١) التأكسد والإختزال
١٦	الاستكشاف (١) : التأكسد والإختزال في تفاعلات الإحلل البسيط
١٩	(٢-١) عدد التأكسد
٢٢	(٣-١) تفاعلات التأكسد والإختزال بمفهوم عدد التأكسد
٢٥	(٤-١) تلقائية التفاعلات
٢٩	(٥-١) موازنة معادلات التأكسد والإختزال
٢٩	(١-٥-١) طريقة التفاعلات النصفية
٣١	(٢-٥-١) طريقة تغير أعداد التأكسد
٣٤	(٦-١) تطبيقات صناعية لتفاعلات التأكسد والإختزال
٣٤	١- قصر الألوان
٣٤	الاستكشاف (٢) : قصر الألوان
٣٦	٢- استخلاص الفلزات من خاماتها
٣٧	٣- معالجة المياه
٣٨	٤- التصوير الضوئي
٣٩	خريطة مفاهيم الفصل
٤٠	أسئلة الفصل
	(١-٢) الخلايا الجلفانية ( الفولتية )

٤٦

### الفصل الثاني: الخلايا الكهروكيميائية والتليل الكهربائي

#### Electrochemical Cells & Electrolysis

٤٨	الاستكشاف (١) : إحلل الخارصين محل أيونات النحاس
٤٨	(٢-٢) الخلايا القياسية وجهد الخلايا
٥٣	(١-٢-٢) قطب الهيدروجين القياسي
٥٤	(٢-٢-٢) قياس جهود الإختزال القياسية
٥٥	(٣-٢-٢) جدول جهود الإختزال القياسية
٥٨	(٣-٢) الخلايا الإلكتروليتية والتحليل الكهربائي
٦١	الاستكشاف (٢) : تحليل محلول يوديد البوتاسيوم
٦٣	



٦٤	(٢-٤) التطبيقات العملية والتقنية على الخلايا الكهروكيميائية
٦٥	(٢-٤-١) الخلايا والبطاريات
٦٥	١- الخلايا الأولية
٦٦	٢- الخلايا الثانوية
٦٦	٣- خلايا الوقود
٦٧	(٢-٤-٢) التآكل
٧٠	(٢-٤-٣) تكنولوجيا التحليل الكهربائي
٧٤	(٢-٥) حسابات التحليل الكهربائي
٧٨	خريطة مفاهيم الفصل
٧٩	أسئلة الفصل

## الوحدة الثانية:

### تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

٨٤

### Energy Changes and Rate of Reactions



٨٦

### الفصل الثالث: تغيرات الطاقة في التفاعلات الكيميائية

### Energy changes in Chemical Reactions

٨٨	(٣-١) قياس كمية الحرارة
٩١	(٣-٢) الحرارة وتغيرات الطاقة
٩٢	(٣-٣) المحتوى الحراري والتغير في المحتوى الحراري
٩٦	الاستكشاف (١) : حرارة ذوبان الأملاح (المحتوى الحراري للمحلول)
٩٧	(٣-٤) المعادلات الكيميائية الحرارية
٩٨	(٣-٥) المحتوى الحراري المولاري
١٠٢	الاستكشاف (٢) : حرارة احتراق الإيثانول
١٠٣	(٣-٦) التغير في المحتوى الحراري للانصهار والتجمد
١٠٤	الاستكشاف (٣) : حرارة انصهار الثلج
١٠٤	(٣-٧) المحتوى الحراري القياسي للتكوين
١٠٨	(٣-٨) قانون هس
١١٢	خريطة مفاهيم الفصل
١١٣	أسئلة الفصل
	(٤-١) سرعة التفاعل الكيميائي

١١٦

### الفصل الرابع: سرعة التفاعلات الكيميائية

### Rate of Chemical Reactions

١١٨	(٤-٢) العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل الكيميائي
١٢١	١) طبيعة المواد المتفاعلة
١٢١	٢) مساحة السطح
١٢٢	الاستكشاف (١) : مساحة سطح المواد المتفاعلة
١٢٢	٣) تركيز المواد المتفاعلة
١٢٤	



١٢٤	الاستكشاف (٢) : العلاقة بين التغير في التركيز وسرعة التفاعل
١٢٧	٤) درجة الحرارة
١٢٨	نظرية التصادم
١٢٩	طاقة التنشيط
١٣١	٥) العامل الحفاز أو المساعد
١٣٣	(٣-٤) أهمية العوامل الحفازة
١٣٦	خريطة مفاهيم الفصل
١٣٧	أسئلة الفصل
١٤١	الكيمياء والمهن
١٤٢	المراجع العربية
١٤٣	المراجع الأجنبية
١٤٤	المواقع الإلكترونية
١٤٦	الجدول الدوري





## تقديم

الحمد لله نحمده تمام الحمد، ونصلي ونسلم على خير خلقه سيدنا محمد وعلى آله وصحبه

أجمعين... وبعد

تحرص وزارة التربية والتعليم على تجويد العملية التعليمية من خلال إرساء قواعد منظومة تعليمية متكاملة تلبي احتياجات البيئة العمانية وتناسب مع متطلباتها الحالية.

وبعد مراجعة النظام التعليمي للسلطنة وقياس مستوى أدائه وتحديد أهم التحديات التي تواجهه، قامت وزارة التربية والتعليم بإعادة ترتيب أولوياتها، وتنظيم جهودها لإحداث التطوير بما يتماشى مع توجهات السلطنة ورؤيتها المستقبلية، حيث جرى تطوير الأهداف العامة للتربية، والخطة الدراسية التي أولت اهتماما أكبر للمواد العلمية وتدریس اللغات، واستحدثت مواد دراسية جديدة لمواكبة المستجدات على صعيدي تكنولوجيا المعلومات واحتياجات سوق العمل من المهارات، هذا فضلا عن التطوير الذي أدخل على أساليب واستراتيجيات تدريس المناهج الدراسية التي أصبحت تعنى بالمتعلم باعتباره محور العملية التعليمية التعليمية.

إن النقلة النوعية التي نشهدها حاليا في العملية التعليمية أحدثت الكثير من التغييرات الجذرية، فجاءت الكتب الدراسية متسمة بالحدثة والمرونة، والتوافق في موضوعاتها مع مستويات أبنائنا الطلبة والطالبات، وخصائص نموهم العقلي والنفسي، وثقافتهم الاجتماعية، واهتمت بالجوانب المهارية والفنية والرياضة البدنية تحقيقا لمبدأ أصيل من مبادئ فلسفة التربية في السلطنة الداعي إلى بناء الشخصية المتكاملة للفرد، وعززت دور المتعلم في عملية التعلم من خلال إكسابه مهارات التعلم الذاتي والتعلم التعاوني، ولم يعد الكتاب المدرسي -بما يحويه من معارف ومهارات وقيم واتجاهات- إلا دليلا يسترشد به الطالب للوصول إلى ما تخزنه مصادر المعلومات المختلفة كالمراجع المكتبية ومصادر التعلم الإلكترونية الأخرى من معارف، وعلى الطالب القيام بعملية البحث والتقصي للوصول إلى ما هو أعمق وأشمل. فإليك أبنائي وبناتي الطلاب والطالبات نقدم هذا الكتاب راجين أن يجد عين الاهتمام منكم، ويكون لكم خير معين؛ لتحقيق ما نسعى إليه من تقدم ونماء هذا الوطن المعطاء تحت ظل القيادة الحكيمة لمولانا حضرة صاحب الجلالة السلطان قابوس بن سعيد المعظم حفظه الله ورعاه.

والله ولي التوفيق ،،

د. مديحة بنت أحمد الشيبانية

وزيرة التربية والتعليم

# الهقدمة

## عزيزي الطالب :

نقدم لك هذا العام كتاب الكيمياء للصف الثاني عشر في جزئه الأول ، والذي ستدرسه في الفصل الدراسي الأول، وسيتبعه ماتبقى من مناهج الكيمياء لهذا الصف في الجزء الثاني . وقد جاء هذا المنهاج مكملًا لمنهاج الكيمياء الذي درسته في الصف الحادي عشر ، حيث تم بناء هذا الكتاب وفقا لمخرجات التعلم لمرحلة التعليم ما بعد الأساسي .

اشتمل الكتاب على موضوعات ستحقق من خلالها مخرجات التعلم المعرفية والمهارية ، وقد تم مراعاة جوانب التخصص التي تلزمك في المستقبل لدراسة علم الكيمياء ، إضافة إلى التخصصات الأخرى التي ترتبط بالكيمياء مثل الطب والهندسة والزراعة وغيرها .

وإيمانًا منا بفلسفة التعليم التي تعتبر الطالب محور العملية التعليمية ، فقد حاولنا في هذا الكتاب إكسابك المفاهيم العلمية الكيميائية بطريقة متدرجة لتساعدك على تنمية مهارات التفكير العلمي لديك، وتوظيف هذه المهارات في الاستقصاء وتفسير الظواهر المختلفة ، وربطها بالحياة وبمواد العلوم المختلفة بعضها بعضًا تحقيقًا لمبدأ التكامل بين مواد العلوم.

إن الإلمام بالحقائق والمفاهيم الكيميائية واكتساب المهارات المخبرية بصورة وظيفية هو أمر ضروري للغاية بالنسبة لك، لأن ذلك سيساعدك كثيرًا في اتخاذ القرارات المناسبة لمعالجة القضايا الكيميائية والمشكلات التي تواجه مجتمعاتنا يوما بعد يوم ، ومن أجل ذلك ستجد أن هذا الكتاب قد اشتمل على عرض عدد من فقرات اختبار فهمك التي تتضمن تساؤلات حول قضايا تثير لديك الميل للبحث والاستقصاء ، بالإضافة إلى تنفيذ مجموعة من الاستكشافات بعضها عملي يتطلب توافر مواد وأدوات مخبرية ، وبعضها نظري موزعة في كتاب الطالب والكراس العملي .

وقد تضمنت كل وحدة من وحدات الكتاب معلومات تربطك بمجتمعك وحياتك وواقعك تحت بند معلومات تهتمك .

ويتكون الجزء الأول من هذا الكتاب من وحدتين هما :

١- الوحدة الأولى : التغيرات الكهروكيميائية .

٢- الوحدة الثانية : تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات .

و اربع فصول هي:



## الفصل الثاني:

الخلايا الجلفانية والتحليل الكهربائي  
Galvanic Cells & Electrolysis



## الفصل الأول:

تفاعلات التأكسد (الأكسدة) والاختزال  
Oxidation - Reduction Reactions



## الفصل الرابع:

سرعة التفاعلات الكيميائية  
Rate of Chemical Reactions



## الفصل الثالث:

تغيرات الطاقة في التفاعلات الكيميائية  
Energy Changes in Chemical Reactions

وأخيرا ، نأمل أننا قد وفقنا في تقديم هذا الكتاب لأبنائنا الطلبة والطالبات الذين هم جيل المستقبل وعنصر أساس في بناء هذا الوطن الغالي.

والله من وراء القصد .

المؤلفون







# الوحدة الأولى

## Electrochemical Changes التغيرات الكهروكيميائية

### الفصل الأول

تفاعلات الأكسدة (الأكسدة) والاختزال  
*Oxidation - Reduction Reactions*

### الفصل الثاني

الخلايا الجلفانية والتحلل الكهربائي  
*Galvanic Cells & Electrolysis*

### مقدمة

تعتبر الكيمياء الكهربائية فرعا من فروع الكيمياء يعنى بالعلاقة بين الكهرباء والتغير الكيميائي ، فهناك كثير من التفاعلات الكيميائية يحدث تلقائيا (طبيعا) منتجا طاقة كهربائية، ومن أمثلتها التفاعلات التي تحدث في أعمدة البطاريات وخلايا الوقود. وعلى العكس من ذلك فإن الطاقة الكهربائية يمكنها أن تحدث تغيرا كيميائيا ما كان ليحدث بدونها ، كاستخلاص المعادن من محاليل أو مصاهير أملاحها بالتحليل الكهربائي، فهل تساءلت عن كيفية حدوث هذه التفاعلات ؟







## الأفكار الرئيسة :

- في هذه الوحدة سوف تتمكن من الإجابة عن الأسئلة الآتية:
- ١ - ما التغير الكهروكيميائي ؟
  - ٢ - كيف تزن معادلة تأكسد واختزال ؟
  - ٣ - كيف يمكنك التنبؤ بحدوث تفاعل كيميائي ؟
  - ٤ - كيف تستخدم التغيرات الكهروكيميائية في التطبيقات التكنولوجية ؟





# التغيرات الكهروكيميائية

## تفاعلات الأكسدة (الاختزال) Oxidation - Reduction Reactions

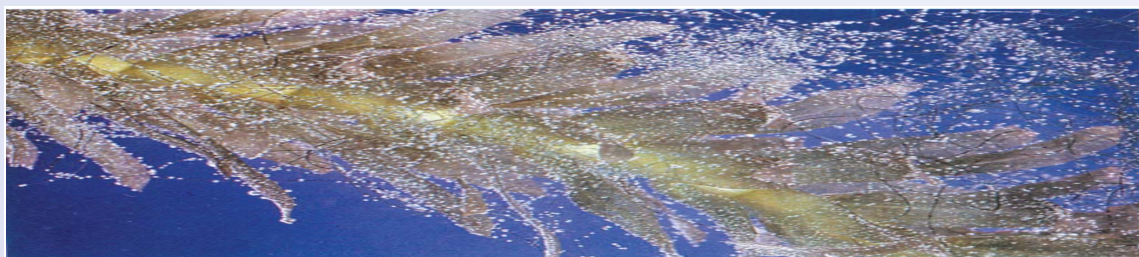


## الفصل الأول

### مقدمة الفصل

تشكل تفاعلات الأكسدة والاختزال نوعاً مهماً من أنواع التفاعلات الكيميائية ، وتعتبر ذات أهمية بالغة في حياتنا اليومية ، فاحتراق الوقود بأنواعه المختلفة ، والتفاعلات التي تحدث في البطاريات ما هي إلا تفاعلات أكسدة واختزال ، وكذلك تفاعلات التنفس الخلوي في الكائنات الحية ، والتمثيل الضوئي في النبات ، وهما تفاعلات حيويان يتضمنان عمليتي أكسدة واختزال ، فالطعام الذي نتناوله يتحول إلى طاقة بالاتحاد مع أكسجين الهواء الذي نستنشق .

فما الذي يميز تفاعلات الأكسدة والاختزال ؟ وهل تختلف عن أنواع التفاعلات الكيميائية الأخرى ؟ وكيف نستفيد منها في حياتنا العملية ؟



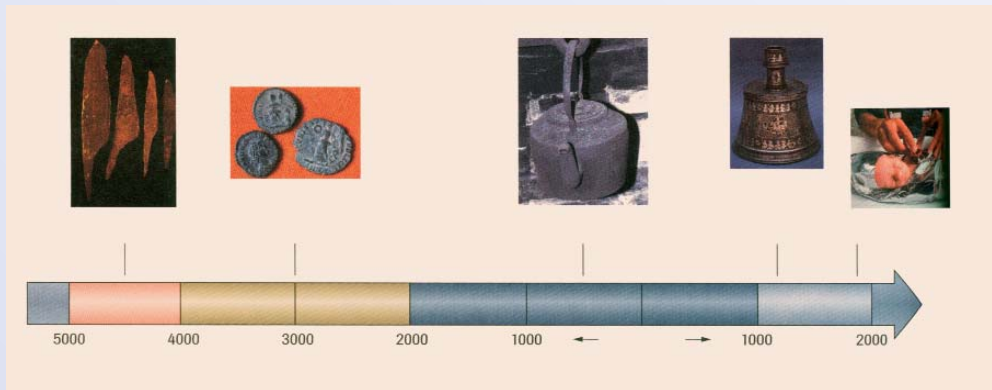
### الموضوعات الرئيسة

- ١-١ التأكسد والاختزال
- ٢-١ عدد التأكسد
- ٣-١ تفاعلات الأكسدة والاختزال بمفهوم عدد التأكسد
- ٤-١ تلقائية التفاعلات
- ٥-١ موازنة معادلات التأكسد والاختزال
- ٦-١ تطبيقات صناعية لتفاعلات الأكسدة والاختزال



## مصطلحات علمية جديدة

- ١- العامل المؤكسد ..... 1- Oxidizing agent
- ٢- العامل المختزل ..... 2- Reducing agent
- ٣- تفاعل التأكسد والاختزال ..... 3- Redox reaction
- ٤- نصف التفاعل ..... 4- Half-reaction
- ٥- تلقائية التفاعلات ..... 5- Spontaneity of reactions
- ٦- قصر الألوان ..... 6- Bleaching



## عناوين الاستكشافات

- الاستكشاف (١): التأكسد والاختزال في تفاعلات الإحلال البسيط
- الاستكشاف (٢): قصر الألوان.

## ١-١ التأكسد والاختزال : Oxidation -Reduction



عرفت في الصفوف السابقة عددا من أنواع التفاعلات الكيميائية كالاتحاد المباشر والتفكك والإحلال البسيط وغيرها، دون أن نتطرق إلى ما يحدث من انتقال للإلكترونات بين العناصر المشتركة في تلك التفاعلات، وهل جميع تفاعلات التأكسد تحتوي على الأكسجين؟ لمعرفة ذلك دعنا نجري الاستكشاف الآتي :

### التأكسد والاختزال في تفاعلات الإحلال البسيط:



**الهدف :** جمع بعض الأدلة ( الاستنتاجات ) من تفاعلات الإحلال البسيط لتوضيح مفهومي التأكسد والاختزال.

**إجراءات الأمن والسلامة :** ارتداء اللباس المخبري والنظارات الواقية .

**المواد والأدوات :** محاليل مخففة من كل من : كبريتات النحاس ( II ) ، حمض الهيدروكلوريك ، أنابيب اختبار (عدد 3) ، مسامير من الحديد غير المجلفن ، شريط ماغنيسيوم ، قطع خارصين ، ورق سنفرة.

### الإجراءات :

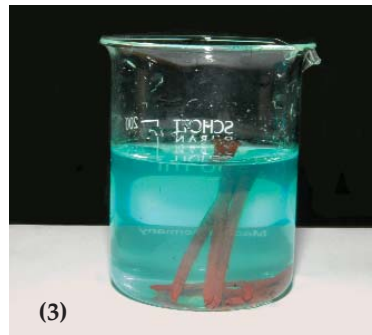
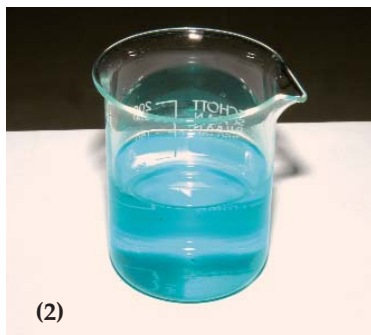
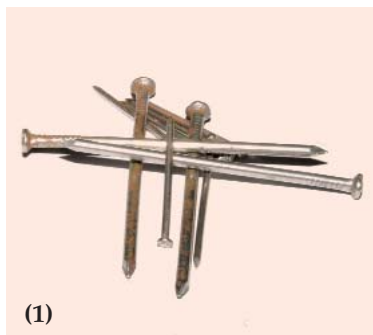
- ١ - ضع  $2 - 3 \text{ mL}$  من كل من المحاليل المائية السابقة في ثلاثة أنابيب اختبار.
- ٢ - أضف إلى هذه المحاليل عنصرا من العناصر على النحو الآتي :
  - مسامير من ورق السنفرة في محلول كبريتات النحاس.
  - الماغنيسيوم في محلول حمض الهيدروكلوريك.
  - الخارصين في محلول حمض الهيدروكلوريك .
- ٣ - صمم جدولا لتسجيل مشاهداتك في الخطوة السابقة .

### التحليل والتفسير :

- ١ - اكتب معادلات كيميائية للتفاعلات التي تمت .
- ٢ - في ضوء سرعة تصاعد الغازات أيهما أكثر نشاطا كيميائيا: الخارصين أم الماغنيسيوم ؟

# التغيرات الكهروكيميائية

لعلك لاحظت من الاستكشاف السابق - عند وضع مسامير الحديد في محلول كبريتات النحاس - أن المحلول ذا اللون الأزرق تقل شدته تدريجياً بعد مرور فترة قصيرة من الزمن ، وتكون طبقة بنية اللون على مسامير الحديد الشكل (١-١).

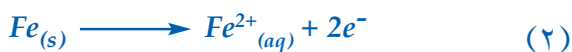


الشكل (١-١): تفاعل الحديد مع كبريتات النحاس

إن ما حدث في هذا التفاعل أن أيونات النحاس ( $Cu^{2+}$ ) الموجودة في المحلول قد اكتسبت عدداً من الإلكترونات وتحولت إلى ذرات نحاس ( $Cu$ ) كما في المعادلة (١) :



وتتراكم ذرات النحاس على مسامير الحديد ، وبالمقابل فإن ذرات الحديد ( $Fe$ ) التي فقدت الإلكترونات تتحول إلى أيونات حديد ( $Fe^{2+}$ ) ذائبة في المحلول ، وبذلك تقل شدة اللون الأزرق للمحلول لوجود أيونات الحديد كما في المعادلة (٢) :



يسمى التفاعل رقم (٢) تفاعل تأكسد *oxidation reaction* وقد سمي كذلك لأن ما يحدث للحديد فيه يشبه ما يحدث له عندما يتحد بالأكسجين مكوناً أكسيد الحديد كما في المعادلة (٣) :



إن الحديد في أكسيد الحديد ( $FeO$ ) (II) يكون على شكل ( $Fe^{2+}$ ) والأكسجين على شكل ( $O^{2-}$ ) ، وذلك نتيجة لانتقال إلكترونين من الحديد إلى الأكسجين لتكوين الرابطة في المركب ، وبالتالي فإن التأكسد ليس فقط اتحاد المادة بالأكسجين وإنما هو عبارة عن أي عملية أو تفاعل يتم فيه **فقد (خسارة) إلكترونات** .

ويسمى التفاعل رقم (١) تفاعل اختزال *reduction reaction* وقد سمي كذلك لأن ما يحدث للنحاس فيه يشبه ما يحدث للنحاس عند استخلاصه من خاماته، حيث يقال إن حجم الخام ينقص أو يختزل *reduced* كما في المعادلة (٤) :

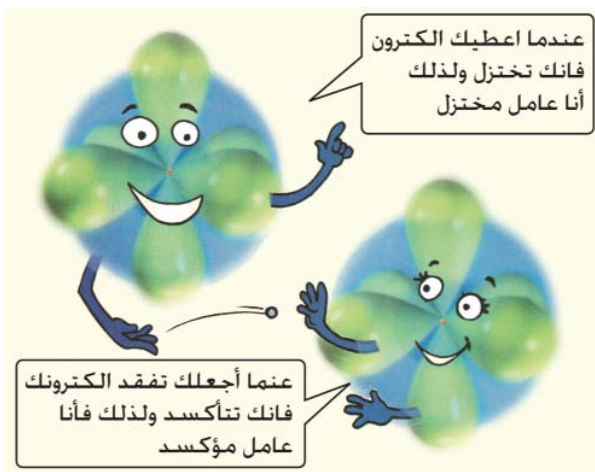


# التغيرات الكهروكيميائية

ففي هذا التفاعل تحولت أيونات النحاس  $Cu^{2+}$  في كبريتيد النحاس إلى ذرات نحاس  $Cu$  ، وذلك لانفصال هذه الأيونات عن أيونات الكبريتيد ( $S^{2-}$ ) ، وبالتالي يعرف الاختزال بأنه أي عملية أو تفاعل يتم فيه **كسب** إلكترونات، وبما أن المادة لا تفنى ولا تخلق من العدم فإن الإلكترونات المفقودة في عملية التأكسد يجب أن تساوي الإلكترونات المكتسبة في عملية الاختزال ( لا بد أن تستهلك في عملية الاختزال ) .

لا بد أنك لاحظت أن عمليتي التأكسد والاختزال هما عمليتان متلازمتان ، أي أنهما تحدثان في وقت واحد وفي تفاعل واحد يسمى تفاعل التأكسد - اختزال *redox reaction* . وتسمى معادلة التأكسد "نصف تفاعل

التأكسد" ، كما تسمى معادلة الاختزال "نصف تفاعل الاختزال" . وتسمى المادة التي يحدث لها تأكسد (تفقد الإلكترونات) "العامل المختزل" *reducing agent* كما تسمى المادة التي يحدث لها اختزال (تكتسب الإلكترونات) "العامل المؤكسد" *oxidizing agent* الشكل (١-٢) .



الشكل (١-٢) العامل المؤكسد والعامل المختزل

## اختبر فهمك (١) :

يتفاعل الخارصين مع محاليل الأحماض المخففة مكونا غاز الهيدروجين وفق المعادلة الآتية :



١- أي الذرات (الأيونات) تأكسدت وأيها اختزلت؟

٢- حدد العامل المؤكسد والعامل المختزل .



# التغيرات الكهروكيميائية

## ٢-١ عدد التأكسد : Oxidation Number



هنالك كثير من تفاعلات التأكسد والاختزال يصعب تحديد المواد التي تأكسدت والمواد التي اختزلت فيها، ولذلك فقد أدخل الكيميائيون مفهوم عدد التأكسد لكي يسهل توضيح أسس تفاعلات التأكسد والاختزال . يعرف عدد التأكسد لذرة ما بأنه عدد الشحنات الكهربائية ( موجبة أو سالبة ) التي تحملها الذرة في المركبات الأيونية والتساهمية .

وعلى الرغم من أن عدد التأكسد يعين بفحص الرابطة بين الذرات لكن من المفيد لحساب أعداد التأكسد للذرات اتباع القواعد المبينة في الجدول (١-١):

الرقم	القاعدة	أمثلة
١	عدد التأكسد للذرة في أي عنصر منفرد ( غير متحد ) يساوي <b>صفرًا</b> .	عدد التأكسد لكل من الصوديوم $Na$ ، والنحاس $Cu$ ، والهيدروجين $H_2$ ، والكلور $Cl_2$ ، الماغنيسيوم $Mg$ يساوي <b>صفرًا</b> .
٢	عدد التأكسد للأيون أحادي الذرة في أي مركب كيميائي يساوي الشحنة الكهربائية التي يحملها (مقدارًا وإشارة) .	عدد تأكسد أيون الماغنيسيوم $Mg^{2+}$ هو <b>+2</b> ، وأيون الكلوريد $Cl^-$ هو <b>(-1)</b> ، و أيون الكبريتيد $S^{2-}$ هو <b>(-2)</b> .
٣	عدد تأكسد الهيدروجين في جميع مركباته يساوي <b>(+1)</b> .	يستثنى من ذلك هيدريدات الفلزات مثل $NaH$ ، $CaH_2$ ، $LiH$ فيكون عدد تأكسد الهيدروجين في كل منها <b>(-1)</b> .
٤	عدد تأكسد الأكسجين في جميع مركباته يساوي <b>(-2)</b> .	يستثنى من ذلك فوق الأكاسيد مثل فوق أكسيد الهيدروجين $H_2O_2$ ، فوق أكسيد البوتاسيوم $K_2O_2$ فيكون عدد تأكسد الأكسجين فيها هو <b>(-1)</b> ، وفي فلوريد الأكسجين $OF_2$ يكون عدد تأكسد الأكسجين <b>(+2)</b> وذلك لأن للفلور سالبة كهربائية أكبر من الأكسجين .

# التغيرات الكهروكيميائية

٥	عدد التأكسد لكل عنصر من عناصر المجموعات ( 3 ، 2 ، 1 ) في مركباته يساوي رقم المجموعة مسبقا بالإشارة الموجبة .	عدد تأكسد K في $K_2SO_4$ يساوي (1+) ، عدد تأكسد Ca في $Ca(NO_3)_2$ يساوي (2+) .
٦	عدد تأكسد الهالوجينات ( I , Br , Cl ) 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 $AlCl_3$ يساوي (1-) ، عدد تأكسد البروم في $MgBr_2$ يساوي (1-) .
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 .
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 لذرّة (Mn)] = 1 -

الجدول ( ١-١ ) : قواعد حساب أعداد التأكسد

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 .

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

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

$$2Cr = +12$$

$$Cr = +6$$

# التغيرات الكهروكيميائية

حساب عدد تأكسد النيتروجين :

$$= [ \text{عدد تأكسد (9 ذرات أكسجين)} ] + [ \text{عدد تأكسد (3 ذرات نيتروجين)} ] + [ \text{عدد تأكسد ذرة ألومنيوم} ] = \text{صفر} .$$

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

$$3N = +15$$

$$N = +5$$

مثال (٢) :

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

الحل :

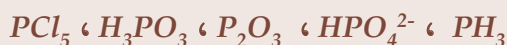
$$-2 = [ \text{عدد تأكسد (4 ذرات أكسجين)} ] + [ \text{عدد تأكسد ذرة منغنيز} ]$$

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

$$Mn = +6 \text{ عدد تأكسد } Mn$$

## اختبر فهمك (٢) :

(أ) احسب عدد التأكسد للفسفور في كل مما يلي :



(ب) احسب عدد تأكسد الكلور في كل مما يلي :



(ج) ماذا تستنتج من حساب عدد التأكسد لكل من الفسفور والكلور .

# التغيرات الكهروكيميائية

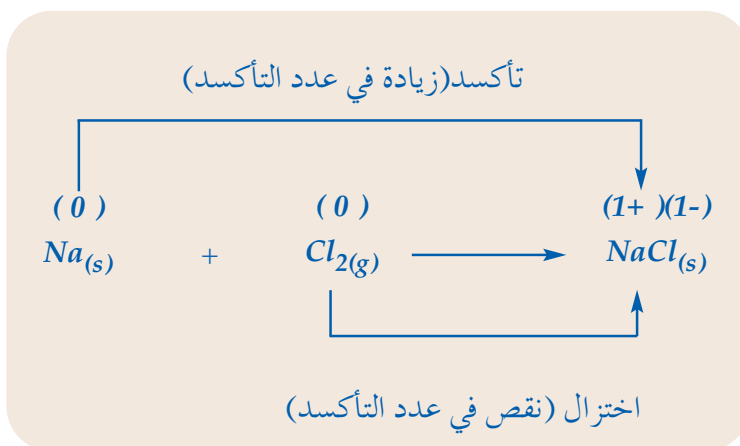
## ٣-١ تفاعلات التأكسد والاختزال بمفهوم عدد التأكسد

### Redox Reactions Using Oxidation Number Concept

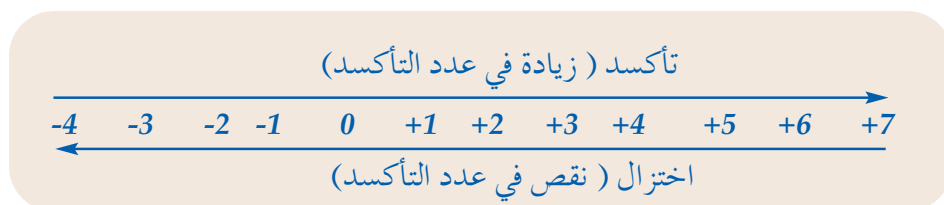
يتفاعل الصوديوم مع الكلور مكونا كلوريد الصوديوم ، كما في المعادلة التالية. نتمعن في هذه المعادلة ، ثم احسب أعداد التأكسد لكل ذرة من الذرات الموجودة على طرفيها :



لعلك وجدت أن الصوديوم عندما يتحول من ذرة صوديوم  $Na$  إلى أيون صوديوم  $Na^+$  يفقد إلكترونات أي يحدث له **تأكسد**، وعندما يتحول الكلور من ذرات كلور في جزيء الكلور  $Cl_2$  إلى أيون كلوريد  $Cl^-$  فإنه يكتسب إلكترونات أي يحدث له **اختزال**. وعند كتابة المعادلة ثانية تتضح عليها أعداد التأكسد كما يلي :



ومن ملاحظة التغير في أعداد التأكسد يمكن تعريف التأكسد بأنه الزيادة في عدد التأكسد ، والاختزال بأنه النقصان في عدد التأكسد ، وبما أن الصوديوم قد حدث له تأكسد فإنه يكون عاملاً مختزلاً ، والكلور الذي حدث له اختزال يكون عاملاً مؤكسداً . وبالتالي فإن العامل المؤكسد هو المادة التي تحتوي على عنصر ينقص عدد تأكسده ، والعامل المختزل هو المادة التي تحتوي على عنصر يزداد عدد تأكسده . ويمكن الاستعانة بالخطط التالي لمعرفة التغير في أعداد التأكسد:





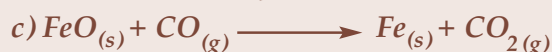
# التغيرات الكهروكيميائية

## اختبر فهمك (٣) :

١- حدد الذرات التي تأكسدت والذرات التي اختزلت، وكذلك العامل المؤكسد والعامل المختزل في كل من التفاعلات الآتية :



٢- أي التفاعلات التالية يمثل تفاعل تأكسد واختزال وأيها لا يمثل تفاعل تأكسد واختزال؟ وفسر إجابتك.



قد تسلك المواد سلوك العامل المؤكسد في بعض التفاعلات، وتسلك سلوك العامل المختزل في تفاعلات أخرى، ويعتمد ذلك على طبيعة المواد المتفاعلة معها وعلى الوسط الذي يتم فيه التفاعل، فمثلا يسلك ثاني أكسيد الكبريت ( $SO_2$ ) سلوك العامل المؤكسد عند تفاعله مع الهيدروجين، كما في المعادلة :



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



## معلومة تهلك :

هنالك بعض المواد تسلك سلوك العامل المؤكسد والعامل المختزل في التفاعل نفسه ، أي أن ذرات هذه المادة تؤكسد وتختزل نفسها ، وتسمى هذه التفاعلات بتفاعلات التأكسد والاختزال الذاتي *Disproportionation* كما في المعادلة :



إذا حسبنا أعداد تأكسد الكلور على طرفي معادلة التفاعل ستلاحظ أن الكلور ( $Cl_2$ ) قد نقص عدد تأكسده (من 0 في  $Cl_2$ ) إلى -1 في  $NaCl$  أي أنه حدث له اختزال، وفي الوقت نفسه ازداد عدد تأكسده (من 0 في  $Cl_2$ ) إلى +1 في  $NaClO$  أي أنه تأكسد .

# التغيرات الكهروكيميائية

## اختبر فهمك (٤):

اكتب مثالا واحدا على كل نوع من أنواع التفاعلات التالية : التفكك ، الاتحاد المباشر ، الإحلال البسيط ، ثم وضع التأكسد والاختزال في كل مثال .

إن كثيرا من أنواع التفاعلات التي درستها في السنوات السابقة هي تفاعلات تأكسد واختزال ، كذلك فإن هنالك تفاعلات كثيرة تحدث في حياتنا اليومية سواء في الأنظمة غير الحية *non-living systems* أو الأنظمة الحية *living systems* تمثل تفاعلات تأكسد واختزال ومن أمثلتها :

١- تفاعل التمثيل الضوئي *photosynthesis* في النبات كما في المعادلة :



حيث يتأكسد الماء بوجود الضوء كما في المعادلة الآتية (الشكل ١-٣) :



## معلومة تهمك:

يتمثل الاختزال في تفاعل التمثيل الضوئي بتكوين مركب ( *NADPH* ) ، وهو مركب مشتق من فيتامين *B4* (النياسين) ويسمى بالناقل الإلكتروني .



الشكل (١-٣): عملية التمثيل الضوئي

# التغيرات الكهروكيميائية

٢- تفاعل التنفس الخلوي *cellular respiration* كما في المعادلة :

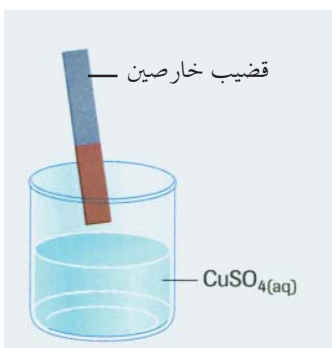


وهي عملية معاكسة لعملية التمثيل الضوئي، حيث تنتج الطاقة التي يستفاد منها للقيام بالعمليات الحيوية .  
ويمكن تلخيص عمليتي التأكسد والاختزال بالجدول (٢-١) :

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

الجدول (٢-١): عمليتا التأكسد والاختزال

## ٤-١ تلقائية التفاعلات *Spontaneity of Reactions*



عرفت أن تفاعل التأكسد والاختزال عبارة عن انتقال إلكترونات من مادة إلى أخرى ، وهذا الانتقال يتم بالتنافس بين هذه المواد على الإلكترونات *competition for electrons* ، فإذا كان لإحدى المادتين القدرة على جذب الإلكترونات من المادة الأخرى يحدث تفاعل بينهما بشكل تلقائي *spontaneous* ، مثل تفاعل أيونات النحاس ( $Cu^{2+}$ ) مع ذرات الخارصين ( $Zn$ ) لدى وضع قضيب من الخارصين في محلول كبريتات النحاس (الشكل ٤-١).

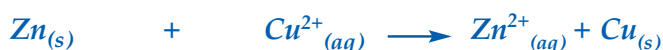
الشكل (٤-١): تفاعل تلقائي

# التفاعلات الكهروكيميائية



الشكل: (٥-١) تفاعل غير تلقائي

إذا لم يكن لأي من المادتين المتفاعلتين القدرة على جذب الإلكترونات من المادة الأخرى فلن يحدث تفاعل ( التفاعل غير تلقائي *nonspontaneous*)، وذلك يمكن مشاهدته عند وضع سلك من النحاس في محلول أيونات النيكل ( $Ni^{2+}$ ) كما في ( الشكل ٥-١) .  
يمكن تمثيل التفاعل التلقائي السابق كما يلي :



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

تلاحظ من التفاعل السابق أن أيونات النحاس  $Cu^{2+}_{(aq)}$  تؤكسد الخارصين  $Zn$  لكن هل تستطيع جميع الأيونات أن تؤكسد الخارصين؟ بمعنى آخر هل جميع الأيونات لها القوة نفسها كعوامل مؤكسدة؟ لمعرفة ذلك لا بد من التوسع في إجراء تفاعلات إحلال بسيط بين أيونات عناصر وذرات عناصر أخرى، حيث يمكن الاستدلال على قوة العوامل المؤكسدة والمختزلة .

