
سلطنة عمان
وزارة التربية والتعليم
رؤية عمان 2040
OmanVision
نتقدم بثقة
Moving Forward
with Confidence
الكيمياء
كتاب الطالب
١٠
الفصل الدراسي الثاني
الطبعة التجريبية ١٤٤٣هـ - ٢٠٢١م
CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS



سلطنة عمان
وزارة التربية والتعليم

الكيمياء

كتاب الطالب

١٠

الفصل الدراسي الثاني

الطبعة التجريبية ١٤٤٣هـ - ٢٠٢١م

CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS

CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS

مطبعة جامعة كامبريدج، الرمز البريدي CB2 8BS، المملكة المتحدة.

تشكل مطبعة جامعة كامبريدج جزءًا من الجامعة.
وللمطبعة دور في تعزيز رسالة الجامعة من خلال نشر المعرفة، سعيًا وراء
تحقيق التعليم والتعلم وتوفير أدوات البحث على أعلى مستويات التميز العالمية.

© مطبعة جامعة كامبريدج ووزارة التربية والتعليم في سلطنة عُمان.

يخضع هذا الكتاب لقانون حقوق الطباعة والنشر، ويخضع للاستثناء التشريعي
المسموح به قانونًا ولأحكام التراخيص ذات الصلة.
لا يجوز نسخ أي جزء من هذا الكتاب من دون الحصول على الإذن المكتوب من
مطبعة جامعة كامبريدج ومن وزارة التربية والتعليم في سلطنة عُمان.

الطبعة التجريبية ٢٠٢١ م، طُبعت في سلطنة عُمان

هذه نسخة تمَّت مواءمتها من كتاب الطالب – الكيمياء للصف العاشر – من سلسلة كامبريدج للعلوم
المتكاملة IGCSE للمؤلفين ماري جونز، وريتشارد هاروود، وإيان لودج، ودايفيد سانغ.

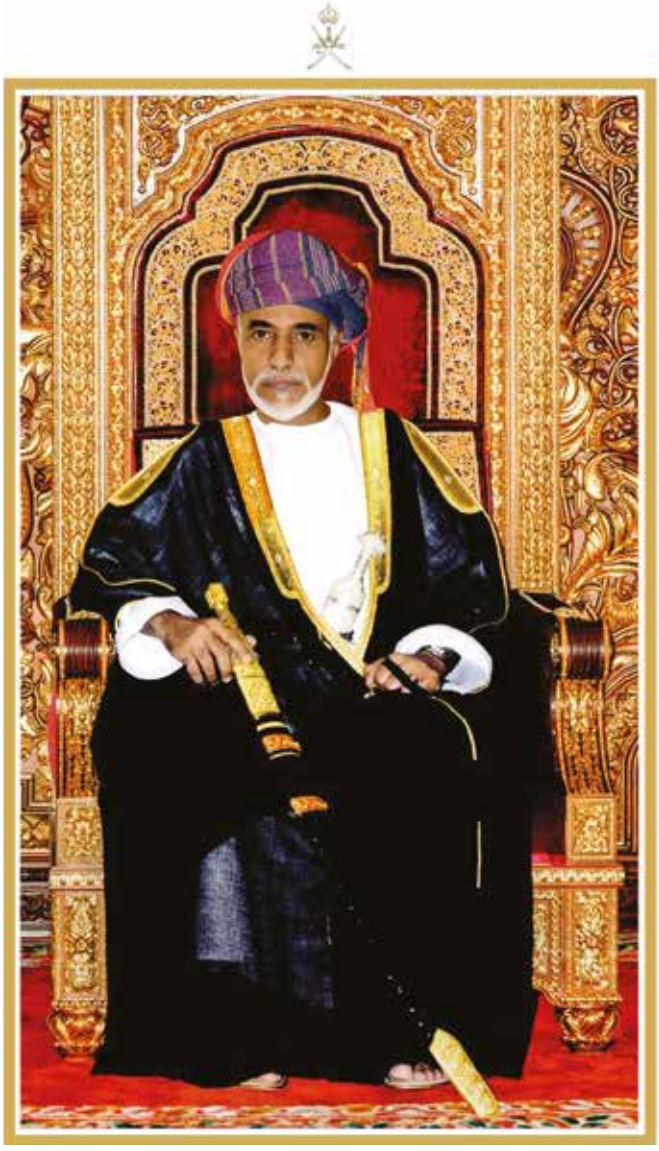
تمت مواءمة هذا الكتاب بناءً على العقد الموقع بين وزارة التربية والتعليم ومطبعة
جامعة كامبريدج رقم ٤٠ / ٢٠٢٠ .
لا تتحمل مطبعة جامعة كامبريدج المسؤولية تجاه توفُّر أو دقة المواقع الإلكترونية
المستخدمة في هذا الكتاب، ولا تؤكد أن المحتوى الوارد على تلك المواقع دقيق
وملائم، أو أنه سيبقى كذلك.

تمت مواءمة الكتاب

بموجب القرار الوزاري رقم ٩٠ / ٢٠٢١ واللجان المنبثقة عنه

محفوظة جميع الحقوق

جميع حقوق الطبع والتأليف والنشر محفوظة لوزارة التربية والتعليم
ولا يجوز طبع الكتاب أو تصويره أو إعادة نسخه كاملاً أو مجزّأً أو ترجمته
أو تخزينه في نطاق استعادة المعلومات بهدف تجاري بأي شكل من الأشكال
إلا بإذن كتابي مسبق من الوزارة، وفي حالة الاقتباس القصير يجب ذكر المصدر.



المغفور له

السلطان قابوس بن سعيد

-طيّب اللّه ثراه-



حضرة صاحب الجلالة

السلطان هيثم بن طارق المعظم

-حفظه اللّه ورعاه-

سلطنـــــة عُمـــــان





النَّشيدُ الْوَطَنِيُّ

يا رَبَّنا احْفَظْ لنا جَلالَةَ السُّلْطان
وَالشَّعْبَ في الأَوْطان بِالْعِزِّ والأَمان
وَلْيَدُمْ مُؤَيَّدًا عاهِلاً مُمَجَّدًا
بِالنُّفوسِ يُفْتَدى

يا عُمانُ نَحْنُ مِنْ عَهْدِ النَّبي أَوْفِياءُ مِنْ كِرامِ الْعَرَبِ
فارْتَقي هامَ السَّماء وَامْلَئي الْكَوْنَ الضِّياء
وَاسْعَدي وَانْعَمي بِالرَّخاء

تقديم

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على خير المرسلين، سيّدنا مُحمَّد، وعلى آله وصحبه أجمعين. وبعد:

فقد حرصت وزارة التربية والتعليم على تطوير المنظومة التعليمية في جوانبها ومجالاتها المختلفة كافة؛ لتُلبّي مُتطلّبات المجتمع الحالية، وتطلُّعاته المستقبلية، ولتتواكب مع المُستجدّات العالمية في اقتصاد المعرفة، والعلوم الحياتية المختلفة؛ بما يؤدّي إلى تمكين المخرجات التعليمية من المشاركة في مجالات التنمية الشاملة للسلطنة.

وقد حظيت المناهج الدراسية، باعتبارها مكوِّنًا أساسيًا من مُكوِّنات المنظومة التعليمية، بمراجعة مستمرة وتطوير شامل في نواحيها المختلفة؛ بدءًا من المقررات الدراسية، وطرائق التدريس، وأساليب التقويم وغيرها؛ وذلك لتتناسب مع الرؤية المستقبلية للتعليم في السلطنة، ولتتوافق مع فلسفته وأهدافه.

وقد أولت الوزارة مجال تدريس العلوم والرياضيات اهتمامًا كبيرًا يتلاءم مع مستجدات التطور العلمي والتكنولوجي والمعرفي. ومن هذا المنطلق اتَّجهت إلى الاستفادة من الخبرات الدولية؛ اتساقًا مع التطوُّر المُتسارع في هذا المجال، من خلال تبنّي مشروع السلاسل العالمية في تدريس هاتَين المادّتَين وفق المعايير الدولية؛ من أجل تنمية مهارات البحث والتقصّي والاستنتاج لدى الطلبة، وتعميق فهمهم للظواهر العلمية المختلفة، وتطوير قدراتهم التنافُسية في المسابقات العلمية والمعرفية، وتحقيق نتائج أفضل في الدراسات الدولية.

إن هذا الكتاب، بما يحويه من معارف ومهارات وقيَم واتجاهات، جاء مُحقِّقًا لأهداف التعليم في السلطنة، وموائمًا للبيئة العمانية، والخصوصية الثقافية للبلد، بما يتضمَّنه من أنشطة وصور ورسومات. وهو أحد مصادر المعرفة الداعمة لتعلُّم الطالب، بالإضافة إلى غيره من المصادر المختلفة.

مُتمنّية لأبنائنا الطلبة النجاح، ولزملائنا المعلّمين التوفيق فيما يبذلونه من جهود مُخلِصة، لتحقيق أهداف الرسالة التربوية السامية؛ خدمة لهذا الوطن العزيز، تحت ظل القيادة الحكيمة لمولانا حضرة صاحب الجلالة السلطان هيثم بن طارق المعظم، حفظه الله ورعاه.

والله ولي التوفيق

د. مديحة بنت أحمد الشيبانية

وزيرة التربية والتعليم

المحتويات

المقدمة xi

كيف تستخدم هذا الكتاب xii

الوحدة الخامسة الهالوجينات وتدرّج خصائص المجموعة

٥–١ التدرُّج في خصائص مجموعات الجدول الدوري ١٥

٥–٢ الهالوجينات (عناصر المجموعة VII) ١٧

الوحدة السادسة الكيمياء الكهربائية

٦–١ تفاعُلات الأكسدة والاختزال ٢٥

٦–٢ التحليل الكهربائي ٣٠

٦–٣ تطبيقات على التحليل الكهربائي ٤١

الوحدة السابعة تطبيقات الكيمياء العضوية

٧–١ الكحولات ٥٠

٧–٢ البوليمرات ٥٧

الوحدة الثامنة الطاقة الكيميائية والاتزان

٨–١ تغيّرات الطاقة في التفاعُلات الماصّة والطاردة للحرارة ٦٨

٨–٢ التفاعُلات المنعكسة والاتزان الديناميكي ٧٧

٨–٣ العمليات الصناعية ٨٣

مصطلحات علمية ٩٨

مُلحق ١٠٠

الجدول الدوري ١٠٢

المقدمة

سوف تتعلَّم في هذا المُقرَّر الكثير من الحقائق والمعلومات، وستكتسب مهارات التفكير كالعلماء. وقد تمَّت مواءمة كتاب الطالب – الكيمياء للصف العاشر – وفق سلسلة كامبريدج للعلوم المُتكامِلة IGCSE.

تتضمَّن وحدات كتاب الطالب البنود الآتية:

الأسئلة

تتضمَّن كل وحدة مجموعة مُتعدِّدة من الأسئلة تأتي ضمن سياق فقراتها لتعزيز الفهم، وبعضها يحتاج إلى إجابات قصيرة. كما ترد في نهاية الوحدة أسئلة تهيئ الطالب لخوض الاختبارات.

الأنشطة

تتضمن كل وحدة أنشطة مُتنوّعة تهدف إلى مساعدة الطالب على تطوير مهاراته العملية.

مُلخَّص

عبارة عن قائمة قصيرة تأتي في نهاية كل وحدة، وتحتوي على النقاط الرئيسية التي تمَّت تغطيتها في الوحدة.

يلازم كتاب الطالب كتاب النشاط، الذي يزود الطالب بمجموعة من التمارين وأوراق العمل، ويساعده على توظيف المعرفة التي اكتسبها في تطوير مهاراته في التعامل مع المعلومات وحل المشكلات، وصقل بعض مهاراته العملية.

كيف تستخدم هذا الكتاب

تتضمَّن كل وحدة مجموعة من البنود تساعد الطالب على التنقُّل خلالها.

الوحدة السادسة
الكيمياء الكهربائية
Electrochemistry

تُغطّي هذه الوحدة:

- تعريف الأكسدة والاختزال.
- العوامل المؤكسِدة، والعوامل المختزِلة.
- طريقة كتابة أنصاف-المعادلات الأيونية.
- التحليل الكهربائي، والأنواع المختلفة من الإلكتروليتات Electrolytes.
- مكوّنات الخلية الإلكتروليتية (خلية التحليل الكهربائي).
- كيفية توقُّع المواد الناتجة من التحليل الكهربائي.
- تدوين الملاحظات العملية عند أقطاب الخلية.
- طريقة إنتاج الألومنيوم من خام البوكسيت.
- نواتج التحليل الكهربائي لمحلول كلوريد الصوديوم المركز NaCl.
- تنقية النحاس، وعملية الطلاء الكهربائي.

مصطلحات علمية

تحتوي المُربَّعات على تعريفات واضحة للمُصطلحات العلمية الرئيسية في كل وحدة.

مصطلحات علمية

- **التفاعُل المنعكس Reversible reaction:** التفاعل الذي يمكن أن يحدث في كلا الاتجاهين، بحيث تستطيع المواد الناتجة أن تتفاعل بعضها مع بعض لتكوين المواد المتفاعلة الأصلية.
- **مركب مائي Hydrated compound:** مركّب يحتوي في تركيبه على ماء.
- **مركب لامائي Anhydrous compound:** مركّب لا يحتوي في تركيبه على ماء.
- **إزالة الماء Dehydration:** نزع الماء من مركّب ما.
- **التميّه Hydration:** إضافة الماء إلى مركّب ما.

تذكّر

مُربَّعات تحتوي على نصائح موجَّهة إلى الطلبة ليتجنّبوا المفاهيم الخاطئة الشائعة، وتقدِّم إليهم الدعم للإجابة عن الأسئلة.

تذكَّر

- لن يُطلب منك الصيغة البنائية المفصّلة للبوليمر. يمكنك تمثيل الصيغة البنائية المركزية لكل مونومر على شكل كتلة، كما تم توضيحه في الرسوم التخطيطية.
- ينبغي لك معرفة الصيغة البنائية للروابط الموجودة بين المونومرات في السلسلة.
- يجدر بك أن تتدرّب على هذه الرسومات لكي تتأكّد من أنك على دراية بها، ويمكنك تذكُّرها بسهولة.

نشاط

ترد الأنشطة في جميع أقسام الوحدة، وتوفِّر إرشادات وتوجيهات لإجراء استقصاءات عملية.

نشاط ٧-٢

المقارنة بين أنواع الوقود

المهارات:

- يبيّن بطريقة عملية معرفته المتعلقة بكيفية الاستخدام الآمن للتقنيات والأجهزة والمواد (بما فيها اتبّاع سلسلة من التعليمات المناسبة).
- ينجز التجربة ويسجِّل الملاحظات والقياسات والتقديرات.
- يناقش الملاحظات التجريبية والبيانات ويقيّمها.
- يُقيِّم الطرائق، ويقترح التحسينات المُحتملة.

أثارت فكرة أنّ الوقود الأحفوري سينفد يومًا ما قلقًا جدّيًا. كما أثارته فكرة أنّ حرق الوقود الأحفوري يؤدّي إلى ظاهرة الاحتباس الحراري العالمي، بسبب كمّيات ثاني أكسيد الكربون التي تُطلق في الغلاف الجوّي.

سيُطلب منك في هذا النشاط تصميم تجربة لإجراء مقارنة بين نوعَين من الوقود؛ أحدهما أحفوري، والآخر متجدّد.

سوف تستخدم البارافين (ألكان) كوقود أحفوري تم الحصول عليه من النفط، والإيثانول (كحول) كوقود متجدّد تم الحصول عليه من تخمّر سكّر مُستخلَص من النبات.

اكتب خطّة لتحديد أيُّهما يعدّ وقودًا أفضل للاستخدام.

أسئلة

ترد في كل وحدة لتقييم معرفة الطلبة واستيعابهم.

أسئلة

٥-٤ ما نمط التدرُّج في لون الهالوجين كلّما اتّجهنا إلى الأسفل في مجموعته؟

٥-٥ أيّ هالوجين يكون سائلًا عند درجة حرارة الغرفة والضغط القياسي؟

٥-٦ ما الصيغة الكيميائية لجُزيئات الكلور؟

٥-٧ أيّ الهالوجينات سوف تزيح البروم من محلول بروميد البوتاسيوم؟

٥-٨ أيّ الهالوجينات يمكن لليود أن يزيحها من محلول يحتوي على أيونات هاليد؟

٥-٩ أيّ هالوجين لا يمكن للكلور أن يزيحه من محلول يحتوي على أيونات هاليد؟

٥-١٠ اكتب المعادلة الكيميائية الموزونة لتفاعُل الكلور مع محلول يوديد البوتاسيوم.

تحتوي هذه الأطر الزرقاء على معلومات مُهمّة تعزّز نقطة رئيسيّة أو تتوسَّع فيها.

- **تمتصّ** عملية كسر الروابط الكيميائية طاقة حرارية من محيطها. وبالتالي تكون **ماصّة للحرارة**.
- **تُطلق** عملية تكوين الروابط الكيميائية طاقة حرارية نحو محيطها. وبالتالي تكون **طاردة للحرارة**.

يرد **ملخّص** في نهاية كل وحدة ويتضمَّن تلخيصًا للموضوعات الرئيسية.

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- طريقة تصنيع الإيثانول عن طريق تميُّه الإيثين أو التخمّر.
- للإيثانول استخدامات رئيسية مثل استخدامه كوقود أو مذيب.
- تحترق الكحولات بوجود فائض من الهواء (الأكسجين) فتنتج غاز ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء.
- طريقة بلمرة الألكينات لتكوين مجموعة مفيدة من بوليمرات الإضافة.
- البلمرة بالتكثيف هي طريقة أخرى تربط المونومرات معًا لإنتاج جُزيئات بوليمرية.
- النايلون مثال على بوليمر صناعي بالتكثيف.
- أوجه الاختلاف الرئيسية بين بوليمرات الإضافة، وبوليمرات التكثيف.

تلي فقرة مُلخّص مجموعة مختارة من **أسئلة نهاية الوحدة** لمساعدة الطلبة على مراجعة الوحدة.

أسئلة نهاية الوحدة

١ عند غمس شريط من الماغنيسيوم المشتعل في اسطوانة غاز تحتوي على ثاني أكسيد الكربون، يحدث التفاعُل الآتي:

كربون + أكسيد الماغنيسيوم ⟶ ثاني أكسيد الكربون + ماغنيسيوم

أ. ما الدليل على تكون الكربون في التفاعل السابق؟

ب. اكتب معادلة رمزية موزونة لهذا التفاعُل.

ج. في هذا التفاعل، حدد ما يلي:

١ المادة التي اختُزلت.؟

٢. المادة التي تأكسدت.

د. الهيدروجين أعلى من النحاس في سلسلة النشاط الكيميائي؛ وبالتالي يمكن استخدام غاز الهيدروجين لاستخلاص النحاس من أكسيد النحاس (II).

١. ما الملاحظة التي يمكن أن تشاهدها، والتي يمكن أن تُوضّح أن تفاعُلًا يحدث؟

٢. اكتب معادلة لفظية لهذا التفاعُل.

٣. اكتب معادلة رمزية موزونة لهذا التفاعُل.

٤. حدّد المادة التي تمثّل العامل المختزِل في هذا التفاعُل.

٢ **أ.** عرّف الاختزال والأكسدة، من حيث انتقال الإلكترونات.

ب. تَنتج كبريتات الماغنيسيوم عندما يُضاف الماغنيسيوم إلى محلول كبريتات الخارصين.

$$Mg(s) + ZnSO_4(aq) \longrightarrow MgSO_4(aq) + Zn(s)$$

١. اكتب المعادلة الأيونية لهذا التفاعُل.

٢. اكتب نصف-المعادلة الأيونية لعملية الاختزال في هذا التفاعُل.

٣. اشرح لماذا يُعدّ الماغنيسيوم عاملًا مختزِلًا في هذا التفاعُل.

ج. يزيح البروم اليود من محلول يوديد البوتاسيوم.

$$Br_2(aq) + 2KI(aq) \longrightarrow 2KBr(aq) + I_2(aq)$$

١. اكتب المعادلة الأيونية لهذا التفاعُل.

٢. اكتب نصف-المعادلة الأيونية لعملية الأكسدة في هذا التفاعُل.

٣. حدّد العامل المؤكسِد في هذا التفاعُل، مُفسّرًا إجابتك.

قائمة رموز المواد الإثرائية لمادّة الكيمياء				
النوع	المصطلحات العلمية	أسئلة اختيار من متعدِّد	الأنشطة الإثرائية	معايير النجاح
QR Code				



الوحدة الخامسة

الهالوجينات وتدرّج خصائص المجموعة

Halogens and Group Trends

تُغطّي هذه الوحدة:

- التدرُّج في خصائص مجموعات الجدول الدوري.
- التدرُّج في الخصائص الفيزيائية لعناصر المجموعة VII (الهالوجينات).
- التدرُّج في النشاط الكيميائي للهالوجينات، وتفاعُلات الإزاحة (الإحلال).

٥-١ التدرّج في خصائص مجموعات الجدول الدوري

درست سابقًا أن الجدول الدوري يتيح لنا تصنيف العناصر في مجموعات وفق خصائصها الفيزيائية والكيميائية.

فعلى سبيل المثال، تعدّ عناصر المجموعة VIII (الغازات النبيلة) جميعها غازات عديمة اللون، وهي في العادة غير نشطة كيميائيًّا، بينما تكون عناصر المجموعة I (الفلزّات القلوية) فلزّات طرية، وتتفاعل مع الماء لتكوّن محاليل قلوية. فعادة تميل عناصر المجموعة الواحدة إلى اتباع السلوك نفسه، بحيث يكون هناك تغيُّر تدريجي في خصائص العناصر كلّما اتجهنا إلى الأسفل في المجموعة الواحدة.

يبيّن الجدول (٥-١) التدرج في درجات الغليان والكثافة للعناصر الأربعة الأولى في المجموعة VIII.

عناصر المجموعة VIII	درجة الغليان (°C)		الكثافة g/mL عند درجة حرارة الغرفة °C والضغط 1 atm	
الهيليوم He	-269	↓ ارتفاع درجة الغليان	0.000164	↓ ازدياد الكثافة
النيون Ne	-246		0.000825	
الأرغون Ar	-186		0.001633	
الكريبتون Kr	-153		0.003423	

الجدول ٥-١ التدرج في درجات الغليان والكثافة للعناصر الأولى في المجموعة VIII

يظهر الجدول بشكل واضح ارتفاعًا في قيم درجات الغليان كلما اتجهنا إلى الأسفل عبر المجموعة VIII من الهيليوم إلى الكريبتون (الجدول ٥-١). ويستمر هذا النمط من التدرُّج إذا اتجهنا إلى الأسفل في المجموعة، وهو ما يتيح للكيميائيين التنبؤ بدرجات الغليان لبقية العناصر. فعلى سبيل المثال، يتوقع أن تكون درجة غليان الزينون الذي يلي الكريبتون في المجموعة VIII أعلى من درجة غليان الكريبتون (153-). وبما أن درجة الغليان ترتفع من 23 °C إلى 60 °C، وبمتوسط يبلغ نحو 39 °C، نتوقع أن تكون درجة غليان الزينون قريبة من 114 °C-؛ ودرجة الغليان الفعلية للزينون تساوي 108 °C-، وهي قيمة قريبة من القيمة المتوقعة.

كما يلاحظ تدرُّج مشابه في قيَم كثافة عناصر المجموعة VIII، لذلك فمن المتوقع أن تكون قيمة كثافة عنصر الزينون أعلى من قيَم كثافة العناصر الأربعة الأخرى في المجموعة كما يوضح الجدول (٥-١). وعليه، يُتوقّع أن تكون كثافة الزينون أكبر من قيمة كثافة الكريبتون (0.003423 g/mL). وبما أن قيَم الكثافة لهذه العناصر تزداد بما يتراوح بين 0.0007 و 0.0018، وبمتوسط يبلغ نحو 0.0011، فإن القيمة المتوقّعة لكثافة الزينون تساوي نحو 0.0045 g/mL؛ وقيمة الكثافة الفعلية لعنصر الزينون تساوي 0.0054 g/mL، أي أن التوقُّع كان قريبًا نوعًا ما.

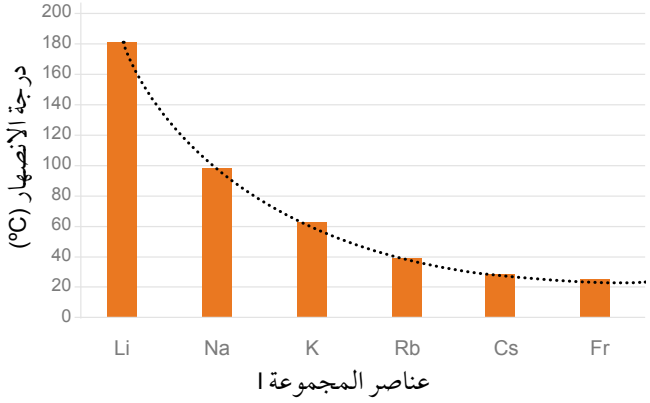
ولا تُظهِر أنماط التدرُّج جميعها بالضرورة ازديادًا في كل الخصائص، كلما اتّجهنا إلى الأسفل في المجموعة.

حيث يوضّح الجدول (٥-٢) انخفاضًا في درجات انصهار العناصر الأولى في المجموعة I كلما اتجهنا إلى الأسفل في المجموعة. وعليه، يُتوقع أن تكون درجة انصهار السيزيوم أقل من درجة انصهار الروبيديوم (39 °C) لأنه يقع أسفل منه. وبناء على نمط التدرج الملاحظ في درجات الانصهار فإنه من المتوقع أن تتراوح درجة انصهار السيزيوم بين 20 °C و 30 °C. وهذا ما تؤكده القيمة الفعلية لدرجة انصهاره التي تساوي 29 °C.