إذا أجرينا تفاعلات بين ذرات عناصر كل من: النحاس  $Cu_{(s)}$  ، والرصاص  $Pb_{(s)}$  ، والفضة  $Ag_{(s)}$  ، والنيكل  $Ni_{(s)}$  مع محاليل تحتوي على أيونات  $Cu^{2+}_{(aq)}$  ،  $Pb^{2+}_{(aq)}$  ،  $Ag^{2+}_{(aq)}$  ،  $Ni^{2+}_{(aq)}$  ، فسنجد أن ترتيب قدرة هذه الأيونات على التفاعل مع عناصرها كما في الجدول: (٣-١)

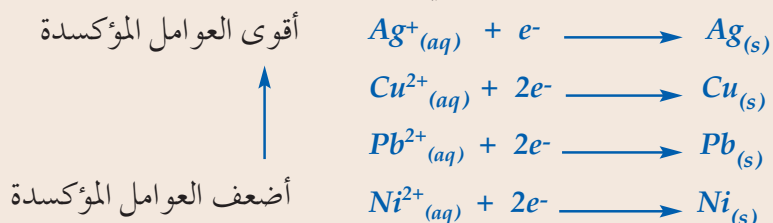
الأيون	$Ag^{+}_{(aq)}$	$Cu^{2+}_{(aq)}$	$Pb^{2+}_{(aq)}$	$Ni^{2+}_{(aq)}$
يتفاعل مع	$Ni_{(s)}$ ، $Pb_{(s)}$ ، $Cu_{(s)}$	$Ni_{(s)}$ ، $Pb_{(s)}$	$Ni_{(s)}$	---
عدد التفاعلات	3	2	1	0

الجدول (٣-١): تفاعلات عناصر مع أيوناتها



# التفريعات الكهروكيميائية

يتضح من الجدول (٣-١) أن ترتيب قوة العوامل المؤكسدة كما يلي:

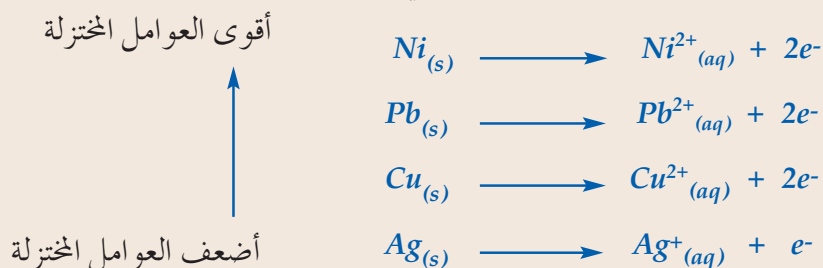


ومن التفاعلات السابقة نفسها أيضا سنجد ترتيب قدرة العناصر على التفاعل مع أيوناتها، كما في الجدول (٤-١):

العنصر	$Ni_{(s)}$	$Pb_{(s)}$	$Cu_{(s)}$	$Ag_{(s)}$
يتفاعل مع	$Ag^+_{(aq)}, Pb^{2+}_{(aq)}, Cu^{2+}_{(aq)}$	$Ag^+_{(aq)}, Cu^{2+}_{(aq)}$	$Ag^+_{(aq)}$	---
عدد التفاعلات	3	2	1	0

الجدول (٤-١): تفاعلات عناصر مع أيوناتها

كما يتضح من الجدول (٤-١) أن ترتيب قوة العوامل المختزلة كما يلي:



# التفيزات الكروكيمياية

إذا دجنا الترتيبين السابقين في ترتيب واحد يمثل قوة العوامل المؤكسدة والمختزلة فسنحصل على الترتيب الآتي :

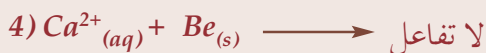
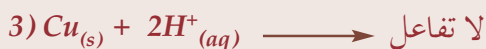
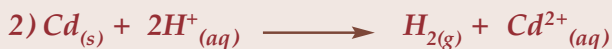
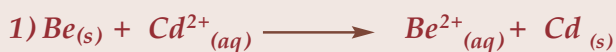
اتجاه	$Ag^+_{(aq)} + e^- \rightleftharpoons Ag_{(s)}$	اتجاه
قوة	$Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons Cu_{(s)}$	قوة
العوامل	$Pb^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons Pb_{(s)}$	العوامل
المؤكسدة	$Ni^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons Ni_{(s)}$	المختزلة

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

## اختبر فهمك (٥) :

أجرى أحد الطلاب تجارب لتفاعلات كيميائية وحصل على نتائج ممثلة في المعادلات الآتية :



اكتب جدولاً لأنصاف التفاعلات مبيناً فيه القوى النسبية للعوامل المؤكسدة والعوامل المختزلة لهذه العناصر وأيوناتها.

## \* قم بتنفيذ الدرس العملي رقم (١)

# التغيرات الكهروكيميائية

## ١-٥ موازنة معادلات التأكسد والاختزال Balancing Redox Equations



إن معرفة نسب المواد المتفاعلة من الأمور المهمة في التطبيقات الكيميائية ، فالنسبة المولية يمكن معرفتها من المعادلة الموزونة، وذلك لإجراء الحسابات الكيميائية ومعرفة كميات النواتج .  
بعض معادلات التأكسد والاختزال البسيطة يمكن موازنتها بطريقة المحاولة والخطأ مثل تفاعلات الإحلال البسيط والاحتراق، ولكن كثيرا من تفاعلات التأكسد والاختزال تصعب موازنتها بهذه الطريقة، وهناك طريقتان لموازنة هذه المعادلات هما :طريقة أنصاف التفاعل وطريقة تغير أعداد التأكسد.

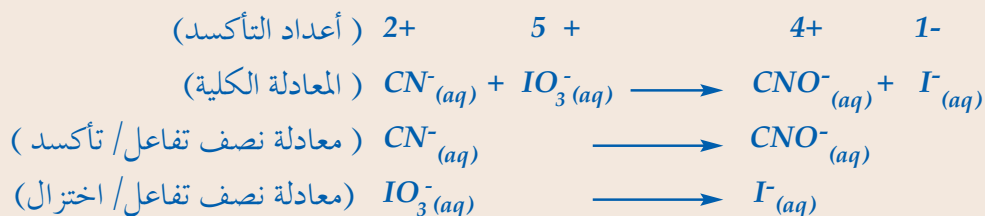
### ١-٥-١ طريقة التفاعلات النصفية Half - Reactions Method

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

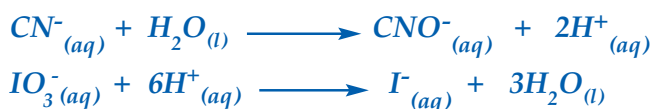
#### مثال :

في بعض تفاعلات التحليل الكمي تمت مفاعلة محلول يحتوي على أيونات السيانييد مع محلول يحتوي على أيونات اليودات في الوسط الحمضي، وكانت النواتج هي أيونات اليوديد والسيانات . زن معادلة التفاعل بطريقة أنصاف التفاعل.

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

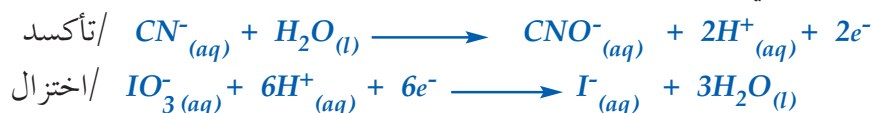


٢- نوازن كلا من المعادلات النصفية من حيث عدد الذرات، فإذا كان هنالك فرق في عدد ذرات الأكسجين (في الوسط الحمضي) تتم إضافة جزيئات ماء ( $H_2O$ ) بمقدار الفرق إلى الطرف الذي ينقصه الأكسجين وتضاف أيونات هيدروجين ( $H^+$ ) إلى الطرف الآخر لمساواة أعداد الهيدروجين .

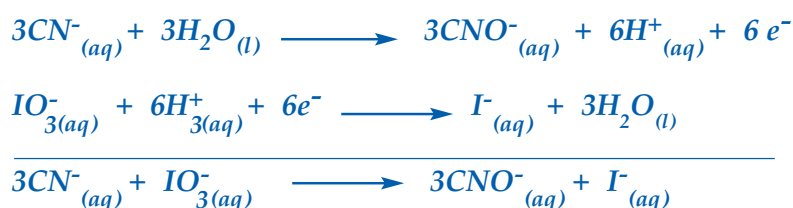


# التفيرات الكهروكيميائية

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



٤- نضرب إحدى المعادلتين أو كليهما 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.

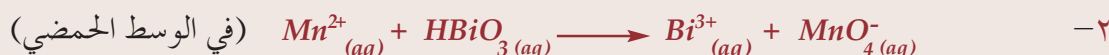


وإذا كان وسط التفاعل قاعديا تضاف إلى طرفي المعادلة أيونات هيدروكسيل ( $\text{OH}^-$ ). بمقدار عدد أيونات الهيدروجين ( $\text{H}^+$ ) الموجودة، وتدمج لتكوين الماء ثم نوازن جزيئات الماء.

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

## اختبر فهمك (٦):

زن كلا من المعادلات التالية بطريقة أنصاف التفاعل:





# التغيرات الكهروكيميائية

## ١-٥-٢ طريقة تغيير 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 :

**مثال :**

تفاعل أيونات الكلورات مع اليود في الوسط الحمضي منتجة أيونات الكلوريد وأيونات اليودات - بطريقة تغيير أعداد التأكسد. زن معادلة التفاعل .

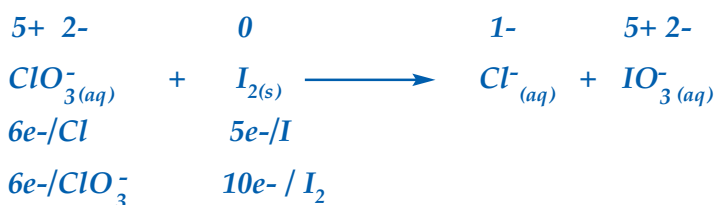


١- نعين أعداد التأكسد لكل ذرة أو أيون في المعادلة ونلاحظ التغير في أعداد التأكسد .

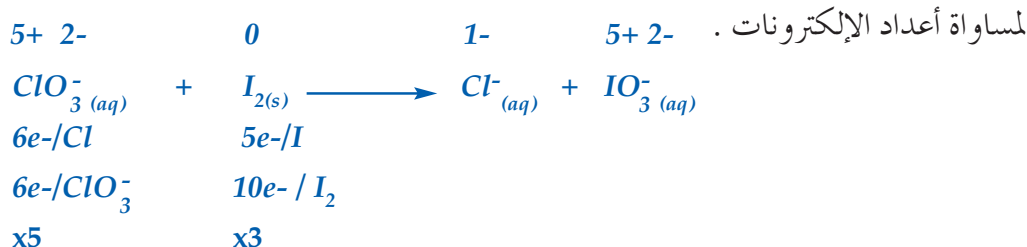


نلاحظ أن الكلور اختزل، فقد نقص عدد تأكسده من (+5) إلى (-1) وبالتالي فإن مقدار التغير يساوي (6) ، واليود تأكسد فقد زاد عدد تأكسده من (0) إلى (+5) وبالتالي فإن مقدار التغير يساوي (5) .

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 .



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



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

# التغيرات الكهروكيميائية

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 :



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 ) .



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

معلومة تهمك :

قد لا تظهر أيونات الهيدروجين  $H^+$  أو أيونات الهيدروكسيل ( $OH^-$ ) في المعادلة الموزونة على الرغم من أن التفاعل يتم في الوسط الحمضي أو القاعدي وسبب ذلك أن هذه الأيونات تستهلك في أثناء التفاعل .

اختبر فهمك (٧) :

بطريقة تغير أعداد التأكسد زن كلا من المعادلات الآتية :



# التفيرات الكهروكيميائية

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:

$$(١) \text{ الكتلة} = \text{الكتلة المولية} \times \text{عدد المولات}$$

$$\text{Mass (g)} = \text{Molar mass (g/mol)} \times \text{Number of moles}$$

$$(٢) \text{ المولارية} = \text{عدد المولات} \div \text{حجم المحلول باللتر}$$

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

مثال :

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



احسب تركيز محلول بيرمنغنات البوتاسيوم .

الحل :

– نكتب معادلة التفاعل الموزونة



– نحسب عدد مولات كبريتات الحديد (II)

$$\text{FeSO}_4 \text{ الكتلة المولية ل} = 56 + 32 + 4(16) = 152\text{g/mol}$$

$$\text{FeSO}_4 \text{ عدد مولات} = \frac{0.76\text{g}}{152\text{g/mol}} = 0.005 \text{ mole}$$

– من وزن المعادلة

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

$$\begin{array}{ccc} 1 \text{ mole} & : & 5 \text{ mole} \\ ? & & 0.005 \text{ mole} \end{array}$$

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

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

## اختبر فهمك (٨):

تستخدم أيونات السيريوم (IV) لتقدير كمية أيونات الحديد (II) في مركباتها حسب المعادلة:

$$Ce^{4+}_{(aq)} + Fe^{2+}_{(aq)} \longrightarrow Fe^{3+}_{(aq)} + Ce^{3+}_{(aq)}$$

فإذا وجد أن 25 mL من محلول أيونات  $Fe^{2+}$  قد لزمها 15 mL من محلول أيونات  $Ce^{4+}$  الذي تركيزه 0.125 M لإتمام عملية الأكسدة فاحسب تركيز محلول  $Fe^{2+}$ .

## 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.

## قصر الألوان :

**الهدف :** دراسة أثر العوامل المؤكسدة على البقع والأصباغ.

**إجراءات الأمن والسلامة :** ارتداء اللباس المخبري والنظارات الواقية .

**المواد والأدوات :** قطعة من الكرتون المقوى ،قطارة طبية ، ماء .

**عوامل مؤكسدة :** ماء كلور 5% ( كلوركس)، مسحوق مبيض ، فوق أكسيد الهيدروجين 3% .

**عينات :** عصير جريب فروت ،ماء به صداً، قطعة قماش ملونة ، بتلات أزهار ملونة ، قطعة قماش بيضاء عليها بقع عشبية.

### الإجراءات :

١- ضع 4 قطرات من كل من العينات السابقة ( أوقطعا صغيرة من العينات الصلبة) على صفيحة الكرتون بحيث تكون المسافة بين كل عينة وأخرى حوالي 5 cm . صف لون أو مظهر كل عينة .



# التغيرات الكهروكيميائية

- ٢- أضف عدة قطرات من العامل المؤكسد الأول (ماء الكلور) إلى كل عينة ، صف أي تغير لحظي يحدث على اللون ، ثم راقب أي تغير يحدث خلال 15 دقيقة .
- ٣- كرر الخطوتين السابقتين باستخدام العوامل المؤكسدة الباقية .
- ٤- كون شبكة ( جدولاً ) وسجل فيها مشاهداتك .

## التحليل والتفسير :

- ١- قارن قوة العوامل المؤكسدة .
- ٢- كيف تعرف أن هنالك تفاعلاً كيميائياً قد حدث ؟

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 :



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 أماناً على الملابس الملونة .

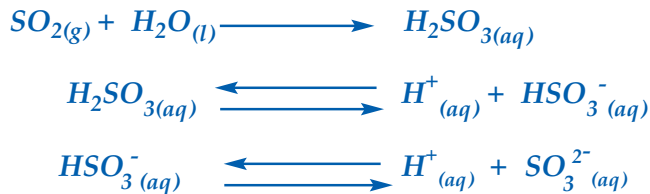
**(ب)** قصر ألوان المنسوجات : يستخدم محلول فوق أكسيد الهيدروجين ( 10-15% ) لقصر لون القطن وخيوط البوليستر .

## معلومة تهمك :

يستخدم فوق أكسيد الهيدروجين  $H_2O_2$  في قصر ألوان الشعر ، لكن ينصح بعدم الإفراط في استخدامه لأنه يسبب تقصف الشعر وتقرح جلدة الرأس .

# التغيرات الكهروكيميائية

\* 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 :



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 للجنب والتفاح في أثناء التخزين لأنه يساعد على تفتيح لونها .

## ٢- استخلاص الفلزات من خاماتها Metal Extraction

يوجد بعض العناصر في الطبيعة على صورة عناصر منفردة كالذهب والفضة، إلا أن معظم الفلزات يوجد على صورة خامات بسيطة مثل الأكاسيد والكلوريدات والكبريتيدات أو خامات مركبة مثل الكريولايت أو الهيماتايت في الصخور ، وقد تمكن الإنسان من استخلاص بعض العناصر وخاماتها كالححاس والحديد منذ القدم (الشكل ١-٦):



الشكل (١-٦) : تاريخ صناعة التعدين

# التغيرات الكهروكيميائية

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



## ٣- معالجة المياه *Water treatment*

يعتبر الماء من أهم وأول المواد الكيميائية التي عرفها الإنسان ، فبدونه لن تستمر حياة أي كائن حي من حيوان أو نبات.

قال تعالى: **أُولَئِكَ الَّذِينَ كَفَرُوا أَنْ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ كَانَتَا نَارًا تَفَنَّقَتْنِيهِمَا وَجَعَلْنَا مِنْ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ أَفَلَا يُؤْمِنُونَ ﴿٣٠﴾** (الأنبياء - آية ٣٠)

إضافة إلى استعمال الماء في الشرب فهو ذو أهمية كبيرة في المنزل وفي الصناعات المختلفة وخاصة الصناعات الغذائية فيجب أن يكون خالياً من الميكروبات والجراثيم حيث تقدر منظمة الصحة العالمية *WHO* أن ملوثات المياه تسبب بوفاة أكثر من 25000 شخص في السنة نتيجة إصابتهم بأمراض الكوليرا والتيفود والإسهالات الأمامية، ولذلك فإنه من الأهمية بمكان تعقيم الماء والحصول عليه بصورة نقية، ويتم ذلك بإضافة الكلور ( $\text{Cl}_2$ ) 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 ( $\text{O}_3$ ) كمادة معقمة بدلاً من الكلور ، فالأوزون مادة مؤكسدة قوية تقتل الكائنات الحية الدقيقة وتزيل الألوان والروائح دون أن يكون له آثار سلبية على الصحة.

## اختبر فهمك (٩) :

- ١- زن بطريقة التفاعلات النصفية معادلة تفاعل أيون الهيبوكلوريت مع ثاني أكسيد الكبريت في الوسط الحمضي، علماً بأن نواتج التفاعل هي أيونات الكلوريد والكبريتات.
- ٢- الكلور سلاح ذو حدين ولذلك يسمى الحارس الغادر . فسر هذه العبارة .
- ٣- لا يستخدم الأوزون على نطاق واسع في تنقية المياه بالرغم من أنه أكثر أماناً من الكلور . ناقش هذه العبارة وهل هنالك بدائل أخرى ؟ أذكرها إن وجدت .

# التصويرات الكهروكيميائية

## ٤- التصوير الضوئي ( الفوتوغرافي ) Photography :

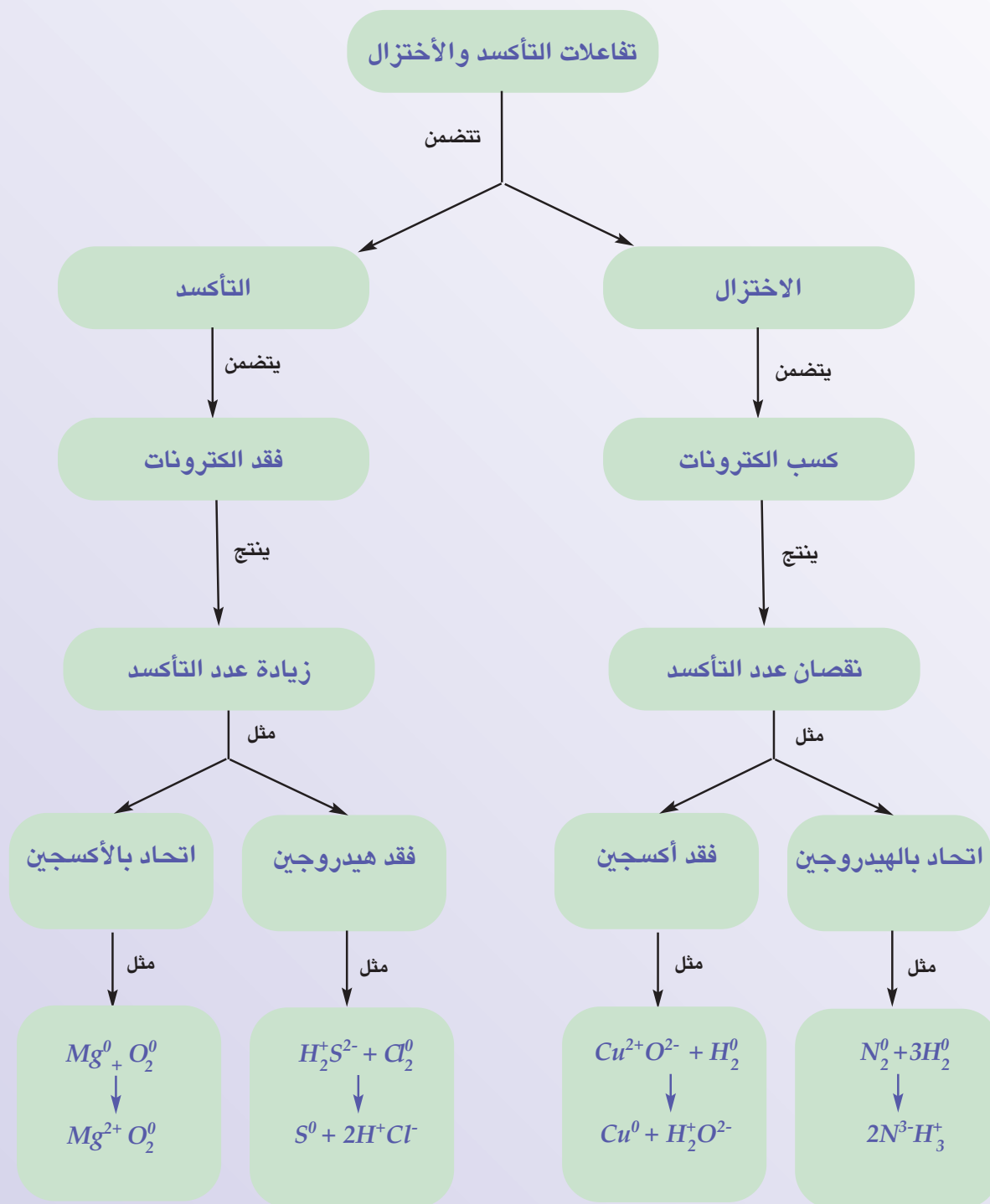
تتضمن عملية التصوير الضوئي إسقاط الضوء المنعكس عن جسم ما على مادة حساسة للضوء ثم معالجة الأثر الناتج للحصول على صورة دائمة. وهذه العمليات مبنية على تفاعلات تأكسد - اختزال هاليدات الفضة، فعندما يسقط الضوء المنعكس عن الجسم المراد تصويره من خلال عدسة آلة التصوير ( الكاميرا ) إلى لوحة الفيلم الضوئي التي 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 :



يتم أخذ الفيلم إلى مختبر مظلم ( لا يوجد فيه ضوء ) حيث يتم اختزال أيونات الفضة التي بقيت بصورة أيونية في المناطق التي تعرضت للضوء بواسطة عامل مختزل . ينقل الفيلم بعد ذلك إلى محلول يذيب بروميد الفضة في مناطق الفيلم التي لم تتأثر بالضوء أو كانت كثافة المنعكس عنها قليلة ( مثل منطقة الشعر أو غطاء الرأس )، فتتكون على الفيلم الصورة السلبية *negative* . ثم يتم طبع هذه الصورة السلبية على ورقة فوتوغرافية جديدة وتطبق عليها نفس خطوات الحصول على الصورة السلبية فتتكون الصورة الإيجابية *positive* التي تراها .



## خريطة مفاهيم الفصل



## أسئلة الفصل

### السؤال الأول :

اختر الإجابة الصحيحة لكل من العبارات التالية من بين البدائل المعطاة :

١- عدد تأكسد ذرة الكربون في مجموعة الكربونات ( $CO_3^{2-}$ ) هو :

- (أ) +8 (ب) +6 (ج) +4 (د) 0

٢- لذرة النيتروجين في نترات الأمونيوم ( $NH_4NO_3$ ) عددا تأكسد هما :

- (أ) +3 ، +4 (ب) +3 ، +5 (ج) -3 ، +5 (د) +3 ، -5

٣- أي العمليات التالية ليست عملية تأكسد :

- (أ) اتحاد بالأكسجين.  
(ب) فقد إلكترونات.  
(ج) نزع الهيدروجين.  
(د) نقص عدد التأكسد.

٤) أي التغيرات التالية يمثل تفاعل اختزال :



- (أ) I ، II (ب) II ، III (ج) I ، III (د) I ، II ، III

٥- أي المعادلات التالية تمثل معادلة تأكسد - اختزال ؟



# التغيرات الكهروكيميائية

٦- العبارة التي تنطبق على تفاعل الاتحاد المباشر هي:

- (أ) العناصر المتفاعلة تتأكسد .  
(ب) العناصر المتفاعلة تختزل .  
(ج) لا يحدث فيه تغير .  
(د) يتأكسد أحد العناصر ويختزل الآخر .

٧- عند اتحاد الكلور مع الأكسجين مكونا أكسيد الكلور  $Cl_2O_7$  فإن عدد تأكسد ذرات الكلور:

- (أ) يزداد بمقدار (2)  
(ب) يزداد بمقدار (5)  
(ج) يزداد بمقدار (7)  
(د) يقل بمقدار (7)

٨- أي التغيرات التالية يمثل عملية اختزال؟

- (أ)  $NO_3^-(aq) \longrightarrow NO(g)$   
(ب)  $2I^-(aq) \longrightarrow I_{2(aq)}$   
(ج)  $MnO_{2(s)} \longrightarrow MnO_4^-(aq)$   
(د)  $Ni(s) \longrightarrow Ni^{2+}(aq)$

٩- في التفاعل الذي تتحول فيه أيونات  $Cr_2O_7^{2-}$  إلى أيونات  $Cr^{3+}$  فإن كل ذرة  $Cr$ :

- (أ) تفقد (3) إلكترونات  
(ب) تكتسب (3) إلكترونات  
(ج) تكتسب (5) إلكترونات  
(د) تكتسب (6) إلكترونات

١٠- أي التفاعلات التالية يسلك فيه  $H_2O_2$  عاملاً مختزلاً؟

- (أ)  $H_2O_{2(l)} + PbS_{(s)} \longrightarrow PbSO_{4(aq)} + H_2O_{(l)}$   
(ب)  $H_2O_{2(l)} + SO_{2(g)} \longrightarrow H_2SO_{4(aq)}$   
(ج)  $H_2O_{2(l)} + 2I^-(aq) \longrightarrow I_{2(aq)} + H_2O_{(l)}$   
(د)  $H_2O_{2(l)} + MnO_{2(s)} \longrightarrow Mn^{+2} + H_2O_{(l)} + O_{2(g)}$

١١- أي أنواع التفاعلات التالية لا يعتبر تفاعل تأكسد-اختزال؟

- (أ) التعادل  
(ب) الاحلال البسيط  
(ج) الاحتراق  
(د) التكوين

# التفريعات الكهروكيميائية

١٢- نصف التفاعل الذي يمثل تحول  $Mo_{(s)}$  إلى  $MoO_{2(s)}$  هو :



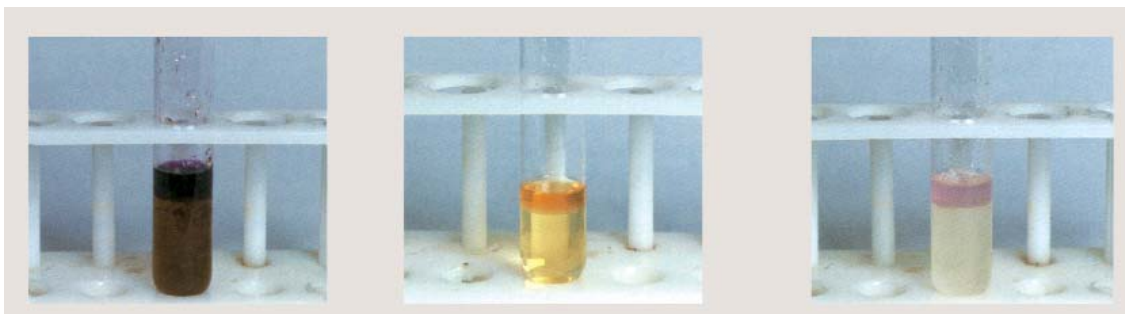
## السؤال الثاني :

احسب عدد التأكسد لذرات كل من الكبريت والكلور والفسفور في كل مما يلي :



## السؤال الثالث :

تم إجراء تجارب لتفاعلات تبادلية بين الهالوجينات ( $I_{2(aq)}$  ،  $Br_{2(aq)}$  ،  $Cl_{2(aq)}$ ) وأيونات الهاليدات ( $I^-_{(aq)}$  ،  $Br^-_{(aq)}$  ،  $Cl^-_{(aq)}$ ) وكانت النتائج كما هي مبينة في الشكل (٧-١) والجدول الذي يليه:



الشكل (٧-١): تفاعلات تبادلية بين الهالوجينات وأيوناتها

$I_{2(aq)}$	$Cl_{2(aq)}$	$Br_{2(aq)}$	
لا تفاعل	أصفر - بني	لا تفاعل	$Br^-_{(aq)}$
لا تفاعل	لا تفاعل	لا تفاعل	$Cl^-_{(aq)}$
لا تفاعل	أصفر - بني	أصفر - بني	$I^-_{(aq)}$

اكتب جدولاً لأنصاف التفاعلات مبيناً فيه القوى النسبية للعوامل المؤكسدة والعوامل المختزلة للهالوجينات وأيوناتها .



# التغيرات الكهروكيميائية

## السؤال الرابع :

زن معادلات التفاعلات التالية بطريقة تغير أعداد التأكسد ثم عين العامل المؤكسد والعامل المختزل في كل تفاعل .



## السؤال الخامس :

بطريقة التفاعلات النصفية زن معادلات تفاعلات التأكسد- اختزال التالية وبحسب الوسط المبين أمام كل منها:



## السؤال السادس :

قام أحد الطلاب بموازنة معادلة تفاعل كيميائي وحصل على النتيجة التالية :



هل هذه النتيجة التي حصل عليها تمثل المعادلة الموزونة ؟ فسر إجابتك .

## السؤال السابع :

علل كلا من العبارات التالية :

١- يفضل استخدام الأوزون في تعقيم مياه الشرب .

٢- لا توجد مركبات يكون فيها عدد تأكسد الفلور موجبا .

## السؤال الثامن :

محلول من دايكرومات البوتاسيوم  $K_2Cr_2O_7$  تركيزه  $0.28 M$  يلزم لأكسدة  $1.44 g$  من الكبريت وفقا للمعادلة التالية:



# التغيرات الكهروكيميائية

(١) زن معادلة التفاعل

(٢) احسب حجم محلول الدايمكرومات

## السؤال التاسع :

في تفاعل أكسدة واختزال إذا لزم  $10 \text{ mL}$  من محلول  $\text{Cr}^{2+}_{(aq)}$  تركيزه  $0.65 \text{ M}$  لإتمام التفاعل مع  $12.4 \text{ mL}$  من محلول حمضي لدايمكرومات البوتاسيوم فاحسب تركيز محلول الدايمكرومات، علما بأن نواتج التفاعل هي أيونات  $\text{Cr}^{3+}_{(aq)}$ .

## السؤال العاشر:

تمن في الجدول التالي الذي يمثل سلسلة الإحلال لعدد من العناصر وأجب عن الأسئلة التي تليه .

العنصر	أيون العنصر
3	$\text{K}^+$
	$\text{Ca}^{2+}$
	$\text{Na}^+$
	$\text{Mg}^{2+}$
	$\text{Al}^{3+}$
	$\text{Zn}^{2+}$
4	$\text{Fe}^{2+}$
	$\text{Ni}^{2+}$
	$\text{Sn}^{2+}$
	$\text{Pb}^{2+}$
5	$\text{Cu}^{2+}$
	$\text{Hg}^{2+}$
	$\text{Ag}^+$
	$\text{Au}^{3+}$

# التغيرات الكهروكيميائية

- ١- أي السهمين يبين اتجاه زيادة السهولة في التأكسد ؟ وأيها يبين اتجاه زيادة السهولة في الاختزال ؟
- ٢- أي مجموعة من العناصر هي الأقوى كعوامل مختزلة ؟
- ٣- أي مجموعة من العناصر يعتبر تأكسدها أصعب ؟
- ٤- أيهما أقوى كعامل مؤكسد  $Na$  أم  $Ni$  ؟
- ٥- أيهما أقوى كعامل مختزل  $Mg$  أم  $Hg$  ؟

# التفيزات الكهروكيميائية

## الخلايا الكهروكيميائية والتحليل الكهربائي Electrochemical Cells & Electrolysis



### الفصل الثاني

#### مقدمة الفصل

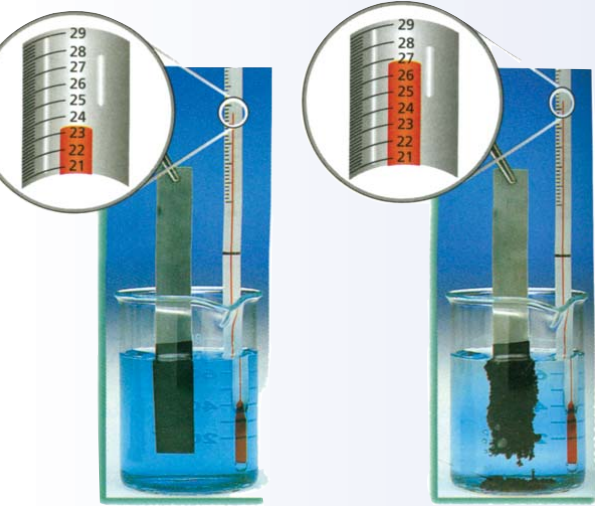
عرفت في أثناء دراستك السابقة أن بعض التفاعلات الكيميائية يحرر الطاقة وبعضها يحتاج إليها . وهذه الطاقة يمكن أن تكون أحيانا على شكل طاقة كهربائية ، وتسمى التفاعلات عندئذ بالتفاعلات الكهروكيميائية **electrochemical reactions** وهي ذات تطبيقات عملية في المنزل وفي الصناعة، ومن أمثلتها بطارية السيارة، والبطاريات التي تستعمل في أغراض متعددة مثل المصابيح اليدوية والآلات الحاسبة وغيرهما، وهذه البطاريات تحدث فيها تفاعلات تنتج الطاقة الكهربائية. وهناك تطبيقات صناعية أخرى مثل استخلاص بعض المعادن كالصوديوم والألومنيوم وطلاء بعض الأدوات المنزلية بالفضة وهذه التطبيقات تحدث فيها تفاعلات بفعل الطاقة الكهربائية.

في هذا الفصل سوف ندرس العلاقة بين الكهرباء وتفاعلات التأكسد - اختزال أو التفاعلات الكهروكيميائية ، وهي ما تسمى بالكيمياء الكهربائية **electrochemistry** .

فكيف تتم هذه التفاعلات ؟ وكيف نعب عنها بمعادلات تأكسد واختزال ؟ وما هي بعض الأمثلة على تطبيقاتها التي نستعملها في حياتنا اليومية ؟

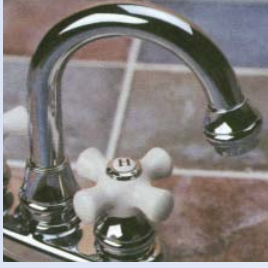
#### الموضوعات الرئيسية :

- ١-٢ الخلايا الجلفانية ( الفولتية ) .
- ٢-٢ الخلايا القياسية وجهد الخلايا .
- ٣-٢ الخلايا الإلكتروليتية والتحليل الكهربائي .
- ٤-٢ التطبيقات العملية والتقنية على الخلايا الكهروكيميائية .
- ٥-٢ حسابات التحليل الكهربائي .



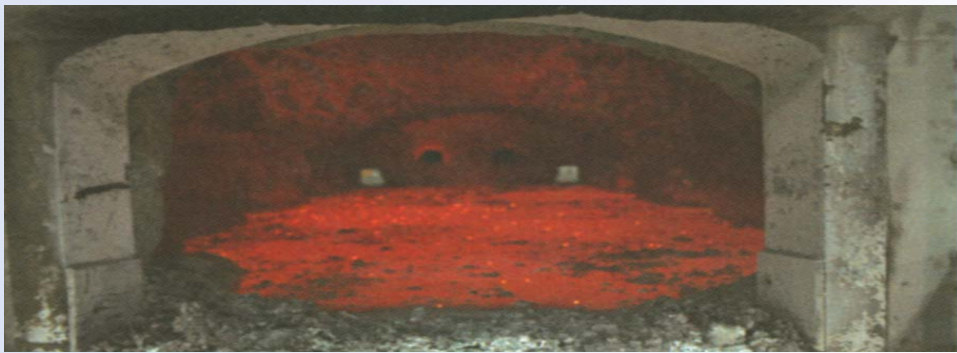


# التفيرات الكروكيمياية



## مصطلحات علمية جديدة :

- ١- الخلية الجلفانية ( الفولتية) ..... 1- Galvanic(Voltaic) cell
- ٢- القطب ..... 2- Electrode
- ٣- القطب الموجب ..... 3- Anode
- ٤- القطب السالب ..... 4- Cathode
- ٥- الأيون الموجب ..... 5- Cation
- ٦- الأيون السالب ..... 6- Anion
- ٧- القنطرة الملحية ..... 7- Salt bridge
- ٨- خلية التحليل الكهربائي ..... 8- Electrolytic cell
- ٩- قطب الهيدروجين ..... 9- Hydrogen electrode
- ١٠- الدائرة الخارجية ..... 10- External circuit
- ١١- جهد الاختزال القياسي ..... 11- Standard reduction potential
- ١٢- الطلاء الكهربائي ..... 12- Electroplating



## عناوين الاستكشافات :

- الاستكشاف (١): إحلل الخارصين محل أيونات النحاس.
- الاستكشاف (٢): تحليل محلول يوديد البوتاسيوم.

# التغيرات الكهروكيميائية

## ٢-١ الخلايا الجلفانية ( الفولتية ) *Galvanic (Voltaic) Cells* :



لقد اكتشفت الخلايا الكهربية حوالي عام ١٨٠٠ م واستخدمت في كثير من الأغراض العملية ، ولكنها لم تفسر علميا إلا بعد معرفة تفاعلات التأكسد - اختزال وعندها سميت بالخلايا الجلفانية نسبة إلى **ليوجي جلفاني** *Luigi Galvani* أو الخلايا الفولتية نسبة إلى **أليساندرو فولتا** *Alessandro Volta* وذلك لإسهامتهما في تفسير عمل هذه الخلايا. ولمعرفة تفاعلات هذه الخلايا دعنا نجري الاستكشاف الآتي :

### إحلال الخارصين محل أيونات النحاس :



**الهدف :** تعرف التغيرات التي تحدث عند تفاعل ذرات فلز مع أيونات فلز آخر .

**إجراءات الأمن والسلامة :** ارتداء اللباس المخبري والنظارات الواقية .

**المواد والأدوات :** لوح خارصين ، كأس زجاجية سعة  $250 \text{ mL}$  ،  $10 \text{ g}$  كبريتات نحاس ( II ) مائية ، ورق سنفرة ، ثرمومتر ، مناديل ورقية ، ماء مقطر .