عناصر المجموعة I	درجة الانصهار (°C)	
الليثيوم Li	181	انخفاض درجات الانصهار ↓
الصوديوم Na	98	
البوتاسيوم K	63	
الروبيديوم Rb	39	

الجدول ٥-٢ تدرُّج قيَم درجات الانصهار للعناصر الأربعة الأولى في المجموعة I

إن أفضل طريقة لملاحظة أنماط التدرُّج، وتوقُّع البيانات الفيزيائية لعناصر مجموعة ما، تكون بعرض البيانات على هيئة تمثيل بياني، مع رسم منحنى يمثِّل التدرّج؛ فمثلًا، رُسمت بيانات درجات انصهار العناصر الأربعة الأولى في المجموعة I على هيئة تمثيل بياني بالأعمدة، وعند رسم منحنى على التمثيل البياني ومدّه لتوقُّع درجتَي انصهار عنصرَي السيزيوم (Cs)، والفرانسيوم (Fr) يظهر نمط التدرُّج كما في الشكل (٥-١).



الشكل ٥-١ تمثيل بياني بالأعمدة لدرجات انصهار العناصر في المجموعة I

أسئلة

٥-١ يُعدّ النيون، والأرغون، والكريبتون، ثلاثة عناصر متتالية في المجموعة VIII. سُجّلت في الجدول أدناه درجات انصهار هذه العناصر الثلاثة على النحو الآتي:

العنصر	درجة الانصهار
النيون Ne	-249 °C
الأرغون Ar	-189 °C
الكريبتون Kr	-157 °C

أ. حدّد نمط التدرُّج في درجات الانصهار، كلّما اتّجهنا إلى الأسفل في المجموعة.

ب. توقَّع درجة انصهار العنصر الذي يلي الكريبتون في المجموعة VIII.

ج. توقّع درجة انصهار العنصر الذي يسبق النيون في المجموعة VIII.

٥-٢ يوضّح الجدول أدناه كثافة ثلاثة عناصر متتالية من المجموعة II.

العنصر	درجة الانصهار
الكالسيوم Ca	1.54 g/mL
السترونشيوم Sr	2.64 g/mL
الباريوم Ba	3.62 g/mL
الراديوم Ra	

توقّع كثافة الراديوم باستخدام البيانات من الجدول. هل الكثافة المتوقعة تتوافق مع القيمة الفعلية؟

٥-٣ تظهر المجموعة II تدرُّجًا مشابهًا في الخصائص الفيزيائية لعناصر المجموعة I.

وضِّح كيف سيتغيّر نمط التدرُّج العام في درجات الانصهار والغليان كلما اتّجهنا إلى الأسفل في المجموعة II.

٥-٢ الهالوجينات (عناصر المجموعة VII)

III	IV	V	VI	VII	VIII
				H	
B	C	N	O	F	He
				Cl	Ne
				Br	
				I	
				At	

تُعرف عناصر المجموعة VII في الجدول الدوري بالهالوجينات. يعني لفظ هالوجين «تكوين الملح» حيث تتفاعل الهالوجينات مع بعض الفلزّات لإنتاج مُركّبات أيونية (أملاح)، مثل كلوريد الصوديوم. وتُعدّ الهالوجينات جميعها عناصر لافلزّية، وهي تقع في أقصى يمين الجدول الدوري بجانب المجموعة VIII.

توجد خمسة عناصر من الهالوجينات في الطبيعة، أكثرها شيوعًا الكلور (Cl)، والبروم (Br)، واليود (I). أما عُنصرا الفلور (F) والأستاتين (At) فلا يُستخدمان في المختبرات المدرسية، نظرًا لخطورتهما؛ فالفلور ذو نشاط كيميائي عالٍ، في حين أن الأستاتين عنصر مشع. وقد تم حديثًا اكتشاف عنصر سادس من الهالوجينات، سُمِّي عنصر التينيساين Tennessine (Ts) وقد وُضع في أسفل المجموعة، وهو يُنتج فقط بشكل صناعي. لم يُدرس التينيساين بالتفصيل حتّى الآن، لأنه شديد النشاط الإشعاعي، ويتفكّك (يضمحل) في مدة زمنية لا تتجاوز أجزاء من الثانية (ملّي ثانية milliseconds).

خصائص الهالوجينات

تُظهر عناصر المجموعة VII أوجه تشابُه فيما بينها، كما أنها تُظهر اختلافًا تدريجيًّا في خصائصها كلّما اتّجهنا إلى الأسفل في المجموعة، كما هو الحال في المجموعات الأخرى من الجدول الدوري. إلا أن التباين في المظهر الخارجي بين الهالوجينات لافت للنظر، وخاصة عند مقارنتها بعناصر المجموعات الأخرى.

فعلى سبيل المثال، تُعدّ جميع عناصر المجموعة I صلبة، وتُعدّ عناصر المجموعة VIII جميعها غازيّة عند درجة حرارة الغرفة والضغط القياسي، في حين تعتمد الحالة الفيزيائية لعناصر المجموعة VII على الهالوجين، وتختلف ألوانها باختلاف العنصر أيضًا، بخلاف عناصر المجموعتَين I و VIII التي تكون عامة متشابهة جدًّا. ويتضح من الصورة (٥-١) اختلاف الخصائص الفيزيائية لكل من الكلور، والبروم، واليود عند درجة حرارة الغرفة.

الكلور (Cl_2)
- غاز كثيف ذو لون أخضر فاتح.
- سامّ ورائحته نفّاذة.



البروم (Br_2)
- سائل ذو لون أحمر غامق يصاحبه بخار ذو لون بنّي محمرّ
- سامّ ورائحته نفّاذة.



اليود (I_2)
- صلب ذو لون رمادي يصاحبه بخار ذو لون بنفسجي.
- سامّ ورائحته نفّاذة.



الصورة ٥-١ بعض خصائص الهالوجينات (المجموعة VII)

الخصائص الشائعة للهالوجينات:

- تمتلك جميع الهالوجينات 7 إلكترونات في مستوى الطاقة الخارجي لذرّاتها، وبالتالي تقع في المجموعة VII.
- تُعدّ الهالوجينات عناصر لافلزّية.
- تتّصف الهالوجينات بأنّها سامّة، ولها روائح متشابهة في قوتها؛ فرائحة الكلور مثلًا تشبه رائحة المادة المبيّضة، وتُسبّب الاختناق.
- تكون جميع الهالوجينات على شكل جُزيئات **ثنائية الذرّات** (جُزيئات تحتوي على ذرّتَين فقط) على سبيل المثال، تكون جُزيئات الكلور، والبروم، واليود على التوالي: Cl_2، Br_2، I_2. وهي لا توجد بهذه الصورة في الطبيعة، بل في المصانع والمختبرات بعد أكسدة الهاليدات.
- تمتلك جميع الهالوجينات **تكافؤًا** يساوي 1، وتكوّن مُركّبات بصيَغ كيميائية مُتشابهة.
- تُنتج الهالوجينات، عند تفاعلها مع عناصر أخرى، سلسلة من المُركّبات تُعرف باسم **الهاليدات**؛ فالكلور يُنتِج **الكلوريدات**، والبروم يُنتج **البروميدات**، واليود يُنتج **اليوديدات**.
- قد تتفاعل الهالوجينات بشكل مباشر مع الفلزّات لتكوين هاليدات فلزّية أيونية (**أملاح**)، كأن يتفاعل الكلور مع الصوديوم لتكوين كلوريد الصوديوم.
- تكوّن الهالوجينات جميعها أيونات سالبة تحمل شحنة منفردة؛ أيونات الكلوريد (Cl^-)، وأيونات البروميد (Br^-)، وأيونات اليوديد (I^-).
- قد تتفاعل الهالوجينات أيضًا مع لافلزّات لتكوين هاليدات لافلزّية تساهمية؛ مثل كلوريد الهيدروجين (HCl)، وبروميد الهيدروجين (HBr)، ويوديد الهيدروجين (HI).

مصطلحات علمية

- **الهالوجين Halogen:** عنصر لافلزي يوجد كجزيء ثنائي الذرّة يقع في المجموعة VII.
- **الهاليد Halide:** مُركَّب هالوجيني يمتلك فيه الهالوجين شحنة مقدارها 1-.

وعلى الرغم من أن الخصائص الفيزيائية للهالوجينات الثلاثة مختلفة جدًّا فيما بينها كما يظهر في الصورة (٥-١)، إلا أنه يمكن ملاحظة نمط تدرُّج معين من الكلور ثم البروم إلى اليود، كما يلي:

- تتغيّر الحالة الفيزيائية من الغازيّة إلى السائلة إلى الصلبة كلّما اتّجهنا إلى الأسفل في المجموعة.
- يصبح اللون داكنًا أكثر كلّما اتّجهنا إلى الأسفل في المجموعة، من الأخضر الفاتح إلى الأحمر الغامق إلى الرمادي.

ويمكن استخدام أنماط التدرُّج هذه لتوقُّع مظهر الهالوجينات الأخرى التي تقع في المجموعة VII؛ فالفلور يقع في أعلى المجموعة VII، أي يكون أعلى من الكلور في المجموعة. وبالتالي يمكن توقُّع أن يكون غازًا مثل الكلور، ولكنّ لونه فاتح أكثر. وبالمثل، يمكن التنبؤ بخصائص عنصر الأستاتين بناءً على تدرج خصائص العناصر السابقة. فاستنادًا إلى اليود الذي يقع أعلى الأستاتين مباشرة في المجموعة، يمكن توقُّع أن يكون الأستاتين صلبًا أسود اللون، ولكنه لا يتبخّر بسهولة كما هو حال اليود.

يبيّن الجدول (٥-٣) اللون الفعلي والحالة الفيزيائية عند درجة حرارة الغرفة والضغط القياسي للهالوجينات الخمسة الأولى، والتي تُبيّن أن التوقُّعات بخصوص الفلور والأستاتين صحيحة.

يبيّن الجدول (٥-٣) كذلك درجات الانصهار والغليان للهالوجينات، التي تُظهر ارتفاعًا تدريجيًا يتطابق مع التغيُّرات في الحالة الفيزيائية التي تمّت ملاحظتها. ويزوّدنا هذا النمط بدليل قوي على أنّ هذه العناصر تقع ضمن مجموعة واحدة، رُغم أنّها تبدو مختلفة جدًّا.

النشاط الكيميائي للهالوجينات

درست سابقًا أن اختبار غاز الكلور يستند إلى قدرته على تبييض ورقة تبّاع الشمس الرطبة. وهذا دليلٌ على نشاطه الكيميائي؛ فهل يمكن ترتيب النشاط الكيميائي لعناصر المجموعة VII بالطريقة نفسها المُتّبعة في ترتيب فلزّات المجموعة I؟

تعدّ سلسلة تفاعُلات الإزاحة displacement reactions أفضل طريقة لتحديد ترتيب النشاط الكيميائي للهالوجينات، وهي طريقة مماثلة لتلك التي درسناها في الوحدة الأولى، بهدف تحديد سلسلة النشاط الكيميائي للفلزّات؛ ففي تفاعل الإزاحة، يجب إضافة الهالوجين إلى محلول يحتوي على أيونات هالوجين مختلف؛ فإذا كان الهالوجين المضاف أكثر نشاطًا، فسيعمل على إزاحة أيون الهاليد من المحلول، وستكون هناك إشارات واضحة على حدوث تغيُّر (تفاعل). يبيّن الجدول (٥-٤) نتائج تفاعُلات الإزاحة بين أيونات هاليدات مختلفة والهالوجينات، مثل الكلور، والبروم، واليود.

الهالوجين	الحالة الفيزيائية عند درجة حرارة الغرفة والضغط القياسي	اللون	درجة الانصهار (°C)	درجة الغليان (°C)	
F_2	غاز	أصفر فاتح	-220	-188	↓ ارتفاع درجات الانصهار والغليان
Cl_2	غاز	أخضر فاتح	-102	-35	
Br_2	سائل	أحمر غامق	-7	59	
I_2	صلب	رمادي	114	184	
At_2	صلب	أسود لامع	302	337	

الجدول ٥-٣ بعض الخصائص الفيزيائية للهالوجينات

محلول أيون الهاليد	محلول الهالوجين		
	الكلور (Cl_2)	البروم (Br_2)	اليود (I_2)
الكلوريد (Cl^-)		لا يحدث تفاعل	لا يحدث تفاعل
البروميد (Br^-)	يحدث تفاعل (يصبح لون المحلول أغمق)		لا يحدث تفاعل
اليوديد (I^-)	يحدث تفاعل (يصبح لون المحلول أغمق)	يحدث تفاعل (يصبح لون المحلول أغمق)	

الجدول ٥-٤ تفاعُلات إزاحة الهالوجينات

وبما أن للهالوجينات ألوانًا مختلفة، فمن المتوقّع عند إزاحة أحد الهالوجينات لهالوجين آخر من المحلول ليحل محلّه، أن يؤدي ذلك إلى تغيُّر اللون، أي حدوث تفاعل. وتُشير النتائج إلى حدوث تفاعُلَين اثنَين مع الكلور، وتفاعُل واحد مع البروم، وعدم حدوث أي تفاعُل مع اليود. لذلك سيكون ترتيب النشاط الكيميائي لهذه العناصر على النحو الآتي:

الكلور
البروم
اليود

ازدياد النشاط الكيميائي كلّما اتّجهنا من الأسفل إلى الأعلى عبر المجموعة

ويمكن شرح النتائج عن طريق مُعاينة المعادلات التي تمثّل التفاعُلات؛ فعند إضافة محلول الكلور إلى محلول بروميد البوتاسيوم (أيونات Br^- المائية)، سوف يزيح الكلور البروم؛ لأن الكلور أكثر نشاطًا كيميائيًّا من البروم، فهو يحلّ محل البروم في محلول بروميد البوتاسيوم المائي، ويتكوّن محلول كلوريد البوتاسيوم المائي.

بروم + كلوريد البوتاسيوم ⟶ بروميد البوتاسيوم + كلور

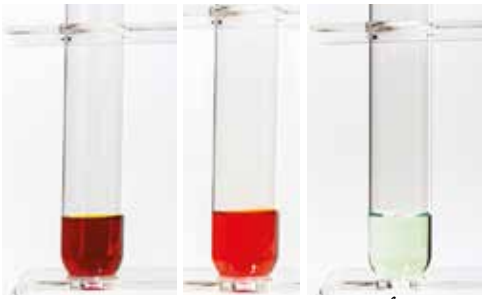
$$Cl_2(aq) + 2KBr(aq) \longrightarrow 2KCl(aq) + Br_2(aq)$$

			برتقالي
أخضر فاتح	عديم اللون	عديم اللون	

لون فاتح (أ) ⟵ لون أغمق (ب)

يتّصف كلٌّ من محلولَي بروميد البوتاسيوم، وكلوريد البوتاسيوم بأنّهما عديما اللون؛ أما الكلور والبروم فهما ملوّنان. لذلك عندما يحلّ الكلور محلّ البروم في المحلول، يُصبح لون المحلول أغمق، لأن لون البروم أغمق من لون الكلور (انظر الصورة ٥-٢ أ ، ب).

وبشكل مشابه، يمكن لكلّ من الكلور والبروم أن يتفاعلا مع محلول يوديد البوتاسيوم كل على حدة، لتتم إزاحة اليود. وبما أنّ لون اليود أغمق بكثير من لون الكلور والبروم، فإن المحلول المتكوّن سوف يكون أغمق (الصورة ٥-٢ ج).



(ج) (ب) (أ)

الصورة ٥-٢ مقارنة بين ألوان (أ) محلول الكلور، (ب) محلول البروم، (ج) محلول اليود

يود + بروميد البوتاسيوم ⟶ يوديد البوتاسيوم + بروم

$$Br_2(aq) + 2KI(aq) \longrightarrow 2KBr(aq) + I_2(aq)$$

برتقالي	عديم اللون	عديم اللون	**بني**

لون فاتح (ب) ⟵ لون أغمق (ج)

يمكننا من الجدول (٥-٤) أن نُلاحظ الآتي: عند إضافة البروم إلى محلول يحتوي على أيونات الكلوريد، لم يتغيّر لون المحلول الناتج. وهذا يبين أنّ البروم لا يمكنه إزاحة الكلور، نستنتج من ذلك أن البروم أقلّ نشاطًا كيميائيًّا من الكلور. وبشكل مشابه، لم تُظهر التجارب التي أضيف فيها اليود إلى أيونات البروميد أو أيونات الكلوريد، أيّ تغيّر في اللون، وهذا يُثبت مرّة أخرى أن اليود أقلّ نشاطًا كيميائيًّا من هذَين العنصرَين، ولا يمكنه إزاحتهما من مُركّباتهما.

ويمكننا استخدام هذا الاستنتاج أيضًا لتوقُّع النشاط الكيميائي للهالوجينات الأخرى، كالفلور والأستاتين؛ فالفلور يقع في أعلى المجموعة (فوق كلّ من الكلور، والبروم، واليود)، لذلك يُتوقّع أن يكون أكثر الهالوجينات نشاطًا كيميائيًّا. أي أنه سيزيح أي هالوجين آخر من محلوله. من جهة أخرى، يقع الأستاتين أسفل الهالوجينات الأخرى. لذلك سيكون أقلّ هذه العناصر نشاطًا كيميائيًّا، ولن يستطيع إزاحة أيّ من الهالوجينات الأربعة الأخرى من المحلول الذي يحتوي على أيونات هاليداتها.

لاحظ كيف أن ترتيب النشاط الكيميائي لعناصر المجموعة VII يكون معاكسًا لترتيب عناصر المجموعة I. ففي حين يزداد النشاط الكيميائي كلّما اتجهنا إلى الأعلى في المجموعة VII، يزداد النشاط الكيميائي كلّما اتجهنا إلى الأسفل في المجموعة I.

تذكّر

- لون الهالوجينات يصبح أغمق كلما اتّجهنا إلى الأسفل في المجموعة.
- الهالوجين الذي يُزاح يكون دائمًا بالأسفل في المجموعة، ويكون لون المحلول الناتج أغمق من كلا المحلولَين اللذَين خُلطا معًا في البداية.
- عندما يذوب هالوجين في محلول، يظهر غالبًا بلون فاتح أكثر من لونه فيما لو كان نقيًّا، لأن المذيب يخفّف لونه.
- وحدها العناصر الهالوجينية تكون ملوّنة، في حين تكون الهاليدات عديمة اللون.

نشاط ٥-١

تفاعُلات الإزاحة للهالوجينات

المهارات:

- ينجز التجربة ويسجّل الملاحظات والقياسات والتقديرات.
- يناقش الملاحظات التجريبية والبيانات ويقيّمها.

يوضّح هذا النشاط العملي نمط التدرُّج في النشاط الكيميائي للهالوجينات باستخدام تفاعُلات الإزاحة.

المواد والأدوات والأجهزة

- ماصّة بلاستيكية (عدد 3)
- أنبوبة اختبار (عدد 3) مع سدّادة
- حامل أنابيب اختبار
- ماء الكلور
- ماء البروم
- ماء اليود
- محلول كلوريد البوتاسيوم (5 mL)
- محلول بروميد البوتاسيوم (5 mL)
- محلول يوديد البوتاسيوم (5 mL)

⚠
- **ضع النظّارة الواقية لحماية عينَيك.**
- **ارتدِ معطف المُختبَر.**
- **البس القُفّازَين الواقيَين أثناء إجراء هذه التجربة عند الضرورة.**
- **توخَّ الحيطة والحذر عند التعامُل مع السوائل حول الأجهزة الكهربائية، وتجنب إحداث أي انسكابات بالقرب منها.**
- **نفّذ التجربة في منطقة جيدة التهوئة.**
- **نظّف أي انسكابات باستخدام الماء.**
- **أعد وضع سدادة زجاجة ماء الكلور أو ماء البروم في مكانها بعد الاستخدام.**
- **احتفظ بأنابيب الاختبار مغلقة بسدادات بعد إضافة المحاليل إليها.**
- **ماء الكلور، وماء البروم، ومحلول اليود مواد ضارة ومُهيّجة؛ لذا تجنّب ملامستها للجلد، أو استنشاق البخار واغسل أي انسكاب على الفور.**

الطريقة

١ باستخدام ماصّة بلاستيكية، أضف 2 mL من محلول كلوريد البوتاسيوم إلى ثلاث أنابيب اختبار موضوعة على حامل أنابيب الاختبار.

نشاط ٥-١

٢ باستخدام ماصّة بلاستيكية جديدة في كل مرّة، أضف قطرتَين من:

- ماء الكلور إلى أنبوبة الاختبار الأوّل.
- ماء البروم إلى أنبوبة الاختبار الثاني.
- محلول اليود إلى أنبوبة الاختبار الثالث.

لاحظ وسجّل أي تغيّرات في ألوان المحاليل على نسخة مشابهة لجدول النتائج المُبيّن أدناه.

محلول هاليد البوتاسيوم	محلول الهالوجين		
	ماء الكلور	ماء البروم	محلول اليود
محلول كلوريد البوتاسيوم			
محلول بروميد البوتاسيوم			
محلول يوديد البوتاسيوم			

٣ كرّر الخطوتَين ١ و ٢ باستخدام محلول بروميد البوتاسيوم عوضًا عن محلول كلوريد البوتاسيوم.

٤ كرّر الخطوتَين ١ و ٢ باستخدام محلول يوديد البوتاسيوم عوضًا عن محلول كلوريد البوتاسيوم.

أسئلة

١ رتّب الهالوجينات الثلاثة وفقًا لنشاطها الكيميائي، موضّحًا ما يؤكّد هذا الترتيب من النتائج التي حصلت عليها.

٢ ما دليلك على حدوث التفاعل من عدمه؟

٣ اكتب المعادلة الكيميائية الرمزية الموزونة لكل تفاعُل كيميائي حدث في هذه التجربة.

أسئلة

٤-٥ ما نمط التدرُّج في لون الهالوجين كلّما اتّجهنا إلى الأسفل في مجموعته؟

٥-٥ أيّ هالوجين يكون سائلًا عند درجة حرارة الغرفة والضغط القياسي؟

٦-٥ ما الصيغة الكيميائية لجُزيئات الكلور؟

٧-٥ أيّ الهالوجينات سوف تزيح البروم من محلول بروميد البوتاسيوم؟

٨-٥ أيّ الهالوجينات يمكن لليود أن يزيحها من محلول يحتوي على أيونات هاليد؟

٩-٥ أيّ هالوجين لا يمكن للكلور أن يزيحه من محلول يحتوي على أيونات هاليد؟

١٠-٥ اكتب المعادلة الكيميائية الموزونة لتفاعُل الكلور مع محلول يوديد البوتاسيوم.

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- توقع أنماط التدرُّج في الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمجموعة من العناصر.
- المجموعة VII من الجدول الدوري معروفة باسم الهالوجينات، وتوجد عناصرها كجُزيئات لافلزّية ثنائية الذرّات.
- التعرف على ألوان الهالوجينات الآتية: الكلور، والبروم، واليود، وحالاتها الفيزيائية عند درجة حرارة الغرفة والضغط القياسي.
- تحديد ترتيب النشاط الكيميائي للهالوجينات الآتية: الكلور، والبروم، واليود بوساطة تفاعلات الإزاحة مع محاليل الهاليدات.

أسئلة نهاية الوحدة

١ أ. يُعدّ الفرانسيوم فلزًّا قلويًّا، وهو آخر عنصر في المجموعة I من الجدول الدوري. لكنه لم يُدرس على نحو جيد لأنه شديد النشاط الإشعاعي.

توقّع مظهره، ونشاطه الكيميائي مقارنة ببقية عناصر المجموعة I.

ب. يبيّن الجدول أدناه بعض خصائص عناصر المجموعة VIII.

عناصر المجموعة VIII	درجة الغليان (°C)	الكثافة g/mL عند درجة حرارة الغرفة °C والضغط 1atm
الهيليوم He	-269	0.000164
النيون Ne	-246	0.000825
الأرغون Ar	-186	
الكريبتون Kr	-153	0.003423

١. ما نمط التدرُّج الملاحظ في درجات الغليان كلّما اتّجهنا إلى الأسفل في المجموعة VIII؟

٢. توقّع كثافة عنصر الأرغون.

٣. يقع عنصر الزينون أسفل عنصر الكربتون في المجموعة VIII؛ تنبأ **بخاصيتين** لعنصر الزينون مستعينًا بالجدول أعلاه.

ج. كانت المحاولة الأولى لترتيب العناصر في الجدول الدوري قد تمّت وفقًا لازدياد الكتل الذرّية. وقد وضع هذا الترتيب البوتاسيوم في المجموعة VIII، والأرغون في المجموعة I.

فسّر عدم صحّة وضع هذَين العنصرَين في هاتَين المجموعتَين.

٢ أ. ما الاسم الشائع لعناصر المجموعة VII؟

ب. توجد عناصر المجموعة VII على هيئة جُزيئات ثُنائية الذرّات.

١. ماذا يعني ذلك؟

٢. اكتب الصيغة الكيميائية لجُزيء البروم.

ج. يبيّن الجدول أدناه الحالة الفيزيائية لبعض عناصر المجموعة VII.

عناصر المجموعة VII	الحالة الفيزيائية عند درجة حرارة الغرفة
الكلور	غاز لونه أخضر فاتح
البروم	
اليود	صلب لونه رمادي

١. مستعينًا بالجدول أعلاه، استنتج الحالة الفيزيائية للبروم عند درجة حرارة الغرفة.

٢. يقع عنصر الفلور فوق عنصر الكلور في المجموعة VII.

ماذا تتوقّع أن يكون لون الفلور؟

أ. أزرق ب. أبيض ج. أصفر د. عديم اللون

٣. يقع الأستاتين بعد اليود في المجموعة VII.

ماذا تتوقّع أن تكون الحالة الفيزيائية للأستاتين عند درجة حرارة الغرفة؟

أ. غازيّة ب. صلبة ج. سائلة د. بلازمية

٤. يبيّن الجدول أدناه درجات غليان ثلاثة عناصر من المجموعة VII.

عناصر المجموعة VII	درجة الغليان (°C)
الكلور	-35
البروم	59
اليود	184

توقّع درجة غليان الأستاتين الذي يقع بعد اليود في المجموعة VII.

د. يُعدّ الكلور عنصرًا نشطًا كيميائيًا، وهو يتفاعل مع أنواع مختلفة من العناصر والمُركّبات.

كلوريد الهيدروجين ⟶ كلور + هيدروجين

كلوريد الصوديوم ⟶ كلور + صوديوم

يود + كلوريد الصوديوم ⟶ يوديد الصوديوم + كلور

يُتوقّع أن يسلك التينيساين (Ts) المكتشف حديثًا سلوك الكلور.

١. اكتب المعادلة اللفظية لتفاعُل الهيدروجين مع التينيساين.

٢. اكتب المعادلة الكيميائية الموزونة لتفاعُل الصوديوم مع التينيساين.

٣. أيّ العنصرَين سيكون أكثر نشاطًا كيميائيًا: الكلور أم التينيساين؟

اكتب المعادلة اللفظية لتفاعُل الإزاحة الذي يمكن أن يوضّح أيّ هذَين العنصرين هو الأكثر نشاطًا كيميائيًا.

٣ الكلور، والبروم، واليود عناصر تقع في المجموعة VII من الجدول الدوري. يخطّط أحد الطلبة لاستقصاء ترتيب هذه العناصر الثلاثة من المجموعة VII وفقًا لنشاطها الكيميائي، عبر تنفيذ تجارب تتضمّن تفاعُلات الإزاحة.

علمًا أن الطالب يستطيع الحصول على محاليل البروم، والكلور، واليود، ويتوفر لديه محاليل المُركّبات الآتية: بروميد الصوديوم، وكلوريد الصوديوم، ويوديد الصوديوم.

اشرح ما سوف يقوم به الطالب لتحقيق استقصائه، على أن يتضمّن شرحك ما يأتي:

- خطوات التجارب التي سينفذها.
- جدول نتائج يشتمل على الملاحظات.
- شرح الآليّة التي توضّح نتائج ترتيب النشاط الكيميائي لهذه العناصر.
- معادلة أيونية تُظهر تفاعُل إزاحة كل هالوجين تتمّ ملاحظته.



الوحدة السادسة

الكيمياء الكهربائية
Electrochemistry

تُغطّي هذه الوحدة:

- تعريف الأكسدة والاختزال.
- العوامل المؤكسِدة، والعوامل المختزِلة.
- طريقة كتابة أنصاف–المعادلات الأيونية.
- التحليل الكهربائي، والأنواع المختلفة من الإلكتروليتات Electrolytes.
- مكوّنات الخلية الإلكتروليتية (خلية التحليل الكهربائي).
- كيفية توقُّع المواد الناتجة من التحليل الكهربائي.
- تدوين الملاحظات العملية عند أقطاب الخلية.
- طريقة إنتاج الألومنيوم من خام البوكسيت.
- نواتج التحليل الكهربائي لمحلول كلوريد الصوديوم المركز NaCl.
- تنقية النحاس، وعملية الطلاء الكهربائي.

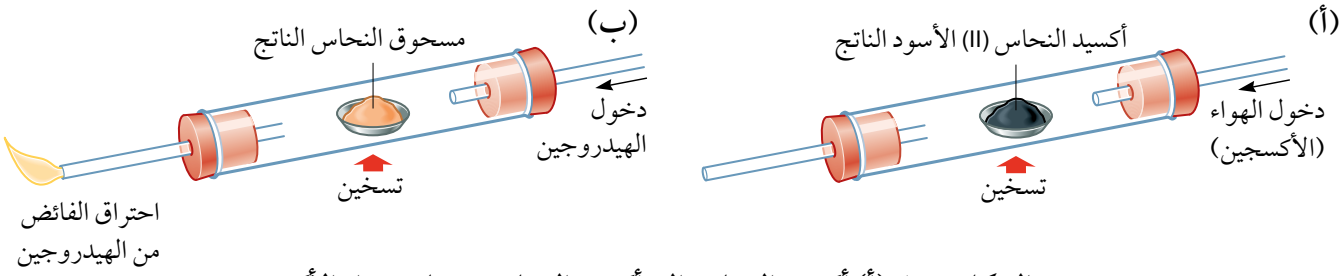
٦-١ تفاعُلات الأكسدة والاختزال

الأكسدة والاختزال

درست سابقًا تفاعُلات تتضمّن إضافة الأكسجين، منها تفاعُل احتراق المركبات الهيدروكربونية في أكسجين الهواء لإنتاج CO_2 و H_2O وطاقة حرارية؛ حيث **تتأكسد Oxidise** المادة المتفاعِلة، بإضافة الأكسجين إليها وتتكوّن الأكاسيد. وهناك تفاعُلات تتضمّن نزع الأكسجين من المادة؛ مثل ما يحدث في الفرن العالي، حيث يزيل التفاعُل الرئيسي الأكسجين من أكسيد الحديد (III) لإنتاج الحديد.

وفي الأغلب، لا تُنتج التفاعُلات مع الأكسجين كمية كبيرة من الطاقة؛ فعند تمرير الهواء فوق نحاس ساخن مثلًا، يصبح سطحه مغطًّى بطبقة من أكسيد النحاس (II) ذي اللون الأسود.

وهذا التفاعل لا ينتج لهبًا، ولا يكون طاردًا للحرارة بشدّة. لكنه مع ذلك يُعدّ تفاعُل **أكسدة Oxidation** (الشكل ٦-١ أ).



الشكل ٦-١ (أ) أكسدة النحاس إلى أكسيد النحاس (II) باستخدام الأكسجين
(ب) اختزال أكسيد النحاس (II) إلى نحاس باستخدام الهيدروجين

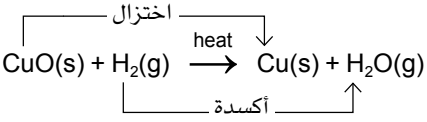
أكسيد النحاس (II) + أكسجين $\xrightarrow{\text{حرارة}}$ نحاس

$2Cu(s) + O_2(g) \xrightarrow{heat} 2CuO(s)$

ويمكن عكس هذه العملية ليعاد تكوين سطح النحاس، بتمرير غاز الهيدروجين فوق المادة التي تم تسخينها. فتتحول الطبقة السوداء التي تغطي السطح إلى اللون البني المحمر عند حدوث التفاعُل (الشكل ٦-١ ب):

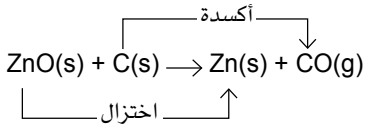
ماء + نحاس $\xrightarrow{\text{حرارة}}$ هيدروجين + أكسيد النحاس (II)

خلال هذا التفاعُل، يفقد أكسيد النحاس (II) الأكسجين؛ أي يخضع أكسيد النحاس (II) (CuO) إلى عملية **اختزال Reduction** وهي فقد الأكسجين، فيكون **مختزَلًا Reduced**؛ أي يصبح نحاسًا (Cu)، أما الهيدروجين (H_2) فيكسب الأكسجين مكونًا الماء (H_2O)، فيكون **مؤكسَدًا Oxidised** كما يظهر في المعادلة الكيميائية الآتية:



تعتبر الأكسدة والاختزال عمليتين متلازمتين تحدثان معًا في التفاعل نفسه، وينطبق ذلك على مجموعة واسعة من التفاعُلات. انظر التفاعُل الآتي:

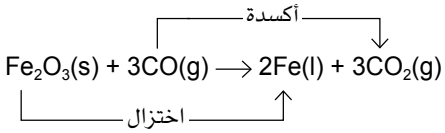
كربون + أكسيد الخارصين $\longrightarrow$ أحادي أكسيد الكربون + خارصين



في هذا المثال، ينزع الكربون الأكسجين من أكسيد الخارصين. فيكون الكربون مثالًا على **عامل مختزِل Reducing agent**.

وتحدث العمليتان معًا في هذا التفاعُل أيضًا. وبما أن الاختزال لا يحدث أبدًا من دون الأكسدة، فمن الأفضل تسمية هذه التفاعُلات تفاعُلات **أكسدة-اختزال Redox reactions**.

تُعدّ العوامل المختزِلة مهمّة جدًّا في الصناعة، لأنها توفر طريقة لاستخلاص الفلزّات من خام أكاسيد الفلزّات الموجودة في القشرة الأرضية. ويعدّ الفرن العالي كما درسته سابقًا (الوحدة الثانية) مثالًا جيدًا على ذلك، حيث يُستخدم الكربون الموجود في شكل أحادي أكسيد الكربون (CO) لاستخلاص الحديد من الهيماتيت (Fe_2O_3). كما في المعادلة الآتية:



ففي هذا التفاعُل، يمكننا تحديد أحادي أكسيد الكربون كعامل مختزِل، لكونه المادة التي كسبت الأكسجين وتأكسدت.

وتمتلك بعض المواد القدرة على إعطاء الأكسجين لمواد أخرى، لذلك تُعرف باسم **عوامل مؤكسِدة Oxidising agents**. ومن العوامل المؤكسِدة الشائعة: الأكسجين (O_2) وفوق أكسيد الهيدروجين (بيروكسيد الهيدروجين) (H_2O_2)

والعوامل المؤكسِدة القوية مثل برمنجنات البوتاسيوم ($KMnO_4$) وثنائي كرومات البوتاسيوم (دايكرومات البوتاسيوم) ($K_2Cr_2O_7$). ودائمًا يتم في هذه العملية اختزال العوامل المؤكسِدة.

- إذا كسبت مادة الأكسجين خلال تفاعُل ما، تصبح **مادة مؤكسَدة**، وتُعرف أيضًا بالعامل المختزل.
- إذا فقدت مادة الأكسجين خلال تفاعُل ما، تصبح **مادة مختزَلة**، وتُعرف أيضًا بالعامل المؤكسد.

تذكَّر

عندما تسلك مادة ما كعامل مختزِل، فإنها تتأكسد خلال العملية؛ فالعامل المختزِل سوف يكسب الأكسجين الذي نزعه من المُركّب الآخر. والعكس صحيح بخصوص العامل المؤكسِد؛ فالعوامل المؤكسِدة تُختزل دائمًا لأنها تعطي الأكسجين الذي كانت تمتلكه إلى المادة المتفاعلة الأخرى في التفاعُل.

انتقال الإلكترون في تفاعُلات الأكسدة-اختزال

توسّعت أفكار الكيميائيين حول تفاعُلات الأكسدة والاختزال، فتمّت دراسة مجموعة واسعة من التفاعُلات.

فإذا نظرنا مرّة أخرى إلى التفاعُل بين النحاس والأكسجين:

أكسيد النحاس (II) $\xrightarrow{\text{حرارة}}$ أكسجين + نحاس

$2CuO(s) \xrightarrow{heat} O_2(g) + 2Cu(s)$

فسنجد أن النحاس قد تأكسد، ولكن ما الذي تم اختزاله؟ فلننظر إلى ما حدث بين النحاس والأكسجين لتكوين أكسيد النحاس (II):

$$2Cu + O_2 \longrightarrow 2(Cu^{2+} + O^{2-})$$

- تحوّلت كل ذرّة نحاس يحتوي عليها الفلزّ إلى أيون نحاس (Cu^{2+}) في أكسيد النحاس (II).

$$Cu \longrightarrow Cu^{2+} + 2e^-$$

- تحولت كل ذرة أكسجين يحتوي عليها الغاز، إلى أيون أكسيد (O^{2-}) في أكسيد النحاس (II) ذي اللون الأسود.

$$O + 2e^- \longrightarrow O^{2-}$$

فقدت ذرّة النحاس التي تأكسدت إلكترونين في هذه العملية. وفي المقابل كسبت كل ذرة أكسجين هذين الإلكترونين.

الآن، يمكننا طرح تعريف جديد أوسع للأكسدة والاختزال:

- **الأكسدة**: عملية يتم فيها **فقد إلكترونات**.
- **الاختزال**: عملية يتم فيها **اكتساب إلكترونات**.

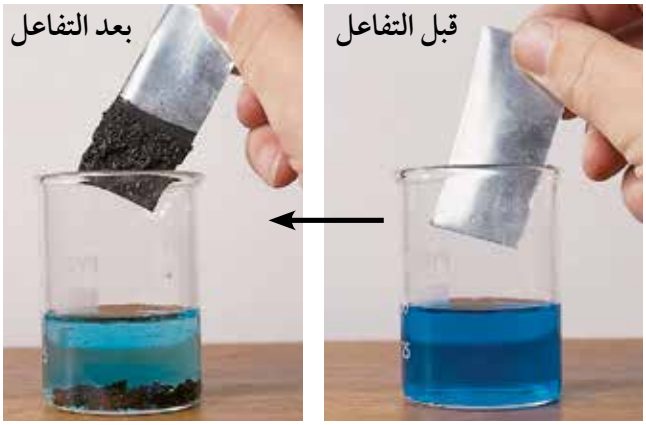
يضيف هذا التعريف الجديد لتفاعُلات الأكسدة-اختزال عددًا كبيرًا من التفاعُلات التي يمكن إدراجها ضمن تفاعلات الأكسدة والاختزال؛ فعلى سبيل المثال، تندرج تفاعُلات الإزاحة التي لا يحدث فيها انتقال للأكسجين ضمن تفاعُلات الأكسدة-اختزال. مثال على ذلك إزاحة النحاس من محلول كبريتات النحاس (II) بوساطة الخارصين (الصورة ٦-١)، وفقًا للمعادلة الآتية:

$$Zn(s) + CuSO_4(aq) \longrightarrow ZnSO_4(aq) + Cu(s)$$

ولتحديد هذا التفاعُل كعملية أكسدة-اختزال، يكون من الأفضل كتابة المعادلة الأيونية على النحو الآتي:

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

يمكننا الآن ملاحظة الأيونات الداخلة في التفاعُل، ويجب أن يكون هنالك انتقال للإلكترونات بين عنصرَي الخارصين والنحاس.



الصورة ٦-١ تفاعُلات الإزاحة: يزيح الخارصين النحاس من محلول كبريتات النحاس (II)، ويتلاشى لون المحلول لأن النحاس يتكوّن على سطح الخارصين.

ويمكننا إظهار عمليتَي الأكسدة والاختزال اللتين يتضمّنهما التفاعُل **كنصفَي-معادلة أيونيّة ionic half-equations** منفصلتَين. وهي معادلات أيونية توضّح عمليتَي فقد الإلكترونات أو اكتسابها. ويمكننا استخدام الرمز e^- لتمثيل الإلكترون في نصف-المعادلة، وسوف يُركّز كل نصف-معادلة أيونية على عنصر واحد مؤكسَدأو مختزَل.

يمكننا البدء بكتابة نصف-المعادلة الأيونية لتوضيح تحوُّل ذرّة الخارصين إلى أيون خارصين موجب:

$$Zn(s) \longrightarrow Zn^{2+}(aq)$$

نحن نعرف أنّ تحوُّل الخارصين إلى أيون يحمل شحنة مقدارها +2، يتطلّب أن يفقد إلكترونَين. لذلك نكتب $2e^-$ في طرف المعادلة الأيمن لإكمال المعادلة (تفقد ذرّة الخارصين إلكترونَين):

$$Zn(s) \longrightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^-$$

يوضّح نصف-المعادلة هذا أكسدة الخارصين، ذلك أنه فقد إلكترونين.

يمكننا الآن كتابة نصف-المعادلة الأيونية لتوضيح تحوُّل أيون النحاس إلى ذرّة نحاس:

$$Cu^{2+}(aq) \longrightarrow Cu(s)$$

في هذه الحالة، نعرف أنّ أيون Cu^{2+} يحتاج إلى كسب إلكترونَين ليتحوّل إلى ذرّة متعادلة. لذلك، نكتب $2e^-$ في طرف المعادلة الأيسر لإكمال المعادلة على النحو الآتي:

$$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Cu(s)$$

يوضّح نصف-المعادلة هذا اختزال أيون النحاس (II) الذي كسب إلكترونين.

تم التثبُّت من أن هذا التفاعُل هو تفاعُل أكسدة-اختزال، لأنّ هناك عناصر فقدت إلكترونات خلال التفاعُل وعناصر كسبت إلكترونات في الوقت نفسه. وعند جمع نصفَي-المعادلة معًا، تُلغي الإلكترونات بعضها بعضًا في طرفَي المعادلة، ونحصل على المعادلة الأيونية الكلّية لعملية الأكسدة-اختزال.

$$Zn(s) + Cu^{2+}(aq) + \cancel{2e^-} \longrightarrow Zn^{2+}(aq) + \cancel{2e^-} + Cu(s)$$

اختزال

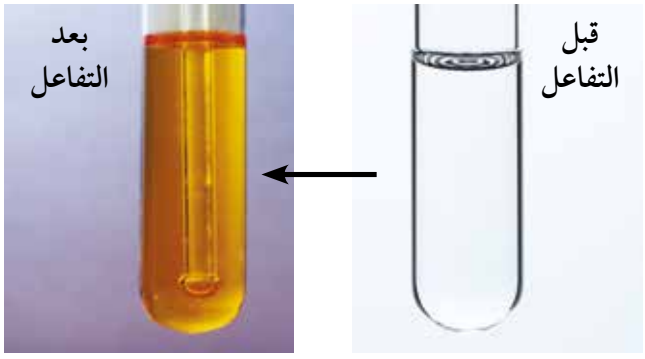
$$Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \longrightarrow Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$$

أكسدة

مثال آخر مختلف على تفاعُل الأكسدة-اختزال لا يتضمّن الأكسجين، هو تفاعُل إزاحة اليود من يوديد البوتاسيوم، (الصورة ٦-٢)، كما في المعادلتين؛ الكيميائية والأيونية الآتيتين:

$$Cl_2(aq) + 2KI(aq) \longrightarrow 2KCl(aq) + I_2(aq)$$

$$Cl_2(aq) + 2I^-(aq) \longrightarrow 2Cl^-(aq) + I_2(aq)$$



الصورة ٦-٢ تفاعلات الإزاحة: يزيح الكلور اليود من محلول يوديد البوتاسيوم، ويتغيّر لون المحلول من عديم اللون إلى بنّي مصفرّ بسبب تكوّن اليود

ويمكن استخلاص نصفَي-المعادلة من المعادلة الأيونية الكاملة.

يمكننا البدء بكتابة نصف-المعادلة الأيونية لتوضيح تحوُّل جُزيء الكلور إلى أيون كلوريد سالب:

$$Cl_2(aq) \longrightarrow 2Cl^-(aq)$$

نحن نعرف أنّ تحوُّل جُزيء الكلور إلى أيون كلوريد يحمل شحنة مقدارها -1، يتطلّب أن تكسب ذرّة الكلور إلكترونًا واحدًا. وبما أنه نتج أيونَي Cl^- من جُزيء Cl_2 ثنائي الذرّات، نكتب $2e^-$ في طرف المعادلة الأيسر لموازنتها.

$$Cl_2(aq) + 2e^- \longrightarrow 2Cl^-(aq)$$

يوضّح نصف-المعادلة هذا اختزال جزيء الكلور، لأنه كسب إلكترونات.

يمكننا الآن كتابة نصف-المعادلة الأيونية لتوضيح تحوُّل أيون اليوديد إلى جُزيء يود:

$$2I^-(aq) \longrightarrow I_2(aq)$$

في هذه الحالة، نعرف أن أيون I^- يحتاج إلى فقد إلكترون واحد ليتحوّل إلى ذرّة متعادلة. وبما أننا نكوّن جُزيء يود ثنائي الذرّات I_2، نكتب $2e^-$ في طرف المعادلة الأيمن لموازنتها كهربائيًّا.

$$2I^-(aq) \longrightarrow I_2(aq) + 2e^-$$

يوضّح نصف-المعادلة هذا أكسدة أيونات اليوديد، لأنها فقدت إلكترونات.

يمكننا جمع نصفَي-المعادلة معًا للحصول على المعادلة الأيونية الكلية لتفاعُل الأكسدة-اختزال الكامل.

$$Cl_2(aq) + \cancel{2e^-} + 2I^-(aq) \longrightarrow 2Cl^-(aq) + I_2(aq) + \cancel{2e^-}$$

أكسدة

$$Cl_2(aq) + 2I^-(aq) \longrightarrow 2Cl^-(aq) + I_2(aq)$$

اختزال

يعدّ الكلور أحد أفضل العناصر لنزع الإلكترونات من العناصر الأخرى. وبسبب قدرته على نزع الإلكترونات، يُصنَّف الكلور كعامل مؤكسِد جيد. من جهة أخرى، غالبًا ما تفقد أيونات اليوديد إلكتروناتها وتمنحها لعناصر أخرى. لذا تعدّ أيوناته مثالًا على عامل مختزِل جيد.

مصطلحات علمية

- **الاختزال Reduction:** عملية نزع أو فقد أكسجين من مادة ما أو كسبها للإلكترونات.
- **العامل المُختزِل Reducing agent:** مادة تنزع الأكسجين من مادة أخرى أو تفقد إلكترونات.
- **الأكسدة Oxidation:** عملية كسب أو إضافة أكسجين إلى مادة ما أو فقدها للإلكترونات.
- **العامل المؤكسِد Oxidising agent:** مادة تمنح الأكسجين إلى مادة أخرى أو تكتسب إلكترونات.
- **مادة مؤكسَدة Oxidised substance:** مادة تكسب الأكسجين أو تفقد إلكترونات خلال تفاعُل ما.
- **مادة مختزَلة Reduced substance:** مادة تفقد الأكسجين أو تكسب إلكترونات خلال تفاعُل ما.

أسئلة

١-٦ أكمل الجمل الآتية بالكلمات المناسبة.

الاختزال هو عملية ..... إلكترونات، و..... هي عملية فقد إلكترونات.

خلال تفاعُل الأكسدة-اختزال، ..... العامل المؤكسِد إلكترونات؛ فتحدث له عملية ..... خلال التفاعُل.

٢-٦ من خلال دراستك للمعادلات الآتية، أجب عمّا يليها:

أ. $2CuO(s) + C(s) \longrightarrow 2Cu(s) + CO_2(g)$

ب. $Fe_2O_3(s) + 3CO(g) \longrightarrow 2Fe(l) + 3CO_2(g)$

ج. $H_2SO_4(aq) + MgO(s) \longrightarrow MgSO_4(aq) + H_2O(l)$

د. $Cl_2(aq) + 2NaBr(aq) \longrightarrow 2NaCl(aq) + Br_2(aq)$

هـ. $Cu(s) + 2AgNO_3(aq) \longrightarrow Cu(NO_3)_2(aq) + 2Ag(s)$

أكمل الجدول الآتي بِـ (نعم أو لا) مبيِّنًا المعادلات التي توضّح حدوث تفاعُلات أكسدة-اختزال.

المعادلة	أ	ب	ج	د	هـ
تفاعل أكسدة-اختزال					

٣-٦ **أ.** حدّد ما إذا كانت المادة المتفاعلة التي تحتها خط في المعادلات الآتية تتأكسد أم تُختزل.

١. $Mg(s) + \underline{ZnO}(s) \longrightarrow MgO(s) + Zn(s)$

٢. $\underline{2CO}(g) + O_2(g) \longrightarrow 2CO_2(g)$

٣. $\underline{Fe}(s) + Cu^{2+}(aq) \longrightarrow Fe^{2+}(aq) + Cu(s)$

٤. $\underline{Br_2}(aq) + 2I^-(aq) \longrightarrow 2Br^-(aq) + I_2(aq)$

ب. أكمل الجدول الآتي مبيِّنًا صيغ العوامل المؤكسِدة والمختزِلة في المعادلات الواردة أعلاه في الجزئية أ.

المعادلة	العامل المؤكسِد	العامل المختزِل
١. أ		
٢. أ		
٣. أ		
٤. أ		

٤-٦ **أ.** انقل أنصاف-المعادلة الأيونية الآتية، ووازنها بإضافة الإلكترونات مستخدمًا العدد المناسب من الرمز e^-.

١. $Ag \longrightarrow Ag$ ٤. $Al \longrightarrow Al^{3+}$

٢. $Cu^{2+} \longrightarrow Cu$ ٥. $O_2 \longrightarrow 2O^{2-}$

٣. $Cl_2 \longrightarrow 2Cl^-$

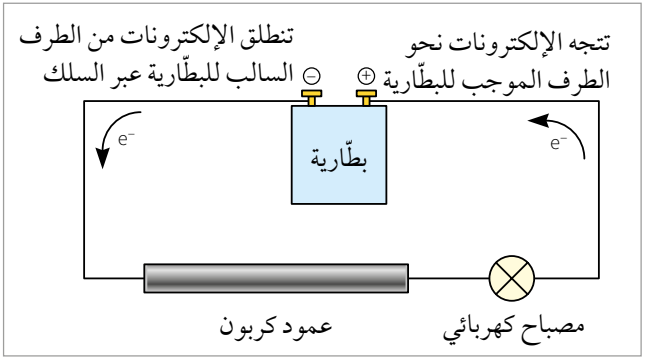
ب. صنِّف أنصاف-المعادلة الموجودة في الجزئية أ إلى عمليات أكسدة أو اختزال.