### الإجراءات :

- ١- ضع  $10 \text{ g}$  من كبريتات النحاس ( II ) المائية في الكأس الزجاجية وأذبها في  $100 \text{ mL}$  من الماء المقطر . لاحظ لون المحلول وسجل درجة حرارته .
- ٢- نظف لوح الخارصين جيدا بواسطة ورق السنفرة - زن اللوح وسجل وزنه .
- ٣- اغمس اللوح إلى منتصفه تقريبا في محلول كبريتات النحاس - انتظر لمدة خمس دقائق ولاحظ ماذا يحدث من تغيرات وسجل درجة حرارة المحلول مرة ثانية .
- ٤- أخرج لوح الخارصين من المحلول ونظفه جيدا بمنديل ورقي ثم بالماء وجففه وزنه مرة ثانية وسجل وزنه .

### التحليل والتفسير :

- ١- ما التغيرات التي طرأت على لوح الخارصين ؟ إذا حدث تغير اكتب معادلة التفاعل .
- ٢- ما التغير الذي حدث على لون المحلول في الكأس ؟ ما علاقة ذلك بالتغيرات على لوح الخارصين ؟
- ٣- إذا كان هنالك فرق في كتلة لوح الخارصين فهل تتوقع حدوث تفاعل للخارصين ؟ أكتب معادلة التفاعل .
- ٤- هل تغيرت درجة حرارة المحلول ؟فسر ذلك .

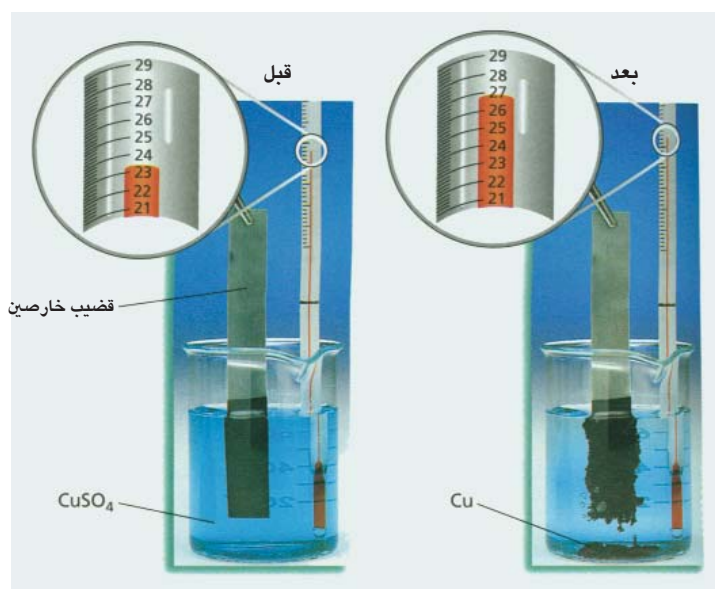
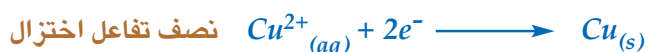
# التغيرات الكهروكيميائية

لا بد أنك لاحظت من الاستكشاف السابق ما يلي :

(أ) أن لوح الخارصين قد نقصت كتلته ويمكن تفسير هذا النقص في الكتلة بأن بعض ذرات الخارصين  $Zn$  قد تركت اللوح متحوّلة إلى أيونات خارصين  $Zn^{2+}$  (تأكسدت) وانتشرت في المحلول (الشكل ٢-١) .



(ب) أن الإلكترونات التي فقدتها ذرات الخارصين قد اكتسبتها (انتزعتها) أيونات النحاس  $Cu^{2+}$  الموجودة في المحلول متحوّلة إلى ذرات نحاس (اختزلت).



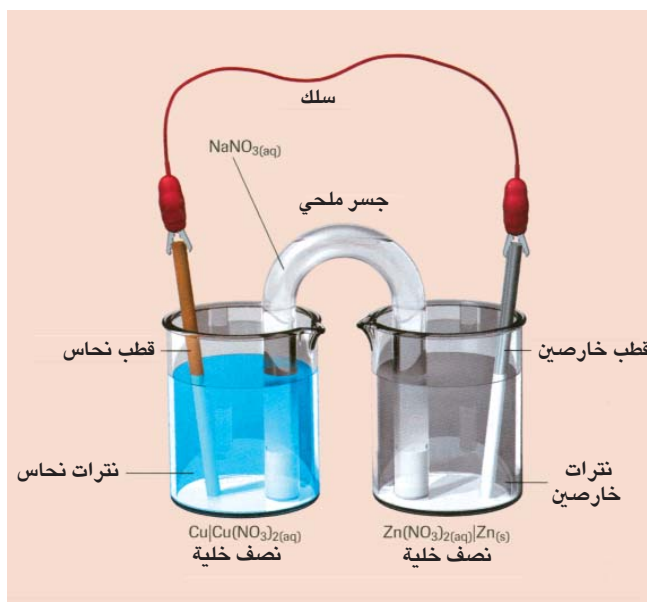
الشكل (٢-١): تفاعل الخارصين مع كبريتات النحاس

(ج) التفاعل الكلي ( تفاعل التأكسد - اختزال )



لقد كان هذا التفاعل مصحوبا بإنتاج الطاقة بصورة حرارة . والسؤال الذي طرح نفسه هو : كيف يمكن تحويل الطاقة الحرارية الناتجة إلى طاقة كهربائية ؟ لقد كانت الإجابة عن هذا السؤال بفصل العامل المؤكسد عن العامل المختزل بحيث يتم انتقال الإلكترونات بين الخارصين وأيونات النحاس (II) عبر سلك معدني ( بدلا من انتقالها مباشرة بينهما) والتي عرفت بالخلية الجلفانية وتتكون من جزأين يسمى كل واحد منهما نصف خلية  $half-cell$  والذي يتكون من قطب  $electrode$  واحد ومحلول إلكتروليتي . ومن أشهر الأمثلة على الخلايا الجلفانية خلية النحاس - خارصين (الشكل ٢-٢).

# التغيرات الكهروكيميائية



الشكل (٢-٢): خلية النحاس - خارصين

وتتكون هذه الخلية من وعاءين :

١- وعاء يحتوي على محلول من أيونات النحاس (II) ومغموس به جزئيا لوح من النحاس يسمى قطب النحاس

*copper electrode*

٢- وعاء يحتوي على محلول من أيونات الخارصين ومغموس به جزئيا لوح من الخارصين يسمى قطب

*zinc electrode*

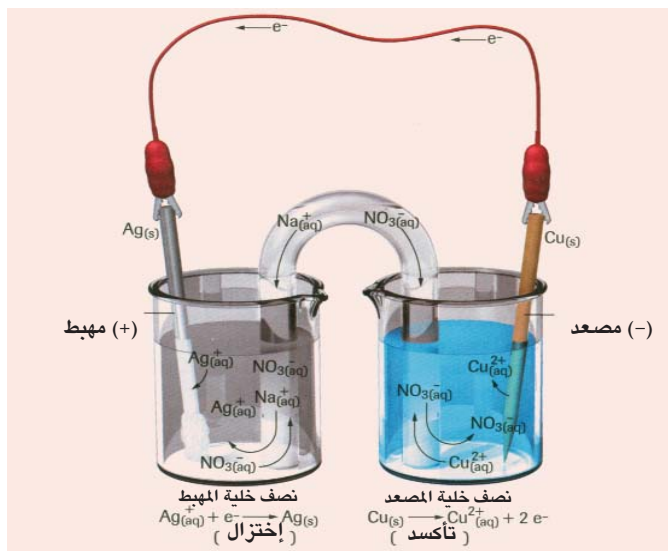
٣- سلك معدني يصل بين اللوحين المعدنيين .

٤- أنبوب على شكل حرف U تملأ بمحلول إلكتروليتي مثل  $NaCl$  أو  $KNO_3$  أو  $K_2SO_4$  ، يغلق طرفيها بالقطن وتقلب لينغمسا في محلولي الوعاءين وتسمى القنطرة الملحية *salt bridge* ، وظيفتها إكمال الدائرة الكهربائية ومنع التماس المباشر بين محلولي نصف الخلية والمحافظة على الإتزان الكهربائي فيهما ، وذلك نتيجة الاختلال الذي يحدث جراء تفاعل التأكسد- اختزال .

وتعرف الخلية الجلفانية بأنها أداة تتكون من نصف خلية وهذه الأداة تنتج الكهرباء تلقائيا . ولكي نفسر منشأ التيار الكهربائي في الخلية سندرس ما يحدث من خلال المشاهدات على خلية الفضة - نحاس (الشكل ٢-٣) وتفسيرها في الجدول (٢-١).



# التغيرات الكهروكيميائية



الشكل (٢-٣) خلية الفضة-نحاس

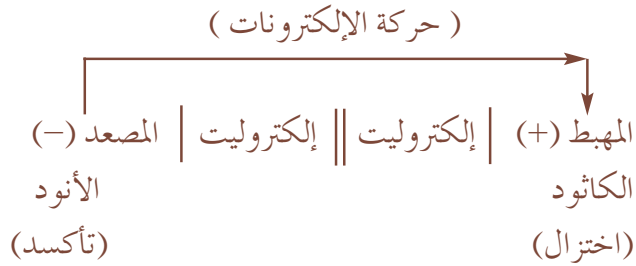
الرقم	المشاهدة	التفسير
١	تنقص كتلة قطب النحاس ويزداد تركيز اللون الأزرق للمحلول.	يتأكسد النحاس مكونا أيونات النحاس (II) التي تلون المحلول باللون الأزرق $Cu(s) \longrightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^{-}$
٢	تزداد كتلة قطب الفضة وتظهر عليه بلورات فضة لامعة.	يحدث اختزال لأيونات الفضة مكونا ذرات فضة تترسب على القطب $Ag^{+}_{(aq)} + e^{-} \longrightarrow Ag(s)$
٣	ينتقل اللون الأزرق ببطء إلى الأنبوب U من جهة النحاس إلى جهة الفضة، ويبقى المحلول متعادلا كهربائيا.	تتجه أيونات النحاس (II) نحو المهبط والأيونات السالبة تتجه نحو المصعد وذلك لتعويض النقص في الأيونات مثل أيونات الفضة.
٤	يشير الفولتميتر إلى أن قطب الفضة هو المهبط (+) وقطب النحاس هو المصعد (-).	الإلكترونات تتحرك من قطب النحاس إلى قطب الفضة خلال السلك المعدني.
٥	يبين الفولتميتر سريان تيار كهربائي بين قطبي النحاس والفضة.	تغادر الإلكترونات نصف خلية النحاس وتدخل نصف خلية الفضة.

الجدول (٢-١): مشاهدات خلية الفضة - نحاس

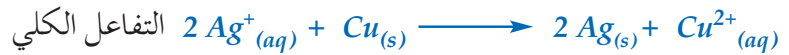
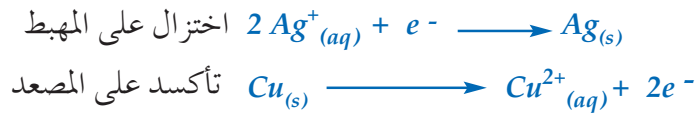


# التغيرات الكهروكيميائية

وفي الخلية السابقة يسمى القطب الذي يحدث عليه نصف تفاعل التأكسد بالمصعد ( الأنود )  $anode$  وهو سالب الشحنة - والتأكسد يحدث للمادة الأقوى كعامل مختزل - وهو في هذه الخلية  $Cu_{(s)}$  . كما يسمى القطب الذي يحدث عليه نصف تفاعل الاختزال بالمهبط (الكاثود)  $cathode$  وهو موجب الشحنة حيث إن الاختزال يحدث للمادة الأقوى كعامل مؤكسد - وهو في هذه الخلية  $Ag^+_{(aq)}$  ، وعادة يرمز إلى الخلية الجلفانية بالرمز العام الآتي:



ويعبر عن التفاعلات التي تحدث في الخلية السابقة كما يلي :



## معلومة تهمك

في الخلايا الجلفانية سمي المصعد بهذا الاسم لأن الإلكترونات تصعد منه إلى الدائرة الخارجية (فهو مصدر الإلكترونات) ، وسمي المهبط بهذا الاسم لأن الإلكترونات تنزل (تهبط) عليه من الدائرة الخارجية.

**ملاحظة :** هنالك بعض الخلايا لا يمكن فيها استخدام قطب من نوع مادة المحلول نفسها وذلك لأنها تتفاعل مع المحلول . مثلاً في نصف خلية تحتوي على محلول حمضي من دايكرومات الصوديوم أو كلوريد الصوديوم لا يمكن معه استخدام قطب صوديوم ، ولذلك يستخدم بدلاً عنه أحد الأقطاب الخاملة ( لا تتفاعل مع مادة المحلول ) مثل الكربون والبلاطين .

# التغيرات الكهروكيميائية

## اختبر فهمك (1):

لكل من الخلايا الجلفانية الآتية:

- (١) خلية مصعداها من الألومنيوم ومهبطها من الفضة .
- (٢) خلية مصعداها من الكروم ومهبطها من النيكل.
- (أ) اكتب معادلتَي نصفَي التفاعلين الحادثين على كل من المهبط والمصعد .
- (ب) اكتب معادلة التفاعل الكلي لكل منهما .
- (ج) بين اتجاه سريان الإلكترونات في كل منهما، وكذلك اتجاه حركة الأيونات الموجبة والسالبة في كل منهما .

## ٢-٢ الخلايا القياسية وجهد الخلايا Standard Cells & Cell Potentials



إن التيار الكهربائي الذي نحصل عليه من أي خلية جلفانية يأتي نتيجة انتقال الإلكترونات من المصعد إلى المهبط ، لأن انتقال الإلكترونات يحتاج إلى قوة تدفعها وتحركها في السلك الموصل بين المصعد والمهبط، وتسمى هذه القوة بالقوة الدافعة الكهربائية ( *electromotive force ( emf* ) ، وتعرف في الخلايا الجلفانية بجهد الخلية *cell potential* ويرمز إليه بالرمز  $\Delta E$  .

ويرمز إلى جهد الخلية القياسي بالرمز  $\Delta E^\circ$  وهو عبارة عن أعلى فرق جهد كهربائي (فولتية *Voltage*) للخلية التي تعمل في الظروف القياسية وهي : تركيز  $1.0 M$  للمحاليل ودرجة حرارة  $25^\circ C$  (  $298^\circ K$  ) وضغط جوي  $1.0 atm$  للغازات ( إن وجدت ) . وهي تمثل فرق الطاقة (لكل وحدة شحنة) بين المهبط والمصعد ، ويقاس هذا الفرق بوحدة الفولت *Volt* ويستخدم لقياسها جهاز الفولتميتر . وبناء على مفهوم التنافس على الإلكترونات فإن جهد الاختزال القياسي الذي يرمز إليه بالرمز ( $E^\circ$ ) يعبر عن ميل نصف الخلية القياسي لجذب الإلكترونات، أي أنه يحدث فيها اختزال، وكلما زاد هذا الميل زادت قيمة جهد الاختزال، وعليه فإن جهد الخلية هو الفرق بين جهدي الاختزال لنصفَي الخلية .

$$\Delta E^\circ = E_r^\circ - E^\circ$$

للمصعد          للمهبط          للخلية

# التغيرات الكهروكيميائية

## ٢-١ قطب الهيدروجين القياسي Standard Hydrogen Electrode

لا توجد طريقة عملية لقياس فرق الجهد بين أي قطب وأيوناته في المحلول ( أي جهد قطب منفرد أو نصف خلية) بدون وجود قطب آخر ( نصف خلية أخرى )، لأن الخلية الجلفانية تحتاج إلى قطبين (نصفي خلية) يحدث لأحدهما نصف تفاعل تأكسد وللآخر نصف تفاعل اختزال. ولذلك عند قياس جهد قطب لعنصر معين لا بد من تكوين خلية من هذا القطب مع قطب آخر معلوم الجهد .

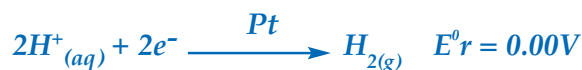
### معلومة تهمك :

تؤمن طبقة البلاتين المجزأ الأسود مساحة سطحية كافية لتفاعل أكبر كمية من غاز الهيدروجين عبر المساحات الدقيقة الموجودة في هذه الطبقة .

اتفق الكيميائيون على اعتبار عدد من الأقطاب للقياس منها قطب الهيدروجين القياسي (الشكل ٢-٤) وهو يتكون من نصف خلية تحتوي على لوح بلاتين مغلف بطبقة مسامية من البلاتين الأسود المجزأ تجزيئاً دقيقاً، وهذا اللوح مغموس في محلول أيونات الهيدروجين بتركيز  $1.0\text{ M}$  مثل حمض  $\text{HCl}$  ، ويمرر في هذا المحلول -وعلى تماس مباشر مع لوح البلاتين- تيار من غاز الهيدروجين النقي في الظروف القياسية، وقد اصطلح على اعتبار قيمة جهد اختزال قطب الهيدروجين مساوية للصفر، ومعادلة نصف التفاعل الذي يحدث عند هذا القطب :

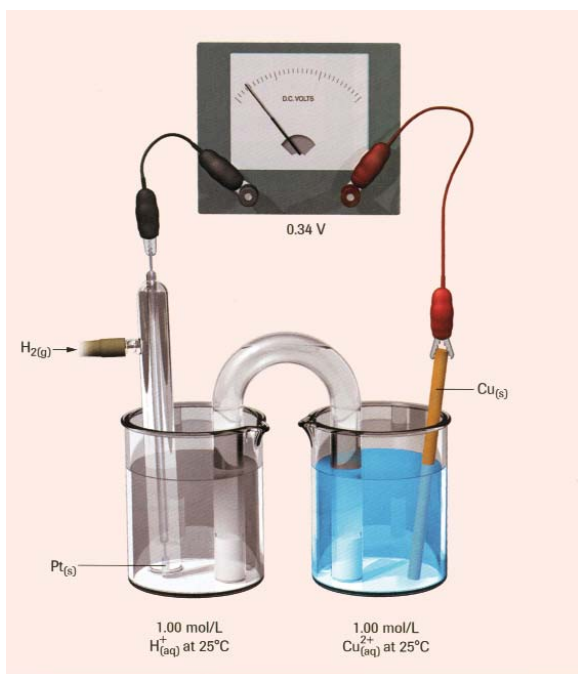


الشكل (٢-٤): قطب الهيدروجين القياسي



# التغيرات الكهروكيميائية

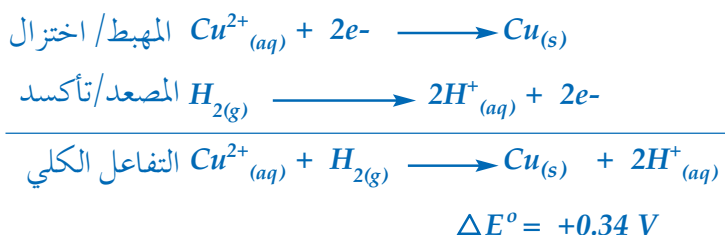
## ٢-٢-٢ قياس جهود الاختزال القياسية *Measuring Standard Reduction Potentials*



الشكل (٢-٥): خلية النحاس والهيدروجين

لقياس جهد اختزال قطب ما ( نصف خلية ) يتم وصلها بنصف خلية قياسية للهيدروجين ، وهنا يلزمنا معرفة شيئين هما: الفولتية **واتجاه التيار** ، فمقدار الفولتية يبين القيمة الرقمية لجهد القطب، واتجاه التيار يبين إشارة جهد القطب ، فإذا كانت إشارة الفولتية (  $\Delta E^0$  ) موجبة فإن الطرف الموجب للفولتميتر يكون مرتبطاً بالمهبط وإن العامل المؤكسد على المهبط أقوى من أيونات الهيدروجين وذلك ما يحدث في حالة استخدام خلية من قطبي النحاس والهيدروجين (الشكل ٢-٥).

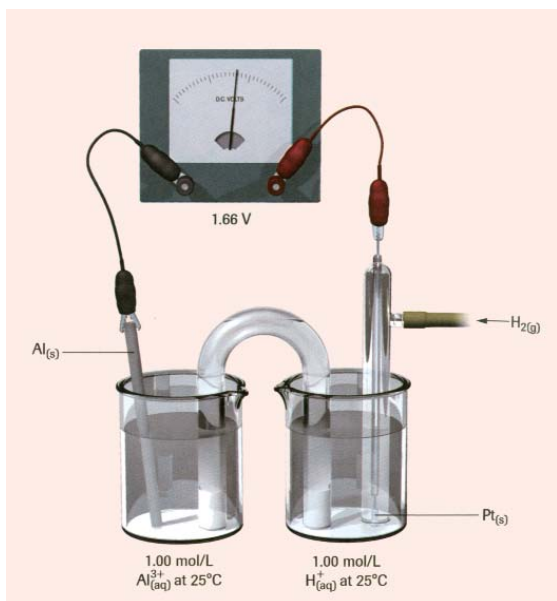
ويعني ذلك أن أيونات النحاس ( $Cu^{2+}$ ) أكثر ميلاً لكسب الإلكترونات (للاختزال) من أيونات الهيدروجين، وتسري الإلكترونات من الهيدروجين إلى النحاس وتفاعلاتها كما يلي :



$$\begin{array}{rcl}
 \Delta E^0 & = & E_r^0 - E_o^0 \\
 \text{للخلية} & & \text{للمصعد} \\
 0.34 V & = & E_r^0 - 0.00 V
 \end{array}$$

$E_r^0 = 0.34 V$  جهد الاختزال القياسي للنحاس

# التغيرات الكهروكيميائية

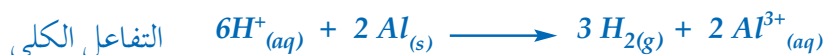
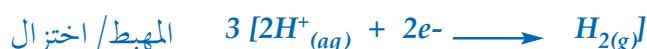


لنفرض أننا بنينا خلية من قطب الألمنيوم وقطب الهيدروجين القياسيين ووجدنا أن قراءة الفولتميتر هي  $(+ 1.66 \text{ V})$  الشكل (٢-٦)، وذلك عندما كان البلاتين (قطب الهيدروجين) هو المهبط أي أن الإلكترونات تسري من الألمنيوم إلى الهيدروجين، فإن ذلك يدل على أن أيونات الهيدروجين عامل مؤكسد أقوى من أيونات الألمنيوم بمقدار  $(- 1.66 \text{ V})$ ، وبما أن قيمة جهد الاختزال للهيدروجين تساوي صفراً فإن جهد اختزال الألمنيوم تحت قيمة الهيدروجين بهذا المقدار، أي  $(- 1.66 \text{ V})$ .

الشكل (٢-٦): خلية الألمنيوم والهيدروجين



وللحصول على التفاعل الخلوي الكلي يجب مساواة (موازنة) عدد الإلكترونات في التفاعلين النصفيين وهما :



$$\Delta E^o = E_r^o - E_r^o$$

للمصعد للمهبط للخلية

$$+ 1.66 = 0.00 \text{ V} - E_r^o$$

$$E_r^o = - 1.66 \text{ V} \quad \text{جهد اختزال الألمنيوم}$$



# التغيرات الكهروكيميائية

**ملاحظة :** أحيانا تضرب مكونات المعادلات النصفية في معاملات معينة لموازنة أعداد الإلكترونات ولكن قيم جهود الأقطاب لا تتغير، لأنها تعتمد على طبيعة المواد المتفاعلة وتراكيزها، ولأن الطاقة الكهربائية تساوي الطاقة بالجول ( $J$ ) مقسومة على الشحنة بالكولوم ( $C$ ) :  $[1V=1J/C]$  . فإذا ضرب نصف التفاعل بمعامل معين تضرب الطاقة والشحنة بالمعامل نفسه ولذلك لا تتأثر فولتية نصف التفاعل .

## اختبر فهمك (٢) :

(١) إذا علمت أن  $\Delta E^{\circ} = 0.5 V$  للتفاعل الخلوي التالي



فاحسب  $E_r^{\circ}$  للنیکل .

(٢) تم بناء خلية جلفانية وأشار الفولتميتر إلى أن قطب النحاس هو المهبط والسكانديوم هو المصعد فيها وأن

$$\Delta E^{\circ}_{cell} = 2.36 V$$

اكتب معادلتی نصفی التفاعل ومعادلة التفاعل الكلي ثم احسب جهد الاختزال لأيونات السكانديوم ، علما بأن

$$E^{\circ}_r(Cu^{2+}) = +0.34 V$$

## ٢-٣ جدول جهود الاختزال القياسية Standard Reduction Potentials Table

لقد اتفق على أن تكتب أنصاف التفاعلات الكهروكيميائية جميعها بصورة أنصاف تفاعلات اختزال، ورتبت في الجدول (٢-٢) تنازليا حسب قيم جهود الاختزال المقاسة باستخدام قطب الهيدروجين القياسي. يسمى هذا الجدول بجدول جهود الاختزال القياسية.

كما يسمى الجدول أيضا بجدول القوى النسبية للعوامل المؤكسدة والمختزلة لأنه يمكن الاستفادة منه في تحديد هذه القوى، المواد الموجودة على يمين معادلات أنصاف التفاعلات جميعها عوامل مختزلة، وتزداد قوة العامل المختزل بنقصان قيمة جهد الاختزال ، ولذلك نجد أن أقوى العوامل المختزلة هو الليثيوم  $Li_{(s)}$  .

## جدول جهود الأختزال القياسية

نصف التفاعل		جهد الإختزال $E^0_r(V)$
$F_{2(g)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons 2F^-_{(aq)}$	+2.87
$MnO_4^-_{(aq)} + 8H^+_{(aq)} + 5e^-$	$\rightleftharpoons Mn^{2+}_{(aq)} + 4H_2O_{(l)}$	+1.51
$ClO_4^-_{(aq)} + 8H^+_{(aq)} + 8e^-$	$\rightleftharpoons Cl^-_{(aq)} + 4H_2O_{(l)}$	+1.39
$Cl_{2(g)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons 2Cl^-_{(aq)}$	+1.36
$Cr_2O_7^{2-}_{(aq)} + 14H^+_{(aq)} + 6e^-$	$\rightleftharpoons 2Cr^{3+}_{(aq)} + 7H_2O_{(l)}$	+1.23
$O_{2(g)} + 4H^+_{(aq)} + 4e^-$	$\rightleftharpoons 2H_2O_{(l)}$	+1.23
$2IO_3^-_{(aq)} + 12H^+_{(aq)} + 10e^-$	$\rightleftharpoons I_{2(s)} + 6H_2O_{(l)}$	+1.20
$Br_{2(l)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons 2Br^-_{(aq)}$	+1.07
$Hg^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Hg_{(s)}$	+0.85
$ClO^-_{(aq)} + H_2O_{(l)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Cl^-_{(aq)} + 2OH^-_{(aq)}$	+0.84
$Ag^+_{(aq)} + e^-$	$\rightleftharpoons Ag_{(s)}$	+0.80
$NO_3^-_{(aq)} + 2H^+_{(aq)} + e^-$	$\rightleftharpoons NO_{2(g)} + H_2O_{(l)}$	+0.80
$Fe^{3+}_{(aq)} + e^-$	$\rightleftharpoons Fe^{2+}_{(aq)}$	+0.77
$O_{2(g)} + 2H^+_{(aq)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons H_2O_{2(l)}$	+0.70
$I_{2(s)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons 2I^-_{(aq)}$	+0.54
$Cu^+_{(aq)} + e^-$	$\rightleftharpoons Cu_{(s)}$	+0.52
$O_{2(g)} + 2H_2O_{(l)} + 4e^-$	$\rightleftharpoons 4OH^-_{(aq)}$	+0.40
$Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Cu_{(s)}$	+0.34
$SO_4^{2-}_{(aq)} + 4H^+_{(aq)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons H_2SO_{3(aq)} + H_2O_{(l)}$	+0.17
$Sn^{4+}_{(aq)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Sn^{2+}_{(aq)}$	+0.15
$Cu^{2+}_{(aq)} + e^-$	$\rightleftharpoons Cu^+_{(aq)}$	+0.15
$2H^+_{(aq)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons H_{2(g)}$	0.00
$Pb^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Pb_{(s)}$	-0.13
$Sn^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Sn_{(s)}$	-0.14
$Ni^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Ni_{(s)}$	-0.26
$Co^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Co_{(s)}$	-0.28
$PbSO_{4(s)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Pb_{(s)} + SO_4^{2-}_{(aq)}$	-0.36
$Cd^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Cd_{(s)}$	-0.40
$Cr^{3+}_{(aq)} + e^-$	$\rightleftharpoons Cr^{2+}_{(aq)}$	-0.41
$Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Fe_{(s)}$	-0.45
$Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Zn_{(s)}$	-0.76
$2H_2O_{(l)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons H_{2(g)} + 2OH^-_{(aq)}$	-0.83
$Cr^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Cr_{(s)}$	-0.91
$SO_4^{2-}_{(aq)} + 2H_2O_{(l)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons SO_3^{2-}_{(aq)} + 2OH^-_{(aq)}$	-0.93
$Al^{3+}_{(aq)} + 3e^-$	$\rightleftharpoons Al_{(s)}$	-1.66
$Mg^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Mg_{(s)}$	-2.37
$Na^+_{(aq)} + e^-$	$\rightleftharpoons Na_{(s)}$	-2.71
$Ca^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Ca_{(s)}$	-2.87
$Ba^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Ba_{(s)}$	-2.91
$K^+_{(aq)} + e^-$	$\rightleftharpoons K_{(s)}$	-2.93
$Li^+_{(aq)} + e^-$	$\rightleftharpoons Li_{(s)}$	-3.04

١- جميع قيم  $E^0_r$  مقاسة بالنسبة إلى قطب الهيدروجين القياسي ، وجميع أنصاف الخلايا توجد في الظروف القياسية وبمحاليل تركيزها  $1.0 M$ .

٢- جميع القيم في الجدول مأخوذة من CRC 71st Edition

إنجـاه زيـادة قـوة المـعمـول المـؤكـسـدة

إنجـاه زيـادة قـوة المـعمـول المـؤكـسـدة

# التغيرات الكهروكيميائية

لأن ميله للتأكسد وفقد الإلكترونات عال جدا . والمواد الموجودة على يسار معادلات أنصاف التفاعلات جميعها عوامل مؤكسدة، وتزداد قوة العامل المؤكسد بزيادة قيمة جهد الاختزال ، ولذلك نجد أن أقوى العوامل المؤكسدة هو الفلور  $F_{2(g)}$  لأن ميله للاختزال وكسب الإلكترونات عال جدا . وبناء على ذلك فإن العنصر المختزل يستطيع أن يختزل أيونات أو جزيئات أي عنصر آخر له جهد اختزال أكبر منه ( أعلى منه في الجدول ) ومعنى آخر يحل محله في محاليل أملاحه، فالألومنيوم مثلا يمكن أن يختزل أيونات النيكل ( لاحظ موقع وجهود اختزال كلتا المادتين في الجدول السابق ):



والعناصر التي تقع أسفل الهيدروجين تستطيع أن تختزل أيونات الهيدروجين في المحاليل المخففة للأحماض :



## اختبر فهمك (٣) :

١- رتب المواد التالية ترتيبا تصاعديا كعوامل مؤكسدة :



ويمكن أيضا **التنبؤ بحدوث التفاعلات الكيميائية** - تفاعلات التأكسد والاختزال - على اعتبار أنها تفاعلات خلوية من قيم جهد التفاعل الكلي للخلية، فإذا كانت قيمة  $\Delta E^{\circ}$  **موجبة** فإن ذلك يعني أن التفاعل يحدث تلقائيا .

# التغيرات الكهروكيميائية

مثال :

هل يمكن حدوث تفاعل عند وضع ملعقة من النحاس في محلول نترات الألومنيوم؟ وهل يمكن حدوث تفاعل عند وضع ملعقة ألومنيوم في محلول نترات النحاس؟ وضح ذلك بالمعادلات .

الحل :

التفاعل الخلوي المتوقع حدوثه من وضع ملعقة النحاس في محلول نترات الألومنيوم :



$$Cu^{2+} \text{ جهد اختزال } = +0.34 V , \quad Al^{3+} \text{ جهد اختزال } = -1.66V$$

$$\Delta E^0 = E^0_r - E^0_r \text{ للتفاعل الخلوي}$$

$$\Delta E^0 = 1.66 V - (+0.34V) = -2.00 V \text{ للتفاعل الخلوي}$$

ولذلك لا يحدث تفاعل تلقائي لأن إشارة  $\Delta E^0$  سالبة.

التفاعل الخلوي المتوقع حدوثه من وضع ملعقة الألومنيوم في محلول نترات النحاس :



$$\Delta E^0 = +0.34 V - (-1.66 V) = +2.00 V \text{ للتفاعل الخلوي}$$

يحدث تفاعل تلقائي وتذوب ملعقة الألومنيوم في المحلول لأن إشارة  $\Delta E^0$  موجبة.

## اختبر فهمك (٤) :

١- مستعينا بجدول جهود الاختزال القياسية بين ماذا يحدث في كل من الحالات الآتية :

(أ) تفاعل أيونات  $Cl^-$  مع محلول البروم  $Br_2$  .

(ب) إمرار غاز كبريتيد الهيدروجين في محلول كبريتات النحاس (II)

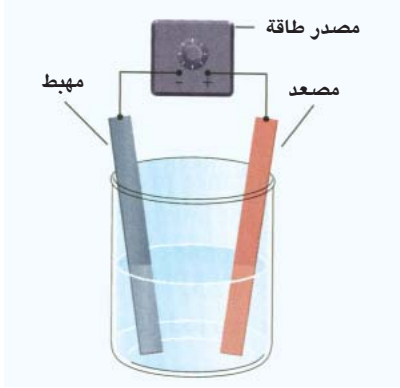
٢- أي العناصر التالية يتفاعل مع محلول مخفف من  $HCl$  وهي :

$Sn , Ag , Cu$

## قم بتنفيذ الدرس العملي رقم (٢)

# التغيرات الكهروكيميائية

## ٢-٣ الخلايا الإلكتروليتية والتحليل الكهربائي Electrolytic Cells & Electrolysis



الشكل (٢-٧): خلية إلكتروليتية

عرفت أن كثيرا من تفاعلات التأكسد والاختزال يحدث تلقائيا وينتج الكهرباء ، كما يحدث في الخلايا الجلفانية ، فماذا عن التفاعلات غير التلقائية ( لا تحدث تلقائيا ) ؟ سوف تدهش عندما تعلم أن كثيرا من التفاعلات اللازمة لإنتاج مواد عديدة مثل الألومنيوم والكلور والمواد القاصرة للألوان والسبائك وغيرها هي تفاعلات غير تلقائية ولكنها تحدث بتأثير الكهرباء، وذلك كما يحدث في الخلايا الإلكتروليتية (الشكل ٢-٧) ،

وتتكون كل خلية إلكتروليتية من قطبين ومادة إلكتروليتية

ومصدر خارجي للطاقة الكهربائية كبطارية مثلا ، والعمليّة التي تحدث فيها تسمى التحليل الكهربائي، حيث يعمل المصدر الكهربائي كمضخة للإلكترونات *electron pump* التي تعمل شغلا يتسبب بانتقال الإلكترونات في الخلية بحيث تحدث تفاعلات تأكسد واختزال لبعض مكونات المحلول تبعا للتنافس الذي يتم بين تلك المكونات .

( خلية جلفانية )

طاقة كهربائية + مواد ناتجة → مواد متفاعلة

مواد ناتجة → طاقة كهربائية + مواد متفاعلة ( خلية إلكتروليتية )

ولنأخذ مثالا على ذلك : ماذا يحدث عند إمرار تيار كهربائي في محلول مائي من بروميد الصوديوم فيه قطبان خاملان؟

أولا: نحدد المكونات الموجودة في المحلول : مكونات المحلول :

جزيئات  $H_2O$  ، أيونات  $(Na^+_{(aq)} , Br^-_{(aq)} , H^+_{(aq)} , OH^-_{(aq)})$

ثانيا : نحدد المكونات التي تتجه نحو كل قطب والتفاعلات التي يتوقع حدوثها على القطب وفقا لقيم جهود الاختزال  $E^0_r$  .

عند القطب الموجب ( المصعد ) يوجد كل من : جزيئات  $H_2O$  ، أيونات  $Br^-_{(aq)} , OH^-_{(aq)}$  . يحدث عند

هذا القطب تنافس بين هذه المكونات على التأكسد، وسنجد أن قيم  $E^0_r$  لهذه المكونات كما يلي:



# التغيرات الكهروكيميائية



تشير هذه القيم إلى أن أكثر التفاعلات احتمالا للحدوث هو تأكسد أيونات الهيدروكسيد، تليه أيونات البروميد ثم جزيئات الماء ولكن نظرا للتركيز المتدني لأيونات الهيدروكسيد ( $10^{-7} \text{ M}$ ) فإن نصف تفاعل التأكسد الذي يحدث على هذا القطب هو تأكسد أيونات البروميد :



**عند القطب السالب ( المهبط )** يوجد كل من : جزيئات  $H_2O$  ، أيونات  $H^+_{(aq)}$  ،  $Na^+_{(aq)}$  يحدث عند هذا القطب تنافس بين هذه المكونات على الاختزال، وسنجد أن قيم  $E^{\circ}_r$  لهذه المكونات كما يلي :



تشير هذه القيم إلى أن أكثر التفاعلات احتمالا للحدوث هو اختزال أيونات الهيدروجين تليه جزيئات الماء ثم أيونات الصوديوم، ولكن نظرا للتركيز المتدني لأيونات الهيدروجين ( $10^{-7} \text{ M}$ ) فإن نصف تفاعل الاختزال الذي يحدث على هذا القطب هو اختزال جزيئات الماء:



وبذلك نجد أن نتيجة هذه العملية هي تكون البروم ( $Br_2$ ) على المصعد وغاز الهيدروجين ( $H_2$ ) على المهبط، ويصبح المحلول المحيط بالمهبط قاعدي التأثير - فسر ذلك ثم اكتب معادلة التفاعل الخلوي الكلي .

**ملاحظة:** عند تحليل مصاهير المواد الإلكتروليتية لا يدخل الماء وأيونات  $H^+$  ،  $OH^-$  ضمن المكونات التي تتنافس على الكهرباء لعدم وجودها في المصهور .