٦-٢ التحليل الكهربائي

التوصيل الكهربائي في المواد الصلبة: الموصّلات والعوازل

تعدّ القدرة على توصيل الكهرباء الفرق البسيط الرئيسي بين الفلزّات واللافلزّات. ولكي توصّل مادة صلبة الكهرباء، يجب أن تمتلك تركيبًا بنائيًا يحتوي على إلكترونات حرة قابلة للتدفُّق عبر هذه المادة. لذا تكون المواد الصلبة التساهمية اللافلزّية غير موصّلة للكهرباء، وسواء كانت تمتلك تراكيب جُزيئية ضخمة أو بسيطة، فهي لا تحتوي على إلكترونات حرّة الحركة (مع استثناء واحد هو الكربون في شكل جرافيت). تُصنّف هذه المواد التي لا توصّل الكهرباء بأنها **غير موصّلة Non-conductors**، أو **عازلة Insulators**. في حين توصّل الفلزات والجرافيت الكهرباء، لأنّها تمتلك إلكترونات حرّة الحركة في تركيبها البنائي، وهي تصنف **كموصّلات Conductors** كهربائية.

يبيّن الشكل (٦-٢) دائرة كهربائية بسيطة يمكن استخدامها لاختبار التوصيل الكهربائي.



الشكل ٦-٢ دائرة كهربائية: اختبار مادة صلبة لمعرفة ما إذا كانت موصّلة للكهرباء عن طريق إضاءتها لمصباح كهربائي

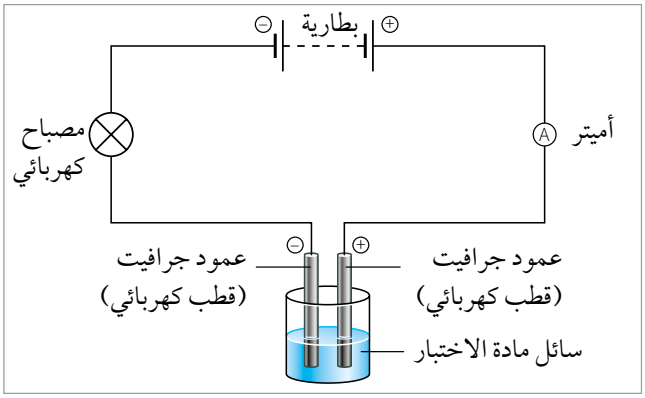
الجدير بالذكر أنه لا يحدث أي تغيُّر (تفاعُل) كيميائي عندما يمر التيار الكهربائي عبر الفلزّ أو الجرافيت. وبالرغم من أنّ سلكًا من النحاس (أو أي فلز آخر) موجود في الدائرة الكهربائية، قد يصبح ساخنًا أثناء تمرير التيار الكهربائي، فإنّه يبقى دون تغيير عند قطع التيار الكهربائي.

مصطلحات علمية

- **الموصّل الكهربائي Electrical conductor**: مادة توصّل الكهرباء، ولكنها لا تتغيّر كيميائيًا خلال العملية.
- **العازل الكهربائي Electrical insulator**: مادة لا توصّل الكهرباء.

التوصيل الكهربائي في المواد السائلة: الإلكتروليتات واللاإلكتروليتات

يمكن اختبار التوصيل الكهربائي للمواد السائلة بطريقة مشابهة لاختبار المواد الصلبة، لكن يجب أن تُغيّر قليلًا الدائرة الكهربائية البسيطة المستخدمة (الشكل ٦-٣). فبدلًا من التوصيل بالمادة الصلبة لاختبارها في الدائرة، يتم غمس عمودَي جرافيت في كأس زجاجية تحتوي على المادة السائلة التي يراد اختبارها. وهذان العمودان ينقلان التيار الكهربائي داخل المحلول (أو السائل) وخارجه، ويطلق على كل منهما اسم **قطب كهربائي Electrode**. يمكن اختبار المُركّبات السائلة، والمحاليل، والمواد المصهورة جميعها بهذه الطريقة. وتوصّل الفلزّات المصهورة، والزئبق الذي يكون سائلًا عند درجة حرارة الغرفة الكهرباء، حيث إن الإلكترونات تبقى قادرة على الحركة عبر الفلزّ المصهور (السائل) لنقل الشحنة الكهربائية. وكما هي حال الفلزّات الصلبة، لا يحدث أي تغيُّر كيميائي في الفلزات السائلة عندما توصِّل الكهرباء.



الشكل ٦-٣ دائرة كهربائية لاختبار التوصيل الكهربائي للمواد السائلة

إذا تم اختبار المُركّبات السائلة أو المحاليل باستخدام الجهاز المبيّن في الشكل (٦-٣)، فسوف تعتمد النتائج على نوع الترابط الذي يؤمّن تماسك جُسيمات المُركّب معًا.

فإذا كانت الجُسيمات مترابطة تساهميًا، فلن يوصّل المُركّب الكهرباء، سواء كان على هيئة مادة سائلة أو محلولًا. ومن الأمثلة على هذه المواد السائلة الإيثانول، والنفط، والماء النقي، ومحلول السكر (الجدول ٦-١). أما المُركّبات الأيونية فسوف توصّل الكهرباء سواء كانت مصهورة أو ذائبة في الماء (محلول مائي). ومن الأمثلة على ذلك مصهور بروميد الرصاص (II)، ومحلول ومصهور كلّ من: كلوريد الصوديوم، وكبريتات النحاس (II).

عندما توصّل هذه المواد السائلة الكهرباء، فإنها تقوم بذلك بطريقة مختلفة عن الفلزّات؛ ففي هذه الحالة، توصّل هذه المواد السائلة الكهرباء لأن أيوناتها تستطيع أن تتحرّك عبر المادة السائلة؛ ولكن عندما تكون المركبات الأيونية في حالة صلبة فإنها لن تكون موصلة للكهرباء لأن أيوناتها تكون ثابتة في مواقعها، ولا يمكنها التحرّك.

ويطلق على المواد السائلة التي توصّل الكهرباء عن طريق حركة الأيونات اسم **الإلكتروليتات Electrolytes**. أما المواد السائلة التي لا توصّل الكهرباء بهذه الطريقة فتسمى **اللاإلكتروليتات Non-electrolytes**. عندما توصّل الإلكتروليتات الكهرباء، يحدث تغيّر كيميائي، ويتحلّل المُركّب الأيوني؛ فعلى سبيل المثال، يتحلّل بروميد الرصاص (II) كهربائيًا إلى رصاص وبروم وفقًا للمعادلة الكيميائية الآتية:

بروم + رصاص ⟶ بروميد الرصاص (II)

ويسمّى هذا النوع من التغيُّر **التحليل الكهربائي Electrolysis**، وسيتم توضيحه بشكل مفصّل لاحقًا.

الإلكتروليتات	اللاإلكتروليتات
محلول حمض الكبريتيك	الماء المقطّر
مصهور بروميد الرصاص (II)	الإيثانول
محلول أو مصهور كلوريد الصوديوم	البارافين
محلول حمض الهيدروكلوريك	النفط
محلول أو مصهور كبريتات النحاس (II)	مصهور الكبريت
محلول أو مصهور هيدروكسيد الصوديوم	محلول السكّر

الجدول ٦-١ أمثلة على بعض الإلكتروليتات واللا إلكتروليتات

باختصار، تعد المواد الآتية إلكتروليتات:

- مصاهير الأملاح.
- محاليل الأملاح الذائبة في الماء.
- محاليل الأحماض.
- محاليل القلويات.

ويُطلَق على هذَين النوعَين المختلفَين من التوصيل الكهربائي: التوصيل الفلزّي، والتوصيل الإلكتروليتي. ويمكن اختصار الاختلافات بين هذَين النوعَين من التوصيل الكهربائي كما يلي:

التوصيل الفلزّي:

- تتحرّك الإلكترونات عبر الفلزّ.
- خاصّية تمتلكها الفلزّات.
- خاصّية يمتلكها الكربون (لافلز) على هيئة جرافيت.
- يحدث في المواد الصلبة والسائلة (الزئبق).
- لا يحدث خلاله أي تغيُّر كيميائي.

التوصيل الإلكتروليتي:

- تتحرّك الأيونات في المحلول أو مصهور المادة.
- خاصية تمتلكها المُركّبات الأيونية.
- يحدث في المواد السائلة /المصاهير والمحاليل.
- يحدث خلاله تغيُّر كيميائي (التحليل الكهربائي).

حركة الأيونات خلال التحليل الكهربائي

يُعرف الجهاز الذي تُجرى فيه عملية التحليل الكهربائي باسم **الخلية الإلكتروليتية Electrolytic cell**. ويتم توفير التيار الكهربائي المباشر بوساطة بطّارية أو أي مصدر طاقة. في العادة، تُختار أعمدة الجرافيت كأقطاب لأنها توصّل الكهرباء ولا تتفاعُل مع الإلكتروليت أو مع المواد الناتجة في الظروف العادية؛ لذا تُسمّى **أقطابًا خاملة Inert electrodes**. وعلى الرغم من إمكانية استخدام فلزّ ما كقطب، إلا أن معظم الفلزّات قد تتفاعل. ويعدّ البلاتين مثالًا آخر كفلزّ خامل موصّل أفضل من الجرافيت، ولكنه فلزّ ثمين جدًّا، لذا يعدّ الجرافيت خيارًا أقل تكلفة في معظم الخلايا الإلكتروليتية.

تتحرّك الإلكترونات من الطرف السالب للبطّارية عبر الدائرة الكهربائية لتعود إلى طرفها الموجب. ويُسمّى القطب الكهربائي الموصول بالطرف السالب للبطارية **الكاثود Cathode** (**المهبط**)، في حين يُسمّى القطب الكهربائي الموجب **الآنود Anode** (**المصعد**).

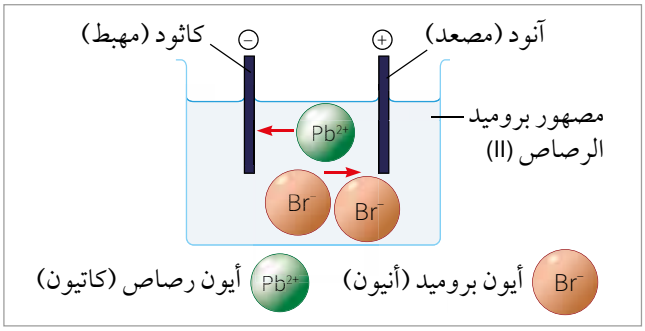
وتتحرّك الأيونات في الإلكتروليت لتنقل التيار الكهربائي. فتتحرّك الأيونات الموجبة دائمًا نحو الكاثود (المهبط)، لأن هذا القطب الكهربائي سالب؛ فتنجذب الأيونات الموجبة نحوه. تسمَّى هذه الأيونات الموجبة كاتيونات. ومن أمثلة الكاتيونات، الأيونات الفلزية الموجبة وأيونات H^+. وبشكل مشابه، سوف تتحرّك الأيونات السالبة دائمًا نحو الآنود (المصعد)، لأن هذا القطب موجب، وتُسمّى هذه الأيونات السالبة أنيونات. ومن أمثلة الأنيونات، الأيونات اللافلزّية السالبة، كأيونات الأكسيد، والهاليد، والهيدروكسيد.

مصطلحات علمية

- **التحليل الكهربائي Electrolysis**: التفاعُل الكيميائي الذي ينشأ عند مرور تيّار كهربائي عبر مُركّب أيوني مصهور أو ذائب في محلول مائي.
- **الإلكتروليت Electrolyte**: محلول أو مصهور يوصّل الكهرباء بوساطة حركة الأيونات.
- **القطب الكهربائي الخامل Inerte electrode**: مادة موصّلة تنقل الكهرباء، ولكنها لا تتفاعل مع الإلكتروليت والمواد الناتجة في الظروف العادية خلال التحليل الكهربائي.
- **الآنود (المصعد) Anode**: القطب الموجب في عملية التحليل الكهربائي، وتحدث عنده الأكسدة.
- **الكاثود (المهبط) Cathode**: القطب السالب في عملية التحليل الكهربائي، ويحدث عنده الاختزال.

التحليل الكهربائي لمصاهير المركبات الأيونية

يمكن استخدام خلية إلكتروليتية لتحليل مصاهير المُركّبات كهربائيًا. وتكون عملية التحليل الكهربائي للأملاح المصهورة أسهل عندما لا تكون درجة انصهار الملح مرتفعة جدًّا. ويجب توفير الحرارة للملح ليبقى منصهرًا؛ فإذا بدأ الملح يبرد ويتحوّل إلى الحالة الصلبة، عندها سيتوقّف عن توصيل الكهرباء، لأن الأيونات تفقد حرية الحركة. ويُسمّى المُركّب الأيوني الذي يتكوّن من عنصرَين مختلفَين **مُركّبًا ثنائيًّا Binary compound**. وعندما يتحلّل كهربائيًّا، فسوف يتفكّك إلى الأيونين اللذَين يتكوّن منهما: الفلزّ واللافلزّ؛ ومثال ذلك التحليل الكهربائي لمُركّب بروميد الرصاص (II)، كما في الشكل (٦-٤).



الشكل ٦-٤ حركة الأيونات خلال التحليل الكهربائي لمركب بروميد الرصاص (II)

يتفكّك مصهور مركب بروميد الرصاص (II) إلى فلزّ الرصاص المصهور الرمادي، ويتصاعد غاز البروم ذو اللون البني أثناء عملية التسخين.

$$PbBr_2(l) \longrightarrow \underset{\text{عند الكاثود}}{Pb(l)} + \underset{\text{عند الآنود}}{Br_2(g)}$$

وأثناء التحليل الكهربائي لمصهور بروميد الرصاص (II):

- تتحرك أيونات الرصاص الموجبة (Pb^{2+}) نحو الكاثود، حيث تتحرّر كذرّات رصاص.
- تتحرك أيونات البروميد السالبة (Br^-) نحو الآنود، حيث تتحرّر كجُزيئات بروم.

يوضّح الشكل (٦-٤) حركة هذه الأيونات.

ويمكن توضيح هاتَين العمليتَين في هيئة **نصفَي-معادلة أيونية Ionic half-equations**. عند الكاثود، تكسب أيونات الرصاص إلكترونات (e^-) لتتحوّل إلى ذرّات رصاص وفقًا لنصف-المعادلة الآتية:

$$Pb^{2+} + e^- \longrightarrow Pb$$

إلا أن الأيون الذي يحمل شحنة مقدارها 2+ يحتاج إلى اكتساب إلكترونَين اثنين ليتحوّل إلى ذرّة؛ لذا يجب

علينا موازنة نصف-المعادلة الأيونية على النحو الآتي:

$$Pb^{2+} + 2e^- \longrightarrow Pb$$

أيون رصاص (كاتيون) — إلكترونان يأتيان من القطب السالب — ذرّة رصاص (لا تحمل شحنة)

أما عند الآنود، فتفقد أيونات البروميد الإلكترونات لتكوين جُزيئات البروم وفقًا لنصف-المعادلة الآتية:

$$Br^- \longrightarrow Br_2 + e^-$$

يجب أن يفقد كل أيون بروميد إلكترونًا واحدًا ليتحوّل إلى ذرّة بروم. وتكوّن ذرّات البروم جُزيئات ثنائية الذرّات. ولهذا، يجب علينا موازنة نصف المعادلة الأيونية على النحو الآتي:

$$2Br^- \longrightarrow Br_2 + 2e^-$$

إلكترونان يتّجهان نحو القطب الموجب — جُزيء بروم واحد (لا يحمل شحنة) — أيونان من البروميد (أنيونان)

يوضّح الشكل (٦-٥) التحليل الكهربائي لمصهور كلوريد الخارصين. فعندما يُغلق المفتاح الكهربائي في الدائرة الكهربائية، يتدفّق التيار ويبدأ غاز الكلور (ذو اللون الأخضر الفاتح) بالتكوُّن في هيئة فقاعات عند الآنود. وبعد مدّة زمنية قصيرة، تبدأ كتلة من مصهور الخارصين بالظهور عند الكاثود.

وهكذا تكون الطاقة الكهربائية للخلية قد سبّبت تغيُّرًا كيميائيًا في المُركّب الذي يتفكّك إلى مكوّناته. تُفكك الخلية مصهور كلوريد الخارصين، لأن الأيونات الموجودة تتحرّك نحو الأقطاب المُتعاكسة، حيث تفقد شحنتها كما يوضّح الشكل (٦-٥). تتحرّك أيونات الكلوريد Cl^- نحو المصعد (الآنود). فيعطي كل أيون كلوريد إلكترونًا واحدًا ليتحوّل إلى ذرّة كلور وفقًا لنصف-المعادلة الآتية:

عند المصعد (الآنود) $\quad Cl^- \longrightarrow Cl + e^-$

ثم ترتبط ذرّتا كلور معًا لتكوين جُزيء كلور وفقًا للمعادلة الآتية:

$$Cl + Cl \longrightarrow Cl_2$$

ويمكن تلخيص هاتَين الخطوتَين في نصف-المعادلة الأيونية الآتية:

$$2Cl^- \longrightarrow Cl_2 + 2e^-$$

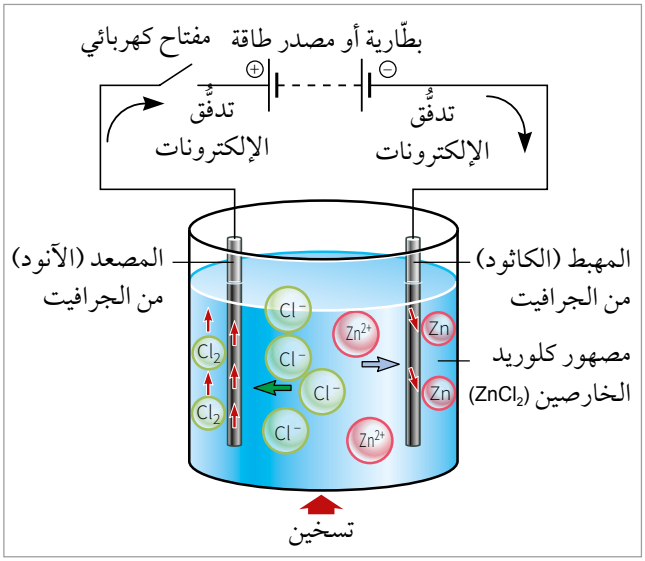
وتتحرّك أيونات الخارصين (Zn^{2+}) نحو المهبط (الكاثود). وهناك يكسب كل أيون إلكترونين، ويتحوّل إلى ذرّة خارصين وفقًا لنصف-المعادلة الآتية:

عند المهبط (الكاثود) $\quad Zn^{2+} + 2e^- \longrightarrow Zn$

أثناء التحليل الكهربائي، يستمر تدفُّق الإلكترونات عبر الدائرة الكهربائية؛ ففي مقابل كل إلكترونَين يأخذهما أيون الخارصين من المهبط (الكاثود)، يتوفّر إلكترونان على المصعد (الآنود) يأتيان من أيونات الكلوريد. لذا، وبشكل عام، تتدفّق الإلكترونات المنبعثة عند المصعد (الآنود) عبر الدائرة الكهربائية نحو المهبط (الكاثود). أثناء التحليل الكهربائي للأملاح المصهورة، تتحرّك أيونات الفلزّ التي تكون دائمًا موجبة نحو المهبط (الكاثود)، حيث تفقد شحنتها. أما أيونات اللافلزّ التي تكون عادة سالبة، فهي تتحرّك نحو المصعد (الآنود) حيث تفقد شحنتها أيضًا. (تمثل أيونات الهيدروجين الموجبة H^+ استثناءً بين اللافلزات؛ فهي تتحرك نحو المهبط (الكاثود) حيث تفقد شحنتها مكوّنة غاز الهيدروجين.)

عندما يتم تحليل مُركّب أيوني ثنائي كهربائيًا:

- يتكوّن الفلزّ على المهبط (الكاثود).
- يتكوّن اللافلزّ على المصعد (الآنود).



الشكل ٦-٥ حركة الأيونات خلال التحليل الكهربائي لمصهور كلوريد الخارصين

يبيّن الجدول (٦-٢) بعض الأمثلة الإضافية على هذا النوع من التحليل الكهربائي.

الإلكتروليت (الملح المصهور)	الملاحظات على المهبط (الكاثود)	المادة الناتجة	نصف-معادلة التفاعُل على المهبط (الكاثود)	الملاحظات على المصعد (الآنود)	المادة الناتجة	نصف-معادلة التفاعُل على المصعد (الآنود)
بروميد الرصاص (II)، $PbBr_2(l)$	تتكوّن كتلة فلزّية مصهورة ذات لون رمادي عند القطب	رصاص	$Pb^{2+}(l) + 2e^- \longrightarrow Pb(l)$	يتصاعد بخار بني حول القطب	البروم	$2Br^-(l) \longrightarrow Br_2(g) + 2e^-$
كلوريد الصوديوم، $NaCl(l)$	تتكوّن كتلة فلزّية مصهورة ذات لون رمادي عند القطب	صوديوم	$Na^+(l) + e^- \longrightarrow Na(l)$	يتصاعد غاز ذو لون أخضر عند القطب	كلور	$2Cl^-(l) \longrightarrow Cl_2(g) + 2e^-$
يوديد النحاس (II)، $CuI_2(l)$	طبقة فلزّية ذات لون بنّي محمر تغطّي القطب	نحاس	$Cu^{2+}(l) + 2e^- \longrightarrow Cu(l)$	يتصاعد بخار ذو لون بنفسجي حول القطب	يود	$2I^-(l) \longrightarrow I_2(g) + 2e^-$
أكسيد الألومنيوم، $Al_2O_3(l)$	تتكوّن كتلة فلزّية مصهورة ذات لون رمادي عند القطب	ألومنيوم	$Al^{3+}(l) + 3e^- \longrightarrow Al(l)$	يتصاعد غاز عديم اللون عند القطب	أكسجين	$2O^{2-}(l) \longrightarrow O_2(g) + 4e^-$

الجدول ٦-٢ أمثلة على التحليل الكهربائي لمصاهير بعض الأملاح

تذكَّر

- أنّ الإلكترونات تتحرّك عبر الدائرة الكهربائية عندما يوصّل الفلزّ الكهرباء. وعندما يوصّل مصهور ملح أو محلول ملحي الكهرباء، فإن الأيونات هي التي تتحرّك نحو القطبَين، ومن ثم تفقد شحناتها.
- المُركّب الأيوني الصلب لن يوصّل الكهرباء، لأن الأيونات تكون ثابتة في مواقعها داخل المادة الصلبة؛ ولا يمكنها أن تتحرّك. لذا يجب صهر الإلكتروليت أو إذابته في الماء لكي يوصّل الكهرباء.

نشاط ٦-١

التحليل الكهربائي لمصهور كلوريد الخارصين (إثرائي)

المهارات:

- يبيّن بطريقة عملية معرفته المتعلقة بكيفية الاستخدام الآمن للتقنيات والأجهزة والمواد (بما فيها اتبّاع سلسلة من التعليمات المناسبة).
- ينجز التجربة ويسجّل الملاحظات والقياسات والتقديرات.
- يناقش الملاحظات التجريبية والبيانات ويقيّمها.

يوضّح هذا النشاط العملي الذي ينفّذه المعلم التحليل الكهربائي لمصهور مركب ثنائي، واستقصاء المواد الناتجة.

التحليل الكهربائي للمحاليل: دور الماء

ينتج التحليل الكهربائي للمحاليل الأيونية أيضًا تغيُّرًا كيميائيًا؛ فعلى سبيل المثال، يُنتج التحليل الكهربائي لمحلول كلوريد النحاس (II) المائي فلزّ النحاس على المهبط (الكاثود)، وغاز الكلور على المصعد (الآنود)؛ هاتان المادتان تنتجان أيضًا عند إجراء تحليل كهربائي لمصهور كلوريد النحاس (II). لكن قد يختلف الحال في المواد الناتجة عن التحليل الكهربائي لمحلول الملح عن تلك الناتجة من التحليل الكهربائي لمصهور الملح؛ فعلى سبيل المثال، سيُفكّك التحليل الكهربائي مصهور كلوريد الصوديوم لينتج الكلور على المصعد (الآنود)، والصوديوم على المهبط (الكاثود).

أما التحليل الكهربائي لمحلول كلوريد الصوديوم المائي فيُنتج الكلور أيضًا على المصعد (الآنود)، ولكنه يُنتج الهيدروجين على المهبط (الكاثود) عوضًا عن الصوديوم، كما سنرى بشكل مفصّل لاحقًا في هذه الوحدة، وسبب ذلك أنّ الماء في المحلول المائي نفسه يُنتج أيونات.

سوف ندرس الآن بمزيد من التفصيل مثالَين على التحليل الكهربائي لمحاليل. سنكون في حاجة إلى التركيز على تأثير وجود الماء، وكذلك أيونات الفلزّ وأيونات اللافلزّ الذائبة.

فعلى الرغم من أن الماء مادة جُزيئية بسيطة، إلا أن جزءًا ضئيلًا من جُزيئاته يتفكّك إلى أيونات هيدروجين (H^+) وأيونات هيدروكسيد (OH^-) وفقًا للمعادلة الآتية:

$$H_2O(l) \rightleftharpoons H^+(aq) + OH^-(aq)$$

معظم جُزيئات الماء تكون غير متأيِّنة

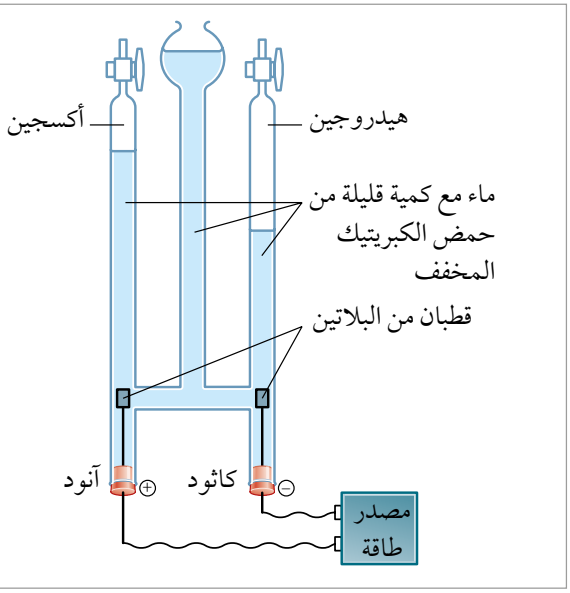
تنفصل جُزيئات قليلة جدًّا منه فقط إلى أيونات

لا يُنتج الماء النقي أيونات كافية لتوصيل الكهرباء بشكل جيد. ومع ذلك، فإنّ أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد أيضًا تكون في أثناء التحليل الكهربائي قادرة على الحركة نحو الأقطاب، فتُنافِس أيونات الحمض أو الملح على فقد (تفريغ) شحناتها عند الأقطاب. غير أن نوعًا واحدًا فقط من الأيونات يفقد شحنته عند كل قطب.