# التفكيرات الكهروكيميائية

إن معظم القواعد العلمية التي تمت دراستها على الخلايا الجلفانية تنطبق أيضا على الخلايا الإلكتروليتية، كما في الجدول (٣-٢):

وجه المقارنة	الخلية الجلفانية	الخلية الإلكتروليتية
التلقائية	تفاعل تلقائي (ينتج الطاقة)	تفاعل غير تلقائي (يحتاج للطاقة)
فولتية الخلية $\Delta E^0$	(+) موجبة القيمة	(-) سالبة القيمة
المهبط (الكاثود)	- عامل مؤكسد قوي يحدث له اختزال - قطب موجب	- عامل مؤكسد قوي يحدث له اختزال - قطب سالب
المصعد (الأنود)	- عامل مختزل قوي يحدث له تأكسد - قطب سالب	- عامل مختزل قوي يحدث له تأكسد - قطب موجب
اتجاه حركة الإلكترولونات	من المصعد إلى المهبط	من المصعد إلى المهبط
اتجاه حركة الأيونات	الأيونات السالبة ← المصعد الأيونات الموجبة ← المهبط	الأيونات السالبة ← المصعد الأيونات الموجبة ← المهبط

الجدول (٣-٢): مقارنة بين الخلايا الجلفانية والإلكتروليتية

## تحليل محلول يوديد البوتاسيوم



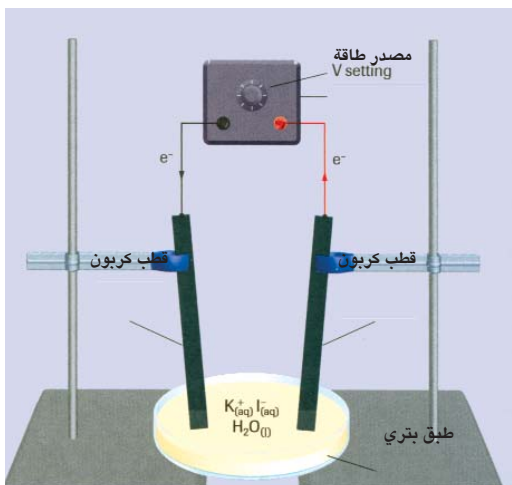
**الهدف:** تعرف نواتج التحليل الكهربائي في خلية تحتوي على محلول يوديد البوتاسيوم .

**إجراءات الأمن والسلامة:** ارتداء اللباس المخبري النظارات الواقية .

**المواد والأدوات:** طبق بتري ، قطبان من الكربون ، أسلاك توصيل ، مصدر كهربائي (بطارية 3-9 V) ، أوراق

تباع شممس ( زرقاء وحمراء)، حامل عدد (2) ، أنبوبة اختبار 50 mL محلول KI (0.5 M) ، محلول نشا .

# التغيرات الكهروكيميائية



الشكل (٢-٨) : خلية يوديد البوتاسيوم

## الإجراءات :

- ١- جهاز خلية يوديد البوتاسيوم كما في الشكل المجاور
- ٢- اغمس ورقة تباع شمس حمراء في المحلول المحيط بكل قطب ، ثم اغمس ورقة تباع شمس زرقاء مرة ثانية في المحلول المحيط بكل قطب .
- ٣- شغل مصدر التيار الكهربائي . لمدة ( 3 - 5 دقائق ) .
- ٤- أعد الكشف في الخطوة ( ٢ ) .
- ٥- ضع قطرات من محلول النشا حول كل قطب وسجل مشاهداتك .

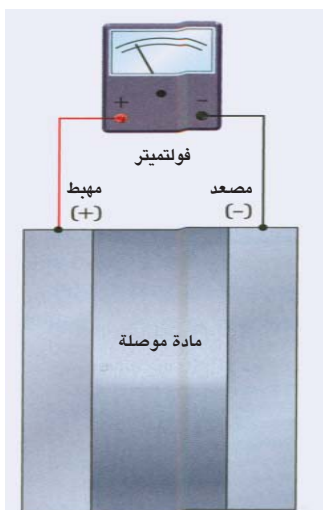
## التحليل والتفسير :

- ١- ما لون أوراق تباع الشمس بعد وضعها في المحلول المحيط بكل قطب قبل إمرار التيار الكهربائي ؟
- ٢- ما لون أوراق تباع الشمس بعد وضعها في المحلول المحيط بكل قطب بعد إمرار التيار الكهربائي ؟  
فسر ذلك .
- ٣- ما التغير الذي طرأ على لون محلول النشا ؟ فسر ذلك .
- ٤- ما المادة التي تكونت على المصعد ؟ اكتب المعادلة .
- وما المادة التي تكونت على المهبط ؟ اكتب المعادلة . ثم اكتب معادلة التفاعل الكلي .
- ٥- ما دور المصدر الكهربائي في هذا الاستكشاف .

## ٢-٤ التطبيقات العملية والتقنية على الخلايا الكهروكيميائية Practical & Technological Applications of Electrochemical Cells

لقد كان اكتشاف فولتا للخلية الجلفانية عام ١٨٠٠م مفتاحا لاكتشافات مهمة في الكيمياء ، منها أن الخلايا الجلفانية تستخدم كمصدر للطاقة الكهربائية لخلايا التحليل الكهربائي ، والتي أدت لتطبيقات صناعية على الخلايا الإلكتروليتية مثل إنتاج العناصر وتنقية المعادن وطلائها ، وهو ما يؤكد على العلاقة الوثيقة بين العلم والتقانة .

# التغيرات الكهروكيميائية



الشكل (٢-٩): البطارية

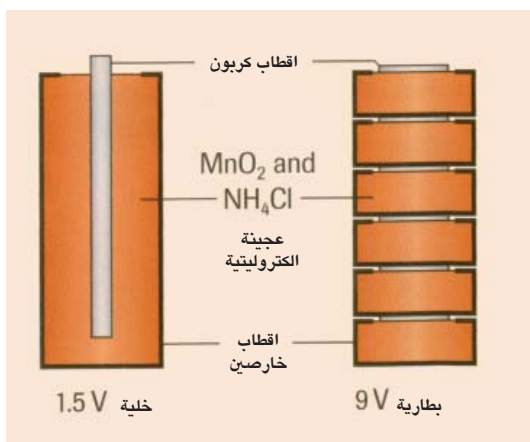
## ٢-٤-١ الخلايا والبطاريات Cells and Batteries

تتكون أي خلية كهربائية (بطارية) من قطبين (موصليين للكهرباء في حالة الصلابة) ومادة إلكتروليتيية (محلول مائي موصل للكهرباء) (الشكل ٢-٩).

والبطاريات التي نستعملها لأغراض متعددة يكون الإلكتروليت فيها عادة من عجينة رطبة، وتكون الأقطاب معدنية أو يكون أحدهما من معدن والآخر من الجرافيت حيث يكون المهبط هو القطب الموجب والمصعد هو القطب السالب، وتنتقل الإلكترونات في الدائرة الخارجية من المصعد إلى المهبط منتجة الكهرباء عند اكتمال توصيل هذه الدائرة، وهنالك ثلاثة أنواع من هذه البطاريات هي:

## ١- الخلايا الأولية Primary Cells

من أبسطها البطارية الجافة أو بطارية كلوريد الخارصين، تنتج هذه البطارية  $1.5\text{ V}$  ويمكن دمج ست بطاريات منها لتكون البطارية التي تنتج  $9.0\text{ V}$  (الشكل ٢-١٠) تستخدم في كثير من الأجهزة الكهربائية كالراديو، وقد سميت بالأولية لأنها غير قابلة لإعادة الشحن، وتفاعلاتها كما يلي:

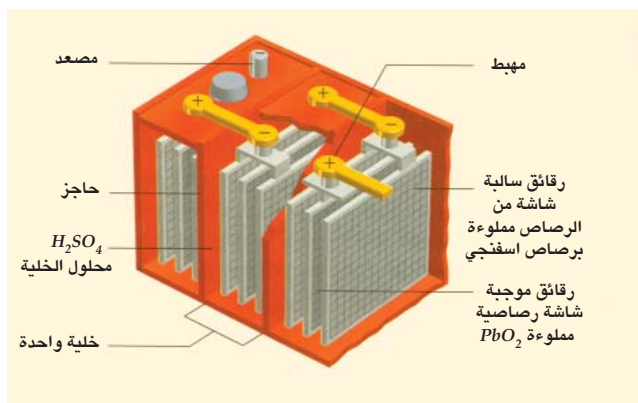


الشكل (٢-١٠): بطاريات أولية



# التغيرات الكهروكيميائية

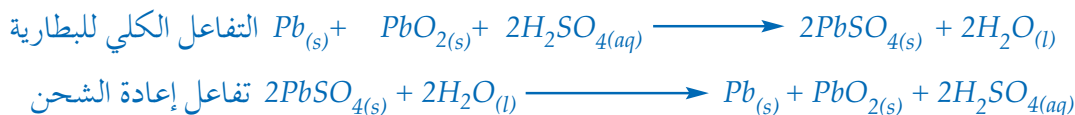
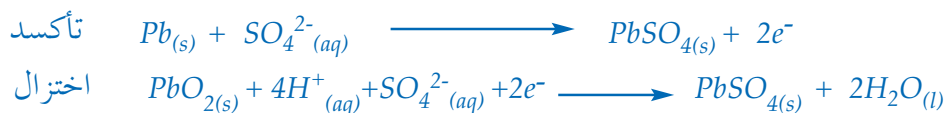
## ٢- الخلايا الثانوية Secondary Cells :



الشكل (١١-٢): بطارية سيارة

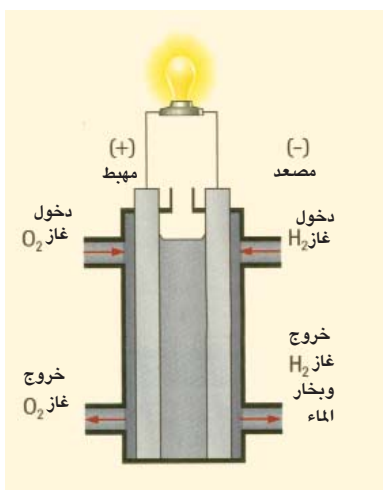
من الأمثلة على هذا النوع من الخلايا بطارية السيارة (المركم الرصاصي) (الشكل ١١-٢) وبطارية النيكاد (نيكل - كادميوم) أو (Ni-Cd)، وتتميز هذه البطاريات بأنها يمكن إعادة شحنها باستخدام الكهرباء وذلك لعكس التفاعلات الكيميائية في الخلية في أثناء إنتاجها للكهرباء.

والتفاعلات النصفية التي تحدث في بطارية السيارة :

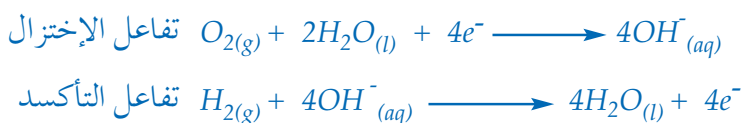


## ٣- خلايا الوقود Fuel Cells :

لقد جاء اكتشاف هذه الخلايا حلاً لمشكلة العمر المحدود للخلايا الأولية ، فخلايا الوقود تنتج الكهرباء بتفاعل الوقود الدائم التزويد لاستمرار عمل الخلية . في عام ١٩٥٥م نجح فرانسيس بيكون Francis Bacon في إنتاج خلية وقود عملية تستخدم الهيدروجين والأكسجين كوقود يدفعان إلى محلول هيدروكسيد البوتاسيوم وأقطاب من النيكل المسامي (الشكل ١٢-٢) وتحدث فيها التفاعلات الآتية :



الشكل (١٢-٢): خلية وقود





# التغيرات الكهروكيميائية

اعتمدت وكالة ناسا **NASA** هذه الخلية كمصدر للطاقة في الرحلات الفضائية، وذلك لأن الهيدروجين والأكسجين موجودان في أنظمة الدفع والماء الناتج يمكن استخدامه لأغراض الشرب. وعلى الرغم من أن هذه البطارية تنتج **12kW** من الكهرباء وتعمل بكفاءة تصل إلى **70%** إلا أنها لا تصلح للأغراض التجارية لأنها مكلفة اقتصادياً وذات عمر قصير نسبياً لأن محلولها يسبب تآكل الأقطاب.

## اختبر فهمك (٥):

اكتب التفاعل الكلي في خلية الوقود ثم احسب قيمة جهد ( $E^0$ ) لهذه الخلية

## ٢-٤-٢- التآكل Corrosion

التآكل عملية كهروكيميائية يتفاعل فيها المعدن أو الفلز مع المواد الموجودة في بيئته ويعود إلى حالة أشبه بال خام ، وذلك لأن البيئة تحتوي على الأكسجين كعامل مؤكسد . إن عملية تآكل المعادن ووسائل منع التآكل أيضا تسبب مشاكل تكنولوجية واقتصادية لمجتمعاتنا .



الحديد والألومنيوم من العناصر المهمة في حياتنا ، وكلاهما قابل للتآكل ولكن تأكسد الحديد يعتبر مشكلة حقيقية ( الشكل ٢-١٣ ) في حين إن تأكسد الألومنيوم لا يعتبر مشكلة . ويرجع السبب في ذلك إلى طبيعة أكسيد كل منهما . تتأكسد الطبقة السطحية الحديثة التصنيع بسرعة في الهواء مكونة أكسيد الألومنيوم . ( اكتب المعادلة ) .

يلتصق أكسيد الألومنيوم بشدة على سطح المعدن ويمنع الأكسجين من الوصول إلى الطبقات الداخلية من المعدن ، وعلى العكس من ذلك فإن أكسيد الحديد لا يكون مثل طبقة أكسيد الألومنيوم ، ولذلك فإن تأكسد الحديد من أشهر عمليات التآكل ويسمى صدأ الحديد ، فكيف يحدث صدأ الحديد ؟

## اختبر فهمك (٦):

تتباين الفلزات في ميلها للتآكل ، مستعينا بجدول جهود الاختزال القياسية اختر ثلاثة معادن قابلة للتآكل وثلاثة معادن أخرى غير قابلة للتآكل .

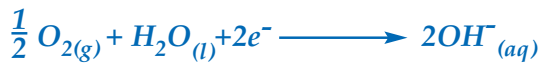
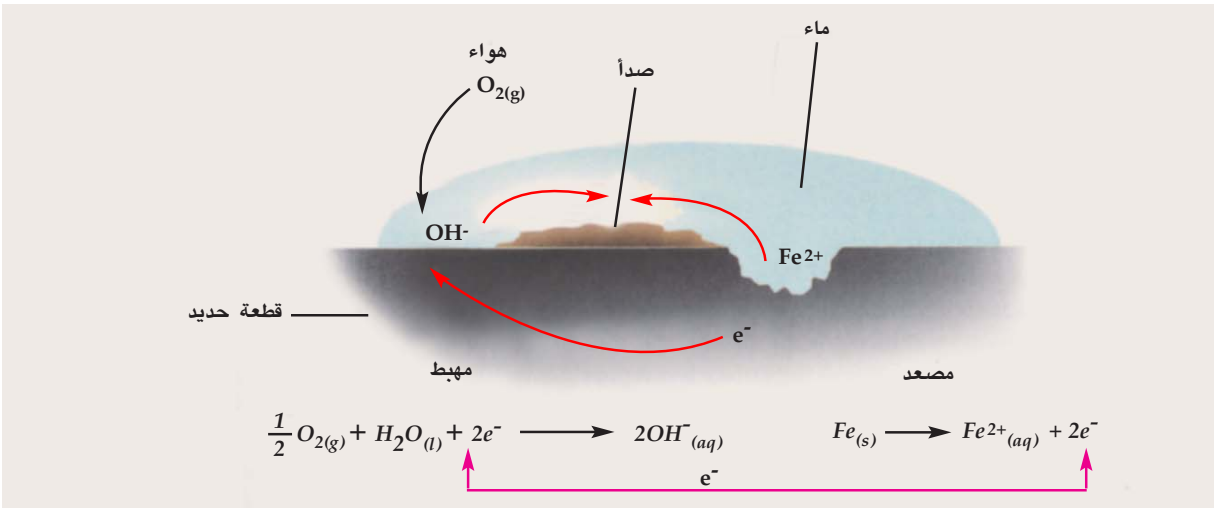
# التغيرات الكهروكيميائية

## \* صدأ الحديد : Rusting of Iron

أثبتت الدراسات أن عملية تآكل ( صدأ ) الحديد تحتاج إلى وجود الأكسجين والماء فيتحول الحديد إلى هيدروكسيدات وأكاسيده ، ويعتقد أن الخطوة الأولى في صدأ الحديد هي أكسدة سطح الحديد المعرض للرطوبة.



ثم تنتشر أيونات الحديد ( III ) في الماء الموجود على سطح الحديد، وتنتقل الإلكترونات عبر ذرات الحديد إلى الأكسجين المذاب في الماء (الشكل ٢-١٤).



تتحد أيونات الحديد (III) مع أيونات الهيدروكسيد مكونة طبقة هشة قليلة الذوبان في الماء من هيدروكسيد الحديد (III)، والتي تتأكسد إلى هيدروكسيد الحديد (III) الصلب ذي اللون البني المصفر بوجود الماء والأكسجين:



ويتكون صدأ الحديد  $Fe_2O_3 \cdot xH_2O_{(s)}$  ذو اللون البني المحمر بنزع بعض الماء من هيدروكسيد الحديد (III).

## اختبر فهمك (٧):

تعاني دول الخليج ومنها سلطنة عمان وكذلك بقية أنحاء العالم من مشكلة صدأ الحديد . اكتب تقريراً حول الجهود التي تبذلها السلطنة للتغلب على هذه المشكلة في الجسور والمنشآت الأخرى .

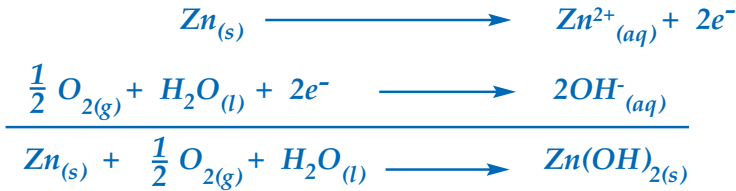
# التغيرات الكهروكيميائية

## \* منع التآكل Corrosion Prevention :

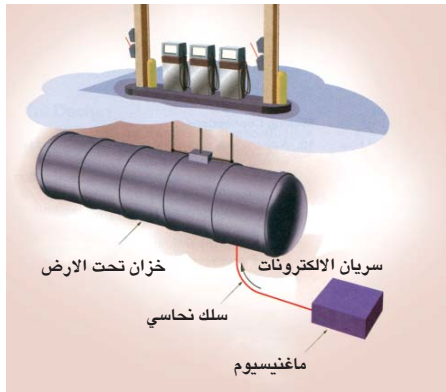
يعتبر تآكل المعادن من المشاكل المهمة التي تؤثر سلباً في المجالات الصناعية وخاصة تآكل أو صدأ الحديد وذلك لما للحديد من أهمية بالغة في الصناعة حيث يقدر أن 25% من إنتاج العالم من الحديد يفقد سنوياً بسبب الصدأ ، وقد تم تطوير عدة تقانات للتقليل من هذه المشكلة أو الحد منها ، ومن هذه التقانات الحماية بالطلاء والحماية المهبطة ، وفي بعض الحالات مثل حماية خزانات الوقود تستخدم الطريقتان معاً .

## \* الحماية بالطلاء (التغطية) Protective Coating :

يمكن حماية الحديد من الصدأ بتغطية سطح الحديد بالدهان كلياً بحيث يبقى الدهان دائماً، ولكن إذا تعرض السطح للخدش يبدأ الحديد بالصدأ .  
كما يمكن غمس الحديد في مصهور فلز أكثر نشاطاً من الحديد مثل الخارصين فيما يسمى جلجنة الحديد *galvanizing of iron* فيتأكسد الخارصين تفضيلاً عند تعرضه للهواء والرطوبة وحتى عند خدش هذه الطبقة تتكون خلية جلفانية يكون الخارصين فيها مصعداً ( عامل مختزل أقوى من الحديد) والحديد مهبطاً كما يلي:



يعمل  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  كمادة مانعة من استمرار التفاعل حيث يغطي الطبقة المعرضة للتأكسد من الخارصين وبذلك يحمي الحديد والخارصين من الصدأ .



الشكل (٢-١٥): الحماية المهبطة

## \* الحماية المهبطة Cathodic Protection :

تستخدم هذه الطريقة لحماية الخزانات وأنباب نقل البترول المدفونة تحت سطح الأرض أو السفن والقوارب التي ينغمر جزء منها تحت سطح الماء من الصدأ (الشكل ٢-١٥) وذلك بتوصيل أجسامها بكتل من الخارصين أو الماغنيسيوم ، حيث يعمل الحديد كمهبط لخلية جلفانية يكون فيها الخارصين أو الماغنيسيوم مصعداً .

# التفريعات الكهروكيميائية

ومن أشكال الحماية المهيطة أيضا توصيل الطرف السالب من بطارية أو مصدر للتيار الكهربائي مستمر بالحديد والطرف الموجب من المصدر بقطب خامل كالكربون ، فيسري تيار كهربائي من الكربون إلى الحديد مجبرا الحديد على أن يكون مهبطا في خلية تحتوي على مادة إلكتروليزية مثل ماء التربة، وبذلك يتمتع الحديد من الصدأ.

## قم بتنفيذ الدرس العملي رقم ( ٣ )

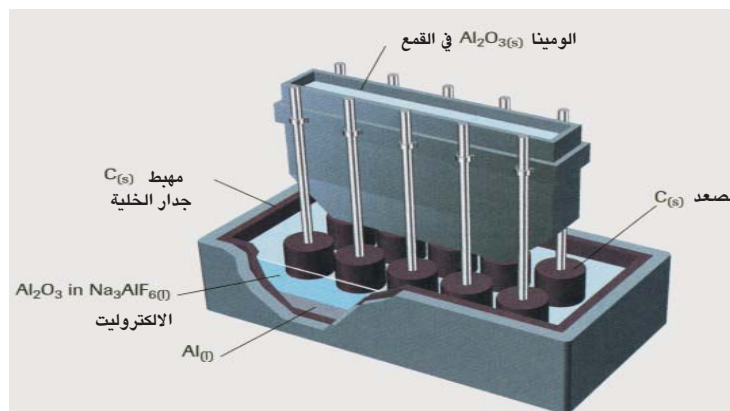
### ٢-٤-٣ تكنولوجيا التحليل الكهربائي *Technology of Electrolysis*

#### \* استخلاص العناصر *Production of Elements*

يمكن استخلاص كثير من العناصر بالتحليل الكهربائي لمحاليل مركباتها الأيونية ، ولكن تبرز هنا صعوبتان : أولا هما أن كثيرا من المركبات الأيونية الموجودة في الطبيعة قليلة الذوبان في الماء وثانيتهما أن الماء عامل مؤكسد أقوى من كثير من أيونات الفلزات . وللتغلب على هذه الصعوبات تم استخدام تكنولوجيا تستثني وجود الماء وذلك باستخدام مصاهير هذه المركبات خاصة وأن تلك المصاهير موصلة جيدة للكهرباء ، ومن أشهر الأمثلة على ذلك استخلاص عنصر الألومنيوم .

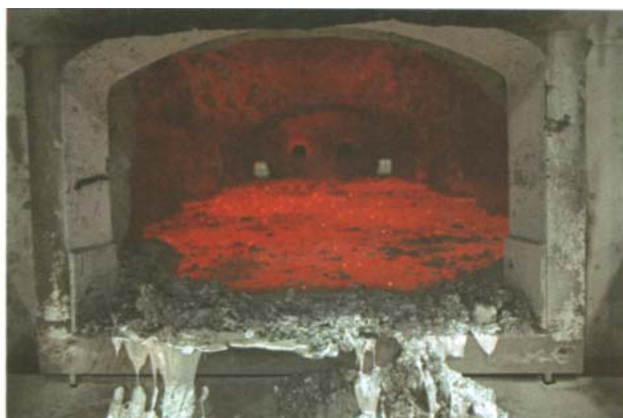
اكتشف الألومنيوم في فرنسا عام ١٨٠٠م وهو من العناصر المهمة في حياتنا لما يتمتع به من مميزات كاللمعان والصلابة ومقاومته للتآكل، ولذلك يدخل في صناعات متعددة كالأبواب والشبابيك وهياكل الطائرات . لقد تعثر إنتاج الألومنيوم على نطاق تجاري وذلك لارتفاع درجة انصهار الخام الرئيس له  $Al_2O_{3(s)}$  حيث تبلغ  $2072^{\circ}C$  ، وفي عام ١٨٨٦م تمكن كل من تشارلز هول *Charles Hall* في أمريكا وباول هيرولت *Paul Heroult* في فرنسا من تخفيض درجة انصهار الخام إلى  $1000^{\circ}C$  عند إذابته في مصهور خام الكريولايت  $Na_3AlF_6$  ، قد تم إمرار التيار الكهربائي في المصهور في خلية سميت خلية هول هيرولت *Hall-heroult Cell* (الشكل ٢-١٦).

# التفريات الكروكيمياية



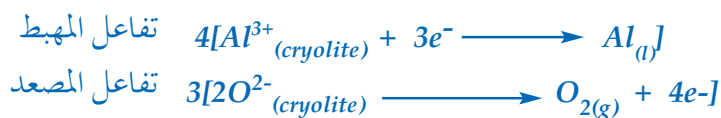
الشكل (١٦-٢): خلية هول-هيرولت

تتكون هذه الخلية من وعاء فولاذ مبطن بالكربون ( الجرافيت) الذي يشكل مهبط الخلية حيث تختزل أيونات الألومنيوم مكونة الألومنيوم السائل ( درجة انصهار الألومنيوم  $660^{\circ}\text{C}$  ) ، ثم يجمع الألومنيوم من قعر الخلية (الشكل ١٧-٢).



الشكل (١٧-٢): جمع الألومنيوم المنصهر

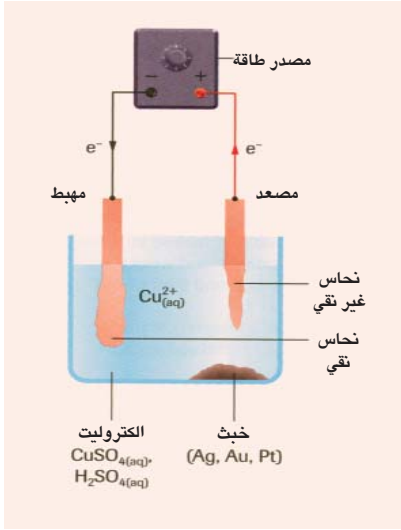
أما مصعد الخلية فهو عبارة عن قضبان من الجرافيت يحدث عليها تأكسد أيونات الأكسجين مكونة غاز الأكسجين كما يلي:





# التغيرات الكهروكيميائية

يجب استبدال قضبان الجرافيت في الخلية من وقت إلى آخر وذلك لأنها تتآكل بسبب تفاعل الأكسجين الناتج مع قضبان الجرافيت منتجا ثاني أكسيد الكربون .

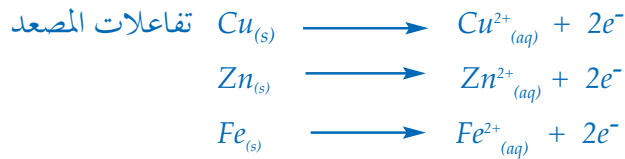


## \* تنقية المعادن Refining of Metals :

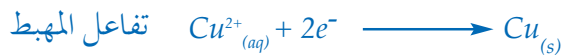
غالبا ما تكون العناصر المستخلصة من خاماتها غير نقية تحتوي على شوائب من عناصر أخرى تأتي من مركبات موجودة في خام العنصر ، وهناك عدة طرق لتنقية المعادن أهمها التنقية الكهربائية *electrorefining* ، ومن الأمثلة الجيدة على هذه الطريقة تنقية النحاس. إن النحاس الذي يتم استخلاصه من عملية الصهر الأولية يحتوي على شوائب كالحارصين والذهب والفضة والحديد ، ووجود الشوائب في النحاس يقلل من قدرته على التوصيل الكهربائي خاصة وأن أهم استعمالاته تكون في أسلاك التوصيل الكهربائية .

يتم التخلص من هذه الشوائب بإمرار تيار كهربائي في خلية تحليل كهربائي تحتوي على محلول من كبريتات النحاس وحمض الكبريتيك، ويكون النحاس غير النقي مصعدا في هذه الخلية وصفيحة رقيقة من النحاس النقي تكون مهبطا فيه (الشكل ٢-١٨) .

عند مرور التيار الكهربائي في الخلية تتأكسد ذرات النحاس وبعض ذرات العناصر الأخرى الموجودة في المصعد كالحديد والحارصين، حيث تبقى أيونات  $Zn^{2+}$  و  $Fe^{2+}$  في المحلول.



ولا تتأكسد ذرات بعض العناصر الأخرى وإنما ترسب أسفل الخلية ، ثم تختزل أيونات النحاس وترسب على المهبط فنحصل على نحاس درجة نقاوته 99.98%



# التفريعات الكهروكيميائية

## اختبر فهمك (٨):

فسر كلا من العبارات الآتية :

- ١- يصعب استخلاص الصوديوم والبوتاسيوم والألمنيوم بالتحليل الكهربائي لمحاليل أملاحها .
- ٢- لا تتأكسد شوائب الذهب والفضة عند تنقية النحاس كهربائيا .
- ٣- لا تختزل أيونات الحديد والخارصين عند المهبط في خلية تنقية النحاس.

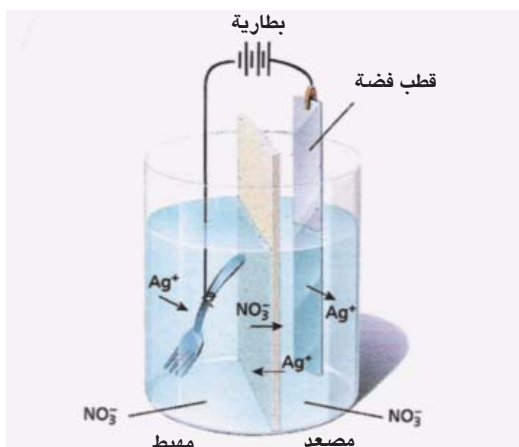
## \* الطلاء الكهربائي Electroplating :



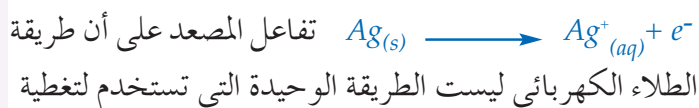
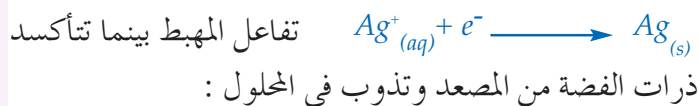
الشكل (٢-١٩): صنبورة مطلية

هنالك عناصر -كالذهب والفضة والخارصين والكروم- ذات أهمية بالغة، بعضها غالي الثمن لأنه مقاوم للتآكل. ولكن المنتجات التي تصنع من هذه العناصر بصورتها النقية إما أن تكون مكلفة وإما ذات صفات غير مرغوبة كنقص القوة والصلابة ، وللتوصل إلى حل وسط يجمع بين رخص الثمن والصفات الجيدة من حيث المتانة والمظهر ومقاومة التآكل يمكن استخدام سبائك قوية كالفلوذاز مطلية ( مغطاة) بطبقة رقيقة من معدن آخر يمتلك الصفات المرغوبة كالكروم (الشكل ٢-١٩).

عندما نريد طلاء شوكة من النحاس بطبقة من الفضة يجب تنظيفها جيدا وتوصيلها بالقطب السالب لبطارية أو مصدر للتيار الكهربائي المستمر وتغمس في محلول يحتوي على أيونات الفضة، ثم توصيل قطب من الفضة النقية بالقطب الموجب للبطارية ويغمس أيضا في المحلول نفسه (الشكل ٢-٢٠) . عند إمرار التيار الكهربائي يتم اختزال أيونات الفضة التي تتحول إلى ذرات فضة تترسب على سطح الشوكة :



الشكل (٢-٢٠): خلية طلاء



# التغيرات الكهروكيميائية

المعادن، فهناك طرق أخرى كالترسيب البخاري حيث تترسب ذرات عنصر من حالته البخارية على سطح العنصر المراد تغطيته ، وكذلك يمكن غمس العنصر المراد طلاء سطحه في مصهور العنصر المراد الطلاء به، كما في حالة مسامير الفولاذ المطلية بالخارصين .

## اختبر فهمك (٩) :

لا يحدث تغير على تركيز المحلول الإلكتروليتي بعد الانتهاء من عملية الطلاء الكهربائي . فسر ذلك .

## ٥-٢ حسابات التحليل الكهربائي *Electrolysis Stoichiometry*



إن كمية الكهرباء التي تمر في أي خلية سواء لاستخلاص عناصر أو لتنقيتها أو طلائها تحدد كميات المواد التي تتفاعل أو تنتج على الأقطاب في الخلية ، وهي تفاعلات تأكسد واختزال مصحوبة بفقد واكتساب إلكترونات ، وكما علمت من دراستك للحسابات الكيميائية فإن العلاقات الكمية تحدد النسب المولية ، وكميات المواد في التفاعلات الكهروكيميائية تتحدد بمعرفة أعداد مولات الإلكترونات والشحنة (كمية الكهرباء) المساوية لهذا العدد من الإلكترونات.

تعتمد كمية الكهرباء (  $Q$  ) بوحدة الكولوم التي تمر في دائرة معينة على شدة التيار (  $I$  ) بوحدة الأمبير والزمن (  $t$  ) بوحدة الثانية، كما يلي :

$$Q_{(C)} = I_{(A)} \cdot t_{(s)} \quad \text{الزمن (ثانية)} \times \text{شدة التيار (أمبير)} = \text{كمية الكهرباء (كولومب)}$$

وبما أن المول الواحد من الإلكترونات يحتوي على  $6.02 \times 10^{23}$  إلكترون وشحنة الإلكترون ( كمية الكهرباء ) تساوي  $1.6 \times 10^{-19}$  كولومب فإن كمية الكهرباء التي يمتلكها مول واحد من الإلكترونات تساوي :

$$\text{كمية الكهرباء} = 6.02 \times 10^{23} \times 1.6 \times 10^{-19} = 96500 \text{ C/mol}$$

وقد سميت هذه الكمية من الكهرباء بثابت فارادي *faraday constant* ويرمز إليها بالرمز (  $f$  ) ، أي أن  $1f = 96500 \text{ C/mol}$

# التغيرات الكهروكيميائية

مثال :

إذا كانت كمية الكهرباء المارة في خلية إلكتروليزية  $67.5\text{ C}$  لمدة  $22.5\text{ s}$  فاحسب شدة التيار المار في الخلية .

الحل :

$$Q_{(c)} = I_{(A)} \cdot t_{(s)}$$

$$67.5 = I_{(A)} \times 22.5$$

$$\text{شدة التيار } (I) = 67.5 \div 22.5 = 3.0\text{ A}$$

 **اختبر فهمك ( ١٠ ) :**

١- احسب زمن مرور تيار كهربائي شدته  $250\text{ mA}$  في دائرة إذا كانت كمية الكهرباء التي مرت فيها تساوي  $40\text{ C}$  .

٢- إذا مر في خلية هول - هيرولت تيار كهربائي شدته  $300\text{ kA}$  فاحسب كمية الكهرباء المارة فيها لمدة  $24\text{ h}$  .

**\* فرضية فارادى Faraday' Hypothesis :**

لقد كان العالم الإنجليزي مايكل فارادى *Michael Faraday* هو أول من درس العلاقة بين كمية الكهرباء والتغيرات الكهروكيميائية عام ١٨٣٠م ووضع فرضيته على شكل قانون يحدد هذه العلاقة على النحو الآتي:

**قانون فارادى :**

تناسب كمية المادة الناتجة أو المستهلكة عند أي قطب **تناسبا طرديا** مع كمية الكهرباء المارة في الخلية بشرط ثبات شدة التيار .

$$(Q) \text{ كمية الكهرباء } \propto (m) \text{ الكتلة}$$

$$(m) = Q \cdot \text{molar mass} / nf \text{ الكتلة}$$

$$(m) = I \cdot t \cdot \text{molar mass} / nf \text{ الكتلة}$$

حيث إن الكتلة المولية = *molar mass* ، شحنة الأيون =  $n$  ، الفارادى =  $f$

# التغيرات الكهروكيميائية

بما أن الأيون الواحد يفقد أو يكتسب في تفاعل التأكسد أو الاختزال عددا من الإلكترونات يساوي شحنته فإن المول الواحد من ذرات أي مادة يلزمه عدد من مولات الإلكترونات ( الفارادى ) يساوي شحنة ذلك الأيون كما يلي :

– لفصل (1) مول من أيون أحادي الشحنة ( $Na^+$  أو  $K^+$ ) يلزم (1f) من الكهرباء ، ولفصل (1) مول من أيون ثنائي الشحنة ( $Cu^{2+}$  أو  $Mg^{2+}$ ) يلزم (2f) من الكهرباء .

مثال ( ١ ) ،

ما كتلة النحاس المترسبة على مهبط خلية إلكترولية تم تشغيلها بتيار ثابت شدته  $12.0\text{ A}$  لمدة  $40.0\text{ s}$ .

الحل ،

$$Q_{(c)} = I_{(A)} \cdot t_{(s)}$$

$$= 12 \times 40 = 480\text{ C}$$



بما أن أيون النحاس  $Cu^{2+}$  ثنائي الشحنة فإن:

$$1\text{ mole من } Cu \text{ يلزمه (2f) أي ( } 2 \times 96500\text{ C )}$$

$$480\text{ C} \quad ?$$

$$\text{عدد مولات } Cu \text{ المترسبة} = 480 \div (2 \times 96500) = 0.00248\text{ mol.}$$

$$\text{كتلة } Cu \text{ المترسبة} = 0.00248 \times 63.55 = 0.158\text{ g}$$

مل أفر ، يمكن تطبيق القانون مباشرة كما يلي :

$$\text{كتلة } Cu \text{ المترسبة} = (12 \times 40 \times 63.55) \div (2 \times 96500) = 0.158\text{ g}$$

مثال (٢) ،

خلتان إلكتروليتان متصلتان على التوالي تحتوي الأولى على محلول نترات النحاس (II) والثانية على محلول نترات الكروم (III) ، مر فيهما تيار كهربائي ثابت الشدة لمدة معينة ، وجد بعدها أن كتلة النحاس المترسبة على مهبط الخلية الأولى  $1.59\text{ g}$  فاحسب كتلة الكروم المترسبة في الخلية الثانية .

$$\text{كتلة النحاس المترسبة} = Q \cdot \text{molar mass}/nf$$



# التفيزات الكروكيمياية

$$1.59 \text{ g} = (Q \times 63.55) \div (2 \times 96500)$$

$$Q = (1.59 \times 2 \times 96500) \div (63.55)$$

$$Q = 4829 \text{ C}$$

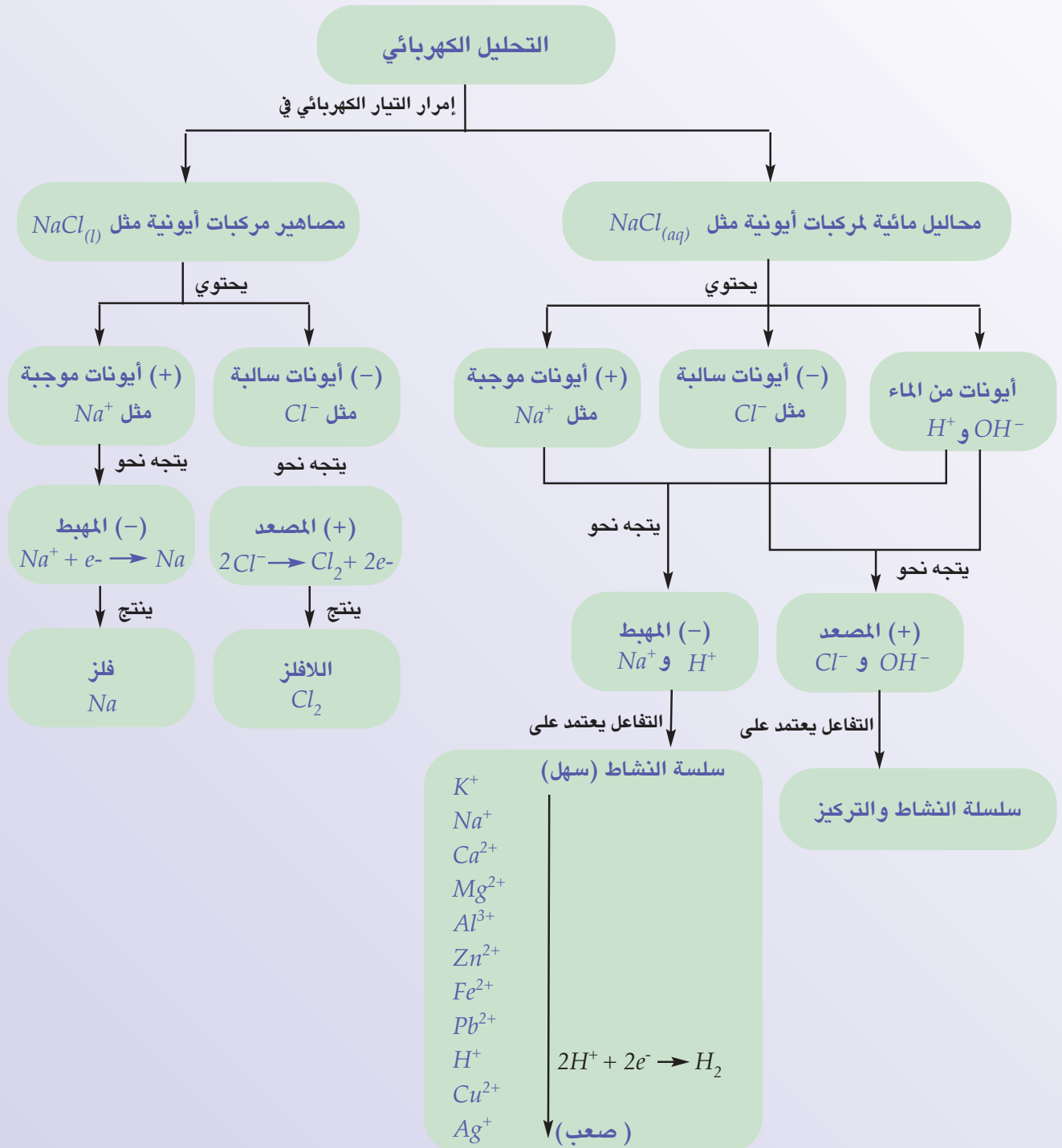
بما أن الخليتين متصلتان على التوالي فإن كمية الكهرباء التي تمر فيهما متساوية، ولذلك فإن:

$$(4829 \times 52) \div (3 \times 96500) = \text{كتلة الكروم المترسبة} \\ = 0.87 \text{ g}$$

## اختبر فهمك (11):

- ١- استنتج علاقة بين كمية المادة وشحنة أيون العنصر المتكون من إمرار تيار كهربائي في خلايا متصلة على التوالي، وذلك من خلال المثال السابق (رقم ٢).
- ٢- إذا ترسب  $0.175 \text{ g}$  من الفضة في زمن قدره  $10.0$  دقائق جراء إمرار تيار كهربائي في خلية تحتوي على محلول سيانيد الفضة فاحسب شدة التيار المار في الخلية.

## خريطة مفاهيم الفصل



## أسئلة الفصل

### السؤال الأول :

اختر الإجابة الصحيحة لكل من العبارات التالية من بين البدائل المعطاة :

- ١- تسمى العملية التي تستخدم فيها الكهرباء لإحداث تغير كيميائي :  
(أ) التآكل (ب) الفولتية (ج) التحليل الكهربائي (د) التأكسد
- ٢- جميع الخلايا الجلفانية والإلكتروليتيية تتطلب :  
(أ) قطبا واحدا ومحلولين إلكتروليتيين (ب) قطبين ومحلول أو محلولين إلكتروليتيين  
(ج) مصدر طاقة خارجيا (د) فولتميتر
- ٣- تتحرك الأيونات في خلية كهروكيميائية مكونة من نصفين خلية كل منهما في وعاء مستقل خلال :  
(أ) الأقطاب (ب) السلك (ج) الفولتميتر (د) القنطرة الملحية
- ٤- أكثر العناصر ميلا للتأكسد من العناصر الآتية :  
(أ) Cu (ب) Ag (ج) Ba (د) Sn
- ٥- تم قياس جهود اختزال لأنصاف الخلايا لبناء جدول اعتمادا على قوة :  
(أ) العوامل المؤكسدة نسبة إلى أيونات الهيدروجين.  
(ب) العوامل المؤكسدة نسبة إلى غاز الهيدروجين.  
(ج) العوامل المختزلة نسبة إلى أيونات الهيدروجين.  
(د) العوامل المختزلة نسبة إلى محلول حمضي قياسي.
- ٦- يحدث الاختزال في الخلية الجلفانية على :  
(أ) المصعد (ب) المهبط (ج) القنطرة الملحية (د) المحلول الإلكتروليتي
- ٧- فائدة خلايا الوقود أنها :  
(أ) قابلة للنقل (ب) يمكن إعادة شحنها  
(ج) غير مكلفة (د) تستمر في العمل باستمرار تزويدها بالمتفاعلات

# التغيرات الكهروكيميائية

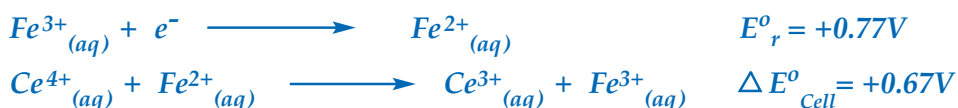
٨- النواتج الرئيسية عند التحليل الكهربائي لمحلول كلوريد النيكل (II):

على المهبط	على المصعد	
$Ni_{(s)}$	$O_{2(g)}, H^+_{(aq)}$	أ
$Ni_{(s)}$	$Cl_{2(g)}$	ب
$H_{2(g)}, OH^-_{(aq)}$	$Cl_{2(g)}$	ج
$Cl^-_{(aq)}$	$Ni^{2+}_{(aq)}$	د

٩- إذا قرر الكيميائيون اعتبار نصف خلية الخارصين القياسية كنصف خلية مرجعية فإن جهد الاختزال القياسي لأيونات الزئبق  $Hg^{2+}_{(aq)}$  :

أ)  $-1.61 V$  ب)  $-0.09 V$  ج)  $+0.09 V$  د)  $+1.61 V$

١٠ - جهد الاختزال القياسي لأيونات السيريوم  $Ce^{4+}_{(aq)}$  وفقا للمعطيات الآتية :



أ)  $+1.44 V$  ب)  $+0.10 V$  ج)  $-0.10 V$  د)  $-1.44$

١١- في الخلية الجلفانية يشار إلى المهبط بأنه القطب (i) يحدث نصف تفاعل (ii) للمادة الأقوى كعامل

(iii)

iii	ii	i	
مؤكسد	تأكسد	السالب	أ
مختزل	تأكسد	السالب	ب
مؤكسد	اختزال	الموجب	ج
مختزل	اختزال	الموجب	د

# التغيرات الكهروكيميائية

١٢- عند تآكل الأجسام الفولاذية في البيئة الطبيعية فإن العامل المختزل هو:



استخدم المعلومة التالية للإجابة عن الأسئلة (١٣)، (١٤)، (١٥): تم إجراء عملية تحليل كهربائي لمحلول هيدروكسيد البوتاسيوم باستخدام تيار كهربائي شدته 59 A لمدة (22) دقيقة.

١٣- تتحرك الإلكترونات عبر:

- (أ) المحلول من المصعد إلى المهبط  
(ب) المحلول من المهبط إلى المصعد  
(ج) السلك الخارجي من المصعد إلى المهبط  
(د) السلك الخارجي من المهبط إلى المصعد

١٤- النواتج على المصعد هي:



١٥ كتلة الغاز الناتج على المصعد تساوي:



## السؤال الثاني :

ركب أحد الطلاب الخلية الجلفانية الآتية:



وكانت كتلة مهبطها 21.12 g وسمح لهذه الخلية بالعمل لمدة 24 ساعة، ثم قاس كتلة المهبط ثانية فوجدها 24.295 g. احسب متوسط شدة التيار الذي أنتجته هذه الخلية.

## السؤال الثالث :

احسب كتلة الألومنيوم الناتجة من اختزال أيونات الألومنيوم بواسطة تيار كهربائي شدته 150 kA لمدة 10.0 h.



# التغيرات الكهروكيميائية

## السؤال الرابع :

- من الوسائل التكنولوجية لتنقية الخارصين استخدام التحليل الكهربائي لمحلول كبريتات الخارصين .  
 أ) اكتب معادلة كل من المهبط والمصعد والتفاعل الكلي .  
 ب) احسب الزمن اللازم لإنتاج  $1.00 \text{ kg}$  من الخارصين النقي باستخدام تيار شدته  $5.0 \text{ kA}$

## السؤال الخامس :

اتجاه حركة الإلكترونات في الدائرة الخارجية	$\Delta E^{\circ}_{cell} (V)$	قطب الخلية
من A إلى Ni	1.40	A ، Ni
من Ni إلى B	1.06	B ، Ni
من C إلى Ni	0.5	C ، Ni
من Ni إلى D	0.6	D ، Ni
من G إلى Ni	0.95	G ، Ni

- تم استخدام نصف خلية النيكل القياسية مع أنصاف خلايا قياسية للفلزات التالية (A ، B ، C ، D ، G) وكانت النتائج كما في الجدول المجاور:  
 أ) احسب قيم جهود الاختزال القياسية للفلزات السابقة.  
 ب) رتب الفلزات السابقة والنيكل حسب قوتها كعوامل مختزلة في سلسلة من الأعلى إلى الأسفل.

- ج) احسب  $\Delta E^{\circ}_{cell} (V)$  للخلية المكونة من A ، D .  
 د) هل يمكن حفظ محلول من أملاح العنصر B في وعاء من العنصر G ؟

# التغيرات الكهروكيميائية

## السؤال السادس :

إذا علمت أن جهود الاختزال لأنصاف التفاعلات التالية كما هو مبين جوار كل منها ، أجب عن الأسئلة التي تليها :

$E^{\circ}_r (V)$	نصف التفاعل
+1.5	$Au^{3+}_{(aq)} + 3e^{-} \longrightarrow Au_{(s)}$
+ 0.8	$Ag^{+}_{(aq)} + e^{-} \longrightarrow Ag_{(s)}$
-0.14	$Sn^{2+}_{(aq)} + 2e^{-} \longrightarrow Sn_{(s)}$
-0.91	$Cr^{2+}_{(aq)} + 2e^{-} \longrightarrow Cr_{(s)}$
-1.66	$Al^{3+}_{(aq)} + 3e^{-} \longrightarrow Al_{(s)}$

- أ) احسب فولتية الخلية المكونة من نصفي الكروم والألومنيوم . وعين أي القطبين سيكون مهبط هذه الخلية وأيها سيكون مصعدا ثم اكتب معادلة التفاعل الكلي للخلية .
- ب) سم أقوى العوامل المؤكسدة وأقوى العوامل المختزلة في السلسلة السابقة .
- ج) ما الأيونات التي يمكن أن يختزلها الكروم في السلسلة السابقة؟
- د) أي العناصر يمكن أن يتأكسد بواسطة  $Sn^{2+}_{(aq)}$  في السلسلة السابقة ؟
- هـ) أي قطبين من الفلزات السابقة يكون خلية جلفانية لها أكبر فولتية



# الوحدة الثانية

## تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات Energy Changes and Rate of Reactions

### الفصل الثالث

تغيرات الطاقة في التفاعلات الكيميائية  
Energy Changes in Chemical Reactions

### الفصل الرابع

سرعة التفاعلات الكيميائية  
Rate of Chemical Reactions

### مقدمة

استخدم الإنسان الحرارة الناتجة من التفاعلات الكيميائية منذ القدم في أغراض مختلفة مثل احتراق الفحم والخشب دون أن يعرف ما الحرارة ، وكيف تنتج ، وهل يمكن أن تنتقل من مادة إلى أخرى في أثناء التفاعلات الكيميائية ؟ ولماذا تختلف المواد في قدرتها على فقد أو كسب الحرارة. ونتيجة لذلك سعى الإنسان نحو تطوير المعرفة والأساليب والوسائل ، وذلك لتحسين أساليب المعيشة ، ولم يكتف بدراسة التغيرات الحرارية ، وإنما فكر ودرس الطرق التي تزيد من سرعة التفاعلات الكيميائية لاستغلالها في تطوير الصناعات والحصول على المواد في أقل كلفة وأقل وقت.



## الأفكار الرئيسية :



- ١- ماذا نقصد بالمحتوى الحراري للمادة ؟ وكيف يمكن قياسه ؟
- ٢- كيف يمكن تعيين حرارة احتراق أي مادة؟
- ٣- ما العوامل التي تعتمد عليها سرعة التفاعلات الكيميائية ؟
- ٤- كيف يعمل العامل الحفاز على زيادة سرعة التفاعلات الكيميائية ؟
- ٥- وضح نظرية التصادم ودورها في تفسير أثر التركيز ودرجة الحرارة على سرعة التفاعلات الكيميائية .



# تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات



## تغيرات الطاقة في التفاعلات الكيميائية Energy Changes in Chemical Reactions

### الفصل الثالث

#### مقدمة الفصل

هل فكرت يوماً باستخدامات الحرارة الناتجة من التفاعلات الكيميائية؟ هل تعلم أن الحرارة الناتجة من احتراق الفحم تستخدم في توليد الطاقة الكهربائية؟ ولكن ماذا نقصد بالتغيرات الحرارية في أثناء التفاعلات الكيميائية؟

إن جميع التفاعلات الكيميائية تحدث تغيرات في المواد الكيميائية وطاقاتها في أثناء التفاعل الكيميائي، فنتج مواد جديدة مختلفة عن المواد المتفاعلة إضافة إلى حدوث تغيرات في الطاقة المصاحبة للتفاعلات الكيميائية، ويسمى العلم الذي يختص بدراسة التغيرات الحرارية المصاحبة للتفاعلات الكيميائية بعلم الكيمياء الحرارية *thermo chemistry*.

تعتبر عملية انتقال الطاقة عبر التفاعلات الكيميائية أساس جميع العمليات التي تحدث في الحياة، فعندما تتنفس أو تمشي فإنك تستخدم عملية التنفس وجميع العمليات الحيوية المعقدة لتحويل الطاقة الكيميائية المخزونة في الطعام إلى طاقة حركية. كما أن النباتات تمتص طاقة أشعة الشمس وتحويلها إلى طاقة كيميائية مخزونة في المواد الكربوهيدراتية التي تنتقل إلى الحيوانات والإنسان عن طريق الطعام. قد تتساءل لماذا تحدث هذه التغيرات الحرارية؟ وما الفائدة من دراستها؟ وهل يمكن قياس الطاقة الحرارية المصاحبة للتفاعلات الكيميائية؟



#### الموضوعات الرئيسية

- ١-٣ : قياس كمية الحرارة .
- ٢-٣ : الحرارة وتغيرات الطاقة .
- ٣-٣ : المحتوى الحراري والتغير في المحتوى الحراري .
- ٤-٣ : المعادلات الكيميائية الحرارية .
- ٥-٣ : المحتوى الحراري المولاري .
- ٦-٣ : التغير في المحتوى الحراري للانصهار والتجمد .
- ٧-٣ : المحتوى الحراري القياسي للتكوين .
- ٨-٣ : قانون هس .



# تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

## مصطلحات علمية جديدة

- ١- المحتوى الحراري ..... 1- Enthalpy
- ٢- المحيط ..... 2- Surrounding
- ٣- النظام ..... 3- System
- ٤- المسعر ..... 4- Calorimeter
- ٥- المحتوى الحراري المولاري ..... 5- Molar Enthalpy
- ٦- المحتوى الحراري القياسي للتكوين (حرارة التكوين القياسية) ... 6- Standard heat of Formation



## عناوين الاستكشافات

- الاستكشاف (١): حرارة ذوبان الأملاح .
- الاستكشاف (٢): حرارة احتراق الإيثانول .
- الاستكشاف (٣): حرارة انصهار الثلج .

# تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

## ٣-١ قياس كمية الحرارة Calorimetry :



عندما يتفاعل الأكسجين مع الميثان فإن كمية الحرارة الناتجة من هذا التفاعل تنتقل إلى الوسط المحيط مسببة ارتفاعاً في درجة حرارة المحيط، فهل هناك طريقة دقيقة لقياس كمية الحرارة الناتجة ؟

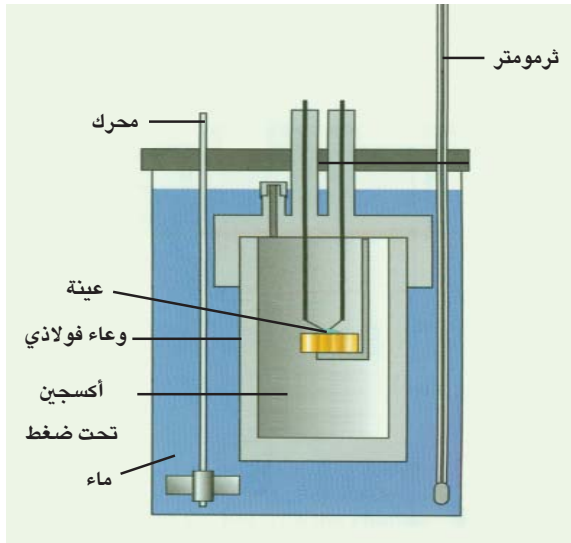


الشكل (٣-١) : مسعر بسيط

يستخدم جهاز مصنوع من مادة معزولة يسمى المسعر *calorimeter* لقياس كمية الحرارة الممتصة أو المنطلقة في أثناء التغيرات الفيزيائية أو الكيميائية، وتعتمد عملية القياس على كتل المواد و التغير في درجة الحرارة.

يتكوّن المسعر من صندوق معزول مملوء بالماء يوضع به وعاء التفاعل، بالإضافة إلى ثرمومتر وساق تحريك .

تتلخص الفكرة التي يعتمد عليها عمل المسعر ببساطة في أن التغير في درجة حرارة كتلة معينة من الماء يعتمد على كمية الحرارة المضافة إليها أو المأخوذة منها . ويوضح الشكل (٣-١) نموذج لمسعر مبسط يعمل تحت ضغط ثابت يحتوي على ثرمومتر لقياس التغير في درجة الحرارة للمواد في أثناء وجودها في الماء



الشكل (٣-٢) : المسعر الانفجاري

هناك مسعر آخر يقيس التغير في الطاقة الحرارية تحت حجم ثابت يسمى بالمسعر الانفجاري *bomb calorimeter* كما هو موضح في الشكل (٣-٢) ، حيث يستخدم في قياس الحرارة المنطلقة من احتراق مادة ما.

## تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

درست سابقاً مفهوم السعة الحرارية النوعية لمادة *specific heat capacity* وهي : "كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة جرام واحد من المادة بمقدار درجة مئوية واحدة"، وتستخدم السعة الحرارية النوعية لقياس كمية الحرارة بمعلومية كتلة المادة والتغير في درجة الحرارة وفق القانون الذي درسته سابقاً :  $q = mc \Delta T$  حيث  $q$  = كمية الحرارة ،  $m$  = كتلة المادة ،  $\Delta T$  = التغير في درجة الحرارة ،  $c$  = السعة الحرارية النوعية . سنركز في هذا الفصل على كيفية استخدام القانون السابق لحساب التغيرات الحرارية المصاحبة للتفاعلات الكيميائية.



### معلومة تهمك :

يستفاد من خاصية ارتفاع قيمة السعة الحرارية النوعية للماء في حماية المحاصيل الزراعية- مثل البرتقال -من التلف عند انخفاض درجة الحرارة، وذلك برش المحاصيل بالماء الذي يساعد على منعها من التجمد.

### اختبر فهمك (1) :

تكون درجة حرارة الكراسي والأماكن المعدة للجلوس حول حمام السباحة مرتفعة في الأيام الحارة في حين يظل الماء في حمام السباحة بارداً. فسر ذلك .

### معلومة تهمك :

- ١- عند اشتعال عود ثقاب مصنوع من الخشب تنطلق كمية من الحرارة مقدارها  $1\text{kJ}$  وهذه الحرارة تستخدم لتسخين  $\frac{1}{4}$  كوب من الماء بمقدار  $1^\circ\text{C}$  .
- ٢- إذا كنت تجلس ثماني ساعات على مكتبك للمذاكرة فإنك تحرق 800 كيلو سعر حراري، وهذه القيمة تعادل وجبتين غذائيتين من المعكرونة تقريباً.

## تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

مثال :

يحتوي سخان ماء على 600mL من الماء، سخن من 20°C إلى 85°C وذلك لعمل الشاي، ما مقدار كمية الحرارة الممتصة؟

الحل : نستخدم قانون كمية الحرارة :  $q = mc \Delta T$

$$\Delta T = 85 - 20 = 65^{\circ}\text{C}$$

$$C = 4.18\text{J/g}^{\circ}\text{C}$$

لايجاد كتلة الماء نستخدم قانون : كتلة المادة = الحجم  $\times$  الكثافة .

كثافة الماء تساوي 1.00g/ml

$$\text{كتلة الماء} = 600\text{mL} \times 1.00\text{g/mL} = 600\text{g}$$

$$\text{كمية الحرارة} = 600\text{g} \times 4.18\text{J/g}^{\circ}\text{C} \times 65^{\circ}\text{C}$$

$$= 1.63 \times 10^5\text{J}$$

$$= 163\text{ kJ}$$

أي أن كمية الحرارة المنتقلة من السخان إلى الماء تساوي 163kJ  
ويوضح الجدول (٣-١) قيم السعة الحرارية النوعية لبعض المواد :

المادة	السعة الحرارية النوعية (J/g.°C)
الحديد	0.444
الزجاج	0.500
الألومنيوم	0.900
الثلج	2.01
ميثانول	2.918
الماء	4.18

الجدول (٣-١) : السعة الحرارية النوعية

ملاحظة: السعة الحرارية النوعية للماء =  $4.18\text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$

ونظرًا لكون قيمة السعة الحرارية النوعية للماء عالية فإن عملية تبخر الماء تحتاج إلى طاقة عالية حيث يحتاج كل كيلو جرام من الماء إلى 4.18kJ من الطاقة الحرارية لرفع درجة حرارة الماء درجة سيليزية واحدة ، وبالتالي فإن كمية الحرارة اللازمة لتبخير الماء برفع درجة حرارته ستكون كبيرة جدا وهو ما يجعل عملية تبخر المياه السطحية في البحار والأنهار والمحيطات قليلة: وهذه هي الحكمة الإلهية من عدم تبخر كميات كبيرة من هذه المياه.



# تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

## اختبر فهمك (٢):

- ١- ترتفع درجة حرارة قطعة من النحاس كتلتها  $95.4g$  من  $25^{\circ}C$  إلى  $48^{\circ}C$  عندما تمتص كمية من الحرارة قدرها  $849J$  ، ما مقدار السعة الحرارية النوعية للنحاس ؟
- ٢- هل تختلف قيمة السعة الحرارية النوعية لمادة كتلتها  $50g$  عن المادة نفسها إذا كانت كتلتها  $20g$  وضح ذلك.
- ٣- يستخدم محلول جليكول الإيثيلين في نظام تبريد السيارات ومانع التجمد ، إذا علمت أن  $50\%$  من هذا المحلول يمتلك سعة حرارية نوعية قدرها  $3.5J/g.^{\circ}C$  ، فما مقدار التغير في درجة الحرارة لكتلة  $4kg$  تمتص كمية حرارة مقدرها  $250kJ$  .

## ٢-٣ الحرارة وتغيرات الطاقة Heat & Energy Change :



تحدث التفاعلات الكيميائية في حيز معين يسمى بالنظام *system* و تمتص أو تنطلق طاقة حرارية *thermal energy* من الوسط المحيط *surrounding* بالتفاعل ، فمثلا عند إضافة محلول حمض الهيدروكلوريك إلى محلول هيدروكسيد الصوديوم في كأس زجاجية فإن النظام يمثل الكأس والموجود فيها من محاليل وما يتبقى من الكون يمثل الوسط المحيط ، والكيمياء الحرارية تدرس انتقال الطاقة الحرارية من النظام إلى الوسط والعكس . إن التفاعلات الطاردة للحرارة مثل احتراق الوقود تنتج عنها كمية من الحرارة تنتقل من النظام إلى الوسط المحيط. أما التفاعلات الماصة فتمتص الطاقة الحرارية من الوسط المحيط إلى نظام التفاعل، وهذه التفاعلات تحصل على الطاقة من مصادر متنوعة مثل الشمس حيث تستخدم طاقتها الحرارية في عملية التمثيل الضوئي لبناء الكربوهيدرات في أوراق النباتات.



إن الطاقة الحرارية لا تنشأ من التفاعلات الطاردة ولا تفنى في التفاعلات الماصة ، وإنما تنتقل من المواد في التفاعلات الكيميائية إلى الوسط المحيط والعكس، حيث إن مجموع طاقة التفاعلات الكيميائية والوسط يكون ثابتاً وهذا ما يتفق وقانون حفظ الطاقة .  
عندما يحدث تفاعل فإن كمية الحرارة  $q$  تنتقل بين النظام والمحيط، كما هو موضح في الشكل (٣-٣):

الشكل (٣-٣): اتجاه سريان الحرارة في التفاعلات الطاردة والماصة



## تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

إن العملية التي يتم فيها امتصاص حرارة من الوسط تسمى بالعملية الماصة للحرارة، وهي كغيرها من التفاعلات الماصة للحرارة تحدث بامتصاص الطاقة الحرارية بأي صورة من الصور، وفي هذه العمليات يكتسب النظام حرارة ويرد الوسط المحيط. أما عندما تنطلق الحرارة إلى الوسط فإن النظام يفقد حرارة للوسط المحيط وهو ما يؤدي إلى سخونته وتسمى هذه العملية بالعملية الطاردة للحرارة.

### معلومة تهمك :

#### مدفأة الكيروسين

في بعض المناطق الباردة يستخدم الناس مدفأة الكيروسين، حيث يحترق الكيروسين بالهواء الموجود في الغرفة المراد تدفئتها مطلقا حرارة وهو من التفاعلات الطاردة للحرارة.

### اختبر فهمك (٣) :

صنف التفاعلات التالية إلى تفاعلات ماصة أو تفاعلات طاردة للحرارة :

- ١- التنفس
- ٢- هضم الطعام
- ٣- صناعة الخبز

### ٣-٣ المحتوى الحراري والتغير في المحتوى الحراري

#### : Enthalpy & Enthalpy change

تسمى الطاقة الكلية للنظام تحت ضغط ثابت بالمحتوى الحراري *enthalpy* ويرمز إليها بالرمز  $H$  وكل مادة نقية لها محتوى حراري ، وعندما يحدث تفاعل فإن كمية الحرارة الممتصة أو المنطلقة تساوي الفرق بين المحتوى الحراري للمواد الناتجة والمحتوى الحراري للمواد المتفاعلة، ويعبر عنه بالتغير في المحتوى الحراري للتفاعل  $\Delta H$  طبقا للمعادلة :

$$\Delta H = \sum H(\text{مواد ناتجة}) - \sum H(\text{مواد متفاعلة})$$

$$\Delta H_{rxn} = \sum H_{(products)} - \sum H_{(reactants)}$$

## تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

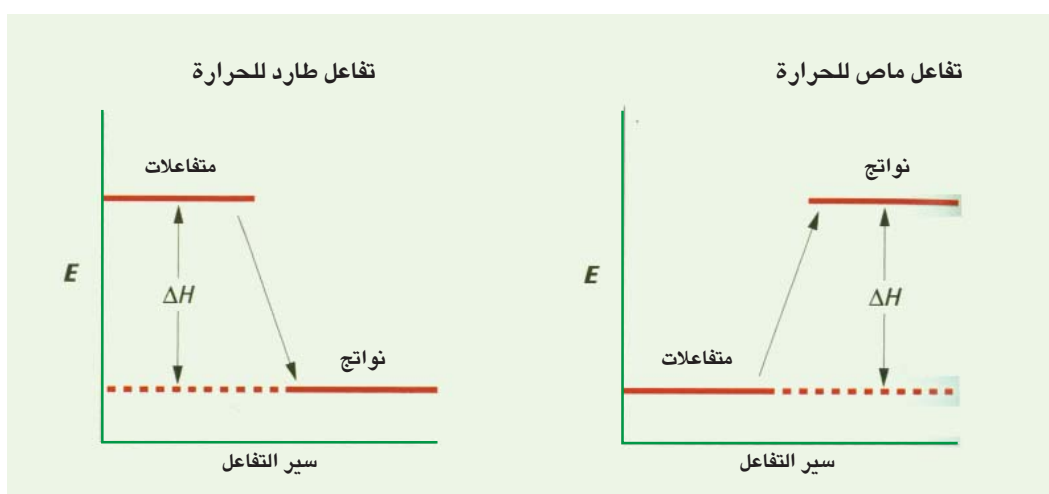
يحدث التغير في المحتوى الحراري في أثناء التفاعل الكيميائي نتيجة كسر الروابط بين المواد المتفاعلة وتكوين روابط جديدة في المواد الناتجة، حيث تحدث إعادة ترتيب للذرات بالنسبة إلى بعضها بعضًا، فمثلاً عند اتحاد غاز الكلور مع غاز الهيدروجين لتكوين غاز كلوريد الهيدروجين يحدث كسر للروابط بين ذرات المواد المتفاعلة، وهذه العملية تحتاج إلى طاقة (تفاعل ماص)، وتكون روابط جديدة بين ذرات الهيدروجين والكلور لتكوين غاز كلوريد الهيدروجين فتنتقل حرارة نتيجة تكوين الروابط (تفاعل طارد) حسب المعادلة الآتية :



### اختبر فهمك (٤):

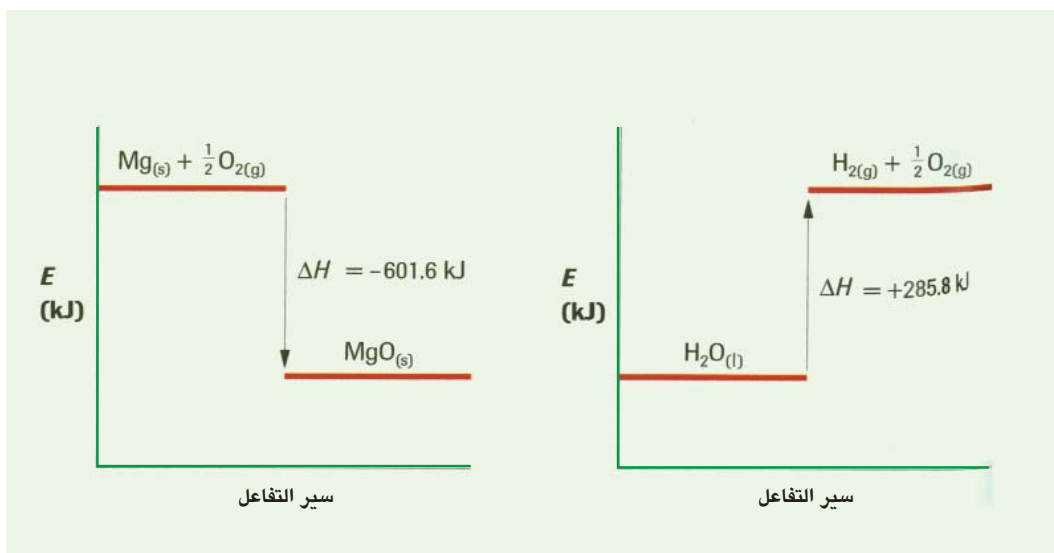
١- متى تكون قيمة  $\Delta H$  سالبة ومتى تكون قيمة  $\Delta H$  موجبة؟

عندما يتم قياس التغير في المحتوى الحراري عند الظروف القياسية من الضغط ( $1 \text{ atm}$ ) ودرجة الحرارة ( $25^\circ\text{C}$ ) فإن هذا التغير في المحتوى الحراري يسمى التغير في المحتوى الحراري القياسي، ويرمز إليه بالرمز ( $\Delta H^\circ$ ) ويمكن تمثيل العلاقة بين المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة والمواد الناتجة والتغير في المحتوى الحراري للتفاعلات الماصة للحرارة والطاردة للحرارة بالرسوم البيانية الآتية (الشكل ٣-٤)



الشكل (٣-٤) : التفاعلات الطاردة للحرارة والتفاعلات الماصة للحرارة

## تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات



الشكل (٣-٥): التغير في المحتوى الحراري لاحتراق الماغنيسيوم وتفكك الماء

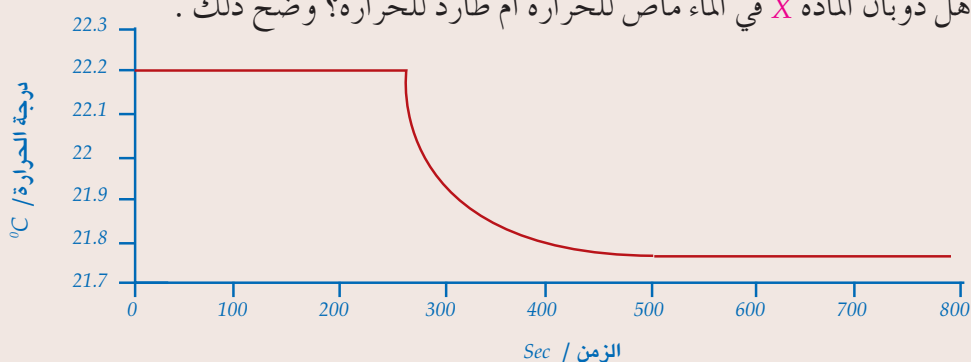
يبين الشكل (٣-٥) أنه في التفاعلات الطاردة يقل المحتوى الحراري للنظام وذلك لانتقال الحرارة إلى الوسط المحيط، وهو ما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الوسط المحيط مثل تفاعل احتراق الماغنيسيوم، وعكس ذلك في التفاعلات الماصة فإن المحتوى الحراري للوسط المحيط القريب من النظام يقل وتنخفض درجة الحرارة لانتقال الحرارة إلى النظام مثل تفاعل تفكك الماء. ويمكن أن نستنتج الآتي:

التفاعلات الماصة للحرارة	التفاعلات الطاردة للحرارة
تمتص الحرارة من الوسط المحيط	تطلق حرارة للوسط المحيط
تخفض درجة حرارة الوسط المحيط	ترتفع درجة حرارة الوسط المحيط
$\Delta H$ تكون موجبة	$\Delta H$ تكون سالبة
المحتوى الحراري للمواد الناتجة أكبر من المواد المتفاعلة	المحتوى الحراري للمواد الناتجة أقل من المواد المتفاعلة

# تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

## اختبر فهمك (٥):

١- يوضح الرسم البياني التالي التغير في درجة الحرارة عند إذابة المادة (X) في الماء وترك المحلول لفترة من الزمن. هل ذوبان المادة X في الماء ماص للحرارة أم طارد للحرارة؟ وضح ذلك .



٢- عندما يحترق غاز الهيدروجين في الهواء يتكون بخار الماء حسب المعادلة الآتية :



- أيهما يمتلك محتوى حراريا أكبر: بخار الماء أم غازي الهيدروجين والأكسجين؟ وضح إجابتك .

نظرا لأن جميع التفاعلات الحرارية التي تدرسها تتم تحت ضغط ثابت فإن كمية الحرارة  $q$  تساوي التغير في المحتوى الحراري  $\Delta H$  .

$$\Delta H = q$$

## معلومة تهمك:

الجول

إن وحدة الجول نسبة إلى العالم البريطاني جيمس جول *James Joule* الذي اكتشف العلاقة بين الشغل المبذول وكمية الحرارة الناتجة التي ساعدت بدورها كثيرا من النظريات مثل النظرية الحركية للجزيئات.

لمزيد من المعلومات عن المحتوى الحراري قم بزيارة الموقع التالي على الشبكة العالمية للاتصالات الدولية: [www.scilinks.org](http://www.scilinks.org)

# تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات



## حرارة ذوبان الأملاح (المحتوى الحراري للمحلول) .

**الهدف:** استخدام المسعر لتعيين التغير في المحتوى الحراري لمحلول ملحي واستخدام قيم المحتوى الحراري في الجدول التالي لمعرفة اسم الملح المستخدم:

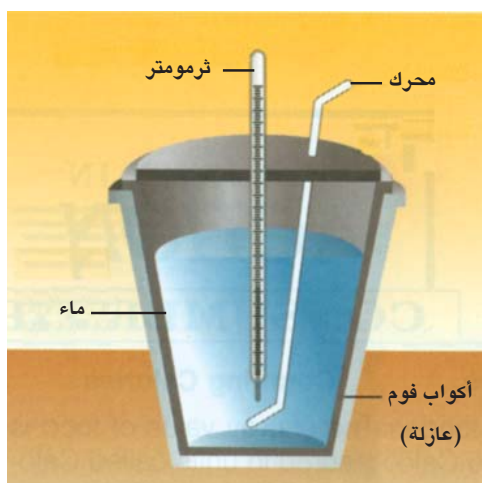
الملاح	التغير في المحتوى الحراري بالكيلوجول لكل جرام من المادة في المحلول $\text{kJ/g}$
$\text{NH}_4\text{Cl}$	0.227
$\text{KNO}_3$	0.345
$\text{CaCl}_2$	0.732
$\text{NH}_4\text{NO}_3$	0.321

**إجراءات الأمن والسلامة:** ارتداء اللباس المخبري والنظارات الواقية.

**المواد والأدوات:** ميزان حساس، زجاجة ساعة، 8-10g من ملح مجهول، ماء مقطر، ثرمومتر، ساق تحريك، كؤوس بلاستيكية عازلة (Styrofoam) عدد (3)، مخبر مدرج سعة 100mL .

### الإجراءات :

- 1- زن بدقة 8g من الملح المجهول بواسطة ميزان حساس وسجل الوزن.
- 2- زن (50mL) من الماء المقطر وسجل الوزن.
- 3- قم ببناء المسعر بوضع كأسين داخل بعضهما بعضاً، ثم اقلب الكأس الثالث فوقهما وثبت الثرمومتر وساق التحريك في الكأس الثالث كما في الشكل (٣-٦).



الشكل (٣-٦) : المسعر



## تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

- ٤- ضع 50mL من الماء داخل المسعر وقس درجة الحرارة وسجلها.
- ٥- أضف 8g من الملح إلى المسعر وحرك المزيج وقس درجة الحرارة بعد ثباتها وسجلها.