والماء النقي موصّل رديء جدًّا للكهرباء، إلا أنه يستطيع أن يتفكّك بشكل أفضل أثناء التحليل الكهربائي إذا أُضيفت إليه كمية قليلة من حمض الكبريتيك المخفّف. وهناك خلية إلكتروليتية مميّزة تُسمّى جهاز هوفمان، يمكن استخدامها لجمع الغازات الناتجة من عملية التحليل الكهربائي (الشكل ٦-٦).

وبعد مدة زمنية قصيرة من توصيل التيار الكهربائي بجهاز هوفمان، يمكن قياس حجم الغاز المتجمِّع في كل ذراع واختباره.

الغاز المتجمّع فوق المهبط (الكاثود) هو الهيدروجين. أما الأكسجين فيتجمّع على المصعد (الآنود). وتكون نسبة حجم الهيدروجين إلى حجم الأكسجين 2 : 1 تقريبًا، وهذا يطابق نسبة الهيدروجين إلى الأكسجين في الصيغة الكيميائية للماء H_2O. ويُعد ذلك دليلًا على أن الغازَين قد نتجا من تفكُّك الماء.



الشكل ٦-٦ جهاز هوفمان المُستخدم لتحليل الماء الذي يحتوي على كمية قليلة من حمض الكبريتيك

نشاط ٦-٢

التوصيل الكهربائي للمواد السائلة والمحاليل المائية

المهارات:

- يبيّن بطريقة عملية معرفته المتعلقة بكيفية الاستخدام الآمن للتقنيات والأجهزة والمواد (بما فيها اتبّاع سلسلة من التعليمات المناسبة).
- ينجز التجربة ويسجِّل الملاحظات والقياسات والتقديرات.
- يناقش الملاحظات التجريبية والبيانات ويقيّمها.

تختبر هذه التجربة عددًا من المواد السائلة والمحاليل من حيث التوصيل الكهربائي من عدمه. وهي تختبر أيضًا نوع المادة السائلة أو المحلول: هل هي إلكتروليت أم لاإلكتروليت؟

المواد والأدوات والأجهزة

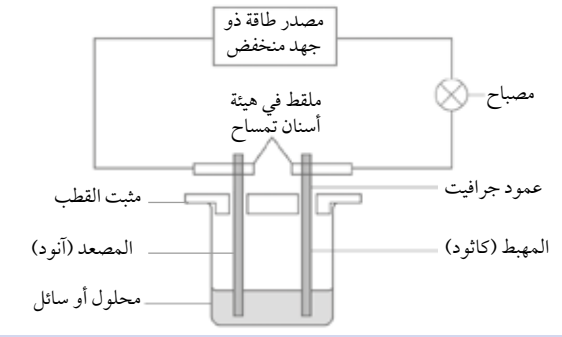
- كأس زجاجية (100 mL)
- عمود من الجرافيت عدد 2
- ملقط أسنان تمساح عدد 2
- حامل للأقطاب
- مصدر طاقة ذو جهد منخفض وأسلاك توصيل
- مصباح
- ماء مقطّر
- محلول كبريتات الصوديوم (0.5 mol/L)
- حمض الهيدروكلوريك (0.5 mol/L)
- بروميد البوتاسيوم (0.5 mol/L)

نشاط ٦-٢

- يوديد الصوديوم (0.5 mol/L)
- نترات الماغنيسيوم (0.5 mol/L)
- محلول السكّر (0.5 mol/L)
- إيثانول
- محلول هيدروكسيد الصوديوم (0.5 mol/L)
- كبريتات النحاس (II) (0.5 mol/L)

- **ضع النظّارة الواقية لحماية عينَيك.**
- **ارتدِ معطف المُختبَر.**
- **البس القُفّازَين الواقيَين أثناء إجراء هذه التجربة عند الضرورة.**
- **اغسل يدَيك بعد انتهاء التجربة.**
- **توخَّ الحيطة والحذر عند التعامُل مع السوائل حول الأجهزة الكهربائية، وتجنب إحداث أي انسكابات بالقرب منها.**
- **نظّف أي انسكابات باستخدام الماء.**
- **نفّذ التجربة في المختبر أو في مكان جيد التهوئة.**
- **أطفئ الأجهزة والمعدات الكهربائية بعد استخدامها أو أثناء تسجيل الملاحظات، كي لا تتراكم الأبخرة أو الغازات.**
- **الإيثانول مادّة سريعة الاشتعال.**
- **يعد محلول حمض الهيدروكلوريك، محلول هيدروكسيد الصوديوم، محلول كبريتات النحاس (II) من المواد المُهيِّجة للجلد والجهاز التنفسي.**

الطريقة



١ ركّب الأجهزة والأدوات كما هو مبيّن في المخطّط أدناه، مستخدمًا كأسًا زجاجية سعتها 100 mL، وعمودين من الجرافيت.

٢ دع الجهاز مفصولًا عن التيار الكهربائي إلى أن تصبح مستعدًا لإجراء الملاحظات. قم بذلك عن طريق ترك أحد التوصيلات بمصدر الطاقة مفصولًا عنه. وسيجنّبك هذا خطر قِصر-الدائرة وانقطاع التيار عن الجهاز.

٣ اسكب أحد المحاليل المتوفّرة داخل الكأس الزجاجية حتى يبلغ مستوى ربع حجمه.

٤ ضع القطبَين في المحلول وصلهما بالدائرة الكهربائية.

٥ سجّل ما إذا أضاء المصباح. وفي هذه الحالة، تفحّص بكل حرص أي تغيُّرات تطرأ عند القطبَين.

٦ أطفئ الدائرة الكهربائية مباشرة بعد تسجيل الملاحظات، لمنع تراكم الغازات والأبخرة.

٧ اغسل الكأس الزجاجية، واشطف القطبَين بالماء المقطّر.

٨ كرّر التجربة باستخدام محلول أو سائل اختبار آخر.

النتائج

أنشئ جدول نتائج لتسجّل فيه ملاحظاتك التي تتضمّن ما إذا أضاء المصباح أم لا (بما في ذلك مدى ضعف الإضاءة، عند الضرورة)، وأي ملاحظات تتعلّق بالمواد الناتجة عند القطبَين؛ الموجب والسالب.

الاستنتاجات

لخّص ملاحظاتك عن المواد السائلة التي توصّل الكهرباء، ومدى جودة توصيلها لها. علّق على أيّ ملاحظات عن المواد الناتجة عند القطبَين.

١ اشرح سبب ضعف توهّج المصباح في بعض الحالات التي اختبرتها.

٢ لماذا لا يوصّل الماء الكهرباء عند جهد مُنخفض؟

٣ لماذا يكون ضروريًا غسل الكأس الزجاجية والقطبَين بين التجارب؟

٤ سجّل أي المحاليل التي اختبرتها تحتوي على أيونات.

٥ في هذه الاختبارات، أُعطيت ثلاثة أنواع مختلفة من المُركّبات التي كوّنت إلكتروليتات عند إذابتها في الماء. سجّل أسماء تلك الأنواع من المُركّبات.

٦ سجّل ما الذي تكوّن عند القطب السالب (الكاثود) عند تمرير التيار الكهربائي عبر محلول كبريتات النحاس (II).

٧ سجّل ما الذي تكوّن عند القطب الموجب (الآنود) عند تمرير التيار الكهربائي عبر محلول يوديد البوتاسيوم.

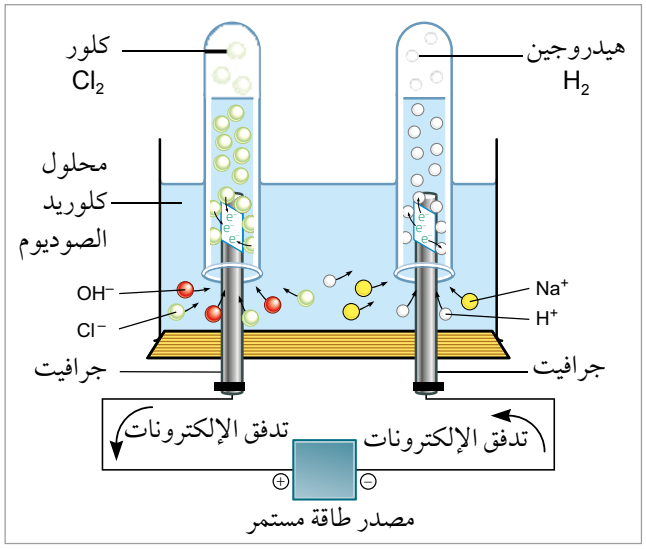
أسئلة

١ ما الشيء المشترك الذي تمتلكه المواد السائلة والمحاليل جميعها التي توصّل التيار الكهربائي في هذه الحالة؟ استخدم أمثلة لتوضيح إجابتك.

٢ فسّر سبب استخدام قطبَين من الجرافيت في هذا الاستقصاء.

التحليل الكهربائي لمحلول كلوريد الصوديوم المُركّز

يمكن إجراء تحليل كهربائي لمحلول كلوريد الصوديوم المركّز في المختبر (الشكل ٦-٧).



الشكل ٦-٧ حركة الأيونات ونزع (تفريغ) شحناتها خلال التحليل الكهربائي لمحلول كلوريد الصوديوم المُركّز

يحتوي المحلول على أربعة أنواع مختلفة من الأيونات، هي: الكاتيونات Na^+ وH^+ (H^+ مصدره من الماء) التي تتدفّق نحو المهبط (الكاثود) منجذبة إليه بسبب شحنته السالبة. والأنيونات Cl^- وOH^- (OH^- مصدره من الماء) وهي تتحرّك باتّجاه المصعد (الآنود) منجذبة إليه بسبب شحنته الموجبة.

عند المهبط (الكاثود)، تكسب أيونات H^+ الإلكترونات بسهولة أكبر من أيونات الصوديوم، لأن الصوديوم أكثر نشاطًا كيميائيًّا من الهيدروجين (الشكل ٦-٨)، ولديه قابلية أكبر للبقاء في هيئة أيون موجب. لذا يمكننا البدء بكتابة نصف-معادلة أيونية لعملية نزع شحنة H^+ وفقًا لنصف-المعادلة الآتية:

$$H^+ + e^- \longrightarrow H$$

بعد ذلك، تندمج ذرّتان من الهيدروجين معًا لتكوين جُزيء هيدروجين وفقًا للمعادلة الآتية:

$$H + H \longrightarrow H_2$$

لذلك ينبعث غاز الهيدروجين بشكل عام على المهبط (الكاثود) على هيئة فقاعات وفقًا لنصف-المعادلة الآتية:

$$2H^+(aq) + 2e^- \longrightarrow H_2(g)$$

لاحظ الأمر الآتي: عندما اكتسبت أيونات الهيدروجين الإلكترونات، تمّ نزع شحنات الأيونات الموجبة على المهبط (الكاثود) وهذه عملية **اختزال Reduction**. أما على المصعد (الآنود)، فقد تمّ نزع شحنات أيونات Cl^- بسهولة أكبر من نزع شحنات أيونات OH^-، وانبعثت فقاعات ذات لون أخضر فاتح من غاز الكلور، وفقًا لنصف-المعادلة الآتية:

$$2Cl^-(aq) \longrightarrow Cl_2(g) + 2e^-$$

لاحظ أيضًا ما يلي: عندما فقدت أيونات الكلوريد الإلكترونات، تم نزع شحنات الأيونات السالبة على المصعد (الآنود)، وهذه عملية **أكسدة Oxidation**. وبقي في المحلول أيونات Na^+ وOH^-؛ مكوّنة محلول هيدروكسيد الصوديوم. وأصبح المحلول بالتالي قلويًّا خلال التحليل الكهربائي. ويمكن توضيح ذلك عن طريق إضافة كاشف عام إلى المحلول الذي يتحول إلى لون بنفسجي مزرق.



الشكل ٦-٨ سلسلة النشاط الكيميائي للفلزات (التي تتضمن موقعي الكربون والهيدروجين - لافلزين)

نشاط ٦-٣

التحليل الكهربائي لمحلول كلوريد الصوديوم المُركّز (إثرائي)

المهارات:

- يبيّن بطريقة عملية معرفته المتعلقة بكيفية الاستخدام الآمن للتقنيات والأجهزة والمواد (بما فيها اتبّاع سلسلة من التعليمات المناسبة).
- ينجز التجربة ويسجّل الملاحظات والقياسات والتقديرات.
- يناقش الملاحظات التجريبية والبيانات ويقيّمها.

يهدف هذا النشاط العملي الذي ينفّذه المعلّم إلى استقصاء المواد الناتجة المتكوّنة عند إجراء تحليل كهربائي لمحلول كلوريد الصوديوم المُركّز.



الصورة ٦-٣ التحليل الكهربائي لمحلول كبريتات النحاس (II) المائي

التحليل الكهربائي لمحلول كبريتات النحاس (II)

ينتج من التحليل الكهربائي لمحلول كبريتات النحاس مواد مختلفة جدًّا عند الكاثود والآنود، مقارنة بمحلول كلوريد الصوديوم.

ومرّة أخرى، هناك أربعة أنواع مختلفة من الأيونات في المحلول؛ فالكاتيونات Cu^{2+} وH^+ (مصدره الماء) تنجذب نحو الكاثود، في حين أن الأنيونات SO_4^{2-} وOH^- (مصدره الماء) تنجذب نحو الآنود.

عند المهبط (الكاثود)، تكسب أيونات Cu^{2+} الإلكترونات، لأن النحاس أقلّ نشاطًا كيميائيًّا من الهيدروجين، وأقلّ قابلية لتكوين أيونات موجبة (الشكل ٦-٨). ويكون نصف-المعادلة الأيونية:

$$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Cu(s)$$

يترسّب فلزّ النحاس على الكاثود، ويظهر الجرافيت ذو اللون الرمادي الغامق مغطًى بطبقة ذات لون بنّي محمر (الصورة ٦-٣). وبما أنّ أيونات النحاس (II) قد كسبت إلكترونات، فإنّ العملية على الكاثود هي اختزال.

وعند الآنود، يتمّ نزع شحنة أيونات OH^- بسرعة أكبر من أيونات SO_4^{2-}، وينتج عن ذلك غاز الأكسجين والماء وفقًا للآتي:

$$OH^- \longrightarrow O_2 + H_2O$$

يجب موازنة المعادلة بحيث تتضمن أعدادًا متساوية من الأكسجين والهيدروجين في طرفَي المعادلة وفقًا للآتي:

$$4OH^- \longrightarrow O_2 + 2H_2O$$

وأخيرًا، يفقد كل أيون هيدروكسيد إلكترونًا. لذا، يجب وضع $4e^-$ في الطرف الأيمن لنصف-المعادلة الأيونية.

$$4OH^-(aq) \longrightarrow O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^-$$

ويمكن ملاحظة تكوّن فقاعات غاز الأكسجين حول الآنود خلال التحليل الكهربائي. وبما أنّ أيونات الهيدروكسيد (OH^-) تفقد إلكتروناتها عند الآنود، فإنّ هذه العملية على الآنود تسمى أكسدة.

أما المحلول المتبقي فيُظهر التغيُّرات الآتية:

أوّلًا: يكون محلول كبريتات النحاس (II) أزرق اللون بسبب وجود أيونات Cu^{2+} المائية، وعندما يتم نزع شحنات هذه الأيونات، فإن لونه سيتلاشى.

ثانيًا: مع وجود أيونات H^+ و SO_4^{2-} في المحلول، يتكوّن حمض الكبريتيك. وبالتالي يصبح المحلول حمضيًّا، ويمكن اختباره باستخدام الكاشف العام الذي يتحوّل لونه إلى الأحمر.

يبيّن الجدول (٦-٣) بعض الأمثلة على المواد الناتجة على الكاثود والآنود عند إجراء تحليل كهربائي لمحاليل مائية.

الإلكتروليت (المحلول المائي)	الملاحظات عند الكاثود	المادة الناتجة	نصف-معادلة التفاعل عند الكاثود	الملاحظات عند الآنود	المادة الناتجة	نصف-معادلة التفاعل عند الآنود
محلول يوديد البوتاسيوم، $KI(aq)$	فقاعات من الغاز عديمة اللون ناتجة على القطب	هيدروجين	$2H^+(aq) + 2e^- \longrightarrow H_2(g)$	يتغيّر لون المحلول حول القطب إلى بنّي	يود	$2I^-(aq) \longrightarrow I_2(aq) + 2e^-$
محلول بروميد النحاس (II)، $CuBr_2(aq)$	طلاء على القطب ذو لون بنّي محمر	نحاس	$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Cu(s)$	يتغيّر لون المحلول حول القطب إلى بني محمر	بروم	$2Br^-(aq) \longrightarrow Br_2(aq) + 2e^-$
محلول كبريتات النحاس (II)، $CuSO_4(aq)$	طلاء على القطب ذو لون بنّي محمر	نحاس	$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Cu(s)$	فقاعات من الغاز عديمة اللون ناتجة على القطب	أكسجين	$4OH^-(aq) \longrightarrow O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^-$
محلول كلوريد الصوديوم المركّز، $NaCl(aq)$	فقاعات من الغاز عديمة اللون ناتجة على القطب	هيدروجين	$2H^+(aq) + 2e^- \longrightarrow H_2(g)$	فقاعات من الغاز ذات لون أخضر ناتجة على القطب	كلور	$2Cl^-(aq) \longrightarrow Cl_2(aq) + 2e^-$
حمض الهيدروكلوريك، $HCl(aq)$	فقاعات من الغاز عديمة اللون ناتجة على القطب	هيدروجين	$2H^+(aq) + 2e^- \longrightarrow H_2(g)$	فقاعات من الغاز ذات لون أخضر ناتجة على القطب	كلور	$2Cl^-(aq) \longrightarrow Cl_2(aq) + 2e^-$
حمض الكبريتيك، $H_2SO_4(aq)$	فقاعات من الغاز عديمة اللون ناتجة على القطب	هيدروجين	$2H^+(aq) + 2e^- \longrightarrow H_2(g)$	فقاعات من الغاز عديمة اللون ناتجة على القطب	أكسجين	$4OH^-(aq) \longrightarrow O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^-$

الجدول ٦-٣ أمثلة على التحليل الكهربائي لمحاليل مائية

تمّ تلخيص القواعد المتعلقة بتنافس الأيونات على الأقطاب في المحلول أثناء عملية التحليل الكهربائي، فيما يأتي:

عند المهبط (الكاثود):

- كلما كان الفلزّ أكثر نشاطًا كيميائيًا، ازداد مَيله إلى البقاء في هيئة أيونات، فلا تُنزع شحنته. فإذا كان الفلزّ أعلى من الهيدروجين في سلسلة النشاط الكيميائي، فسوف تكسب أيونات H^+ الإلكترونات بدلًا منه؛ فتتكوّن جُزيئات غاز الهيدروجين (H_2)، تاركة أيونات الفلزّ النشط كيميائيًا، مثل أيونات Na^+، في المحلول.
- في المقابل، فإنّ أيونات الفلزات الأقلّ نشاطًا كيميائيًا، التي تكون تحت الهيدروجين في سلسلة النشاط الكيميائي، مثل أيونات Cu^{2+} أو Ag^+ سوف تكسب الإلكترونات بسرعة أكبر وتكوّن ذرات الفلزّ. وفي هذه الحالة، تُنزع شحنات الفلزّ، تاركةً أيونات H^+ في المحلول.

عند المصعد (الآنود):

- عندما تكون أيونات أحد الهالوجينات (Cl^-، أو Br^-، أو I^-) موجودة بتركيز كبير وكاف، فسوف تمنح الإلكترونات بسرعة أكبر ممّا تفعله أيونات OH^-. فتتكوّن جُزيئات الكلور (Cl_2) أو البروم (Br_2) أو اليود (I_2). وتبقى أيونات OH^- في المحلول.
- وعندما لا يحتوي المحلول على أيونات الهالوجينات، فسوف تمنح أيونات OH^- الإلكترونات بسهولة أكبر من أي أنيون لافلزّي آخر؛ فأيونات النترات والكبريتات لا يتم نزع شحناتها بصورة أسهل عن أيونات OH^-. وعندما تُنزع شحنات أيونات OH^-، يتكوّن غاز الأكسجين (O_2).

تذكّر

تُطبّق المبادئ العامة الآتية عند التحليل الكهربائي لمحاليل المُركّبات الأيونية:

- تتحرّر الفلزّات أو الهيدروجين عند القطب السالب (الكاثود).
- تتحرّر اللافلزّات (غير الهيدروجين) عند القطب الموجب (الآنود).

أسئلة

٦-٥ تم تنفيذ تجربة لاستقصاء تأثير الكهرباء على مصهور بروميد الرصاص (II) ($PbBr_2$).

أ. ما الذي يحدث للمركّب أثناء التحليل الكهربائي؟

ب. لماذا لا يوصل بروميد الرصاص (II) الصلب الكهرباء؟

ج. ما لون البخار المتصاعد عند القطب الموجب؟

د. اذكر سببًا واحدًا يفسّر ضرورة تنفيذ التحليل الكهربائي هذا في خزانة الأبخرة.

هـ. ما الاسم البديل للقطب السالب؟

٦-٦ خلال التحليل الكهربائي لمصهور يوديد الرصاص (II)، حدث على القطب السالب التفاعُل الآتي:

$$Pb^{2+} + 2e^- \longrightarrow Pb$$

أ. ما الذي يمكن ملاحظة حدوثه عند القطب السالب؟

ب. لماذا يُعدّ التفاعُل الذي يحدث عند القطب السالب تفاعُل اختزال؟

ج. اكتب نصف-المعادلة الأيونية للتفاعُل الذي يحدث عند القطب الموجب.

٦-٧ يعدّ الماء مُركّبًا تساهميًا، ومع ذلك يمكن تحليله كهربائيًا.

أ. حدّد الأيونَين الموجودَين في الماء النقي.

ب. سمّ مادة تضاف إلى الماء ليسهل تحليله كهربائيًا.

ج. تُصنع الأقطاب المُستخدمة في التحليل الكهربائي للماء من البلاتين. ويعدّ البلاتين مادة جيدة للاستخدام في الأقطاب، اذكر سببين لذلك.

د. عندما يتمّ إجراء تحليل كهربائي للماء، سمِّ المادة الناتجة عند:

١. الكاثود. ٢. الآنود.

هـ. ينتج عن التحليل الكهربائي لبعض المحاليل المائية للأملاح تكوّن فلزّ عند الكاثود، في حين لا ينتج مثل ذلك عند التحليل الكهربائي لبعضها الآخر. اذكر قاعدة يمكنك استخدامها لتوقُّع ما إذا كان سينتُج فلزّ عند الكاثود أم لا.

٦-٨ يعرض الجدول أدناه نتائج التحليل الكهربائي لعدد من الإلكتروليتات باستخدام أقطاب خاملة.

أكمل الجدول بكتابة أسماء المواد الناتجة التي تتوقّع تكوّنها عند الآنود والكاثود.

الإلكتروليت	المادة الناتجة عند الآنود	المادة الناتجة عند الكاثود
مصهور بروميد الماغنيسيوم		
مصهور كلوريد النحاس (II)		
مصهور يوديد الصوديوم		
مصهور أكسيد الخارصين		
محلول كبريتات النحاس (II)		
محلول كبريتات الصوديوم		
محلول كلوريد البوتاسيوم المُركّز		
محلول نترات الفضّة		
محلول هيدروكسيد الصوديوم		

٦-٩ اكتب نصف-المعادلة الأيونية لكل تفاعُل يحدث عند الكاثود والآنود خلال التحليل الكهربائي للمواد الآتية:

أ. مصهور بروميد الماغنيسيوم

ب. محلول كلوريد البوتاسيوم المُركّز

ج. محلول نترات الفضّة

٦-٣ تطبيقات على التحليل الكهربائي

إنتاج الألومنيوم

يعدّ التحليل الكهربائي مهمًّا من الناحية الصناعية، لأنه الطريقة الوحيدة والمتاحة لاستخلاص معظم الفلزّات النشطة كيميائيًّا؛ ذلك أن فلزّات المجموعتَين I و II، والألومنيوم من المجموعة III، بالغة النشاط كيميائيًا ولا يمكن استخلاصها من خلال الاختزال الكيميائي باستخدام الكربون كالفلزّات الأخرى. وفي المقابل، يمكن الحصول على فلزّات، مثل الصوديوم والماغنيسيوم، باستخدام التحليل الكهربائي لمصاهير كلوريداتها.