### التحليل والتفسير :

- ١- احسب كمية الحرارة المصاحبة لعملية ذوبان الملح في الماء علمًا بأن: (السعة الحرارية النوعية للماء =  $4.18\text{J/g}^\circ\text{C}$  وهي تعتبر السعة الحرارية النوعية للمحلول).
- ٢- هل هذه العملية ماصة للحرارة أم طاردة؟ وضح ذلك
- ٣- احسب التغير في المحتوى الحراري  $\Delta H$  لجرام واحد من الملح؟
- ٤- ما الملح الذي استخدمته في هذا الاستكشاف؟
- ٥- لماذا يستخدم الماء في المسعر؟

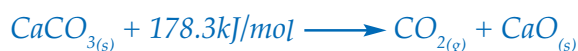
### ٣-٤ المعادلات الكيميائية الحرارية : Thermochemical Equations



عند احتراق شريط ماغنيسيوم في الهواء تنطلق كمية من الحرارة مقدارها  $601.6\text{kJ}$  يعبر عنها بإشارة سالبة فيكون التفاعل طاردًا للحرارة، وذلك لأن النظام يفقد حرارة، ويعبر عن هذا التفاعل بمعادلة كيميائية تتضمن كمية الحرارة كنتاج للتفاعل:



وفي التفاعلات الماصة تكتب كمية الحرارة مع المواد المتفاعلة ويعبر عنها بإشارة موجبة، لأن النظام يكتسب حرارة كما هو موضح في المعادلة الآتية:



## تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

في المعادلات الحرارية يجب ذكر الحالة الفيزيائية للمواد المتفاعلة والنتيجة وذلك لاختلاف كمية الحرارة باختلاف الحالة الفيزيائية للمواد ويمكن توضيح ذلك في المعادلتين التاليتين:



نلاحظ أنه رغم تشابه المعادلتين إلا أن هناك اختلافًا في الحالة الفيزيائية للماء تؤدي إلى اختلاف كمية الحرارة الناتجة .

### معلومة تهمك :

#### الميثان

الميثان هو المكون الرئيسي للغاز الطبيعي الذي يستخدم كبديل للبنزين للسيارات الذي يقلل من التلوث البيئي، عند احتراق الغاز الطبيعي تنطلق كمية كبيرة من الطاقة الحرارية تستخدم كقوة محرك للسيارات نتيجة كسر الروابط في جزيء الميثان والأكسجين في أثناء عملية الاحتراق وتكوين روابط جديدة.



### اختبر فهمك (٦) :

١- اكتب معادلة كيميائية حرارية لتفاعل البيوتان مع غاز الأكسجين ، علمًا بأن كمية الحرارة الناتجة تساوي  $5742 \text{ kJ/mol}$ .

### ٣-٥ المحتوى الحراري المولاري *Molar Enthalpy* :

عند تفاعل الأكسجين مع الهيدروجين لإنتاج بخار الماء فإن كمية الحرارة المنطلقة تساوي  $241.8 \text{ kJ}$  كما هو موضح في المعادلة الحرارية التالية:



## تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

من المعادلة السابقة نلاحظ أن مولاً واحداً من غاز الهيدروجين يتفاعل مع نصف مول من غاز الأكسجين لإنتاج مول واحد من بخار الماء، فإن قيمة التغير في المحتوى الحراري المصاحب لتفاعل مول واحد من أي مادة تسمى بالمحتوى الحراري المولاري، ويرمز إليه بالرمز  $\Delta H_x$  حيث تشير العلامة  $x$  إلى نوع التفاعل كما هو موضح في الجدول (٢-٣) :

أمثلة	نوع المحتوى الحراري المولاري
$NaBr_{(s)} \longrightarrow Na^+_{(aq)} + Br^-_{(aq)}$	ذوبان $\Delta H_{sol}$ Solution
$CH_{4(g)} + 2O_{2(g)} \longrightarrow CO_{2(g)} + H_2O_{(l)}$	احتراق $\Delta H_{comb}$ combustion
$CH_3OH_{(l)} \longrightarrow CH_3OH_{(g)}$	تبخر $\Delta H_{vap}$ Vaporization
$NaOH_{(aq)} + HCl_{(aq)} \longrightarrow NaCl_{(aq)} + H_2O_{(l)}$	تعادل $\Delta H_{neut}$ neutralization
$C_{(s)} + 2H_{2(g)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \longrightarrow CH_3OH_{(l)}$	تكوين $\Delta H_f$ formation
$H_2O_{(l)} \longrightarrow H_2O_{(s)}$	تجمد $\Delta H_{fr}$ freezing
$H_2O_{(s)} \longrightarrow H_2O_{(l)}$	انصهار $\Delta H_{fus}$ Fusion

الجدول (٢-٣) : المحتوى المولاري

لمعرفة قيمة التغير في المحتوى الحراري للتفاعل بمعلومية المحتوى الحراري المولاري تستخدم العلاقة التالية :

$$\Delta H = n \Delta H_x$$

حيث  $n$  تعبر عن عدد المولات، ويمكن معرفة قيمتها من المعادلة الكيميائية الموزونة مباشرة .  
إن الحسابات التي تتعلق بالتغيرات في المحتوى الحراري مهمة جداً في حياتنا، لأن عليها يعتمد تصميم كثير من الأجهزة والأدوات في نظم التبريد والتكييف، وفي تصميم المفاعلات النووية وغيرها.

### مثال (١) :

إذا علمت أن  $\Delta H_{vap}$  للمادة المستخدمة للتبريد في الثلاجة تساوي  $34.99 \text{ kJ/mol}$  فإذا تبخر  $500 \text{ g}$  من هذه المادة فما قيمة التغير في المحتوى الحراري  $\Delta H$  المتوقع ؟ علماً بأن الكتلة المولية للمادة  $= 120.91 \text{ g/mol}$  ؟

## تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

**المل :** نستخدم المعادلة  $\Delta H = n \Delta H_x$

نحسب عدد المولات =  $\frac{\text{كتلة المادة}}{\text{الكتلة المولية}}$

$$\text{عدد المولات} = \frac{500}{120.91}$$

$$= 4.13 \text{ mol}$$

$$\Delta H = 4.13 \times 34.99$$

$$= 144.5 \text{ kJ}$$

**مثال (٢) :**

يتفاعل غاز ثاني أكسيد الكبريت مع غاز الأكسجين في الهواء وينتج عن التفاعل غاز ثالث أكسيد

الكبريت كما في المعادلة ، فإذا علمت أن المحتوى الحراري المولاري لاحتراق ثاني أكسيد الكبريت  $\Delta H_{comb}$

يساوي  $-98.9 \text{ kJ/mol}$  ، فأوجد قيمة التغير في المحتوى الحراري للتفاعل .  $2\text{SO}_{2(g)} + \text{O}_{2(g)} \longrightarrow 2\text{SO}_{3(g)}$

**المل :**

$$\Delta H = n \Delta H_x$$

عدد مولات ثاني أكسيد الكبريت من المعادلة = 2

$$\Delta H = 2 \times -98.9 = -197.8 \text{ kJ}$$

**مثال (٣) :**

عند ذوبان  $4.25 \text{ g}$  من نترات الأمونيوم في  $60 \text{ g}$  من الماء في المسعر تنخفض درجة الحرارة من  $21^\circ\text{C}$  إلى  $16.9^\circ\text{C}$ . احسب التغير في المحتوى الحراري لعملية الذوبان.

**المل :** معادلة الإذابة:  $\text{NH}_4\text{NO}_{3(s)} \longrightarrow \text{NH}_4^+_{(aq)} + \text{NO}_3^-_{(aq)}$

نحسب كمية الحرارة التي امتصها الماء

$$q = mc \Delta T$$

$$q = 60 \times 4.18 \times (16.9 - 21)$$

$$= 1.03 \times 10^3 \text{ J} = -1.03 \text{ kJ}$$

$$q = -n \Delta H_{sol}$$

## تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

$$\text{عدد مولات نترات الأمونيوم} = \frac{4.25}{80} = 0.053 \text{ mol}$$

$$\Delta H_{sol} = \frac{-1.03}{0.053}$$

$$\Delta H_{sol} = +19.4 \text{ kJ/mol} \quad (\text{تفاعل ماص للحرارة})$$

### اختبر فهمك (٧):

١- في ظروف مناخية معينة ترتفع درجة حرارة الهواء لمنطقة ما نتيجة سقوط الثلج عليها، وذلك لتحرر الطاقة الحرارية إلى الهواء عند تحول الماء إلى الثلج. ما قيمة التغير في المحتوى الحراري عند تجمد  $100\text{g}$  من الماء عند درجة حرارة  $0.0^\circ\text{C}$ ؟ حرارة تجمد الماء  $\Delta H_{fr} = -6.03\text{kJ/mol}$

٢- يتفاعل حمض الكبريتيك مع هيدروكسيد الصوديوم كما في المعادلة:



أ- ما قيمة التغير في المحتوى الحراري  $\Delta H$ ؟

ب- احسب قيمة المحتوى الحراري المولاري لهيدروكسيد الصوديوم؟

إن كمية الحرارة المنطلقة أو الممتصة تتناسب مع كميات المواد المتفاعلة، فمثلاً عند احتراق (2) مول من الهيدروجين لتكوين الماء تنطلق كمية من الحرارة قدرها  $285.8 \text{ kJ}$  أما عند احتراق (4) مول من الهيدروجين فتنتطلق كمية حرارة قدرها  $571.6 \text{ kJ}$  أي أن كمية الحرارة المنطلقة عند احتراق (4) مول تكون ضعف كمية الحرارة المنطلقة عند احتراق (2) مول من الهيدروجين. ويسمى المحتوى الحراري المولاري في الظروف القياسية بالمحتوى الحراري المولاري القياسي  $\Delta H_x$ .

تعد المركبات الهيدروكربونية *hydrocarbons* من المصادر الرئيسة للطاقة، حيث تنتج عن احتراقها كميات كبيرة من الطاقة، وتستخدم بشكل مباشر كمصدر للوقود، أو يتم تحويلها إلى أنواع أخرى من الطاقة كالطاقة الكهربائية التي يستفاد منها في الإنارة وصناعات كثيرة، والطاقة الناتجة من الاحتراق تزداد قيمتها بزيادة عدد ذرات الكربون في المركب، فنجد مثلاً أن كمية الحرارة الناتجة من احتراق مول واحد من الميثان تساوي  $890.3 \text{ kJ/mol}$  ومن مول واحد من البروبان تساوي  $2220 \text{ kJ/mol}$  ومن مول واحد من البيوتان تساوي  $2855 \text{ kJ/mol}$ .



# تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

## حرارة احتراق الإيثانول

الاستكشاف

٢

**سؤال علمي:** كيف تقيس حرارة احتراق الإيثانول؟

**إجراءات الأمن والسلامة:** ارتداء اللباس المخبري والنظارات الواقية .

**المواد والأدوات:** ميزان حساس، مصباح كحولي (موقد كحولي)، كأس من النحاس أو الألومنيوم ، ماء مقطر ، ثرمومتر ، الإيثانول.

### الإجراءات :

- ١- ضع كمية من الإيثانول في المصباح وسجل كتلة المصباح أو كتلة الموقد .
- ٢- ضع 50g من الماء في الكأس وقس درجة الحرارة وسجلها في دفترك .
- ٣- ضع الكأس على الموقد، كما في الشكل ، وسخنه لمدة عشر دقائق .
- ٤- بعد التسخين قس درجة حرارة الماء في الكأس وسجلها في دفترك .
- ٥- زن المصباح الكحولي بعد التسخين وسجل الوزن في دفترك .
- ٦- رتب النتائج في الجدول التالي:



كتلة المصباح قبل التسخين	كتلة المصباح بعد التسخين	درجة حرارة الماء قبل التسخين	درجة حرارة الماء بعد التسخين	كتلة الإيثانول المستخدم	التغير في درجة الحرارة ( $\Delta T$ )

# تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

## التحليل والتفسير :

- ١- اكتب معادلة احتراق الإيثانول.
- ٢- احسب كمية الحرارة المصاحبة لعملية احتراق الإيثانول.
- ٣- هل حرارة احتراق الإيثانول التي حصلت عليها في التجربة تساوي القيمة المحسوبة عملياً وتساوي  $1367\text{kJ/mol}$  ؟ إذا كانت القيمتان مختلفتين . فسر ذلك .

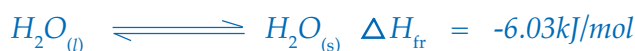
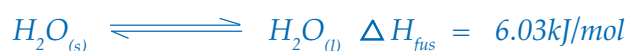
## قم بتنفيذ الدرس العملي رقم (٤) .

### ٣-٦ التغير في المحتوى الحراري للانصهار والتجمد :

#### *Enthalpy change of Fusion and Freezing*

عندما تتحول المادة من حالة فيزيائية إلى أخرى- مثل تحول الماء من الحالة الصلبة الى السائلة- هل تحدث تغيرات حرارية في أثناء تغير الحالة الفيزيائية للمادة ؟

إذا وضعت مكعب ثلج على الطاولة فإن هذا المكعب يعتبر النظام والطاولة والهواء المحيط به هما من الوسط المحيط، يمتص مكعب الثلج الحرارة من الوسط المحيط ويبدأ بالانصهار مع بقاء درجة الحرارة ثابتة حتى ينصهر الثلج بأكمله. إن جميع المواد الصلبة تمتص حرارة عندما تتحول إلى سوائل، وتسمى كمية الحرارة التي يمتصها مول واحد من المادة الصلبة عند تحوله كلياً إلى سائل في درجة حرارة ثابتة بالتغير في المحتوى الحراري المولاري للانصهار *molar enthalpy change of fusion* ويرمز إليه بالرمز  $\Delta H_{fu}$  وتسمى كمية الحرارة التي يفقدها مول واحد من المادة السائلة عند تصلبها في درجة حرارة ثابتة بالتغير في المحتوى الحراري المولاري للتجمد *molar enthalpy change of freezing* ويرمز إليه بالرمز  $\Delta H_{fr}$  ، وكمية الحرارة التي تمتصها المادة الصلبة تساوي كمية الحرارة التي يفقدها السائل عندما يتصلب أي أن  $\Delta H_{fr} = -\Delta H_{fus}$  ويمكن توضيح ذلك في المعادلتين التاليتين:



# تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

## حرارة انصهار الثلج

الاستكشاف

٣

**الهدف:** تعيين حرارة انصهار الثلج.

**إجراءات الأمن والسلامة:** ارتداء اللباس المخبري والنظارات الواقية .

**المواد والأدوات:** مكعب من الثلج، كأس بلاستيكي عازل (Styrofoam) ، مخبر مدرج سعة (100 mL) ،

ثرمومتر، ماء ساخن

**الإجراءات :**

١- ضع 70mL من الماء الساخن في مخبر مدرج وانقله إلى الكأس البلاستيكي .

٢- باستخدام الثرمومتر قس درجة حرارة الماء وسجلها .

٣- ضع مكعب الثلج في الكأس وحركه ببطء، ثم قس درجة حرارة الماء مباشرة بعد انصهار مكعب الثلج بأكمله. انقل محتويات الكأس إلى المخبر المدرج وقس حجمه.

**التحليل والتفسير :**

١- ما كتلة مكعب الثلج.

٢- احسب كمية الحرارة المكتسبة ثم احسب حرارة انصهار الثلج.

٣- قارن النتيجة التي حصلت عليها بالقيمة المحسوبة عمليا والتي تساوي 6.03kJ/mol إذا كانت القيمتان مختلفتين. فسر ذلك.

## ٣-٧ المحتوى الحراري القياسي للتكوين :

**Standard Enthalpies of Formation ( $\Delta H_f^\circ$ )**

من الطرق المستخدمة لتعيين المحتوى الحراري لعدد معين من المواد المتفاعلة التي تتكون من عناصرها الأولية المحتوى الحراري القياسي للتكوين ( $\Delta H_f^\circ$ ) والذي يعبر عنه بكمية الحرارة المنطلقة أو الممتصة عند تكوين مول واحد من المادة من عناصرها الأولية في الظروف القياسية، ولقد اتفق على اعتبار أن المحتوى الحراري القياسي  $\Delta H_f^\circ$  لتكوين العنصر المنفرد في الظروف القياسية يساوي صفرا.

# تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

معلومة تهمك :

## المحتوى الحراري القياسي للتكوين

تزداد درجة استقرار المركب حراريا كلما ازدادت قيمة المحتوى الحراري القياسي للتكوين المتحررة أثناء تكوين المركب.

والجدول (٣-٣) يوضح قيم المحتوى الحراري القياسي للتكوين (حرارة التكوين) عند الظروف القياسية لبعض المواد وحالتها الفيزيائية:

المادة	الحالة الفيزيائية	$\Delta H_f^0$ kJ/mol	المادة	الحالة الفيزيائية	$\Delta H_f^0$ kJ/mol
$H_2$	غاز	صفر	$H_2S$	غاز	-20.1
C	جرافيت	صفر	$SO_2$	غاز	-296.8
$CO_2$	غاز	-393.5	HF	غاز	-273
$CH_4$	غاز	-75	HCl	غاز	-92.3
$C_6H_6$	سائل	49	HCl	محلول	-168
$NH_3$	غاز	-46	Mg	صلب	صفر
NO	غاز	90.3	$I_2$	صلب	صفر
$NO_2$	غاز	33.8	$I_2$	غاز	-62.4
$O_2$	غاز	صفر	$H_2SO_4$	سائل	-907.5
$H_2O$	غاز	-241.8	$C_2H_4$	غاز	52.2
$H_2O$	سائل	-285.8	HBr	غاز	-36.4
Fe	صلب	صفر	$Br_2$	سائل	صفر
$Cl_2$	غاز	صفر	C	ماس	1.90
$HNO_3$	سائل	-174.1	$NH_4NO_3$	صلب	-365.6

الجدول (٣-٣) : حرارة التكوين القياسية

## تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

فمثلاً عند تكوين ثاني أكسيد الكربون كما هو موضح في المعادلة الآتية:



$$\Delta H^0_{f(CO_2)} = -393.5 \text{ kJ/mol}$$

$\Delta H^0_f$  (الأكسجين) = صفر،  $\Delta H^0_f$  (الكربون) = صفر

وبما أن مول واحد من ثاني أكسيد الكربون يتكون من تفاعل مول واحد من الأكسجين (غاز) ومول واحد من الكربون (جرافيت) فإن المحتوى الحراري القياسي للتكوين  $\Delta H^0_f(CO_2) = -393.5 \text{ kJ/mol}$  ونستطيع حساب التغير في المحتوى الحراري القياسي باستخدام المحتوى الحراري القياسي للتكوين، وذلك من خلال المعادلة الآتية:

$$\Delta H^0_{rxn} = \sum n \Delta H^0_f (\text{مواد ناتجة}) - \sum n \Delta H^0_f (\text{مواد متفاعلة})$$

**مثال (١):** احسب التغير في المحتوى الحراري القياسي للتفاعل التالي ومثله بيانياً:



نستخدم قيم المحتوى الحراري القياسي للتكوين في الجدول:

$$(O_2) \Delta H^0_f = \text{صفر} , (NH_3) \Delta H^0_f = -46 \text{ kJ/mol}$$

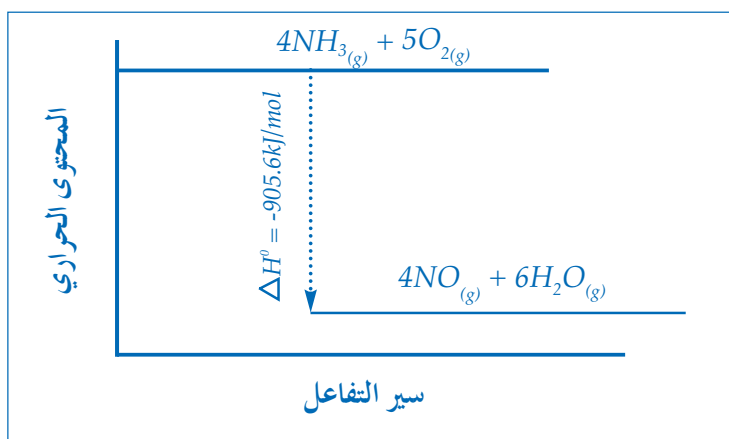
$$(H_2O) \Delta H^0_f = -241.8 , (NO_3) \Delta H^0_f = 90.3 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H^0_{rxn} = \sum n \Delta H^0_f (\text{مواد ناتجة}) - \sum n \Delta H^0_f (\text{مواد متفاعلة})$$

$$\Delta H^0 = [(4 \times 90.3) + (6 \times -241.8)] - (4 \times -46) \text{ (صفر)}$$

$$\Delta H^0 = -905.6 \text{ kJ/mol}$$

والشكل (٣-٧) يوضح سير التفاعل بيانياً:



الشكل (٣-٧): تفاعل الأمونيا مع غاز الأكسجين



## تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

**مثال (٢) :** يستخدم غاز البروبان لتسخين الماء في عمليات التدفئة للمناطق الباردة . إذا احترق  $3.20g$  من البروبان فما التغير في درجة الحرارة إذا علمت أن جميع الكمية استخدمت لتسخين  $4.0kg$  من الماء.  
(علمًا بأن  $\Delta H^0_{f(C_3H_8)} = -104.7kJ/mol$  )

**الحل :** علمت أن  $\Delta H = q$  ولنحصل على  $\Delta H$  نستخدم:

$$\Delta H^0_{rxn} = \sum n \Delta H^0_f \text{ (مواد ناتجة)} - \sum n \Delta H^0_f \text{ (مواد متفاعلة)}$$



$$\Delta H^0 = (3x - 393.5 + 4x - 241.8) - (-104.7)$$

$$\Delta H^0 = (-2323.7 + 104.7)$$

$$\Delta H^0 = -2219 \text{ kJ}$$

إن كمية الحرارة المنطلقة من احتراق البروبان هي نفس كمية الحرارة التي يمتصها الماء وتساوي  $\Delta H^0_{(propane)} = q_{(water)}$   
وبالتعويض بالمعادلة  $n \Delta H_{comb} = mc \Delta T$

$$\text{الكتلة المولية للبروبان} = 8 + 36 = 44 \text{ g/mol}$$

$$\text{عدد مولات البروبان} = (n) = 3.2 / 44 = 0.073 \text{ mol}$$

$$\text{والسعة الحرارية النوعية للماء} = 4.18 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = \frac{0.073 \times 2219}{4.0 \times 4.18}$$

$$\Delta T = 9.7^\circ\text{C}$$

### اختبر فهمك (٨) :

احسب المحتوى الحراري القياسي لتكوين البنزين في الحالة الغازية - كما في التفاعل التالي -، إذا علمت أن للتفاعل  $\Delta H^0 = -3273kJ/mol$



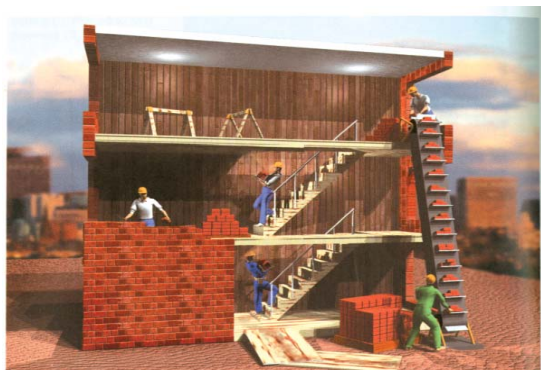
# تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

## ٨-٣ قانون هس : Hess's law



إن تقنية المسعر لقياس كمية الحرارة هي تقنية دقيقة لقياس التغير في المحتوى الحراري لتفاعل ما بشكل عملي، ولكن معظم التفاعلات الكيميائية تحدث على خطوات متتالية فيصعب في هذه الحالة تحديد التغير في المحتوى الحراري لكل خطوة على حدة، فمثلاً عند تفاعل تكوين أول أكسيد الكربون من عناصره لا يمكن استخدام المسعر لتعيين التغير في المحتوى الحراري للتفاعل، لأن احتراق الفحم ينتج كلا من أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكربون في وقت واحد، كما أن هناك تفاعلات تحتاج إلى وقت طويل (تفاعلات بطيئة) مثل تحول الماس إلى جرافيت حيث يحتاج إلى ملايين السنين.

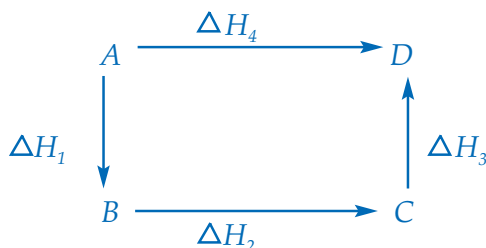
ونظراً للأسباب السابقة تم البحث عن طريقة أخرى لقياس كمية الحرارة، وذلك من خلال استخدام قانون هس، تتضح أهمية هذا القانون في أن قياس كمية الحرارة لا يتطلب طرقاً تجريبية مباشرة، وإنما استخدام المعادلات الكيميائية كمعادلات جبرية يمكن جمعها وطرحها وضرب طرفيها في معامل ثابت بنى عليه العالم الروسي هس معتمداً على أسس تجريبية.



الشكل (٨-٣): بناء المنزل

ينص القانون على أن قيمة التغير في المحتوى الحراري القياسي  $\Delta H^0$  لأي تفاعل كيميائي كمية ثابتة سواء تم التفاعل في خطوة واحدة أو عدة خطوات، ويمكن توضيح ذلك في الشكل (٨-٣)، حيث إن العامل الذي يقوم ببناء المنزل المكون من ثلاثة طوابق قد يحمل الطوب (الطابق) من الدور الأول إلى الثاني إلى الثالث، أو قد يحملها مباشرة من الدور الأول إلى الثالث. في كل من الطريقتين كانت النتيجة وصول الطوب إلى الدور الثالث.

وهذا يشبه ما يحدث في التغيرات الحرارية، حيث إن قيمة التغير في المحتوى الحراري لا تعتمد على المسار الذي يسلكه التفاعل، فمثلاً إذا تكون المركب (D) من المركب (A) مباشرة أو تكون نفس المركب من خلال عدة خطوات فإنه من خلال هذه الخطوات تتكون مركبات وسيطة (B) و (C) ويمكن توضيح ذلك من خلال الشكل الآتي :



نستنتج من ذلك :  $\Delta H_4 = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$

## تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

عند استخدام قانون هس يجب مراعاة ما يلي :

- ١- إذا عكست المعادلة الكيميائية تعكس إشارة التغير في المحتوى الحراري  $\Delta H$  .
- ٢- إذا ضربت أو قسمت المعادلة الكيميائية بمعامل معين فإن  $\Delta H$  أيضا تعدل بنفس الطريقة .

كيف يمكن تعيين التغير في المحتوى الحراري القياسي لتكوين أول أكسيد الكربون من عناصره ؟



كما ذكرنا سابقاً إن إجراء هذا التفاعل شبه مستحيل، وذلك لتكون مركب ثاني أكسيد الكربون، ولكن نستطيع حل هذه المشكلة باستخدام قانون هس عن طريق استخدام التفاعلين التاليين اللذين يمكن إجراؤهما في المختبر :



للحصول على المعادلة الأساسية لتكوين أول أكسيد الكربون عليك ضرب المعادلة الثانية برقم 2 وعكس المعادلة الأولى ستحصل على المعادلة المطلوبة :



بجمع المعادلتين نحصل على :



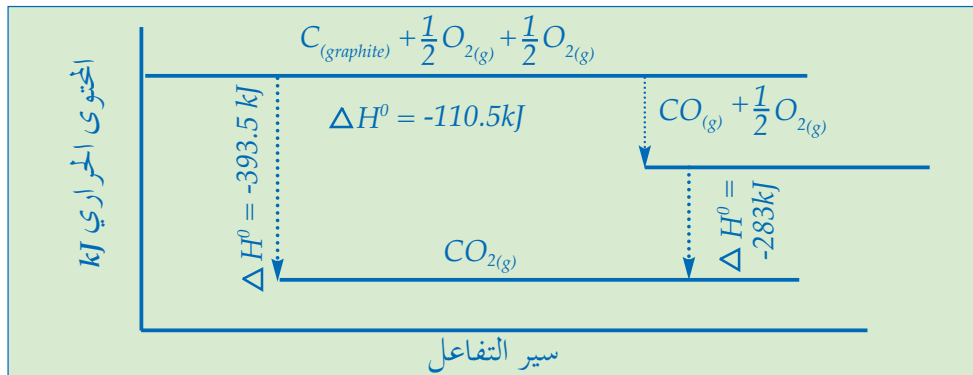
باستخدام المعادلة التالية نحصل على  $\Delta H^0_{f(CO)}$  :

$$\Delta H^0_{rxn} = \sum n \Delta H^0_f (\text{مواد ناتجة}) - \sum n \Delta H^0_f (\text{مواد متفاعلة})$$

$$-221 = 2 \Delta H^0_{f(CO)} - \text{zero}$$

$$\Delta H^0_f = -110.5 \text{ kJ/mol}$$

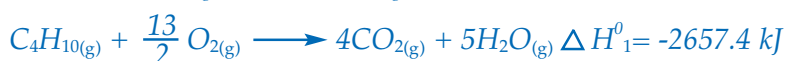
والشكل (٩-٣) يمثل المحتوى الحراري والتغير في المحتوى الحراري بيانياً



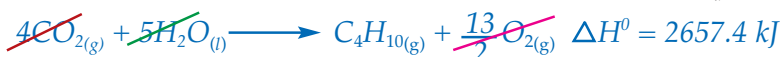
الشكل (٩-٣): تكوين أول أكسيد الكربون

## تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

**مثال (١) :** احسب التغير في المحتوى الحراري القياسي لتكوين مول من غاز البيوتان (  $C_4H_{10}$  ) من عناصره مستخدماً المعادلات التالية :



لتحصل على المعادلة المطلوبة تعكس المعادلة الأولى وتضرب المعادلة الثانية في 4 والمعادلة الثالثة تضرب بمعامل 5 فتكون المعادلات كالتالي :



بجمع المعادلات الثلاث نحصل على :

$$\Delta H^0 = 4 \Delta H^0_2 + 5 \Delta H^0_3 - \Delta H^0_1$$



$$\Delta H^0_f (C_4H_{10}) = -125.6 \text{ kJ/mol}$$

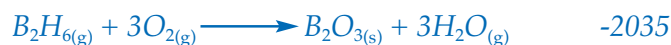
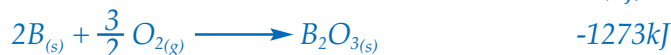
## مثال (٢) :

يعتبر مركب ثنائي البوران  $B_2H_6$  من أنشط مركبات هيدريد البورون الذي استخدم كمصدر للطاقة في مراكز الفضاء. احسب التغير في المحتوى الحراري للتفاعل التالي :



مستخدماً المعادلات الآتية :

$$\Delta H(kJ)$$

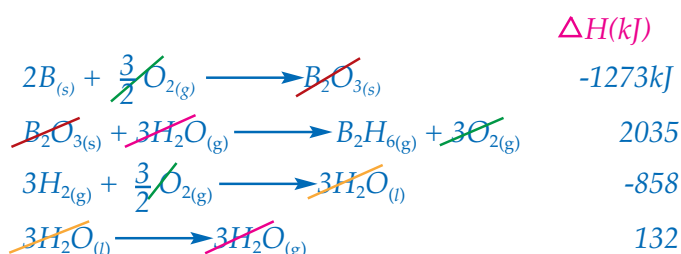




# تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

العل :

للحصول على المعادلة المطلوبة تبقى المعادلة الأولى كما هي، وتعكس المعادلة الثانية وتضرب كلا من المعادلة الثالثة والرابعة بمعامل 3 فتكون المعادلات كالتالي :



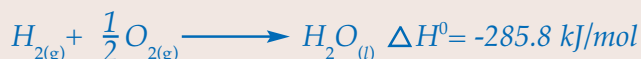
بجمع المعادلات الأربعة نحصل على :



وهذه القيمة لتكوين مول واحد من  $B_2H_{6(g)}$

## اختبر فهمك (٩) :

١- احسب التغير في المحتوى الحراري القياسي لتكوين 2 مول من سائل البروبانول  $C_3H_7OH$  باستخدام المعادلات الآتية :



٢- احسب  $\Delta H^0$  للتفاعل التالي ومثلها بيانياً :

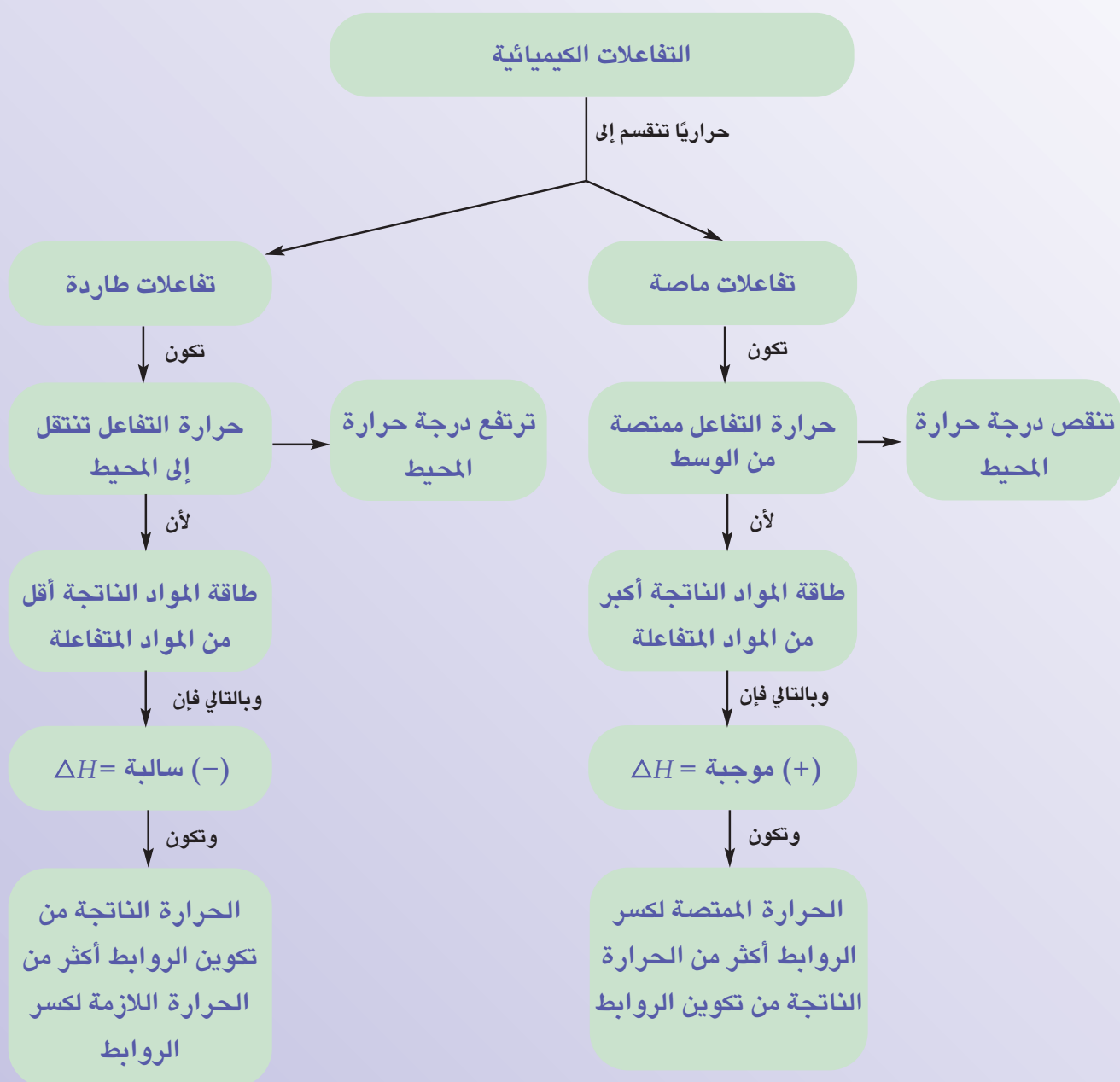


مستخدماً المعادلتين الآتيتين :





## خريطة مفاهيم الفصل



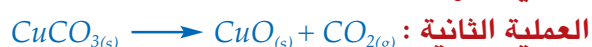
# تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

## أسئلة الفصل

### السؤال الأول :

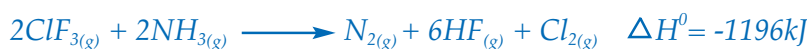
اختر الإجابة الصحيحة لكل من العبارات التالية من بين البدائل المعطاة :

١- أي العمليات التالية طارد للحرارة ؟



أ- الثالثة      ب- الثانية والثالثة      ج- الأولى      د- الأولى والثانية.

٢- التغير في المحتوى الحراري القياسي لتكوين مول واحد من ثالث فلوريد الكلور بالكيلوجول كما في المعادلة الآتية يساوي:



أ- -80      ب- -169      ج- -258      د- -338

٣- اعتمادًا على المعادلة التالية، ما مقدار كمية الحرارة المنطلقة عند تفاعل 120g من البوتاسيوم؟



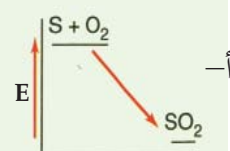
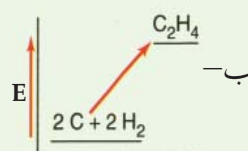
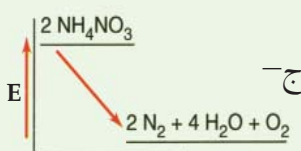
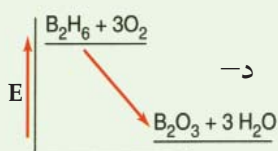
أ- 492kJ      ب- 280kJ      ج- 240kJ      د- 52.1kJ

٤- التغير في المحتوى الحراري القياسي للتفاعل التالي يساوي:



أ- -178kJ      ب- -285kJ      ج- -601kJ      د- -1123kJ

٥- أي الرسوم التالية يعبر عن تفاعلات ماصة للحرارة :



## تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

٦- عند تسخين كمية من الماء لإعداد الشاي، ارتفعت درجة الحرارة من  $5.5^{\circ}\text{C}$  إلى  $98.6^{\circ}\text{C}$ ، وكانت كمية الحرارة الممتصة تساوي  $583.7 \text{ kJ}$  فإن كتلة الماء المستخدمة بالجرام :  
 أ- 0.15      ب- 1.5      ج- 2.5      د- 5.0

٧- التغير في المحتوى الحراري لتحويل مول واحد من  $\text{N}_2\text{O}_5$  الصلب إلى غاز  $\text{N}_2\text{O}_5$  في التفاعلات التالية يساوي:  

$$2\text{N}_{(\text{g})} + \frac{5}{2}\text{O}_{2(\text{g})} \longrightarrow \text{N}_2\text{O}_{5(\text{s})} \quad \Delta H = X$$

$$\text{N}_{2(\text{g})} + \frac{5}{2}\text{O}_{2(\text{g})} \longrightarrow \text{N}_2\text{O}_{5(\text{g})} \quad \Delta H = Y$$
 أ-  $Y+X$       ب-  $X-Y$       ج-  $-X-Y$       د-  $Y-X$

### السؤال الثاني :

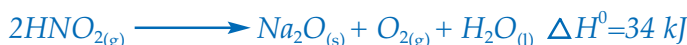
١- عند تسخين بيكربونات الصوديوم فإنه يتفكك إلى كربونات الصوديوم وبخار الماء وغاز ثاني أكسيد الكربون. إذا علمت أن التغير في المحتوى الحراري القياسي لبيكربونات الصوديوم يساوي  $(-947.7 \text{ kJ/mol})$  وكربونات الصوديوم يساوي  $(-1131 \text{ kJ/mol})$  فاحسب التغير في المحتوى الحراري للتفاعل .  
 ٢- في بعض الدول الباردة يستخدم غاز البروبان لتسخين الماء، فإذا علمت أن خزاناً من الماء يحتوي على  $200 \text{ L}$  من الماء فما الكتلة اللازمة لرفع درجة حرارة الماء من  $20^{\circ}\text{C}$  إلى  $65^{\circ}\text{C}$   $(\Delta H_{\text{com}}(\text{propane}) = -2220 \text{ kJ/mol})$

### السؤال الثالث :

١- احسب  $\Delta H^{\circ}$  للتفاعل :



مستخدماً المعادلات التي تحدث تحت ظروف معينة وهي :



٢- يعتبر سماد نترات الأمونيوم من أهم الأسمدة التي تزيد من إنتاج المحاصيل الزراعية وهو ينتج من تفاعل الأمونيا مع حمض النيتريك وفقاً للمعادلة الآتية :



أ- احسب  $\Delta H^{\circ}$  للتفاعل باستخدام قيم التغير في المحتوى الحراري القياسي للتكوين .  
 ب- بالرسم وضح العلاقة بين المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة والناجثة والتغير في المحتوى الحراري لهذا التفاعل .  
 ج- احسب كمية الحرارة الناجمة أو الممتصة لتكوين  $05$  طناً من نترات الأمونيوم.

# تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

## السؤال الرابع :

مثل كلاً من التفاعلات التالية بمعادلة كيميائية حرارية:  
 أ- تفكك مول واحد من كربونات الباريوم إلى مول واحد من أكسيد الباريوم ومول واحد من غاز ثاني أكسيد الكربون يحتاج إلى طاقة مقدارها  $267.2\text{kJ}$  .  
 ب- تفاعل مول واحد من غاز سيانيد الهيدروجين مع (2) مول من غاز الهيدروجين لإنتاج مول واحد من غاز أمينوميثان وطاقة مقدارها  $109\text{kJ}$  .

## السؤال الخامس :

يستخدم المسعر لقياس التغير في المحتوى الحراري الناتج من احتراق المادة الشمعية الصلبة ( $\text{C}_{20}\text{H}_{42}$ ) ، إذا علمت أن هذه المادة الشمعية وضعت تحت مسعر نحاسي يحتوي على الماء كما في الجدول التالي :

200g	كتلة الماء
$0.358\text{J/g}^{\circ}\text{C}$	السعة الحرارية النوعية للنحاس
50g	كتلة المسعر النحاسي
$21.0^{\circ}\text{C}$	درجة الحرارة الابتدائية للمسعر ومحتوياته
$76.0^{\circ}\text{C}$	درجة الحرارة النهائية للمسعر ومحتوياته
8.567g	الكتلة الأولية للمادة الشمعية
7.357g	الكتلة النهائية للمادة الشمعية

- ١- فاحسب التغير في المحتوى الحراري المولاري  $\Delta H^{\circ}_{comb}$  لعملية احتراق المادة .
- ٢- هل هذا التفاعل ماص أم طارد للحرارة ؟ وضح ذلك .

## السؤال السادس :

١- من التفاعل الآتي :

٢- احسب التغير في المحتوى الحراري القياسي لتكوين بروموإيثان .



- ٢- قام أحد الطلاب بإذابة  $13.7\text{g}$  من نترات الرصاص ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ) في  $85.0\text{g}$  من الماء، ولاحظ انخفاضاً في درجة الحرارة من  $23.4^{\circ}\text{C}$  إلى  $19.7^{\circ}\text{C}$  . احسب التغير في المحتوى الحراري لعملية الذوبان .

# تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات



## سرعة التفاعلات الكيميائية Rate of Chemical Reactions

## الفصل الرابع

### مقدمة الفصل



في عصر يعتمد كثيرا على الصناعة و يعتبر فيه استغلال الوقت والجهد عاملا مهما في الصناعات الكيميائية من المهم أن تدرس علم الكيمياء الحركية وهو ذلك العلم الذي يدرس سرعة التفاعلات الكيميائية وميكانيكية حدوثها وضبط ظروفها للحصول على المواد الناتجة بالكميات المطلوبة وبالطرق الاقتصادية المناسبة .  
هناك تفاعلات كيميائية سريعة جدا مثل الانفجارات التي تنتهي في أجزاء من الثانية وهناك متوسطة السرعة مثل احتراق الوقود الذي يستغرق دقائق، وهناك البطيئة جدا التي تستغرق سنين مثل التغيرات الجيولوجية. لعلك عرفت أن المعادلة الكيميائية تمثل المواد المتفاعلة والناتجة والنسبة بينهما لكنها لا توضح السرعة التي يتم بها التفاعل أو الخطوات المتتابعة التي تؤدي لتكوين المواد الناتجة.

فكيف تقاس سرعة التفاعل الكيميائي ؟ وكيف يمكن التعبير عنها ؟ وما العوامل المؤثرة فيها ؟  
في هذا الفصل سوف تدرس سرعة التفاعل والعوامل التي تعتمد عليها وكيفية التحكم فيها .

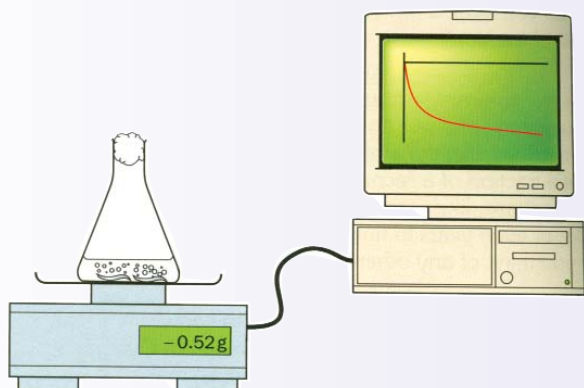
### الموضوعات الرئيسية



١-٤ : سرعة التفاعل الكيميائي

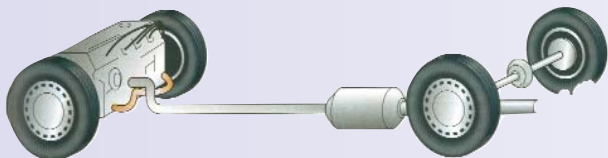
٢-٤ : العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل الكيميائي

٣-٤ : أهمية العوامل الحفازة .





# تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات



## مصطلحات علمية جديدة

- ١- سرعة التفاعل ..... 1- Rate of Reaction
- ٢- طاقة التنشيط ..... 2- Activation Energy
- ٣- الخليط المنشط ..... 3- Activated Complex
- ٤- العامل الحفاز او المساعد ..... 4- Catalyst
- ٥- التصادم الفعال ..... 5- Effective Collision



## عناوين الاستكشافات

- ١- الاستكشاف (١) : مساحة سطح المواد المتفاعلة.
- ٢- الاستكشاف (٢) : العلاقة بين التغير التركيز وسرعة التفاعل.

# تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

## ٤-١ سرعة التفاعل الكيميائي : Rate of Chemical Reaction

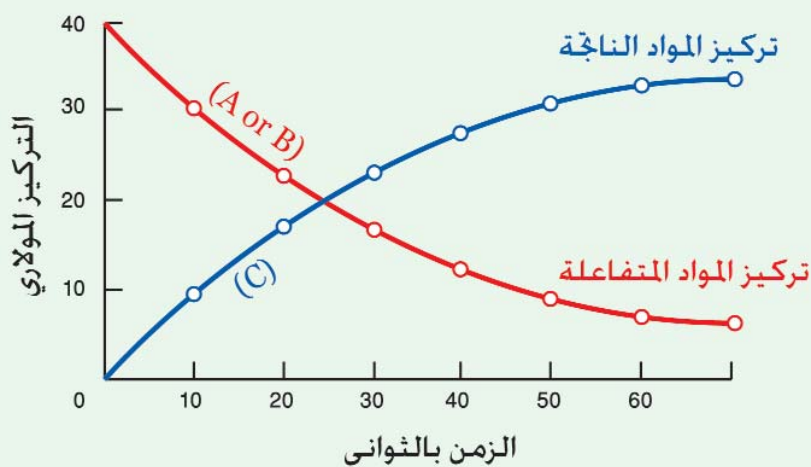


ماذا نقصد عندما نقول أن شخصا ما يقود سيارته بسرعة 100 كيلو متر في الساعة؟  
إن ذلك يعني أن السيارة تقطع مسافة 100 كيلو متر في كل ساعة، فما العلاقة بين تلك المسافة والسرعة؟  
إن التفاعلات الكيميائية تقاس سرعتها بمقدار التغير في تركيز المواد المتفاعلة أو الناتجة خلال وحدة الزمن،  
ولذلك فإن وحدتها (مول/لتر.ثانية mol/L.s) ومن الناحية العملية فإن ذلك يتم عن طريق مراقبة وتعيين التغير  
في بعض خواص نظام التفاعل كاللون مثلا والتغير في شدته إذا كانت إحدى المواد المتفاعلة أو الناتجة ملونة أو  
التغير في الحجم أو الضغط إذا كانت المواد غازية .

ففي التفاعل الافتراضي الآتي :



عند البدء في إجراء التفاعل تكون تراكيز المواد الناتجة (C) تساوي صفرا، لأنه لا توجد أي كمية منها قبل التفاعل  
، وبمرور الوقت تبدأ المواد الناتجة بالتكون ويزيد تركيزها ، وفي المقابل تقل تراكيز المواد المتفاعلة (A, B) لأنها  
تستهلك في أثناء التفاعل. وقياسا على ذلك فإنه يمكننا أن نتابع حدوث أي تفاعل كيميائي برصد النقص في  
تراكيز المواد المتفاعلة أو الزيادة في تراكيز المواد الناتجة مع مرور الزمن . الشكل (٤-١)



الشكل (٤-١) : العلاقة بين التركيز والزمن

## تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

ويلاحظ أن العملية تتم بسرعة عند بداية التفاعل إلا أنها بعد مرور فترة نسبية من الزمن تقل سرعة التفاعل، وذلك بسبب النقص في تراكيز المواد المتفاعلة نظرا لاستهلاكها، ويمكن أن نعبر عن سرعة التفاعل الكيميائي بالعلاقة الرياضية الآتية :

$$\text{سرعة التفاعل} = \frac{\text{التغير في تركيز أحد النواتج}}{\text{التغير في الزمن}} = \frac{\text{التغير في تركيز أحد المتفاعلات}}{\text{التغير في الزمن}} = \text{مول/لتر . ثانية}$$

$$\text{Reaction Rate} = \frac{\Delta[\text{product}]}{\Delta t} = \frac{-\Delta[\text{reactant}]}{\Delta t} = \text{mol/L.s}$$

– حيث إن هذه العلامة [ ] تعني التركيز

وضعت إشارة سالبة أمام التغير في تركيز المواد المتفاعلة. فسر ذلك ؟

ويمكن عمليا قياس سرعة التفاعل بحساب معدل تكون إحدى المواد الناتجة من التفاعل أو معدل استهلاك إحدى المواد الداخلة في التفاعل ، لذلك فإننا نختار المادة التي يسهل علينا تتبع التغير في تركيزها على فترات محددة لتحديد سرعة التفاعل .

فلو درسنا تفاعل غاز أول أكسيد الكربون مع غاز ثاني أكسيد النيتروجين ليكونا غاز ثاني أكسيد الكربون وغاز أول أكسيد النيتروجين وفقا للمعادلة التالية :



فإننا نلاحظ اختفاء تدريجيا للون البني المحمر المميز لغاز ثاني أكسيد النيتروجين، كما في الشكل (٤-٢) وهذا يعني أن التفاعل قد بدأ وما زال مستمرا .

ولما كان واضحا من التفاعل أن اختفاء كل جزئ من غاز (CO) يصاحبه اختفاء جزئ واحد من (NO<sub>2</sub>) وظهور جزئ من (CO<sub>2</sub>) وجزئ من (NO) فإنه يمكن القول أن:

الشكل (٤-٢) : خفوت لون ثاني أكسيد النيتروجين بمرور الزمن

## تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

سرعة التفاعل = معدل اختفاء غاز ثاني أكسيد النيتروجين

= معدل اختفاء غاز أول أكسيد الكربون

= معدل تكون غاز أول أكسيد النيتروجين

= معدل تكون غاز ثاني أكسيد الكربون

ويمكن استخدام إحدى هذه القيم لقياس سرعة التفاعل ، وعمليا في هذا التفاعل من السهولة قياس معدل تغير إحدى الصفات الفيزيائية لإحدى المواد المتفاعلة ( اللون البني المحمر لغاز  $NO_2$  ) الذي تقل شدته بمرور الزمن، ويمكن الاعتماد عليه لقياس معدل التفاعل .

مثال :

في تفاعل ما تغير تركيز إحدى المواد المتفاعلة من  $0.63 \text{ mol/L}$  إلى  $0.025 \text{ mol/L}$  خلال نصف دقيقة . احسب معدل سرعة التفاعل ؟

الحل :

$$\Delta t = \frac{1}{2} \times 60 = 30 \text{ s}$$

$$\text{Reaction Rate} = \frac{-\Delta [\text{reactant}]}{\Delta t} = \frac{-(0.025 - 0.63)}{30}$$

$$= 0.02 \text{ mol/L.s}$$

اختبر فهمك (1) :



إذا تغير تركيز ثاني أكسيد النيتروجين من  $0.32 \text{ mol/L}$  إلى  $0.8 \text{ mol/L}$  خلال ثلاث ثوان أوجد معدل إنتاج غاز ثاني أكسيد النيتروجين.



# تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

## ٢-٤ العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل الكيميائي :

### Factors Affecting the Rate of Reaction



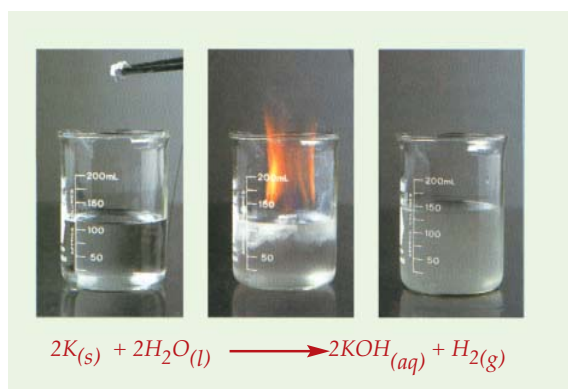
الشكل ( ٣-٤ ) : العوامل المؤثرة على سرعة التفاعل

تعتمد سرعة التفاعل الكيميائي على العوامل التالية الشكل (٣-٤)، وتغير بتغير واحد أو أكثر من هذه العوامل، وهي :

- ١- طبيعة المواد المتفاعلة .
- ٢- مساحة السطح .
- ٣- تركيز المواد المتفاعلة .
- ٤- درجة الحرارة .
- ٥- وجود العامل الحفاز .

### ١ - طبيعة المواد المتفاعلة Nature of Reactants :

عندما ندرس سرعة تفاعل العناصر نلاحظ أنها تتباين في نشاطها الكيميائي، وبالتالي في سرعة تفاعلها



الشكل (٤-٤): تفاعل البوتاسيوم مع الماء

فمثلاً. العناصر ذات النشاط الكيميائي الكبير مثل الصوديوم والبوتاسيوم تتفاعل مع المواد الأخرى وتكون سرعة تفاعلاتها عالية، وعند مقارنة تفاعل هذه العناصر مع الماء مثلاً نجد أن البوتاسيوم يتفاعل مع الماء بشدة لدرجة أن الحرارة الناتجة من التفاعل تكفي لإشعال الهيدروجين الناتج (الشكل ٤-٤) كما في المعادلة الآتية :



وفي المقابل فإن تفاعل الماغنيسيوم مع الماء بطيء لأن الماغنيسيوم أقل نشاطاً من البوتاسيوم وهناك عناصر قليلة النشاط مثل الذهب والفضة بحيث إنها لا تتفاعل مع الماء .



# تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

وعند دراسة علاقة سرعة التفاعل بالحالة الفيزيائية للمواد فإن المواد التي تكون على شكل محلول يكون تفاعلها أسرع مما لو كانت المادة صلبة أو بلورية، وذلك لأن الدقائق المتفاعلة، والتي تكون مشحونة بشحنات سالبة أو موجبة تكون منفصلة عن بعضها بعضا في المحلول، وهو ما يهيئ لها الفرصة للاتحاد بمواد أخرى بسهولة أكبر مما لو كانت في الحالة البلورية، ويلاحظ أيضا بشكل عام أن تفاعل الأيونات أسرع من الذرات وتفاعل الذرات أسرع من الجزيئات، وبالتالي فإن تفاعل المركبات الأيونية أسرع من تفاعل المركبات التساهمية، فقد وجد أن معظم تفاعلات المركبات الأيونية يكون لحظيا وسريعا مثل تفاعل كلوريد الصوديوم مع نترات الفضة كما في المعادلة الآتية:



حيث نلاحظ ظهور الراسب الأبيض بمجرد إضافة المحلولين إلى بعضهما بعضا، ويتم التفاعل في أجزاء من الثانية.

## اختبر فهمك (٢):

- ١- عمليا نلاحظ أن ظهور الراسب الأصفر في تفاعل يوديد الصوديوم مع نترات الفضة أسرع عندما تكون المواد المتفاعلة على شكل محاليل من كونها في حالة بلورية. فسر ذلك.
- ٢- عند تفاعل برمنجنات البوتاسيوم الحمضة مع كل من كلوريد الحديد (II) ومحلول السكر كل على حدة فإن اللون البنفسجي لمحلول البرمنجنات يختفي بسرعة أكبر في حالة كلوريد الحديد (II) عنه في حالة محلول السكر. وضح السبب.

## ٢- مساحة السطح Surface Area :

لمعرفة أثر مساحة سطح المواد المتفاعلة على سرعة التفاعل قم بتنفيذ الإستكشاف الآتي:

## مساحة سطح المواد المتفاعلة .



**إجراءات الأمن والسلامة :** ارتداء اللباس المخبري والنظارات الواقية .

**الهدف :** التعرف إلى أثر مساحة سطح مواد التفاعل على سرعة التفاعل .

# تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

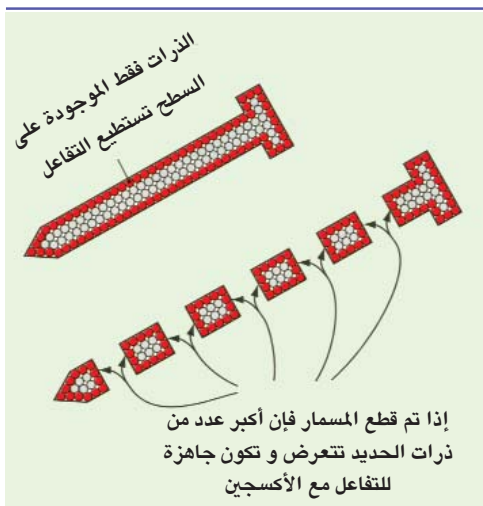
**المواد والأدوات :** دورق مخروطي سعة  $100\text{ mL}$  عدد (2) - مخبر مدرج سعة  $10\text{ mL}$  - حمض الهيدروكلوريك بتركيز  $0.5\text{ M}$  - مسحوق كربونات الكالسيوم - قطع من كربونات الكالسيوم (رخام) - مسحوق البخور - قطع من البخور - قطعاً فحم سريع الاشتعال - أعواد ثقاب - بوتقة احتراق عدد (2) أو (2 مجمر بخور) .

## الإجراءات :

- 1- ضع  $2\text{ g}$  من مسحوق الكربونات في الدورق، وأضف إليها  $5\text{ mL}$  من حمض الهيدروكلوريك . سجل ملاحظاتك .
- 2- كرر الخطوة رقم (1) باستخدام  $2\text{ g}$  من قطع كربونات الكالسيوم .
- 3 - ضع الفحم في بوتقتي الاحتراق وأشعله .
- 4 - ضع مسحوق البخور على الفحم المشتعل في إحدى البوتقتين وضع قطعة البخور على الفحم المشتعل في البوتقة الأخرى وقارن سرعة الاحتراق في البوتقتين وذلك بمقارنة كمية الغاز المتصاعد ؟

## التحليل والتفسير :

- 1- في أي الحالات كانت مساحة سطح التفاعل أكبر؟ هل في كونها مسحوقاً أم في كونها قطعاً ولماذا ؟
- 2- ما العلاقة بين مساحة سطح التفاعل وسرعة التفاعل ؟



الشكل (4-5) : العلاقة بين مساحة السطح وسرعة التفاعل

إن مساحة سطح التفاعل تقاس بمدى تلامس الدقائق المتفاعلة مع بعضها بعضاً فكلما كانت المادة المتفاعلة الصلبة على هيئة أجزاء أصغر كلما زادت مساحة سطح تفاعلها (الشكل 4-5). هذا يعني أن تحويل المادة الصلبة إلى شكل دقائق صغيرة أو جزيئات متفرقة يزيد من سرعة تفاعلها، لذلك فإن تفاعل محاليل المواد الجزيئية (مثل محلول السكر) يكون أسرع من كونها في الحالة الصلبة . أعط أمثلة على تفاعلات يمكن زيادة سرعتها بزيادة مساحة سطح التفاعل ؟

# تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

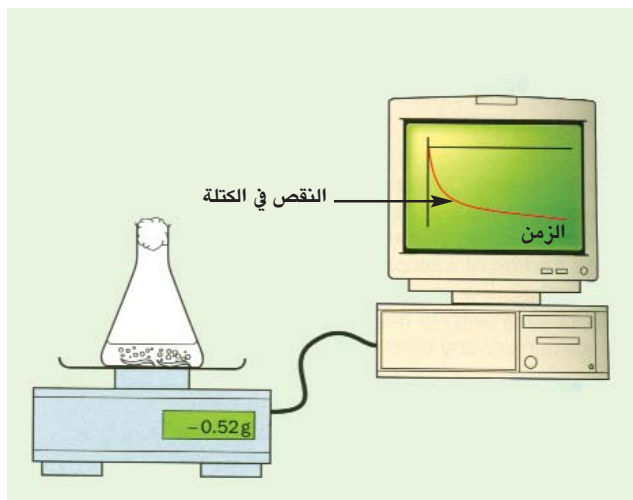
## اختبر فهمك (٣) :

– تصدأ برادة الحديد بسرعة أكبر من صدأ مسمار الحديد عند تعرضهما لنفس الظروف. فسر ذلك .

### ٣- تركيز المواد المتفاعلة *Concentration of Reactants* :

للتعرف على أثر تغير تركيز المواد المتفاعلة على سرعة التفاعل قم بتنفيذ الإستكشاف الآتي :

## العلاقة بين التغير في التركيز وسرعة التفاعل



**الهدف:** دراسة أثر تغير تركيز إحدى المواد المتفاعلة على سرعة التفاعل.

**إجراءات الأمن و السلامة :** تعامل مع الحمض بحرص وذلك باستخدام أدوات السلامة العامة ( القفازات - النظارات الواقية - اللباس المخبري )، وعند ملامسة الحمض للجلد يجب غسله بالماء فوراً.

### المواد والأدوات :

جهاز حاسوب - ميزان إلكتروني محسوب -  
دورق مخروطي 100 mL عدد (2) - كربونات الكالسيوم (مسحوق) - مخبر مدرج - حمض هيدروكلوريك بتركيز 3 M و 6 M - قمع زجاجي.

### الإجراءات :

- ١- صل الميزان الإلكتروني بجهاز الحاسوب وافتح برنامج الرسم البياني فيه .
- ٢- ضع الدورق على الميزان. (الشكل ٤-٦).
- ٣- زن مقدار 4 g من مسحوق كربونات الكالسيوم وضعها في الدورق .

## تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

- ٤- اضع مقدار  $10 \text{ mL}$  من الحمض ذي التركيز  $3 \text{ M}$  مستخدما القمع.
- ٥- راقب سرعة خروج فقاعات الغاز و التغير في المنحنى واحفظ التغيرات .
- ٦- كرر الخطوات مع الدورق رقم (٢) مستخدما الحمض ذا التركيز  $6 \text{ M}$  .
- ٧- قارن بين المنحنيين وحدد مقدار النقص في الكتلة بالنسبة إلى الزمن .

### التحليل والتفسير :

- ١- اكتب معادلة التفاعل ؟ ماهو الغاز المتصاعد؟
- ٢- ما العلاقة بين كمية الغاز المتصاعد وسرعة التفاعل ؟
- ٣- في أي الحالات كان النقص في كتل المواد المتفاعلة أكبر ولماذا ؟

وجد عمليا أن سرعة معظم التفاعلات الكيميائية تعتمد على تركيز المواد المتفاعلة (أو الضغط إذا كانت المواد في الحالة الغازية ) وهو ما يفسر زيادة سرعة التفاعل في بدايته ثم تبدأ السرعة في النقصان بمرور زمن التفاعل

### اختبر فهمك (٤) :

فسر :

- ١- سرعة احتراق الفحم تزداد في يوم تشتد فيه الرياح.
- ٢- حمض الأسيتيك مادة حارقة للجلد بينما يستخدم الخل في صنع المخللات .

لتحديد العلاقة بين سرعة التفاعل والتركيز بصورة دقيقة لا بد من إيجاد علاقة رياضية تربط بينهما حيث تبين من خلال الدراسات العملية لمعظم التفاعلات الكيميائية أن سرعة التفاعل تتناسب مع تركيز المواد المتفاعلة المرفوع لأس معين يختلف من تفاعل إلى آخر يسمى رتبة التفاعل ،وهو ما يسمى **قانون سرعة التفاعل** *rate law of reaction* .

## تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

ففي التفاعل الافتراضي التالي تتفكك المواد المتفاعلة لتعطي المواد الناتجة حسب المعادلة الآتية :



في هذه الحالة تتناسب سرعة التفاعل (R) مع تركيز المادة [A] مرفوعا إلى أس x حيث x تمثل رتبة التفاعل، أي أن:

$$R \propto [A]^x$$

$$R = k [A]^x$$

حيث k ثابت التناسب ويسمى ثابت سرعة التفاعل. إن قيمة x (رتبة التفاعل) يمكن تحديدها عمليا حيث إنها لا ترتبط بالضرورة بعدد مولات المواد المتفاعلة وعندما تكون x = 0 يقال إن التفاعل من الرتبة الصفرية بالنسبة إلى A وتكون سرعة التفاعل k مقداراً ثابتاً أي أن سرعة التفاعل لا تعتمد على تركيز المادة المتفاعلة كما في تحليل الأمونيا على سطح البلاتين، فسرعة التفاعل لا تتأثر بالتغير في تركيز الأمونيا.

وعندما تكون X = 1 يكون التفاعل من الرتبة الأولى

وعندما تكون X = 2 فإن التفاعل من الرتبة الثانية وهكذا

وبالرغم من أن قيمة x يمكن أن تأخذ أي قيمة عددية إلا أنها عادة ما تكون رقماً صحيحاً. وإذا تفاعلت أكثر من مادة كما في التفاعل الافتراضي الآتي :



فإن قانون سرعة التفاعل يأخذ الشكل الآتي :

$$R = k [B]^n [A]^m$$

وقيم كل من k, n, m لا يمكن أن تحدد نظرياً أو تستنتج من معادلة التفاعل بل تقاس عملياً فقط. فمثلاً في التفاعل الآتي :



وجد عملياً أن:  $R = k [NO]^2 [H_2]$

أي أن:  $m = 1, n = 2$

ويعتبر التفاعل من الرتبة الثالثة لأن (n + m = 3)

حيث إن رتبة التفاعل هي مجموع الأسس المرفوعة إليها تراكيز المواد المتفاعلة، كما هو في قانون سرعة التفاعل. لقد وجد أن لكل تفاعل كيميائي قيمة ثابتة من k عند درجة حرارة معينة وتختلف باختلاف درجة الحرارة. كما يتضح من الأمثلة السابقة أن زيادة قيمة k تعني زيادة في سرعة التفاعل، فالعلاقة هنا طردية بين ثابت سرعة التفاعل وسرعة التفاعل.



# تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

## اختبر فهمك (٥):

حدد رتبة التفاعل الآتي :



علما بأن :  $R = k [H_2S] [Cl_2]$

## ٤- درجة الحرارة Temperature :

عند خلط مكونات عجينة الكعك ببعضها بعضا في درجة حرارة الغرفة لا تبدو عليها التغيرات، بينما عند وضعها في درجة حرارة مرتفعة داخل الفرن نلاحظ زيادة حجم الخليط وارتفاعه. فسر ذلك؟

بالتجربة لاحظ الإنسان أن انخفاض درجة الحرارة يحفظ الأغذية من التلف لذلك استخدم الثلاجة لحفظها. كما دلت التجارب على أن سرعة كثير من التفاعلات الكيميائية تزداد بزيادة درجة الحرارة ، وقد لوحظ أن زيادة درجة الحرارة بمقدار  $10^\circ C$  يمكن أن تزيد سرعة التفاعل بمقدار ضعفين أو ثلاثة أضعاف تقريبا .



الشكل (٧-٤) : العلاقة بين الحرارة وسرعة التفاعل

## قم بتنفيذ الدرس العملي (٥)

## معلومة تهمك :

تتحرك الحشرات بسرعة في فصل الصيف، وذلك لأن التفاعلات الكيميائية الحيوية داخل أجسامها تزيد بزيادة درجة الحرارة إلى حد ما ، وهذا لا تلاحظه لدى الطيور وذلك لأنها من ذوات الدم الحار .

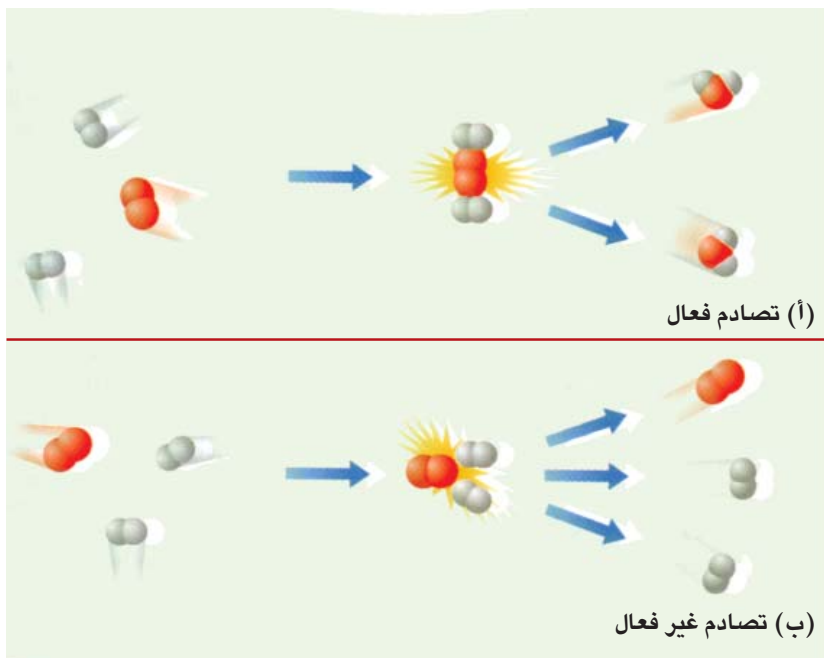
# تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

## - نظرية التصادم Collision Theory :

تفسر نظرية التصادم الكيفية التي تتم بها التفاعلات الكيميائية ، ومن خلالها يمكن أن نفسر أثر كل من درجة الحرارة والتركيز على سرعة التفاعل الكيميائي .  
تتكون النظرية من فرضين أساسيين هما :

- (١) يجب أن تصادم دقائق المواد المتفاعلة ( جزيئات أو ذرات أو أيونات ) لكي يتم التفاعل الكيميائي .
  - (٢) ليس بالضرورة أن يؤدي كل تصادم بين الدقائق المتفاعلة إلى حدوث تفاعل كيميائي ، فهناك تصادمات فعالة *effective collision* تؤدي إلى حدوث تفاعل وأخرى غير فعالة لا تؤدي إلى تفاعل .
- هذا يعني أن سرعة التفاعل الكيميائي تتناسب مع عدد التصادمات الفعالة التي تحدث بين الدقائق المتفاعلة في وحدة الزمن فكلما زادت عدد التصادمات زادت سرعة التفاعل والعكس صحيح .  
وقد تسأل نفسك كيف يكون بعض التصادمات فعالا وبعضها غير فعال ، إن فاعلية التصادمات تعتمد على توفر شرطين أساسيين وهما :

أ- توجيه الجزيئات *molecules orientation* للدقائق المتفاعلة في أثناء تصادمها مع بعضها بعضا .  
فمثلا إذا كان لدينا عدد من جزيئات المادة ( A ) وجزيئات المادة ( B ) تتحرك في حيز محدود فإن جزئ المادة ( A ) يصطدم بجزئ المادة ( B ) عدد معين من المرات في الثانية، فإذا اصطدمت الجزيئات المتفاعلة في اتجاه



مناسب لتفكيك الرابطة وتكوين رابطة جديدة فإن التفاعل يحدث بينهما وتكون النواتج وهنا نقول أن التصادم فعال ( الشكل ٤ - ٨ ) ، أما إذا كان التوجيه الجزيئي للجزيئات في أثناء التصادم غير مناسب فإن التصادم لن يؤدي إلى تفكيك الروابط ، وبالتالي لن تكون نواتج جديدة ( الشكل ٤ - ٨ ب ) ويقال أن التصادم غير فعال .

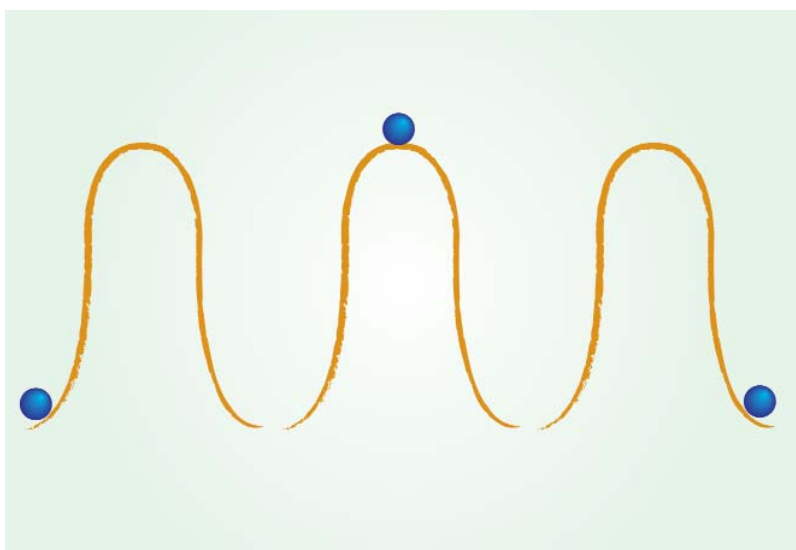
الشكل (٤-٨) : التصادمات الفعالة وغير الفعالة

## تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

ب- وجود طاقة حركية كافية لدى دقائق المواد المتفاعلة تجعلها تصطدم بقوة تكفي لكسر الروابط في المواد المتفاعلة، وتكوين روابط جديدة للمواد الناتجة وهي ما تعرف بطاقة التنشيط (  $E_a$  ) *Activation Energy* وتعتمد طاقة التنشيط على طبيعة المواد المتفاعلة، فبعض التفاعلات طاقة تنشيطها عالية وبعضها طاقة تنشيطها منخفضة.

### – طاقة التنشيط ( $E_a$ ) *Activation Energy* :

تصور أنك أردت أن تخرج كرة من أسفل جبل إلى قمته، فإنك قد تنجح في إيصال الكرة إلى قمة الجبل أو لا تنجح، إذ إن ذلك يعتمد على طاقة الحركة التي اكتسبتها الكرة عند دفعها من يديك، فإذا كانت طاقة الحركة كافية لتخطي حاجز ارتفاع الجبل فإن الكرة ستدحرج من الجهة الأخرى من الجبل، وإذا كانت طاقة الحركة غير كافية لتخطي حاجز ارتفاع الجبل فإن الكرة سترجع إلى أسفله ( الشكل ٤ - ٩ )



الشكل (٤ - ٩) : طاقة التنشيط

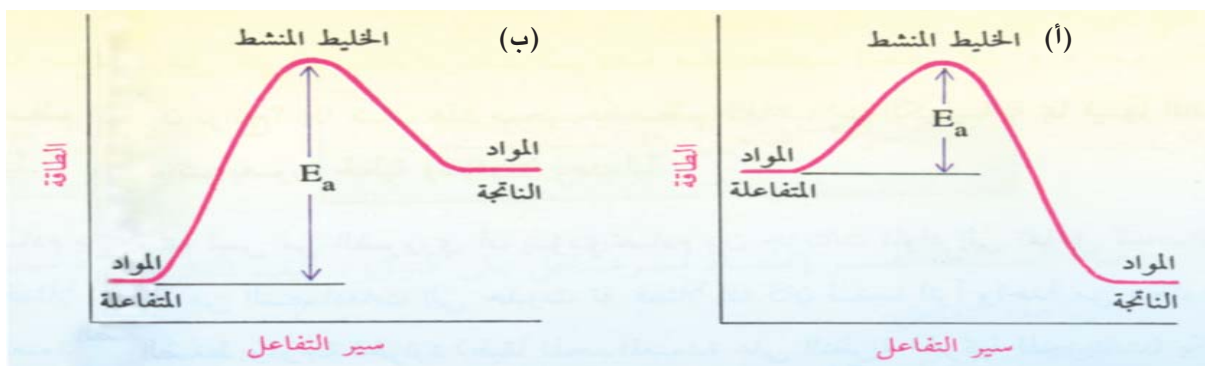
وينطبق هذا المفهوم على دقائق المادة المتفاعلة، فكثيراً من التفاعلات الكيميائية لا يتم في درجة الحرارة العادية بصورة قابلة للقياس، كتفاعل جزيئات الهيدروجين مع جزيئات الأكسجين لإنتاج الماء، مع العلم أن ملايين التصادمات تحدث بين جزيئاتها في الثانية الواحدة ولكن ذلك التفاعل لا يتم إلا في درجة حرارة عالية، ويرجع سبب ذلك إلى أن اصطدام الجزيئات

مع بعضها بعضاً في درجة الحرارة العادية لا يكسبها طاقة كافية لتخطي ما يسمى حاجز الطاقة، مثلما حدث بالنسبة لكرة اليد في المثال السابق إذ لم تستطع تخطي قمة الجبل. ويقال في هذه الحالة أن التصادمات غير فعالة ولا تؤدي إلى تفاعل. وقد يحدث أن تصطدم جزيئات المواد المتفاعلة مع بعضها بعضاً اصطدامات تؤدي إلى كسر روابط وتكوين تركيب جديد يمتلك طاقة أعلى من طاقة المواد المتفاعلة و الناتجة.

## تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

تشبه هذه الحالة الوضع الذي تكون فيه الكرة على قمة الجبل ، حيث تمتلك طاقة وضع عالية ( أعلى ما يمكن ) تمكنها من اجتياز قمة الجبل أو الرجوع إلى السفح الذي انطلقت منه، وطاقة التنشيط هي : **الحد الأدنى من الطاقة اللازمة للجزيئات حتى تتفاعل إذا ما تيسر لها التصادم ويرمز إليها بالرمز ( $E_a$ )** .

وإذا ما توافرت للجزيئات المتفاعلة طاقة التنشيط اللازمة فإن هذه الجزيئات تقترب من بعضها بعضا وتتداخل فيما بينها، ويتبع ذلك ضعف الروابط أو كسرها وتكوين روابط جديدة في حالة انتقالية . ويعرف التركيب الناتج حينها بالخليط المنشط (*activated complex*) ، وهو يملك أعلى طاقة، وبالتالي يكون في أعلى قمة حاجز الطاقة، بعد ذلك تبدأ الطاقة الحركية التي تمتلكها الدقائق في الخليط المنشط تتحول تدريجيا إلى طاقة وضع، وينتج مركب ذو طاقة وضع مختلفة عن المواد المتفاعلة، وتشكل هذه الحالة الوضع الأكثر استقرارا (الشكل ٤-١٠) .



الشكل (٤-١٠) : يوضح منحنى الطاقة والخليط المنشط

– حدد على الرسم أي المنحنيين (أ ، ب) يمثل التفاعل الطارد للحرارة، وأيهما يمثل الماص للحرارة .

لاحظ على الرسم طاقة التنشيط ( $E_a$ ) وهي تساوي الفرق بين طاقة الخليط المنشط والمواد المتفاعلة، ففي بعض التفاعلات مثل التفاعل (ب) فإن الجزيئات تحتاج إلى طاقة تنشيط كبيرة ، وتكون المواد المتفاعلة في حالة مستقرة مقارنة بالنواتج، وبالتالي لا بد أن تمتص مقدارا معيناً من الطاقة حتى تتفاعل ، أما في التفاعل الآخر فإن المتفاعلات في حالة مستقرة ولكنها أقل استقراراً مقارنة بالنواتج .

بعد دراستك لأثر التغير في التركيز ودرجة الحرارة ومفهوم طاقة التنشيط ونظرية التصادم ناقش مع زملائك الأسئلة الآتية:

- ما تأثير زيادة التركيز على عدد الجزيئات المتصادمة وسرعة التفاعل ؟
- ما تأثير زيادة درجة الحرارة على طاقة حركة الجزيئات بصفة عامة ؟
- وما أثر ذلك على نسبة الجزيئات التي تمتلك طاقة أعلى أو تساوي طاقة التنشيط؟
- هل سيزيد عدد التصادمات الفعالة بزيادة درجة الحرارة ؟ وما أثر ذلك على سرعة التفاعل ؟



# تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

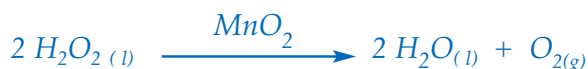
## اختبر فهمك (٦):

فسر ما يلي:

- ١- تحرص الشركات المصنعة للدواء على كتابة درجة حرارة تخزين الدواء على العبوة ما سبب ذلك في اعتقادك .
- ٢- يوجد كل من الأكسجين ( $O_2$ ) والنيتروجين ( $N_2$ ) في الهواء الجوي بنسبة كافية إلا أنه لا يحدث تفاعل بينهما دائما .
- ٣- يشتعل غاز الطبخ عند تقريب عود ثقاب مشتعل منه، ولا يتوقف الغاز عن الاشتعال بعد إبعاد عود الثقاب عنه.

## ٥- العامل الحفاز أو المساعد *Catalyst* :

عرفت من دراستك للتفاعلات الكيميائية أن المواد المتفاعلة تستهلك تدريجيا أو جزئيا بمرور الزمن، وهنالك تفاعلات بطيئة وتحتاج لزيادة سرعتها فهل يمكن زيادة سرعة التفاعلات بوسائل أخرى غير التي درستها سابقا؟ إن إضافة ثاني أكسيد المنجنيز إلى فوق أكسيد الهيدروجين تؤدي إلى زيادة سرعة تفككه، ولكن كمية ثاني أكسيد المنجنيز لا تقل في أثناء التفاعل وبعد انتهائه. ويمكن التأكد من ذلك عمليا بوزن ثاني أكسيد المنجنيز قبل إضافته إلى فوق أكسيد الهيدروجين، وبعد التفاعل يجفف ويوزن مرة أخرى. نلاحظ عدم تغير وزنه وهذا يدل على أنه لم يستهلك في التفاعل، وعليه لا يظهر في المعادلة الكيميائية مع المواد الناتجة ولا مع المواد المتفاعلة، وإنما يكتب على السهم كما في المعادلة التي تمثل هذا التفاعل.



إذن ما دور ثاني أكسيد المنجنيز في التفاعل؟ ربما لاحظت أن محلول فوق أكسيد الهيدروجين وحده لا يتفكك ولكن في الحقيقة يتفكك ببطء ويعطي الماء والأكسجين كما هو واضح في المعادلة السابقة. ولكن بوجود ثاني أكسيد المنجنيز لاحظت سرعة خروج فقاعات الأكسجين الذي يكشف عنه بتقريب شظية مشتعلة حيث يزيد اشتعالها.

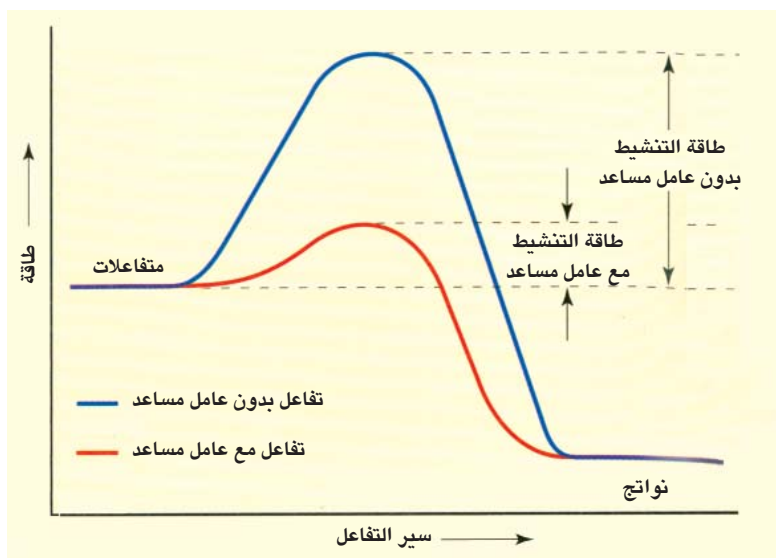
تسمى مادة ثاني أكسيد المنجنيز في التفاعل السابق بالعامل الحفاز أو المساعد، والآن هل يمكن أن تعرف ماهو العامل الحفاز؟



# تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

## من أهم خواص العامل الحفاز:

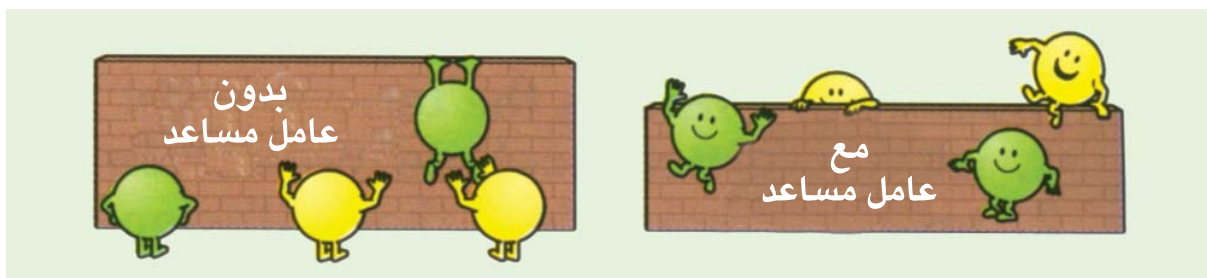
- لا يتغير كيميائياً في نهاية التفاعل ولكنه يتحول في مرحلة من مراحل التفاعل ثم يعود إلى تركيبته الأصلية .
- كمية العامل الحفاز المستخدمة في أغلب التفاعلات الكيميائية تكون قليلة .
- العامل الحفاز يعمل على زيادة سرعة التفاعل وفي بعض الحالات يعمل على بدء التفاعل .
- لكل عامل حفاز تأثيره الخاص به ودرجة حرارة معينة يكون العامل الحفاز عندها له أكبر قدرة على الحفز .



الشكل (١١-٤) : حاجز الطاقة

## - كيف يعمل العامل الحفاز؟

يعمل العامل الحفاز على تقليل طاقة التنشيط اللازمة لحدوث التفاعل (الشكلين ١١-٤ و ١٢-٤) وذلك بتوفير مسار مختلف له حيث يسهل على الدقائق ملامسة بعضها بعضاً بأن يشارك في خطوة من خطوات التفاعل، ثم يفصل عند نهاية التفاعل لذلك لا يظهر في المواد الناتجة الشكل (١١-٤)



الشكل (١٢-٤) أثر العامل الحفاز على طاقة التنشيط

وفي نفس الوقت يؤدي إلى زيادة سرعة التفاعل . هل يتأثر المحتوى الحراري للمواد الناتجة أو المتفاعلة بغياب أو وجود العامل الحفاز ؟ فسر إجابتك.

# تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات



## ٤-٣ أهمية العوامل الحفازة : Importance of Catalysts

هناك كثير من المركبات الكيميائية لا يتم إنتاجها صناعيا إلا بوجود العوامل المساعدة، كما أن العديد من التفاعلات الحيوية لا تحدث في أجسام الكائنات الحية إلا بوجود عوامل مساعدة (إنزيمات) وفي ما يلي بعض الأمثلة على أهمية العوامل الحفازة في حياتنا .

### - في الصناعات الكيميائية

تعتمد الكيمياء الصناعية كثيرا على العوامل الحفازة لأهميتها في زيادة الإنتاج واستغلال الوقت وتوفير المال، حيث تقلل من الطاقة اللازمة للتفاعل، فهناك كثير من التفاعلات تحتاج إلى طاقة عالية جدا حتى تتم، وبوجود العامل المساعد المناسب يمكن ترشيد استهلاك الطاقة، كما توجد بعض التفاعلات البطيئة والتي لا يمكن زيادة معدل سرعتها حتى في وجود طاقة عالية ويقوم العامل الحفاز بزيادة معدل سرعتها. الجدول التالي يوضح بعض الأمثلة على المركبات الصناعية والعامل المساعد المستخدم لها.

العامل الحفاز	المركبات الصناعية
أكسيد الكروم السداسي ( $CrO_3$ )	الميثانول
أكسيد التيتانيوم الرباعي ( $TiO_2$ )	بولي إيثيلين
أكسيد النيكل الثنائي ( $NiO$ )	بولي أستر
خامس أكسيد الفناديوم ( $V_2O_5$ )	صناعة حمض الكبريتيك
البلاتين ( $Pt$ )	صناعة حمض النيتريك
الحديد المجزأ ( $Fe$ )	صناعة الأمونيا
النيكل ( $Ni$ )	صناعة الزبدة النباتية ( المارجرين )

## تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

من خلال الأمثلة السابقة تتضح أهمية العوامل الحفازة في حقل الصناعات الكيميائية، فمثلاً عند تحضير حمض الكبريتيك بطريقة التلامس يستخدم خامس أكسيد الفناديوم ( $V_2O_5$ ) لأكسدة ( $SO_2$ ) إلى ( $SO_3$ ) كما في المعادلات التالية :



### - في عمليات التكسير الحفزي لمشتقات النفط

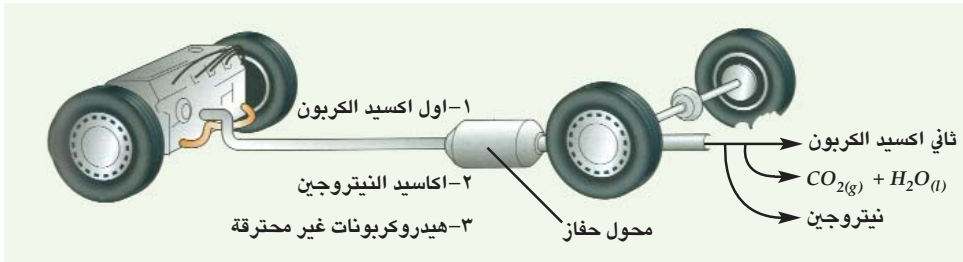
من أهم منتجات النفط الجازولين وذلك لاستخدامه كوقود في السيارات ولكن كمية الجازولين التي نحصل عليها (من برج التقطير التجزيئي المستخدم في تكرير النفط) قليلة مقارنة بنسبة المواد الصلبة التي تعتبر مواد استخداماتها محدودة وغير اقتصادية مقارنة بالزيوت الخفيفة فكيف يمكن الاستفادة منها؟  
تجري على هذه المواد عمليات التكسير الحفزي لتحويل المواد الصلبة إلى زيوت خفيفة، وذلك باستخدام عوامل حفازة خاصة. وفي هذه العملية يتم تحويل النواتج الهيدروكربونية والتي تكون صلبة و ذات درجات غليان مرتفعة وكتل جزيئية كبيرة وغير صالحة للاستخدام كوقود للحافلات إلى نواتج ذات درجات غليان منخفضة وكتل جزيئية صغيرة مثل الجازولين، أي الحصول على وقود خفيف من نواتج أثقل منه.  
إن هذه العملية ساعدت محطات تكرير النفط على الحصول على الجازولين بنتاج أكبر ونوعية أفضل مما يتم الحصول عليه من عمليات التقطير المباشر، وتتم عملية التكسير باستخدام مواد حفازة أهمها المواد المعدنية مثل (أكسيد الألومنيوم - السيليكا - البلاتين) وتتم هذه العملية في درجات حرارة منخفضة وتحت ضغط قريب من الضغط الجوي وهو ما يوفر تكاليف كثيرة في الطاقة والمال.

### - في حماية الهواء من التلوث بوقود السيارات :

العوامل الحفازة لها أهمية أيضا في مجال البيئة والحماية من التلوث الناتج من عوادم السيارات، حيث تستخدم العوامل الحفازة في السيارات من أجل تحويل الغازات السامة الناتجة من الاحتراق غير الكامل للوقود إلى غازات غير سامة، فمعظم السيارات المصنعة حديثا يوجد بها نوع من الخلايا المسامية تسمى الخلايا المحفزة أو المحولة (*catalytic converter*) المصنوعة من معدن البلاتين مع أكسيد أحد العناصر الانتقالية. تعمل هذه الخلايا على

## تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

توفير سطح حفاز لتفاعل أول أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين الموجودة في الوقود وتحويلها إلى مركبات وعناصر غير ضارة كثيرا مثل ثاني أكسيد الكربون والنيتروجين . كما هو موضح في ( الشكل ٤-١٣ )

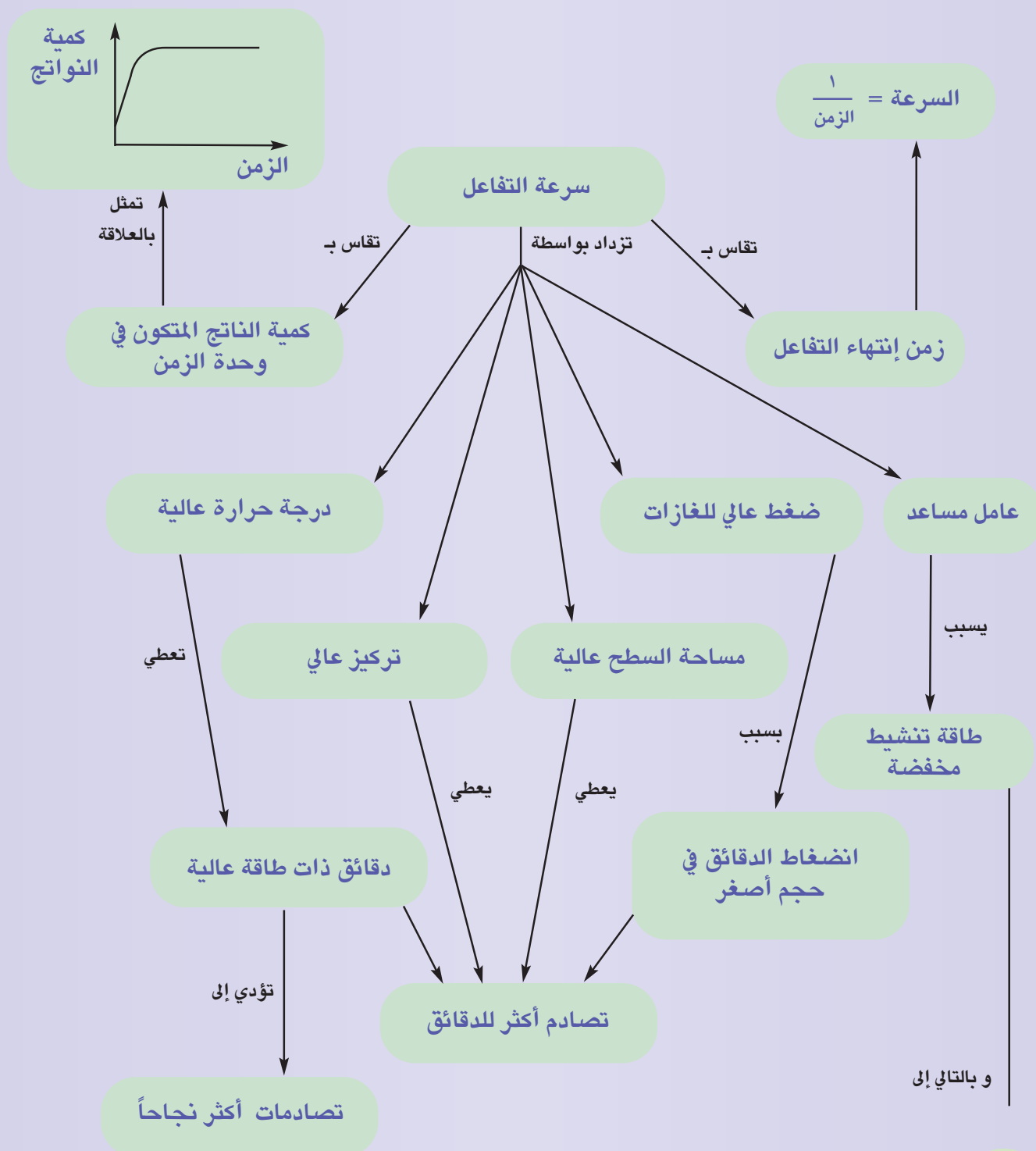


الشكل (٤-١٣) : المحول الحفاز في السيارة

### - في العمليات الحيوية داخل جسم الكائنات الحية :

الإنزيمات عبارة عن بروتينات كبيرة الحجم ومعقدة التركيب تقوم بعملية الحفز للتفاعلات الحيوية في جسم الكائن الحي وفي درجة حرارة الجسم ، في هذه التفاعلات تتحول جزيئات المواد الغذائية الكبيرة إلى جزيئات صغيرة قابلة للامتصاص وجميع الكائنات الحية تعتمد في بقائها على هذه الإنزيمات، ومن الأمثلة عليها في جسم الإنسان إنزيم الاميليز الموجود في اللعاب والذي يعمل على تحويل النشا إلى سكر أحادي سهل الهضم. كما إن الإنزيمات تساعد في التخلص من بعض المواد السامة الموجودة في جسم الإنسان مثل فوق أكسيد الهيدروجين ( $H_2O_2$ ) وهو مركب كيميائي سام يتحول إلى الماء والأكسجين بفعل إنزيم يوجد في الكبد يسمى كاتاليز.

## خريطة مفاهيم الفصل





# تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

## أسئلة الفصل

### السؤال الأول :

اختر الإجابة الصحيحة لكل من العبارات التالية من بين البدائل المعطاة :

١- تقاس سرعة التفاعل الكيميائي بوحدة :

- أ-  $mol/L$       ب-  $mol.L.s$       ج-  $mol/L.s$       د-  $mol.L/s$

٢- ينقص معدل سرعة التفاعل في حالة :

- أ- نقصان تركيز المواد المتفاعلة .  
ب- نقصان عدد روابط المواد المتفاعلة .  
ج- زيادة درجة حرارة المواد المتفاعلة .  
د- زيادة مساحة سطح التفاعل .

٣- يعمل العامل المساعد على :

- أ- زيادة المحتوى الحراري للمواد الناتجة .  
ب- زيادة المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة .  
ج- تقليل طاقة تنشيط التفاعل .  
د- تقليل سرعة التفاعل الكيميائي .

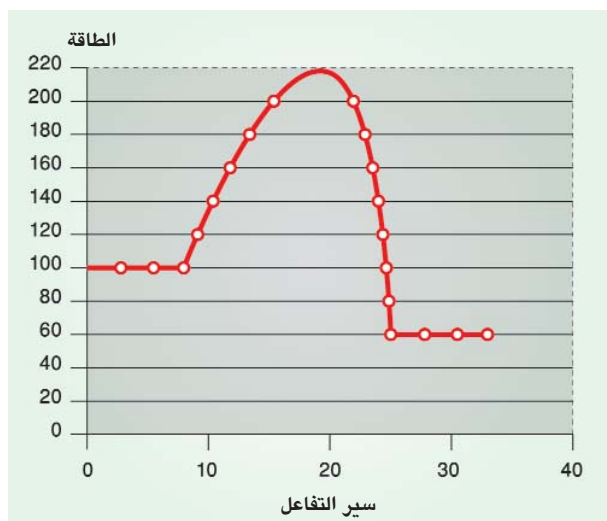
استخدم الشكل (٤-١٤) للإجابة عن السؤالين ٤ و ٥.

٤- مقدار طاقة التنشيط للتفاعل المبين في الشكل يساوي:

- أ-  $60\text{ KJ}$       ب-  $80\text{ KJ}$   
ج-  $120\text{ KJ}$       د-  $160\text{ KJ}$

٥- المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة يساوي :

- أ-  $60\text{ KJ}$       ب-  $80\text{ KJ}$   
ج-  $100\text{ KJ}$       د-  $120\text{ KJ}$



الشكل (٤-١٤)

## تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

- ٦- إحدى العبارات التالية تفسر زيادة سرعة التفاعل بارتفاع درجة الحرارة وهي زيادة:
- أ- مقدار طاقة التنشيط اللازمة للتفاعل.      ب- نسبة التصادمات الفعالة .
- ج- تركيز المواد المتفاعلة .      د- تركيز المواد الناتجة .

٧- لتقليل معدل سرعة التفاعل عمليا نقوم ب:

- أ- تقليل تركيز المواد المتفاعلة .      ب- زيادة درجة الحرارة.
- ج- زيادة تركيز المواد الناتجة ودرجة الحرارة .      د- تقليل تركيز المواد المتفاعلة و زيادة درجة الحرارة.

٨- في التفاعل الآتي:



عند درجة حرارة معينة وجد عمليا أن :

$$R = k [H_2] [NO_2]^2$$

لذلك فإن هذا التفاعل من الرتبة :

- أ- الأولى      ب- الثانية      ج- الثالثة      د- الرابعة

٩- إذا تغير تركيز  $NO_2$  في التفاعل الآتي :



من  $0.048 \text{ mol/L}$  إلى  $0.0593 \text{ mol/L}$  في 18 دقيقة فإن معدل سرعة التفاعل في الثانية يساوي:

أ-  $1 \times 10^{-4} \text{ mol/L.s}$       ب-  $1 \times 10^{-5} \text{ mol/L.s}$

ج-  $5 \times 10^{-5} \text{ mol/L.s}$       د-  $1 \times 10^{-6} \text{ mol/L.s}$

### السؤال الثاني :

١- اكتب ثلاث معادلات رياضية تعبر بها عن سرعة التفاعل الآتي :



## تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

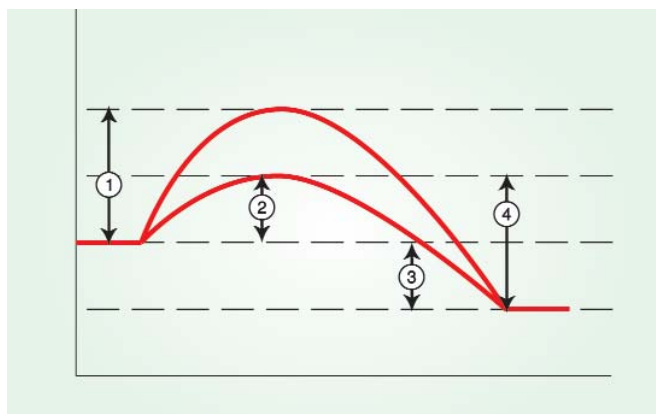
٢ - لدراسة أثر تركيز محلول ثيوكبريتات الصوديوم على سرعة تفاعله مع حمض الكبريتيك وذلك بقياس المدة الزمنية اللازمة لتعكر المحلول بالكبريت الناتج حصلنا على النتائج الآتية :

رقم التجربة	١	٢	٣	٤
الزمن / الثواني	25	28	224	310

- أ- في أي التجارب كان التفاعل أسرع ؟ وفي أيهما كان أبطأ ؟ فسر إجابتك من خلال معرفتك بأثر التركيز على سرعة التفاعل .
- ب - اقترح طريقتين عمليتين لزيادة سرعة التفاعل ؟

### السؤال الثالث :

١- يمثل الشكل (٤-١٥) سير التفاعل



الشكل (٤-١٥)

أي الأرقام يشير إلى :

- أ- طاقة التنشيط للتفاعل بدون العامل الحفاز .
- ب- طاقة التنشيط مع العامل الحفاز .
- ج- حرارة التفاعل .

٢ - في أي من الحالات التالية يكون التفاعل أسرع؟ ولماذا ؟

- ١ - تفاعل الكالسيوم مع الماء أم تفاعل الألمونيوم مع الماء ؟
- ب- قطعة من الحديد في مصهور الكبريت أم مسحوق الحديد في مصهور الكبريت ؟
- ج-  $0.5 \text{ M}$  من حمض النيتريك مع قطعة نحاس أم  $0.05 \text{ M}$  من نفس الحمض مع قطعة نحاس ؟
- د - تفاعل محلول كبريتات الصوديوم مع محلول كلوريد الباريوم أم تفاعل الكحول الميثيلي مع الأمونيا ؟

## تغيرات الطاقة وسرعة التفاعلات

٣- فسر ما يلي:

- أ- يحتاج حرق السكر في المختبر إلى درجة حرارة عالية بينما يتأكسد في جسم الإنسان عند  $37^{\circ}\text{C}$  ؟.
- ب- تزيد سرعة التفاعل الكيميائي بزيادة درجة الحرارة .
- ج- تتناقص سرعة تفاعل قطعة من الخارصين مع حمض الهيدروكلوريك بمرور زمن التفاعل .
- د- حريق نشارة الخشب أكثر خطورة من حريق قطع الخشب .
- هـ - تحتاج بعض العمليات الصناعية إلى درجات حرارة عالية بالرغم من تكاليف الطاقة المتزايدة .

### السؤال الرابع :

-ادرس التفاعل التالي ثم أجب عن الأسئلة:



- ١- اشرح تغيرات الطاقة التي تحدث في هذا التفاعل موضحا إجابتك بالرسم البياني .
- ب - في التفاعل السابق ماذا تتوقع أن يحدث في كل من الحالات الآتية :
  - ١- إدخال عامل مساعد مناسب .
  - ٢- خفض درجة حرارة المواد المتفاعلة .
  - ج- من خلال نظرية التصادم وضح أثر زيادة تركيز المواد المتفاعلة على سرعة التفاعل .

### السؤال الخامس :

اكتب ملخصا توضح فيه أهمية العوامل المساعدة في كل مما يلي :

- أ- مجال الصناعات الكيميائية مع إعطاء أمثلة .
- ب- في تنقية الهواء من التلوث بعوادم السيارات .
- ج- في القيام بتسهيل عملية الهضم للإنسان والتخلص من المواد السامة .
- د- في سهولة استغلال الوقود الأحفوري .

# الكيمياء والمهنة

إن كثيرا من المهن تستخدم المجال الواسع للكيمياء، منها ما يستخدم الكيمياء بصورة بحثية ( بنسبة 100% ) ، ومنها ما يستخدم الكيمياء يوميا ولكنه يركز على أعمال أخرى وإليك بعض هذه المهن :

## • الطبيب

ما من أحد إلا ويعرف الطبيب ومهنة الطب ، فالطبيب هو ذلك الشخص الذي يقوم بعلاج المرضى ، وعليه أن يكون على دراية كافية بعلم الكيمياء الحيوية وعلم الأقرباذين ( علم الأدوية ) والتفاعلات الكيميائية التي تحدث في جسم الإنسان وتأثير الدواء على أجهزة الجسم .

## • الصيدلي ، أخصائي علم الأدوية

الصيدلي وأخصائي علم الأدوية هم الأشخاص المتخصصون في تركيب الأدوية وتحضيرها ومعرفة خصائصها وتأثيراتها على جسم الإنسان وذلك من خلال اختبار تفاعلاتها داخل الجسم ، كما أن الصيدلي هو الشخص المخول بصرف الدواء الذي يصفه الطبيب للمريض . وهؤلاء الأشخاص يدرسون الكيمياء بشكل مكثف في كليات الصيدلة بالجامعات .

## • الخبير الجنائي

وهو الشخص المتخصص في الكيمياء الذي يعمل مع رجال الشرطة والمباحث ويساهم في الكشف عن الأدلة التي تقود للتعرف على المجرمين من خلال الفحص والتحليل لأية آثار قد يتركها المجرم في مكان الجريمة كالسجادة أو الطين والتي تعتبر قاعدة بيانات يركزون عليها لكشف الجريمة .

## • خبير المواد الخطرة

وهو الشخص الذي لديه معلومات عن آلاف المواد الكيميائية وأنواعها وتفاعلاتها وبالتالي عند حدوث الحوادث مثل الانفجارات أو حالات التسمم الجماعية أو الحرائق ، فإنه يقوم بتزويد الناس بتعليمات لاحتواء خطورة المواد التي تشكل خطرا عليهم .



- ١- قنديل ، عبد الحكيم طه ، (٢٠٠٦م) أساسيات الكيمياء ، الطبعة الأولى ، مصر - القاهرة : دار الفكر العربي.
- ٢- الكيمياء للصف الثاني عشر من التعليم العام (٢٠٠٥م) ، الطبعة الثالثة ، وزارة التربية والتعليم ، سلطنة عمان .
- ٣- الكيمياء للصف الحادي عشر من التعليم العام (٢٠٠٥م) ، الطبعة الأولى ، وزارة التربية والتعليم ، سلطنة عمان .
- ٤- الكيمياء للمرحلة الثانوية / الفرع العلمي - المستويان الأول والثاني ، (٢٠٠٦م) وزارة التربية والتعليم ، المملكة الأردنية الهاشمية .
- ٥- عادل جرار ، كمال أبو داري ، فواز الخليلي (١٩٩٧) الكيمياء العامة ، الطبعة الثالثة ، الأردن - عمان : دار حنين ، مكتبة الفلاح .
- ٦- أبراهيم الخطيب ، مصطفى إعبيد ، فواز الخليلي (٢٠٠٨) الكيمياء العامة ، الطبعة الثالثة ، الأردن - عمان : دار المسيرة .
- ٧- الكتاب المرجع في الكيمياء للمرحلة الثانوية (الجزء الثاني) - الزامل ، الخويطر ، الحجاجي - المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم .
- ٨- أحمد مدحت سلام ، مصطفى محمود عمارة (٢٠٠٠) أسس الكيمياء العامة وغير العضوية ، القاهرة .



- 1- Antoney C. Wilbraham & others .(2002) .Chemistry Addison -wesley , Prentice hall. USA: New Jersey.
- 2- Rady J.& Holum J.(1998) Fundamentals of chemistry (3rd ed.). USA: Wiley.
- 3- HN Suckocki .(2001). Conceptual Chemistry, understanding our world of atoms and molecules. Addison -Wesley. USA .
- 4- Lugston M.& Flemming R.(2000). Advanced chemistry . oxford University Press . New York .
- 5- R. Frank Jenkins & others .(2002) .Nelson .Chemistry 11.Canada .
- 6- Avis, Metcalfe, William, Castka (2006). Modern Chemistry. USA: Holt-Rinehart & Winston.
- 7- Otz & Treichel .(1999).Chemistry and chemical reactivity (4th ed). Sanderscollege Puplishing: Canada & USA
- 8- H.Eugene LeMay, Jr & others (2002).Chemistry connections to our changing world .USA : Pritice Hall .
- 9- Strom C. & others (2002). Chemistry, concepts and applications. USA: Glencoe - McGraw-Hill.
- 10- Maitland Jones, Jr.( 1997). Organic Chemistry Princeton University , London .UK.
- 11- Hodder and Stoughton, Chemistry Counts, second edition , UK.
- 12- Earl and LDR Wilford, (2003). GCSE Chemistry . second (2nd ed) , UK.
- 13- Peter D Riley (2005). Chemistry, London, UK.
- 14- Lawire Ryan, (2001). Chemistry for you, second edition, Nelson Thornes, UK.
- 15- Atkins P. Jones. L., Chemical Principles, W.H. Freeman and Company, New York.
- 16- Brady E. , (1988). Fundamentals of Chemistry, Wiley, USA.
- 17- John C. Kotz, (1999). Chemistry and Chemical Reactivity. Harcount Brace College, USA.

## المواقع الإلكترونية

- 1- <http://members.aol.com/profchm/limits.html>
- 2- <http://genchem.chem.wisc.edu/sstutorial/Text 11/Tx116/tx116.html>
- 3- <http://www.asetute.com.au/ppteeqtn.html>
- 4- <http://wine.sb.fsu.edu/chm1045/notes/Stoich/Limiting/Stoich07.htm>
- 5- <http://www.chemistry.nmsu.edu/studntres/chem116/notes/titrations.html>
- 6- <http://www.usoe.k12.ut.us/curr/science/sciber00/8th/matter/sciber/chemtype.htm>
- 7- <http://www.angelfire.com/bc2/OrgChem/l>

الحالة عند درجة حرارة  $20^{\circ}\text{C}$

1	1A
1	H
Hydrogen	1.0079

11	2	8	1
Na			
Sodium			
22.990			

C
---

صلب

Br
----

سائل

He
----

غاز

Tc
----

غير متوفر في الطبيعة

3	4								
Li	Be								
Lithium	Beryllium								
6.941	9.0122								
11	12								
Na	Mg								
Sodium	Magnesium								
22.990	24.305								
19	20	21	22	23	24	25	26	27	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	
Potassium	Calcium	Scandium	Titanium	Vanadium	Chromium	Manganese	Iron	Cobalt	
39.098	40.08	44.956	47.90	50.941	51.996	54.938	55.847	58.933	
37	38	39	40	41	42	43	44	45	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	
Rubidium	Strontium	Yttrium	Zirconium	Niobium	Molybdenum	Technetium	Ruthenium	Rhodium	
85.468	87.62	88.906	91.22	92.906	95.94	(98)	101.07	102.91	
55	56	71	72	73	74	75	76	77	
Cs	Ba	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	
Cesium	Barium	Lutetium	Hafnium	Tantalum	Tungsten	Rhenium	Osmium	Iridium	
132.91	137.33	174.97	178.49	180.95	183.85	186.21	190.2	192.22	
87	88	103	104	105	106	107	108	109	
Fr	Ra	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	
Francium	Radium	Lawrencium	Rutherfordium	Dubnium	Seaborgium	Bohrium	Hassium	Meitnerium	
(223)	(226)	(262)	(261)	(262)	(263)	(264)	(265)	(268)	

سلسلة اللانثانيدات

57	58	59	60	61	62
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm
Lanthanum	Cerium	Praseodymium	Neodymium	Promethium	Samarium
138.91	140.12	140.91	144.24	(145)	150.4

سلسلة الاكتينيدات

89	90	91	92	93	94
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu
Actinium	Thorium	Protactinium	Uranium	Neptunium	Plutonium
(227)	232.04	231.04	238.03	(237)	(244)



الهيدروجين	العناصر اللافلزية
العناصر القلوية	العناصر شبه الفلزية
عناصر القلويات الترابية	الغازات النبيلة (الخاملة)
العناصر الانتقالية	العناصر الانتقالية الداخلية
عناصر اخرى	

العناصر القلوية		العناصر شبه القلوية		الغازات النبيلة (الخاملة)		العناصر الانتقالية الداخلية		18 0									
عناصر القلويات الترابية																	
العناصر الانتقالية																	
عناصر اخرى																	
10		11 1B		12 2B		13 3A		14 4A		15 5A		16 6A		17 7A		2 2	
28 Ni Nickel 58.71		29 Cu Copper 63.546		30 Zn Zinc 65.38		31 Ga Gallium 69.72		32 Ge Germanium 72.59		33 As Arsenic 74.922		34 Se Selenium 78.96		35 Br Bromine 79.904		36 Kr Krypton 83.80	
46 Pd Palladium 106.4		47 Ag Silver 107.87		48 Cd Cadmium 112.41		49 In Indium 114.82		50 Sn Tin 118.69		51 Sb Antimony 121.75		52 Te Tellurium 127.60		53 I Iodine 126.90		54 Xe Xenon 131.30	
78 Pt Platinum 195.09		79 Au Gold 196.97		80 Hg Mercury 200.59		81 Tl Thallium 204.37		82 Pb Lead 207.2		83 Bi Bismuth 208.98		84 Po Polonium (209)		85 At Astatine (210)		86 Rn Radon (222)	
110 *Uun Ununnilium (269)		111 *Uuu Unununium (272)		112 *Uub Ununbium (277)				114 *Uuq Ununquadium				116 *Uuh Ununhexium				118 *Uuo Ununoctium	

× الاسم لم يعين رسمياً

63 Eu Europium 151.96	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.93	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.93	70 Yb Ytterbium 173.04
--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	------------------------------	-------------------------------	---------------------------------

95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)
--------------------------------	-----------------------------	--------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------







[www.moe.gov.om](http://www.moe.gov.om)

عزيزي الطالب: محافظتك على كتابك المدرسي قيمة حضارية