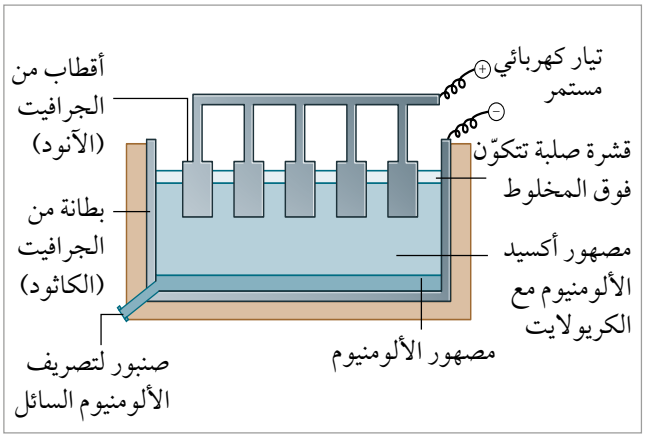
يعدّ الألومنيوم ثاني أكثر الفلزّات استخدامًا بعد الحديد، إلا أن استخلاصه من خاماته أكثر صعوبة بسبب نشاطه الكيميائي. وكان أحد أهم الاكتشافات في التحليل الكهربائي الصناعي إيجاد ظروف مناسبة لاستخلاص الألومنيوم من خامه المعدني، **البوكسيت Bauxite**. يعدّ خام البوكسيت أحد أشكال أكسيد الألومنيوم (Al_2O_3) غير النقي، وهو خام ذو لون بنّي محمرّ بسبب وجود إحدى الشوائب ممثّلة في أكسيد الحديد (III) (الصورة ٦-٤).

تتم معالجة البوكسيت أوّلًا بهيدروكسيد الصوديوم لاستخلاص أكسيد الألومنيوم. حيث يُذيب هيدروكسيد الصوديوم أكسيد الألومنيوم، ويفصله عن الشوائب غير الذائبة، مثل أكسيد الحديد (III) الموجود في البوكسيت. بعد ذلك، تعاد بلْوَرة أكسيد الألومنيوم الذائب كمُركّب نقي.



الصورة ٦-٤ البوكسيت: الخام الرئيسي للألومنيوم. ويكون في العادة مخلوطًا مع أكسيد الحديد (III)، الذي يعطي الخام لونه البنّي المحمرّ

ثم يتم شحن أكسيد الألومنيوم المنقّى إلى مصنع التحليل الكهربائي، وتتم إذابته في الكريولايت Cryolite (فلوريد الألومنيوم والصوديوم)، حيث تكون أيونات الألومنيوم وأيونات الأكسيد حرة الحركة.



الشكل ٦-٩ رسم توضيحي للجهاز المُستخدم في التحليل الكهربائي الصناعي لأكسيد الألومنيوم المصهور لإنتاج الألومنيوم

تبلغ درجة انصهار أكسيد الألومنيوم 2030 °C، وتنخفض درجة انصهاره عند إضافة الكريولايت إلى 900 °C - 1000 °C. ويعدّ هذا التخفيض في درجة الحرارة توفيرًا كبيرًا في تكاليف الطاقة المستخدمة.

يُوضع المخلوط المصهور المكوّن من أكسيد الألومنيوم والكريولايت في خلية إلكتروليتية، وهي عبارة عن خزّان كبير مجهّز بآنودات (مصاعد) من الجرافيت. أضف إلى ذلك أن هذا الخزّان مبطّن بالجرافيت، الذي يسلك ككاثود. عندما يُجرى التحليل الكهربائي للمخلوط، ينتج غاز الأكسجين عند الآنود، وينتج مصهور الألومنيوم عند الكاثود (الشكل ٦-٩). يمكن تلخيص التحليل الكهربائي لأكسيد الألومنيوم على النحو الآتي:

أكسجين + ألومنيوم ⟶ أكسيد الألومنيوم

$$2Al_2O_3(l) \longrightarrow 4Al(l) + 3O_2(g)$$

تنجذب أيونات الألومنيوم (Al^{3+}) نحو الكاثود، حيث تُنزع شحنتها لتكوين فلزّ الألومنيوم وفقًا للآتي:

$$Al^{3+}(l) + 3e^- \longrightarrow Al(l)$$

وبما أنّ درجة حرارة التشغيل المُستخدمة تساوي نحو 1000 °C، يتم جمع الألومنيوم في هيئة مصهور في قاع الخلية، ثم يُصرَّف إلى الخارج عبر صنبور.

وتنجذب أيونات الأكسيد (O^{2-}) نحو الآنود، حيث يتم نزع شحنتها لتكوين غاز الأكسجين وفقًا للآتي:

$$2O^{2-}(l) \longrightarrow O_2(g) + 4e^-$$

يستهلك استخلاص الألومنيوم بهذه الطريقة قدرًا كبيرًا من الطاقة، سواء لإبقاء أكسيد الألومنيوم في هيئة مصهور، أو لعملية التحليل الكهربائي نفسها. ولهذا السبب، تقع معظم مصانع التحليل الكهربائي عادة في مناطق تكون فيها الطاقة الكهرومائية متوفّرة. وتكون عملية إعادة تدوير الفلزّ أرخص بكثير من تصنيعه؛ فالطاقة اللازمة لإعادة تدوير الفلزّ تساوي 5% تقريبًا من الطاقة اللازمة لتصنيع الكمّية نفسها من فلزّ جديد.

صناعة الكلور القلوي

تُعدّ صناعة الكلور القلوي فرعًا رئيسيًّا في الصناعة الكيميائية. تعتمد هذه الصناعة على التحليل الكهربائي لمحلول كلوريد الصوديوم المائي المُركّز (المحلول الملحي أو الماء المالح). وكما درسنا في الموضوع ٦-٢، فإن محلول كلوريد الصوديوم المائي المُركّز يحتوي على أيونات Na^+ و Cl^- (من كلوريد الصوديوم الذائب)، وأيونات H^+ و OH^- (من الماء). يُنتج التحليل الكهربائي لهذا المحلول الكلور، والهيدروجين، ومحلول هيدروكسيد الصوديوم وفقًا للمعادلة الآتية:

ماء + كلوريد الصوديوم $\longrightarrow$

هيدروكسيد الصوديوم + هيدروجين + كلور

$$2NaCl(aq) + 2H_2O(l) \longrightarrow Cl_2(g) + H_2(g) + 2NaOH(aq)$$

تتّصف هذه المواد الناتجة الثلاث بأنّها مفيدة.

- يُستخدم الكلور لقتل البكتيريا في مياه الشرب ومياه الاستخدام المنزلي، ولصنع المواد المبيّضة، وحمض الهيدروكلوريك والبلاستيك (البولي كلوريد الفينيل PVC).
- يُستخدم الهيدروجين كوقود في الصواريخ وبعض أنواع مُحرّكات المُركّبات، وفي تفاعُلات هدرجة المواد الدهنية لصنع السمن.
- يُستخدم هيدروكسيد الصوديوم في صناعة الصابون والمنظّفات والنسيج والورق.

يُنتج التحليل الكهربائي للمحلول الملحي:

- الكلور الناتج من أكسدة أيونات الكلوريد عند الآنود وفقًا لنصف-المعادلة الآتية:

$$2Cl^-(aq) \longrightarrow Cl_2(g) + 2e^-$$

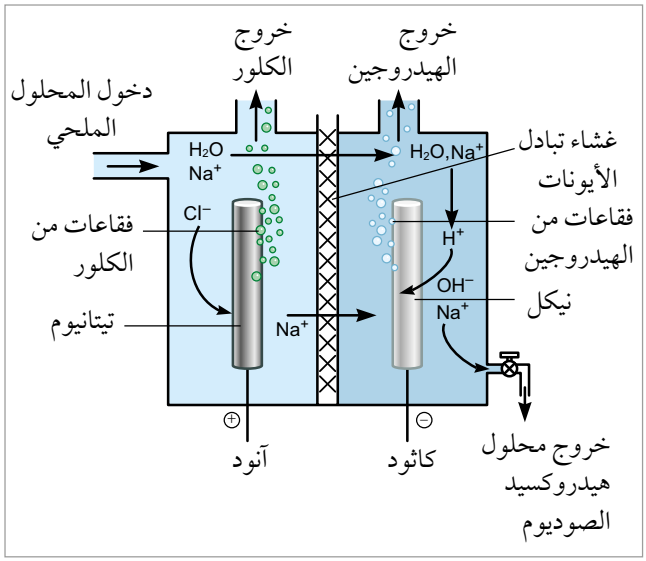
- الهيدروجين عند الكاثود وفقًا لنصف-المعادلة الآتية:

$$2H^+(aq) + 2e^- \longrightarrow H_2(g)$$

- محلول هيدروكسيد الصوديوم من أيونات الصوديوم والهيدروكسيد وفقًا للمعادلة الآتية:

$$Na^+(aq) + OH^-(aq) \longrightarrow NaOH(aq)$$

تنتج الخلية الإلكتروليتية (الشكل ٦-١٠) محلولًا من هيدروكسيد الصوديوم ذا نقاوة عالية وتركيز متوسّط، لذلك تُعدّ أكثر أمانًا للبيئة، وذات تكلفة صيانة منخفضة إلى حد ما، وهي الأقل استهلاكًا للكهرباء.



الشكل ٦-١٠ الخلية الإلكتروليتية للتحليل الكهربائي للمحلول الملحي المُركّز

تستخدم الخلية الإلكتروليتية آنودًا من التيتانيوم، وكاثودًا من النيكل. وقد تم اختيار التيتانيوم للآنود، لأن الكلور لا يتفاعُل معه. يفصل بين الآنود والكاثود غشاء، وهذا الغشاء انتقائي؛ فهو يسمح فقط لأيونات Na^+ وجُزيئات الماء بالتدفُّق عبره، ويمنع الأيونات الأخرى من ذلك. وبالتالي فإن المواد الناتجة تبقى منفصلة، ولا تتفاعَل معًا؛ كأن يتفاعَل الهيدروجين والكلور بشكل متفجّر لتكوين كلوريد الهيدروجين، أو قد يتفاعَل الكلور وهيدروكسيد الصوديوم لتكوين بعض مُركّبات الكلور. تتجمّع أيونات Na^+ و OH^- حول الكاثود، التي ستكون خالية من الكلور الذي قد يلوّث هذه المادة الناتجة؛ لتتم بالتالي إزالة محلول هيدروكسيد الصوديوم وتنقيته كذلك.



الصورة ٦–٥ تنقية النحاس بالتحليل الكهربائي باستخدام أقطاب من النحاس

تذكَّر

في تطبيقات التحليل الكهربائي الصناعية، مثل تصنيع الألومنيوم والتحليل الكهربائي للمحلول الملحي، ليس متوقَّعًا منك أن ترسم مخطّطًا بيانيًّا لها. يجب أن تكون قادرًا على إعطاء المواد الأولية، والمواد الناتجة والظروف الأساسية لكل عملية.

تنقية النحاس بالتحليل الكهربائي

عند تركيب خلايا إلكتروليتية تحتوي على أقطاب من فلزّات نشطة بدلًا من الأقطاب الخاملة، يمكن أن ينتقل الفلزّ بشكل فعّال من الآنود إلى الكاثود.

وقد درسنا في الموضوع ٦–٢ أن محلول كبريتات النحاس (II) يتحلّل كهربائيًّا باستخدام أقطاب من الجرافيت الخامل، فيتكون غاز الأكسجين عند الآنود، ويتكوّن النحاس عند الكاثود، ويتلاشى لون المحلول الأزرق بالتوازي مع نزع شحنات أيونات Cu^{2+}. ولكن، عندما تُستبدل أقطاب الجرافيت بأقطاب من النحاس في الخلية الإلكتروليتية، ستتم مشاهدة ملاحظات مختلفة أثناء التحليل الكهربائي (الصورة ٦–٥). يترسّب النحاس عند الكاثود، ومع ذلك يبقى لون المحلول أزرق من دون تغيير. إضافة إلى ذلك، يمكن مشاهدة التناقص في حجم (سماكة) الآنود. ويحدث هذا بسبب أكسدة ذرات النحاس في القطب وتحوّلها إلى أيونات Cu^{2+}، التي تذوب في المحلول، وفقًا لنصف–المعادلة الآتية:

$$\text{آنود:}\quad Cu(s) \longrightarrow Cu^{2+}(aq) + 2e^-$$

وفي الوقت نفسه، تدخل أيونات Cu^{2+} هذه إلى محلول كبريتات النحاس (II)، وتنجذب أيونات Cu^{2+} الموجودة في المحلول إلى الكاثود، حيث تُنزع شحنتها مكوّنة فلزّ النحاس وفقًا لنصف–المعادلة الآتية:

$$\text{كاثود:}\quad Cu^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Cu(s)$$

ويؤدّي ذلك إلى الملاحظات الآتية:

- تزداد سماكة الكاثود، ويكتسب طبقة جديدة ذات لون بني محمر على سطحه نتيجة ترسُّب النحاس.
- تقلّ سماكة الآنود نتيجة أكسدة ذرات النحاس وتحولها إلى أيونات.
- يحافظ المحلول على لونه الأزرق، لأنّ تركيز أيونات Cu^{2+} يبقى ثابتًا.

يمكن استخدام هذه الطريقة في **تنقية Purification** النحاس إلى درجة عالية جدًّا على نطاق صناعي (الصورة ٦-٦). فإذا استُخدم نحاس غير نقي كآنود، ونحاس نقي ككاثود أثناء التحليل الكهربائي، فسوف تبقى الشوائب على الآنود، في حين تنتقل أيونات Cu^{2+} إلى الكاثود. وتكون نسبة نقاوة النحاس المترسّب على الكاثود 99.9% على الأقل، وهي النسبة المطلوبة لتصنيع الأسلاك النحاسية المُستخدمة في التمديدات الكهربائية. أما الشوائب التي تبقى على الآنود فغالبًا ما تكون فلزّات ثمينة، كالذهب والفضّة. وهذه الشوائب لا تذوب، بل تكوّن راسبًا طينيًّا تحت الآنود المتآكل. يمكن الحصول على هذه الفلزّات وبيعها لزيادة مردود العملية.

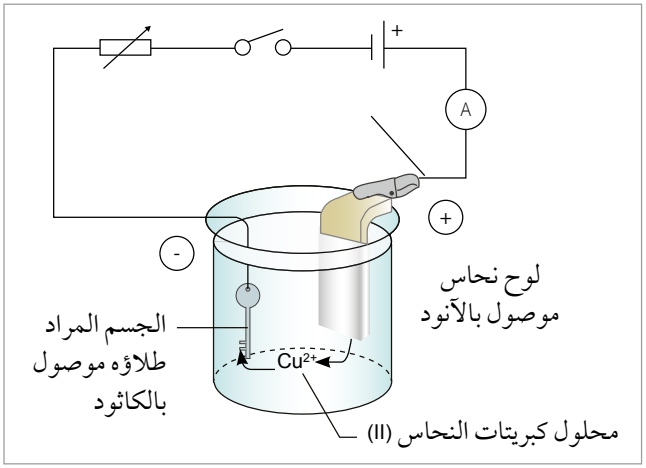


الصورة ٦-٦ عامل في أحد مصانع تنقية النحاس يخرج الأقطاب المغطاة بالنحاس المُستخلص من حمّام إلكتروليتي

الطلاء الكهربائي

الطلاء الكهربائي Electroplating: تقنية تستخدم في طلاء (تغطية) فلز بفلز آخر أثناء التحليل الكهربائي، ويمكن طلاء فلز نشط كيميائيًّا بفلز آخر أقل نشاطًا منه. يجب أن تكون الفلزّات المستخدمة في عملية الطلاء الكهربائي منخفضة النشاط الكيميائي نسبيًّا، أي أن تكون في أسفل سلسلة النشاط الكيميائي. ومن أكثر الفلزّات استخدامًا في الطلاء الكهربائي هي: النحاس، والكروم، والفضّة، والقصدير.

في عملية الطلاء الكهربائي، تتمّ ملاءمة الخلية الإلكتروليتية انطلاقًا من النوع المُستخدم عادة. فيكون الكاثود هو الجسم المراد طلاؤه، ويكون الآنود مصنوعًا من الفلزّ الذي سوف يُستخدم في الطلاء. أما الإلكتروليت فيحتوي على كاتيون فلز مادة الآنود.



الشكل ٦-١١ خلية طلاء كهربائي لمفتاح بالنحاس

يبيّن الشكل (٦-١١) مفتاحًا من الفولاذ يُراد طلاؤه بالنحاس. ولتحقيق ذلك، يكون الجسم المراد طلاؤه (المفتاح) موصولًا بالكاثود والإلكتروليت هو محلول كبريتات النحاس (II). أما الآنود فيكون مصنوعًا من النحاس الذي يذوب على شكل أيونات Cu^{2+} تنتقل عبر المحلول، حيث تُنزع شحناتها على هيئة ذرات نحاس على المفتاح (الكاثود).

ومع تقدُّم العملية، يذوب فلزّ الآنود في المحلول، وتُنزع شحنة أيونات الفلزّ عند الكاثود، ممّا يؤدّي إلى أن يغطّي هذا الفلزّ الجسم (الكاثود) المراد طلاؤه، ويبقى تركيز المحلول من دون تغيير.

مما سبق ذكره عن عملية الطلاء الكهربائي، لابد من أن يكون:

- الجسم الذي نريد طلاءه (المفتاح) هو الكاثود.
- الآنود في شكل لوح من المادة المراد بها الطلاء (النحاس).
- الإلكتروليت محلولًا لأحد أملاح المادة المراد الطلاء بها؛ إذا كانت النحاس يكون المحلول كبريتات النحاس (II).

في هذه الحالة، يوفّر الطلاء الكهربائي بطبقة من النحاس للمفتاح لمسة جمالية.

وهناك هدف آخر للطلاء الكهربائي، وهو توفير طبقة حماية للفلزّ الذي يقع تحتها؛ وكمثال عليها طلاء العُلب الفولاذية بالقصدير لمنعها من الصدأ. وهذه هي أيضًا الفكرة وراء طلاء بعض السلع بالكروم، مثل ممتص الصدمات (المصدّات) في السيارات، وغلّايات الماء، وصنابير مياه الحمامات، وغيرها... فالكروم لا يتآكل، ويعدّ فلزًّا صلبًا وقويًّا يقاوم الخدش والتلف، ويمكن تلميعه لتجميل شكله الخارجي.

نشاط ٦-٤

التحليل الكهربائي لمحلول كبريتات النحاس (II)

المهارات:

- يبيّن بطريقة عملية معرفته المتعلقة بكيفية الاستخدام الآمن للتقنيات والأجهزة والمواد (بما فيها اتبّاع سلسلة من التعليمات المناسبة).
- ينجز التجربة ويسجّل الملاحظات والقياسات والتقديرات.

في هذا النشاط، عليك أن تخطّط لاستقصاء التحليل الكهربائي لمحلول كبريتات النحاس (II).

استخدم فقط الأجهزة والأدوات والمواد الكيميائية المتوفرة في المختبر، لتكتب خطة لتحديد تأثير الأقطاب المختلفة على المواد الناتجة من عملية تحليل كهربائي.

سوف تحتاج إلى كتابة طريقة، بما فيها مخطّط له عنوان، يمكن اتّباعها مع احتياطات السلامة المناسبة.

ستحتاج أيضًا إلى تصميم جدول لجمع ملاحظاتك عن الأقطاب والمحلول.

وبمجرّد أن يطّلع معلمك على خطّتك ويوافق عليها، نفّذها.

بعد جمعك للنتائج، اكتب استنتاجاتك، بما فيها أنصاف-المعادلة الأيونية لأي تفاعُلات حدثت.

أسئلة

١ اكتب تعليقًا عن أي صعوبات واجهتك في استقصائك، وكيف يمكنك تحسين طريقتك.

٢ اكتب تعليقًا على الخطوات التي ستحتاج إليها لجعل التحليل الكهربائي كمّيًّا (عالي المردود) باستخدام أقطاب من النحاس.

أسئلة

٦-١٠ أ. لماذا يعدّ استخلاص الألومنيوم مُكلفًا؟

ب. لماذا يُضاف الكريولايت إلى أكسيد الألومنيوم لإجراء التحليل الكهربائي؟

ج. اكتب نصف-المعادلة الأيونية للتفاعُل عند الكاثود أثناء التحليل الكهربائي لأكسيد الألومنيوم.

د. اكتب نصف-المعادلة الأيونية للتفاعُل عند الآنود أثناء التحليل الكهربائي لأكسيد الألومنيوم.

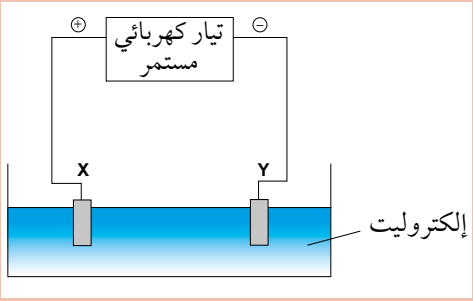
٦-١١ أ. ما المقصود بالمحلول الملحي؟

ب. اكتب نصف-المعادلة الأيونية للتفاعُل عند الكاثود أثناء التحليل الكهربائي للمحلول الملحي.

ج. اكتب نصف-المعادلة الأيونية للتفاعُل عند الآنود أثناء التحليل الكهربائي للمحلول الملحي.

د. كيف ينتج هيدروكسيد الصوديوم أثناء عملية التحليل الكهربائي للمحلول الملحي؟

٦-١٢ أ. استُخدم الجهاز أدناه لطلاء رقاقة فلزّ بالنحاس. علمًا أن أحد القطبَين مصنوعٌ من النحاس، والقطب الآخر رقاقة من الفلزّ المراد طلاؤه.



١. أي من القطبَين هو صفيحة الفلزّ المراد طلاؤه، **X** أم **Y**؟

٢. هل تمثل رقاقة الفلزّ الآنود أم الكاثود؟

ب. إذا استُخدم قطب من الجرافيت بدلًا من قطب النحاس في الجزئية **أ**، فما التغيُّر الذي سوف تلاحظه على الإلكتروليت أثناء التجربة؟

ج. في الصناعة، يتم طلاء بعض أنواع البلاستيك كهربائيًا. لماذا يجب تغطية البلاستيك بطبقة رقيقة من الجرافيت قبل طلائها (بالفلزّ)؟

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- أهمّية تفاعُلات الأكسدة والاختزال، والتعريفات المختلفة لهما: الأكسدة هي كسب الأكسجين أو فقد الإلكترونات، والاختزال هو فقد الأكسجين أو كسب الإلكترونات.
- التعرُّف على الأكسدة، والاختزال، والعوامل المؤكسِدة، والعوامل المختزِلة في التفاعُلات والمعادلات.
- كتابة تفاعُلات الأكسدة والاختزال على هيئة أنصاف-معادلة أيونية.
- التوصيل الكهربائي للمُركّبات المصهورة، أو الذائبة في الماء، والذي ينتج عنه تغيُّر كيميائي (التحليل الكهربائي).
- الخلية الإلكتروليتية تتضمّن قطبًا موجبًا (الآنود)، وقطبًا سالبًا (الكاثود)، وإلكتروليتًا، ويمكن أن تستخدم أنواعًا مختلفة من الأقطاب.
- كيفية تحديد أي الأيونات تُنزع شحنتها عند الأقطاب.
- استنتاج المواد الناتجة على الأقطاب أثناء التحليل الكهربائي، والملاحظات التي يمكن تسجيلها.
- أهمية التحليل الكهربائي في الصناعة لاستخلاص الألومنيوم، وإنتاج هيدروكسيد الصوديوم، والهيدروجين، والكلور، ولتنقية النحاس.
- استخدام الطلاء الكهربائي لإنتاج طبقة حماية، أو إضفاء لمسة جمالية على فلزّ باستخدام فلزّ آخر.

أسئلة نهاية الوحدة

١ عند غمس شريط من الماغنيسيوم المشتعل في أسطوانة غاز تحتوي على ثاني أكسيد الكربون، يحدث التفاعُل الآتي:

كربون + أكسيد الماغنيسيوم ⟶ ثاني أكسيد الكربون + ماغنيسيوم

أ. ما الدليل على تكون الكربون في التفاعل السابق؟

ب. اكتب معادلة رمزية موزونة لهذا التفاعُل.

ج. في هذا التفاعل، حدد ما يلي:

١. المادة التي اختُزلت.

٢. المادة التي تأكسدت.

د. الهيدروجين أعلى من النحاس في سلسلة النشاط الكيميائي؛ وبالتالي يمكن استخدام غاز الهيدروجين لاستخلاص النحاس من أكسيد النحاس (II).

١. ما الملاحظة التي يمكن أن تشاهدها، والتي يمكن أن تُوضّح أن تفاعُلًا يحدث؟

٢. اكتب معادلة لفظية لهذا التفاعُل.

٣. اكتب معادلة رمزية موزونة لهذا التفاعُل.

٤. حدّد المادة التي تمثّل العامل المختزِل في هذا التفاعُل.

٢ **أ.** عرّف الاختزال والأكسدة من حيث انتقال الإلكترونات.

ب. تَنتج كبريتات الماغنيسيوم عندما يُضاف الماغنيسيوم إلى محلول كبريتات الخارصين.

$$Mg(s) + ZnSO_4(aq) \longrightarrow MgSO_4(aq) + Zn(s)$$

١. اكتب المعادلة الأيونية لهذا التفاعُل.

٢. اكتب نصف-المعادلة الأيونية لعملية الاختزال في هذا التفاعُل.

٣. اشرح لماذا يُعدّ الماغنيسيوم عاملًا مختزِلًا في هذا التفاعُل.

ج. يزيح البروم اليود من محلول يوديد البوتاسيوم.

$$Br_2(aq) + 2KI(aq) \longrightarrow 2KBr(aq) + I_2(aq)$$

١. اكتب المعادلة الأيونية لهذا التفاعُل.

٢. اكتب نصف-المعادلة الأيونية لعملية الأكسدة في هذا التفاعُل.

٣. حدّد العامل المؤكسِد في هذا التفاعُل، مُفسّرًا إجابتك.

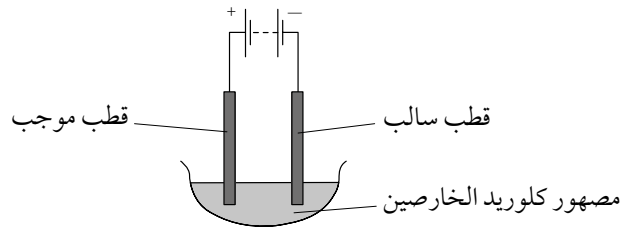
٣ توصّل بعض المواد الكهرباء، بينما بعضها الآخر لا يوصل الكهرباء.

أ. في القائمة أدناه، حدِّد المواد **الثلاث** التي توصّل الكهرباء.

محلول كلوريد الصوديوم المائي، الخزف، النحاس، الجرافيت، بلورات كلوريد الصوديوم، الكبريت

ب. ماذا يطلق على المادة التي لاتوصل الكهرباء؟

ج. أُجريَ تحليل كهربائي لمصهور كلوريد الخارصين باستخدام الجهاز المبيّن أدناه:



١. اختر الكلمة التي تصف القطب الموجب مما يلي:

أنيون آنود كاثود كاتيون

٢. اقترح اسم لافلزّ يمكن استخدامه في الأقطاب في هذا التحليل الكهربائي.

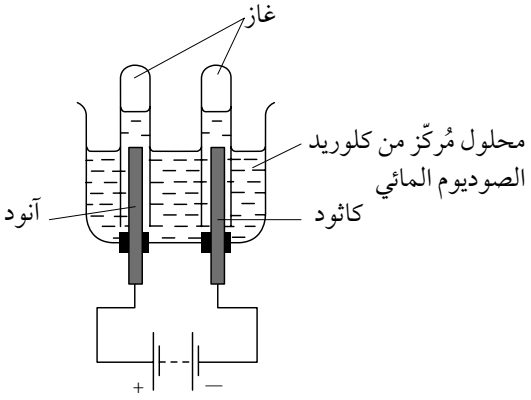
٣. اذكر اسم المادة الناتجة التي تكوّنت، والملاحظة التي يمكن أن تسجّلها أثناء التحليل الكهربائي عند:

- القطب الموجب.
- القطب السالب.

٤. اكتب نصف-المعادلة الأيونية للتفاعُل عند:

- القطب الموجب.
- القطب السالب.

٤ يوضّح الرسم التوضيحي أدناه الجهاز المُستخدم في التحليل الكهربائي لمحلول مركّز من كلوريد الصوديوم المائي على مقياس صغير في المختبر، علمًا بأن هذا التحليل الكهربائي نفسه يمكن إجراؤه على مقياس صناعي كبير.



أ. ما الاسم الذي يُعرف به محلول كلوريد الصوديوم المائي المُركّز في الصناعة؟

ب. سمِّ المادة التي صنِعت منها الأقطاب الكهربائية في هذا النشاط المخبري، وسبب استخدامها.

ج. صف ما تلاحظه أثناء التحليل الكهربائي.

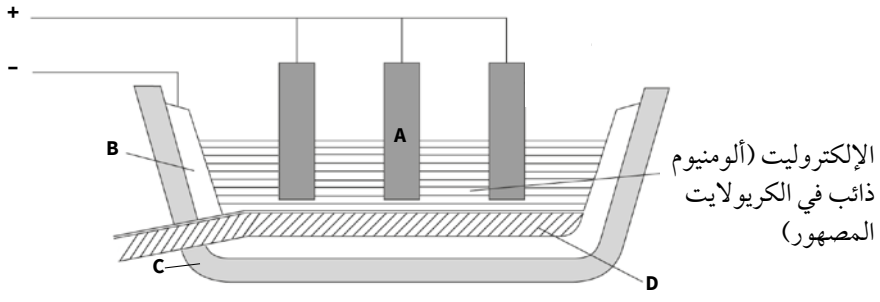
د. اذكر أسماء المواد الناتجة عند كل قطب كهربائي.

هـ. اكتب نصف-المعادلة الأيونية الموزونة للتفاعُل الذي يحدث عند الكاثود.

و. تم إيقاف التحليل الكهربائي بعد ساعة، وأُضيفت بضع قطرات من الكاشف العام إلى المحلول. ما اللون الذي سيكون عليه المحلول، ولماذا؟

ز. اذكر طريقة **واحدة** تكون فيها الخلية الإلكتروليتية الصناعية مختلفة في تصميمها.

٥ يُستخلص الألومنيوم بوساطة التحليل الكهربائي لأكسيد الألومنيوم.



أ. ما اسم الخام الذي يُستخلص منه أكسيد الألومنيوم؟

ب. اشرح لماذا يجب أن يكون الإلكتروليت مصهورًا لكي يحدث التحليل الكهربائي.

ج. ما الهدف من وجود مادة الكريولايت في المصهور؟

د. أي من الرموز المُدرجة في الرسم أعلاه يمثّل الكاثود؟

١. **A**

٢. **B**

٣. **C**

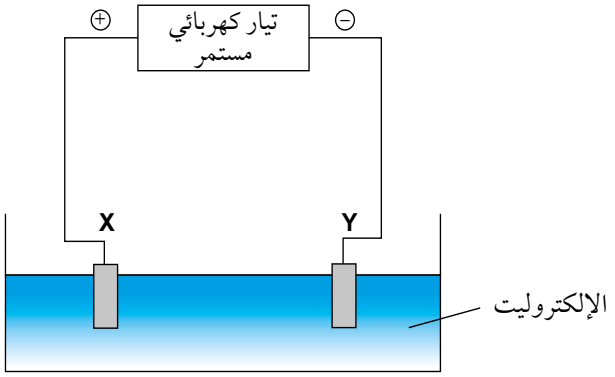
٤. **D**

هـ. اذكر أسماء المواد الناتجة التي تكوّنت عند الآنود والكاثود أثناء هذا التحليل الكهربائي.

و. أكمل نصف-معادلة تكوّن الألومنيوم من أيونات الألومنيوم.

$$Al^{3+} + \ldots\ldots e^- \longrightarrow Al$$

٦ يوضّح الرسم أدناه جهازًا يمكن استخدامه، سواء في عملية الطلاء الكهربائي لفلزّ، أو لتنقية فلزّ غير نقي مثل النحاس.

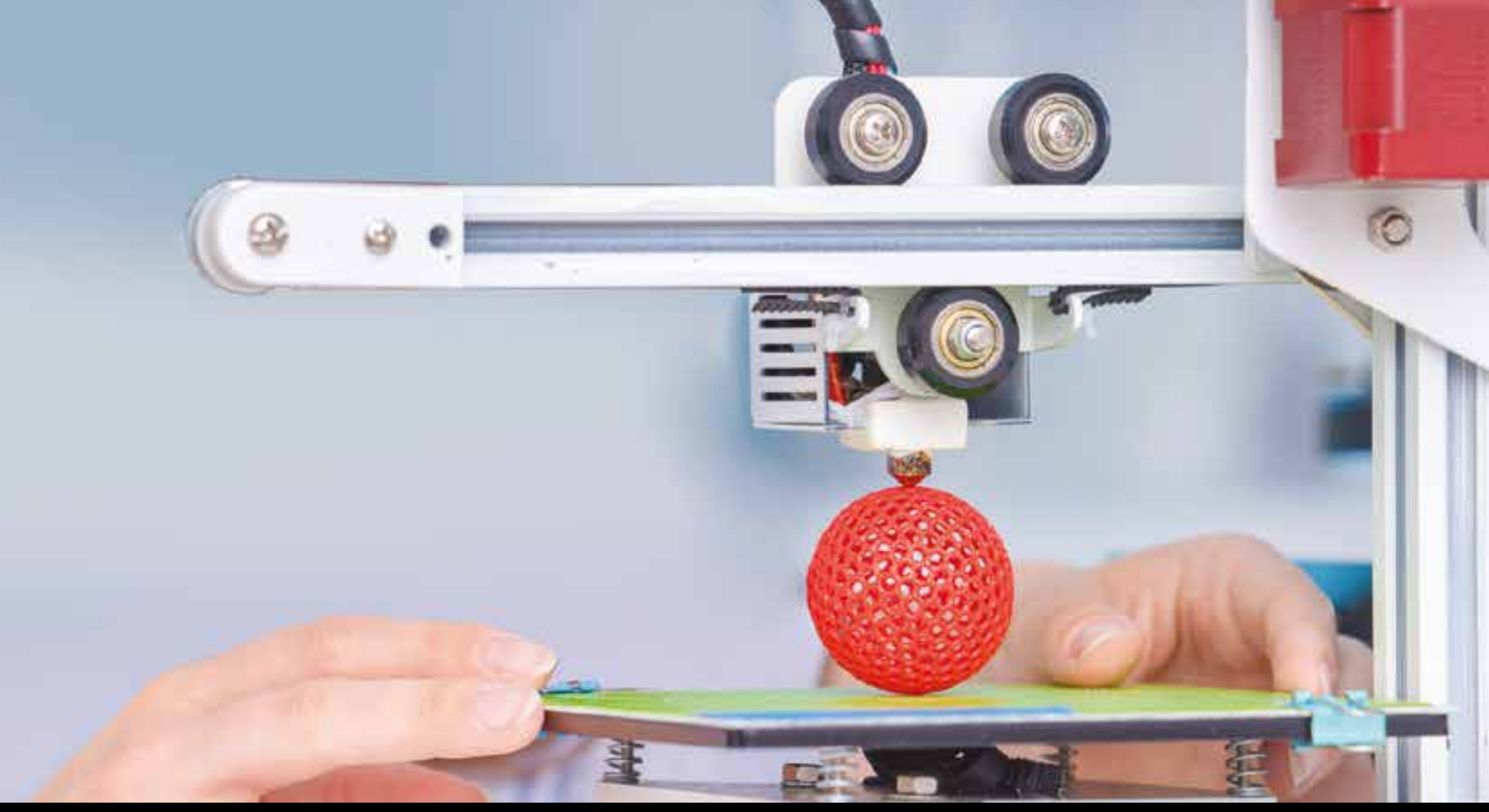


أ. ١. أيّ قطب ينبغي أن يكون المادة التي ستُطلى كهربائيًا: **X**، أم **Y**؟

٢. اشرح إجابتك، موضّحًا اختيارك في الجزئية ١.

ب. صف كيف تتم تنقية النحاس من خلال التحليل الكهربائي باستخدام هذا الجهاز. يجب أن يتضمّن وصفك ما يلي:

- اسم المحلول الذي يمكن أن يُستخدم كإلكتروليت.
- أيّ قطب هو النحاس النقي، وأي قطب هو النحاس غير النقي.
- نصف-المعادلة الأيونية للتفاعُل الذي يحدث عند القطب الكهربائي **X**، و نصف-المعادلة الأيونية للتفاعُل الذي يحدث عند القطب الكهربائي **Y**.
- التغيُّرات التي يمكن ملاحظتها عند الأقطاب، وفي المحلول.



الوحدة السابعة

تطبيقات الكيمياء العضوية

Applications of Organic Chemistry

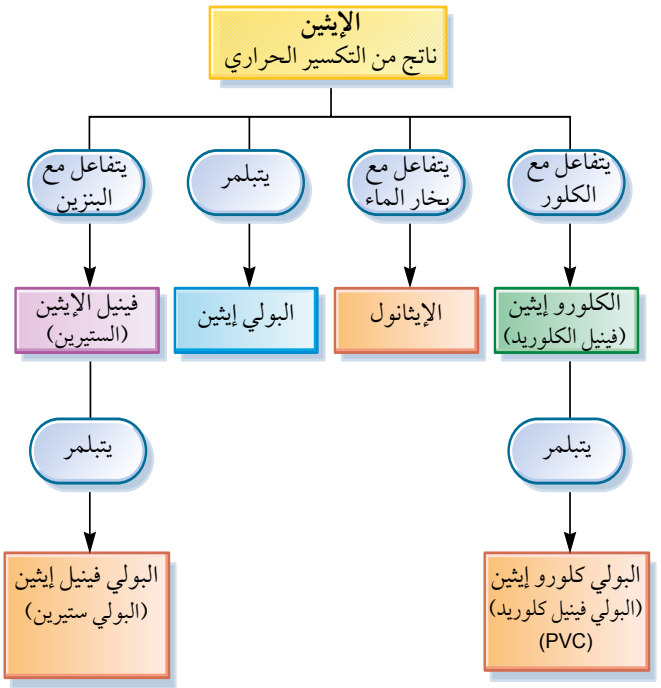
تُغطّي هذه الوحدة:

- الإنتاج الصناعي للإيثانول (الكحول الإيثيلي).
- استخدامات الإيثانول.
- صناعة البولي إيثين (البولي إيثيلين).
- أمثلة أخرى على بوليمرات الإضافة.
- البلمرة بالتكثيف وصناعة النايلون.

٧-١ الكحولات

درست في الوحدة الرابعة أن النفط (البترول) يعد مصدرًا رئيسيًّا للهيدروكربونات، وهي المكوِّن الرئيسي للوقود، بسبب قدرتها على توفير الحرارة والطاقة اللازمتين لوسائل النقل المختلفة. إلا أن الطلب على الهيدروكربونات -ذات السلاسل الطويلة-المستخدمة كوقود يعد قليلًا جدًّا، مقارنة بتلك التي يتم تكسيرها حراريًّا لتكون مشتقات أصغر حجمًا، وأكثر تطايرًا وقابلية للاشتعال.

كما قد تنتج عن التكسير الحراري مواد ثانوية أخرى مثل الألكينات التي يمكن تحويلها إلى مواد كيميائية مفيدة نستخدمها في حياتنا اليومية، وليس كوقود فقط كما هو الحال في الألكانات. فعلى سبيل، المثال يتم تحويل الإيثين إلى الإيثانول، الذي يُستخدم كمذيب، وتحويل الإيثين إلى بولي إيثين، وهي مادة متعدّدة الاستعمالات: في صناعة الأكياس، والأحواض (الأوعية) وعبوات المياه البلاستيكية (الشكل ٧-١).



الشكل ٧-١ مشتقّات الإيثين

يعدّ الإيثانول أحد أكثر المُركّبات العضوية الشائعة، وهو ينتمي إلى عائلة من المُركّبات تُسمّى **الكحولات Alcohols**. فالكحولات سلسلة مُتجانسة من المُركّبات التي تحتوي على **المجموعة الوظيفية Functional group** المعروفة باسم مجموعة الهيدروكسيل OH–. (الشكل ٧-٢).



الشكل ٧-٢ تركيب الإيثانول

مصطلحات علمية

- **الكحولات Alcohols:** سلسلة من المُركّبات العضوية التي تحتوي على المجموعة الوظيفية OH –.
- **المجموعة الوظيفية Functional group:** ذرة أو مجموعة من الذرّات تُميِّز الصيغة البنائية لمجموعة من المركّبات التي تحتويها وتحدّد خصائصها الفيزيائية والكيميائية.

إنتاج الإيثانول

تميُّه الإيثين

تتضمّن طريقة إنتاج الإيثانول تفاعُل الإضافة الذي درسته في نهاية الوحدة الرابعة؛ حيث يُضغط الإيثين وبخار الماء حتى 60 atm، ويتمّ تمريرهما فوق عامل حفّاز هو حمض الفوسفوريك (H_3PO_4) عند درجة حرارة 300 °C، لينتج بخار الإيثانول وفقًا للمعادلة الآتية:

إيثانول ← (60 atm، 300 °C، حمض الفوسفوريك) إيثين + بخار الماء

$$C_2H_4(g) + H_2O(g) \xrightarrow[H_3PO_4]{60\ atm,\ 300\ ^\circ C} C_2H_5OH(g)$$

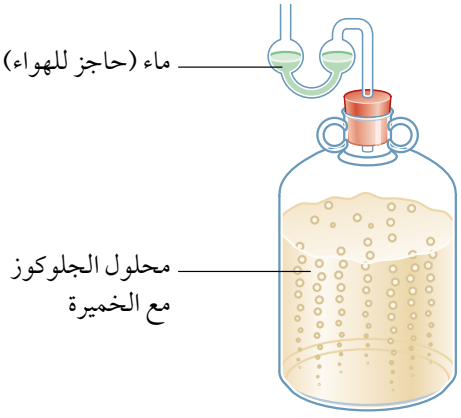
تُستخدم طريقة تميُّه الإيثين (إضافة بخار الماء إلى الإيثين) على نطاق واسع لإنتاج الإيثانول لأسباب عدّة. فبسبب درجة الحرارة والضغط المرتفعَين، يكون معدّل سرعة التفاعُل كبيرًا جدًّا، ويتمّ إنتاج الإيثانول على الفور وبكمّيات وفيرة. ويتم في هذا التفاعل إدخال المادتَين المتفاعلتَين، (الإيثين وبخار الماء)، في أحد طرفَي أنبوبة التفاعُل بشكل متواصل، وينتج الإيثانول عند الطرف الثاني من الأنبوبة؛ مما يشكّل عملية إنتاج متواصلة. ويتم تدوير الكميات التي لم تتفاعل من الإيثين وبخار الماء بإعادتها إلى مدخل أنبوبة التفاعُل. وبما أن الإيثانول هو المادة الناتجة الوحيدة من هذا التفاعُل، فإنّ هذه الطريقة تكون فعّالة جدًّا، لا سيّما وأنّ المواد المُتفاعلة قد تم استهلاكها كليًّا لصنع المادة الناتجة المطلوبة. ومن الجدير بالذكر أنّ هذه الطريقة الحديثة نسبيًّا، تُنتِج إيثانولًا ذا نقاوة عالية؛ لعدم وجود نواتج أخرى.

التخمُّر

عُرف الإيثانول منذ آلاف السنين، إذ أنتجته حضارات مثل حضارة البابليين وحضارة المصريين القدامى؛ حيث وجدوا أنهم إذا قاموا بهرس الفواكه وعصرها مثل العنب، أو بنقع الحبوب، فإن المخلوط (المنقوع) سيكوّن فقّاعات، ويُنتج روائح ونكهات نفاذة؛ ذلك أنّ الفواكه والحبوب تحتوي على سكّريّات طبيعية مثل الجلوكوز، تتفكّك إلى الإيثانول الذي يمتلك رائحة نفاذة وغاز ثاني أكسيد الكربون في هيئة فقاعات.

وقد تبيّن أن عملية التفكُّك تزداد بوجود **الخميرة Yeast** (فطريّات حيّة وحيدة الخلية). ويُطلق على التفكُّك الذي يحدث لمادة عضوية بتأثير الخميرة، أو أي كائنات دقيقة أخرى **التخمّر Fermentation**.

يعطي التخمّر نتائج أفضل في غياب الهواء (الأكسجين)، مع إبقاء الوعاء الذي يحتوي على الخميرة ومحلول السكّر دافئًا. يوضّح الشكل (٧-٣) وعاء تخمّر مخبريًّا. يوضع محلول سكّر الجلوكوز والخميرة داخل الوعاء، ويغلق بحاجز يمنع دخول الهواء (الأكسجين)، لكنه يسمح لغاز ثاني أكسيد الكربون الناتج بالخروج منه، الأمر الذي يُقلّل من الضغط الناشئ.



الشكل ٧-٣ وعاء تخمّر مخبري

وبما أن الأكسجين لن يدخل إلى الوعاء؛ تحدث عملية **تنفُّس لاهوائي Anaerobic respiration**، فتُخمّر الخميرة السكّر لتوفير الطاقة. لذلك يتكوّن الإيثانول وثاني أكسيد الكربون، عوضًا عن الماء وثاني أكسيد الكربون اللذَين ينتجان من عملية التنفُّس الهوائي. ويحدث تفاعُل التخمّر وفقًا للمعادلة الآتية:

$$\text{جلوكوز} \xrightarrow[36^\circ C]{\text{إنزيمات الخميرة}} \text{إيثانول} + \text{ثاني أكسيد الكربون}$$

$$C_6H_{12}O_6(aq) \xrightarrow[36^\circ C]{\text{إنزيمات الخميرة}} 2C_2H_5OH(aq) + 2CO_2(g)$$

تحتوي الخميرة على إنزيمات، وهي عوامل حفّازة حيوية (بيولوجية)، تُسرّع تفكيك السكّر (انظر كتاب مادة الأحياء للصف التاسع/الفصل الدراسي الأول). وتقوم بعملها بشكل أفضل عند درجات حرارة منخفضة نسبيًّا، لذا نلاحظ أنّ عملية التخمّر تكون في حالتها المثلى عند درجة الحرارة 36 °C، وتستغرق في الغالب عدّة أسابيع.

غير أنّ درجات الحرارة الأعلى من 36 °C تُحدث تشوُّهًا في المواقع النشطة في الإنزيمات، وهذا يعني أنها لم تعد قادرة على التفاعُل مع جُزيئات السكّر. وفي المقابل، عندما تكون درجات الحرارة أدنى من درجة الحرارة المثلى، يصبح تفاعل التخمّر بطيئًا جدًّا.

تتوقّف عملية التخمّر عندما ينفد السكّر، أو عندما يبلغ تركيز محلول الإيثانول نحو 14%؛ حيث تتوقف الخميرة عن التكاثر وتموت، لأن الإيثانول المتكوّن بهذه النسبة يعد سامًّا للخميرة. وبشكل عام، تشير درجة (نسبة) التخمّر إلى أن كمّية الإيثانول الناتجة عن هذه الطريقة تكون منخفضة إلى حد ما. أضف إلى ذلك أنّ الإيثانول المُتكوّن غير نقي، لأنه يدخل ضمن مخلوط من الماء ومواد أخرى موجودة ومتكوّنة في وعاء التفاعُل، ممّا يعني أنّ المخلوط الناتج من هذه الطريقة يجب أن يخضع لعملية إضافية هي التقطير التجزيئي، لزيادة تركيز الإيثانول.

تذكَّر

- يعدّ التخمّر عملية تنفُّس لاهوائية، وهو يحدث في غياب الهواء أو الأكسجين. لذلك لا يظهر الأكسجين (O_2) في معادلة التفاعُل، ويكون ثاني أكسيد الكربون هو الغاز الناتج من التفاعل.

مصطلحات علمية

- **التخمّر Fermentation:** تفكُّك مُركّب عضوي باستخدام كائنات حيّة دقيقة مثل الخميرة في ظروف لاهوائية.
- **التنفُّس اللاهوائي Anaerobic respiration:** مجموعة من التفاعُلات الكيميائية، يتمّ خلالها تفكيك جُزيئات المواد الغذائية من أجل تحرير الطاقة المُختزَنة فيها دون استخدام الأكسجين.

نشاط ٧-١

تخمّر الجلوكوز

المهارات:

- **يبيّن بطريقة عملية معرفته المتعلقة بكيفية الاستخدام الآمن للتقنيات والأجهزة والمواد (بما فيها اتبّاع سلسلة من التعليمات المناسبة).**
- **ينجز التجربة ويسجّل الملاحظات والقياسات والتقديرات.**

تحتوي الخميرة على إنزيمات تُحفّز تفكيك الجلوكوز إلى إيثانول وثاني أكسيد الكربون. في هذه التجربة، (يمكن أن ينفّذها المعلّم كعرض عملي)، يُترك محلول الجلوكوز لكي يتخمّر، ثم يتم اختبار المواد الناتجة من التخمّر.

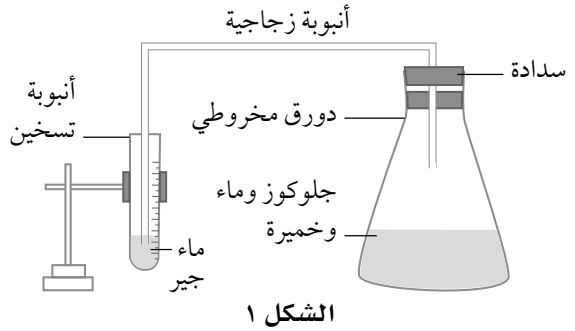
المواد والأدوات والأجهزة

- دورق مخروطي (100 mL)
- أنبوبة تسخين
- مخبار مدرج (50 mL)
- ميزان (منزلة عشرية واحدة، رقم عشري واحد (1 decimal place
- صوف قطني
- أوراق لاصقة
- جلوكوز، 5 g
- خميرة (ذات أسرع مفعول ممكن)، 1 g
- ماء الجير $Ca(OH)_2$
- مياه دافئة عند درجة حرارة 30–40 °C

⚠

- **ضع النظّارة الواقية لحماية عينَيك.**
- **ارتد معطف المُختبَر.**
- **البس القُفّازَين الواقيَين أثناء إجراء هذه التجربة عند الضرورة.**
- **توخَّ الحيطة والحذر عند التعامُل مع السوائل حول الأجهزة الكهربائية، وتجنب إحداث أي انسكابات بالقرب منها.**
- **اغسل يدَيك بعد انتهاء التجربة.**

الطريقة



الشكل ١

الجزء ١: عملية التخمّر

١ اسكب ماء الجير في أنبوبة التسخين بحيث يمتلئ ربعها تقريبًا. ضع الأنبوبة بتأنٍّ في رف أنابيب الاختبار أو قم بتثبيتها في حامل معوج.

٢ ضع 5 g من الجلوكوز في دورق مخروطي، وأضف إليها 50 mL من الماء الدافئ. حرّك الدّورق بشكل دائري لإذابة الجلوكوز.

٣ أضف 1 g من الخميرة إلى المحلول، ثم ضع السدادة وأنبوبة التوصيل كما هو مبيّن في الشكل ١.

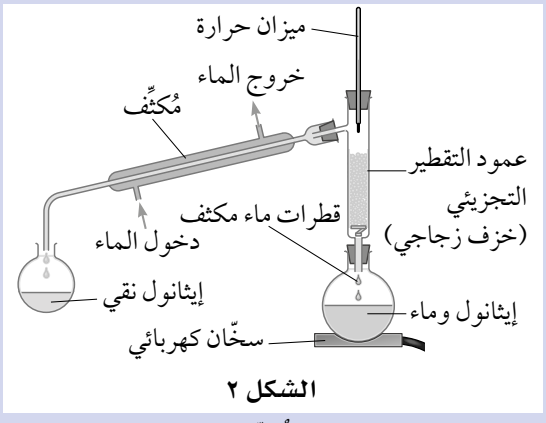
٤ يستغرق التخمّر عدّة أيام لإنتاج كمّية من الإيثانول تكفي لعملية التقطير، لاحظ أي تغييرات تحدث في ماء الجير وسجلها.

الجزء ٢: عملية التقطير التجزيئي

١ أزل السدادة لمعرفة رائحة المحلول.

٢ يمكن الاحتفاظ بالمحاليل الناتجة لتنفيذ عرض عملي للتقطير.

التقطير التجزيئي لمخلوط من الإيثانول والماء:



الشكل ٢

يعدّ التقطير التجزيئي طريقة مُهمّة لفصل المواد السائلة التي تمتلك درجات غليان مختلفة. تُستخدم هذه الطريقة لفصل مكوّنات مخلوط من الإيثانول والماء، كما هو موضّح في الرسم أعلاه (الشكل ٢). وتتمّ مقارنة رائحة المادة المقطّرة برائحة المحلول قبل التقطير. كما يمكن أيضًا مقارنة قابلية المادة المقطّرة للاشتعال بقابلية اشتعال المحلول قبل التقطير.

أسئلة

١ ما نتيجة اختبار ماء الجير؟ وما الذي أكّدته هذه النتيجة؟

٢ صف رائحة المحلول بعد مضي عدّة أيام. ماذا تستنتج؟

٣ ما الذي أدّى إلى انتهاء عملية التخمّر؟

٤ ما النسبة المئوية التقريبية للإيثانول عند نهاية عملية التخمّر هذه؟

أسس المقارنة	إنتاج الإيثانول بالتميّه	إنتاج الإيثانول بالتخمّر
وصف الطريقة	طريقة متطوّرة ومعقّدة	طريقة بسيطة ومباشرة
استمرارية الطريقة	عملية متواصلة، يمكن تشغيلها طوال الوقت دون الحاجة إلى إيقافها وإعادة تشغيلها	عملية تتم على دفعات؛ تحتاج إلى بدء العملية في كل مرّة
الأدوات المستخدمة	تحتاج إلى مُعدّات صغيرة الحجم قادرة على تحمُّل الضغط	تحتاج إلى أوعية كبيرة
درجة الحرارة والضغط	تحتاج إلى درجة حرارة وضغط مرتفعَين	تحتاج إلى درجات حرارة منخفضة وضغط جوي عادي
العامل الحفّاز	تحتاج إلى حمض الفوسفوريك كعامل حفّاز	تحتاج إلى الخميرة كعامل حفّاز
سرعة الطريقة	سريعة	بطيئة نسبيًّا
نقاوة الإيثانول الناتج	الإيثانول الناتج عالي النقاوة	الإيثانول الناتج غير نقي، تتم تنقيته باستخدام عملية التقطير التجزيئي
مصدر الإيثانول الناتج	مصدر غير متجدد (النفط)	ينتج من مصادر نباتية متجدّدة

الجدول ٧-١ مقارنة طريقتَي إنتاج الإيثانول

يُنتَج الإيثانول بكلتا الطريقتين (تميّه الإيثين والتخمّر)، إلاّ أن لكل طريقة مزايا وعيوبًا خاصّة بها. ويعتمد اختيار طريقة إنتاج الإيثانول على مدى توفُّر المواد، وعلى مدى النقاوة المطلوبة. ويُلخّص الجدول (٧-١) المقارنة بين الطريقتَين.

استخدامات الإيثانول

يُستخدم الإيثانول في مجالات عديدة، وأكثر هذه الاستخدامات هي كمذيب ووقود.

يشترك الإيثانول مع الماء في وظيفته كمذيب؛ فكلاهما سائلان عديما اللون يُستخدمان لإذابة مواد أخرى. وعلى الرّغم من أن الماء يُذيب الأملاح والمُركّبات غير العضوية، إلا أنه لا يذيب المُركّبات العضوية بذات الفاعلية. أما الإيثانول فلديه القدرة على إذابة المُركّبات العضوية بفاعلية أكبر من الماء، لكونه مركّبًا عضويًّا. فعلى سبيل المثال؛ يصعب إزالة الكتابة من على اللوح الأبيض في قاعة التدريس بالماء، لكن إذا أضفنا القليل من الإيثانول فتتم إزالة الكتابة بسهولة، والسبب أن المادة التي صنع منها حبر مادة القلم مركب عضوي والإيثانول يذيب المركبات العضوية، أمّا الماء فلا يذيبها.

تحتوي الكثير من مُنتَجات التنظيف على الإيثانول الذي يُذيب الأوساخ والمواد العضوية الأخرى بهدف إزالتها، وكذلك من أجل توفير بيئة معقّمة تقتل البكتيريا. يمتزج الإيثانول بالماء بشكل جيّد، لذا يمكن بسهولة تحضير محلول قادر على إذابة مواد عضوية ومواد غير عضوية. وغالبًا ما يُستخدم الإيثانول كمذيب رئيسي في حبر طابعات الحواسيب، وفي منتجات أخرى كالعطور، ومزيلات الروائح الكريهة، والأصماغ والدهانات (الصورة ٧-١).



الصورة ٧-١ بعض المنتجات التي تستخدم الإيثانول كمذيب

تعتمد هذه الاستخدامات جميعها على درجة غليان الإيثانول المنخفضة نسبيًّا، والتي تبلغ 78 °C، وهذا يعني أن الإيثانول يتبخّر بسرعة أكبر من مذيبات أخرى كالماء مثلًا. وهذا أيضًا يجعله قابلًا للاشتعال بشكل كبير، لذا يجب حفظ المنتجات التي تحتوي على الإيثانول كمذيب بعيدًا عن اللهب، أو أيّ مصادر اشتعال أخرى. ويجب أن يكون الإيثانول الذي يدخل في مثل هذه الاستخدامات نقيًّا جدًّا. لذا فإنّ تميُّه الإيثين يعدّ أفضل الطرق في تصنيعه.

يعدّ الإيثانول وقودًا ذا أهمّية متزايدة، وهو يحترق وفقًا للمعادلة الآتية:

ماء + ثاني أكسيد الكربون ⟶ أكسجين + إيثانول

$$C_2H_5OH(l) + 3O_2(g) \longrightarrow 2CO_2(g) + 3H_2O(l)$$

وينتج من احتراقه كمّية من السخام (سواد الدّخان وهو كربون غير محترق) أقل من تلك التي تطلقها الهيدروكربونات، وعادة ما يكون احتراق الإيثانول كاملًا، بسبب وجود الأكسجين في تركيبه البنائي مقارنة بغيابه في تركيب الهيدروكربونات.

وعلى نطاق محدود، يتمّ استخدام الإيثانول كوقود كحولي مُحوَّل Denatured alcohol (إيثانول مخلوط مع الميثانول) في المصابيح والمواقد الكحولية (الصورة ٧-٢). ويعدّ الإيثانول وقودًا مفيدًا إلى درجة أن بعض الدول قد طوّرته لاستخدامه كوقود للسيّارات (الصورة ٧-٣).



الصورة ٧-٢ موقد كحولي يستخدم الإيثانول. يحترق الإيثانول بلهب نظيف إلى حد ما، مطلقًا القليل من الدّخان نسبيًّا

يأتي الإيثانول الناتج عن التخمّر من مصدر متجدد؛ مثل المحاصيل الزراعية، كقصب السكّر أو الذرة، التي تنتج الجلوكوز، حيث يمكن إعادة زراعتها وإنتاجها في غضون أشهر. وهذا عكس الوقود الأحفوري الذي يعد من المصادر غير المتجدّدة، الذي يستغرق تكوينه ملايين السنين.

وكما هو الحال مع الوقود الأحفوري، ينتج عن احتراق الإيثانول غاز ثاني أكسيد الكربون الذي ينبعث إلى الغلاف الجوي للأرض، ويسهم في ظاهرة الدّفيئة (الاحتباس الحراري). ومن الناحية النظرية، فإنّ إنتاج الإيثانول عن طريق التخمّر واستخدامه كوقود لا ينبغي أن يزيد كمية ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، فالكمية نفسها من ثاني أكسيد الكربون المنبعثة من هذه العمليات يفترض امتصاصها واستخدامها في عملية التمثيل الضوئي من قِبل النباتات التي تتم زراعتها للتخمّر. في حين أن ثاني أكسيد الكربون الناجم عن احتراق الوقود الأحفوري يعد كمية إضافية تُطلق في الغلاف الجوي. ولأن الوقود الأحفوري لا يُنتَج بالتمثيل الضوئي، فإنّ إعادة تكوينه مرّة أخرى يستغرق ملايين السنين.

وفي حال موازنة كمية ثاني أكسيد الكربون التي تنتجها أو تطلقها عملية ما مع الكمية نفسها التي يتم امتصاصها، يُقال غالبًا إنّ هذه العملية متعادلة كربونيًّا، إذ لا تُطلق إجمالًا أي كمية إضافية من ثاني أكسيد الكربون في بيئتنا.

لقد بدأت البرازيل، ذات المُناخ الملائم لزراعة قصب السكّر، بإنتاج وقود الإيثانول عام 1973م. وهي تمتلك



الصورة ٧-٣ محطّة توفّر الإيثانول والجازولين كوقود للسيارات في مدينة ساو باولو البرازيلية

أحد أكبر برامج إنتاج وقود الإيثانول في العالم. حيث يُنتج الإيثانول عن طريق تخمّر بقايا المحاصيل الزراعية، ويُسمّى هذا النوع من الوقود **وقودًا حيويًا Biofuel**.

تذكّر

- يُطلب منك في أسئلة الاختبار عادة موازنة معادلات تفاعُلات احتراق الهيدروكربونات أو الكحولات.
- تأكّد من موازنة ذرّات الأكسجين (O) في المعادلة. وأنّ جُزيء الكحول في الكحولات يحتوي على ذرّة أكسجين.

مصطلحات علمية

- **المذيب Solvent:** مادة تذيب مادة أخرى.
- **الوقود الحيوي Biofuel:** وقود من مصدر حيوي (نباتي أو حيواني) يمكن استخدامه في وسائل النقل المختلفة.

نشاط ٧-٢

المقارنة بين أنواع الوقود

المهارات:

- يبيّن بطريقة عملية معرفته المتعلقة بكيفية الاستخدام الآمن للتقنيات والأجهزة والمواد (بما فيها اتبّاع سلسلة من التعليمات المناسبة).
- ينجز التجربة ويسجّل الملاحظات والقياسات والتقديرات.
- يناقش الملاحظات التجريبية والبيانات ويقيّمها.
- يُقيّم الطرائق، ويقترح التحسينات المُحتملة.

أثارت فكرة أنّ الوقود الأحفوري سينفد يومًا ما قلقًا جدّيًا. كما أثارته فكرة أنّ حرق الوقود الأحفوري يؤدّي إلى ظاهرة الاحتباس الحراري العالمي، بسبب كمّيات ثاني أكسيد الكربون التي تُطلق في الغلاف الجوّي.

سيُطلب منك في هذا النشاط تصميم تجربة لإجراء مقارنة بين نوعَين من الوقود؛ أحدهما أحفوري، والآخر متجدّد.

سوف تستخدم البارافين (ألكان) كوقود أحفوري تم الحصول عليه من النفط، والإيثانول (كحول) كوقود متجدّد تم الحصول عليه من تخمّر سكّر مُستخلَص من النبات.

اكتب خطّة لتحديد أيُّهما يعدّ وقودًا أفضل للاستخدام.

ستحتاج إلى:

- تحديد ما الذي يجعل وقودًا ما أفضل للاستخدام من وقود آخر، ووضع فرضية عن أيهما تعتقد بأنه سيكون أفضل، ولماذا.
- تبرير اختيارك للمُعدّات الملائمة لاستقصائك، ورسم مخطّط مُعنون للجهاز المُستخدم.
- كتابة الطريقة التي يمكن اتّباعها.
- شرح الإجراءات التي قرّرت استخدامها.
- تحديد ما سوف تقيسه، والكمّيات التي سوف تحتاج إليها للتحكّم في التجربة.
- تحديد المخاطر الكامنة في استقصائك، وشرح احتياطات السلامة التي اتّخذتها.
- تصميم جدول بيانات لجمع ملاحظاتك، وقياساتك.

عندما يرى معلّمك خطّتك ويوافق عليها، نفّذ استقصاءك، وسجّل ملاحظاتك وقياساتك جميعها.

بعد ذلك، عليك كتابة استنتاج منطقي يوضّح أي وقود تعتقد بأنه الأفضل بناءً على بياناتك، مع شرح الأسباب.

أسئلة

١ حدّد المُتغيّرات المستقلّة والتابعة في استقصائك، وصِفْ كيف تم قياسها.

٢ حدّد المُتغيّرات التي تم التحكُّم فيها، واشرح كيف يمكن لتلك المُتغيّرات أن تؤثّر على نتائج التجربة.

٣ اكتب تعليقًا عن البيانات أو الاستنتاجات غير المتوقعة، وكيفية تحسينها.

٤ ناقش أي عوامل أخرى قد تحتاج إلى أخذها في الحسبان عندما تقرّر أيّ الوقودَين أفضل من الآخر في استخدام معيّن.

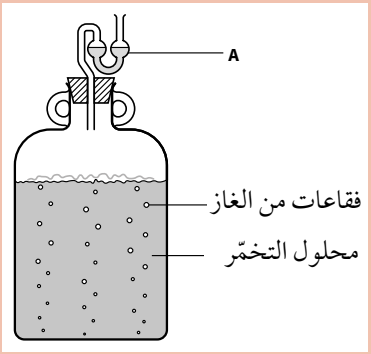
أسئلة

٧-١ ما اسم السلسلة المُتجانسة التي ينتمي إليها الإيثانول؟

٧-٢ اكتب المعادلتَين: اللفظية والرمزية لتميُّه الإيثين ببخار الماء.

٧-٣ ما الظروف الرئيسية المطلوبة لإنتاج الإيثانول بتميُّه الإيثين؟

٧-٤ يمكن تصنيع الإيثانول بتخمّر السكّريات باستخدام الجهاز المبيّن أدناه:



أ. ما اسم الغاز الناتج أثناء التخمّر، المبيّن أعلاه؟

ب. يتسرّب هذا الغاز عبر جزء الجهاز الذي يحمل الرمز **A**. ما الهدف الرئيسي من هذا الجزء؟

ج. ما الذي يجب إضافته إلى محلول السكّر لجعله يتخمّر؟

د. عند أي درجة حرارة يكون معدل سرعة التفاعل أكبر ما يمكن؟

هـ. وضّح سبب اختيارك لقيمة درجة الحرارة في الجزئية **د**.

٧-٥ اذكر ميزتين لإنتاج الإيثانول عن طريق:

أ. تميّه الإيثين.

ب. التخمّر.

٧-٦ اذكر استخدامًا واحدًا للإيثانول وسببَين لهذا الاستخدام.

٧-٢ البوليمرات

تحتوي الكائنات الحية جميعها على **بوليمرات Polymers**؛ فالبروتينات، والكربوهيدرات، والخشب، والمطّاط الطبيعي جميعها بوليمرات طبيعية. وقد استفاد العلماء من تركيبها لإنتاج البوليمرات صناعيًّا (أو في الصناعة). وقد انتشرت البوليمرات الصناعية، المعروفة غالبًا باسم **المواد البلاستيكية Plastics** في كل مكان من المجتمعات التكنولوجية الحديثة، وقد تمّ صنعها على هيئة مواد ضخمة، وأفلام وألياف. وتمتلك خصائص تتناسب مع استخدامات خاصة ومحدّدة لها، تتدرّج من مكوّنات مواد التغليف والملابس، وصولًا إلى مواد مكوّنات السيارات والطائرات.

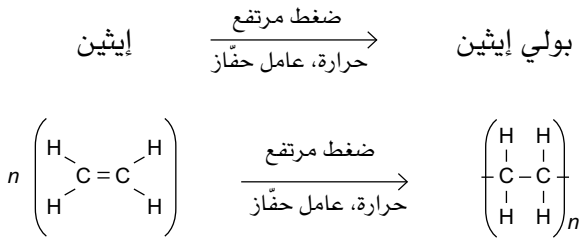
تتكوّن البوليمرات من جُزيئات ذات سلاسل طويلة مؤلّفة من وحدات صغيرة متكرّرة تُعرف **بالمونومرات Monomers** ترتبط معًا بوساطة تفاعُل يُعرف **بالبلمرة Polymerisation**. وتتكرّر هذه الوحدات بأعداد متفاوتة تتراوح بين مئة مرّة وما يزيد على المليون مرّة. وتعدّ البوليمرات **جُزيئات ضخمة Macromolecules** بسبب حجمها الكبير.

البلمرة بالإضافة

عندما قامت الشركة الكيميائية ICI (شركة إمبريال للصناعات) بتصنيع أوّل بولي ايثين، اعتُبِر مادة جديدة ثورية سُمّيت «ألكثين» Alkathene. وهو يُعرف الآن بالاسم التجاري «بوليثين» polythene. ولقد تم إنتاج المواد البلاستيكية الأولى باستخدام مونومرات هي عبارة عن ألكينات مصدرها التكسير الحراري المحفّز لمُشتقّات نفطية، فالألكينات تحتوي على رابطة ثنائية C=C. وتستطيع هذه الجُزيئات أن تشارك في تفاعُلات إضافة Addition reactions (راجع الوحدة ٤)؛ حيث تتكسر الرابطة الثنائية، وترتبط ذرّات أخرى بذرّتي الكربون.

وتسمح الرابطة الثنائية في الإيثين لكثير من جُزيئاته بالترابُط لتكوين جُزيء كبير، هو **البولي إيثين PE / Poly(ethene)** (الشكل ٧-٤)، الذي يُطلق عليه اسم **بوليمر الإضافة Addition polymer**، أي أنه يتكوّن خلال تفاعُل بلمرة بالإضافة.

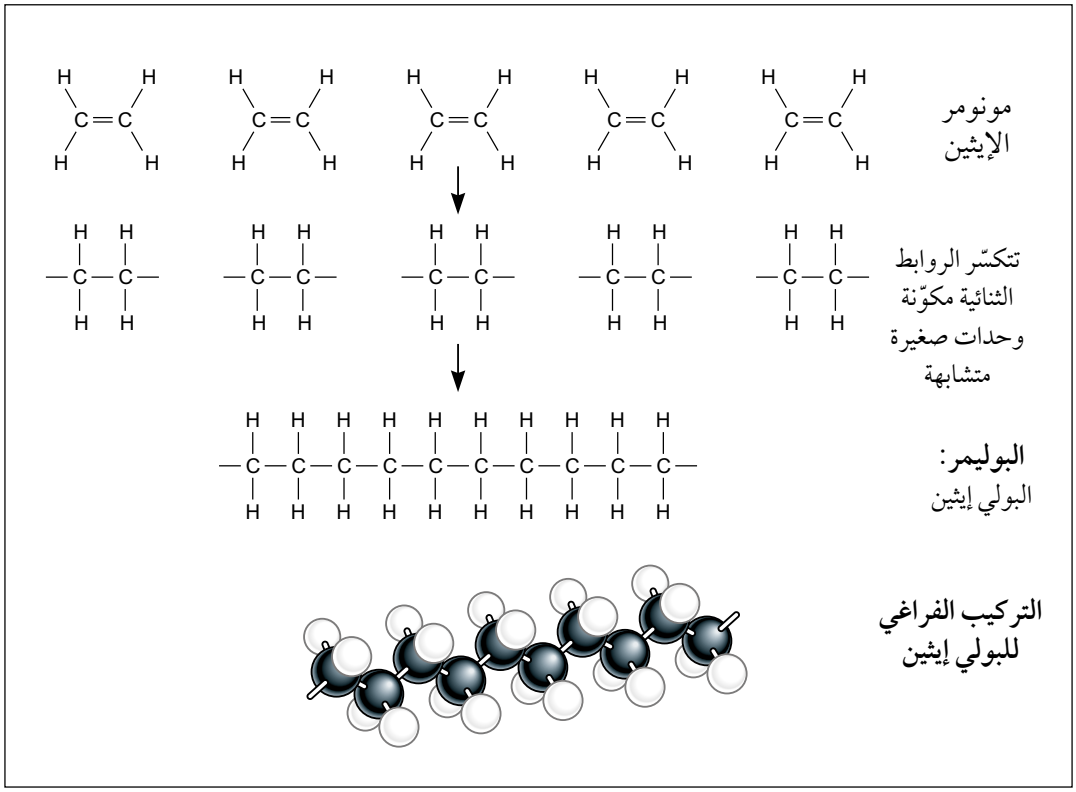
يتطلّب تفاعل الإضافة ضغطًا مُرتفعًا ودرجة حرارة تُعادل درجة حرارة الغرفة أو أعلى، وعاملًا حفّازًا. ويمكن تلخيص التفاعُل بالمعادلة الآتية:



n: تشير إلى عدد وحدات المونومر الداخلة في التركيب البنائي للبوليمر.

مصطلحات علمية

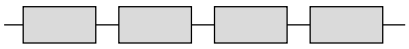
- **المونومر Monomer:** جزيء صغير له القدرة على الارتباط بجزيئات أخرى على شكل وحدات متكررة، لتكوين جُزيء ذي سلسلة طويلة (بوليمر).
- **البوليمر Polymer:** جُزيء ذو سلسلة طويلة يتكوّن من ترابط عدد كبير من جُزيئات المونومر معًا على شكل وحدات متكررة.
- **البلمرة Polymerisation:** تفاعُل عدد كبير من جُزيئات صغيرة (مونومرات) معًا لتكوين جُزيء ذي سلسلة طويلة (بوليمر).
- **البلمرة بالإضافة Addition polymerisation:** عملية بلمرة تتضمّن مونومرات تحتوي على رابطة ثنائية واحدة على الأقل بين ذرات الكربون، وتحدث عن طريق تفاعُلات إضافة.
- **البلاستيك Plastic:** بوليمر صناعي يُستخدم لتصنيع مجموعة واسعة من المُنتجات المختلفة.



الشكل ٧-٤ بلمرة الإيثين إلى بولي إيثين

تذكّر

- عند رسم التركيب البنائي للبولي إيثين، والبوليمرات الأخرى، لا تنسَ وضع الحرف n خارج القوسَين.
- يمكن تمثيل التركيب البنائي للبولي إيثين بشكل مخطّط على النحو الآتي:



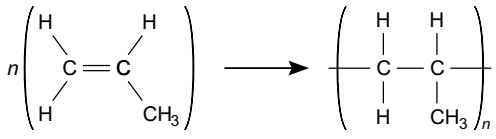
لقد تبيّن أن البولي إيثين مادة خاملة كيميائيًّا؛ فهي لا تتفاعل مع الماء أو الأحماض أو القلويات. وتم اكتشاف أنها صلدة ومتينة لأنها لا تتحلّل ولا تتفكّك بسهولة مع مرور الزمن، وهي عازلة جيدة للكهرباء. تُظهر الصورة (٧-٤) أمثلة على بعض المواد المستخدمة يوميًّا والمصنوعة من البولي إيثين.



الصورة ٧-٤ بعض الأدوات المنزلية المصنوعة من البولي إيثين

ويمكن لجُزيئات ألكينات أخرى أن تُنتج بوليمرات بالإضافة، فالبروبين مثلًا سوف يتبلمر لإنتاج **البولي بروبين poly(propene)**:

البولي بروبين ⟵ بروبين



وهذا الجُزيء ذو السلسلة الطويلة مشابه في تركيبه البنائي للبولي إيثين، مع وجود مجموعة الميثيل ($-CH_3$) المرتبطة بذرّة كربون موجودة في السلسلة.

تذكّر

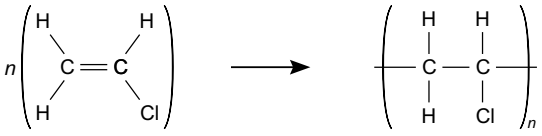
لفهم مخطّط التركيب البنائي للبولي بروبين، من المهم أن تدرك أن مجموعة $-CH_3$ هنا هي مجموعة جانبية (فرعية)، ولن تكون جزءًا من السلسلة، فقد تكوّنت السلسلة من ذرّات الكربون التي ترتبط معًا بالرابطة الثنائية C=C الموجودة في المونومر.

جرّب الكيميائيون ألكينات أخرى تحتوي على مجموعات أخرى مرتبطة بالرابطة الثنائية C=C. وكان الهدف منها إنتاج مواد بلاستيكية ذات خصائص معيّنة.

وفيما يلي ثلاثة من هذه البوليمرات:

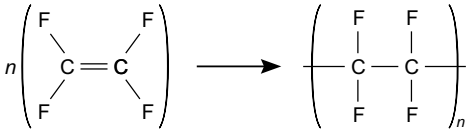
- **البولي كلورو إيثين poly(chloroethene)**

البولي كلورو إيثين ⟵ كلورو إيثين



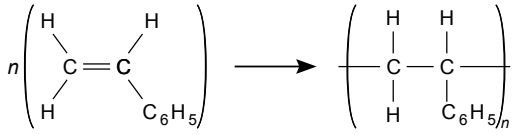
- **البولي رباعي فلورو إيثين poly(tetrafluoroethene)**

البولي رباعي فلورو إيثين ⟵ رباعي فلورو إيثين



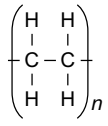
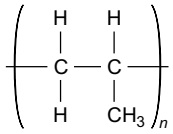
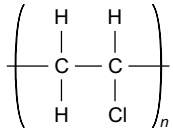
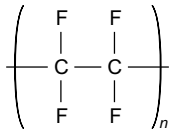
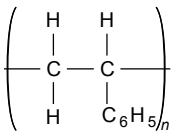
- **البولي فينيل إيثين poly(phenylethene)**

البولي فينيل الإيثين ⟵ فينيل الإيثين



يعدّ البولي كلورو إيثين (PVC) أكثر قوة وصلادة من البولي إيثين، ما يعني أنّه ملائم لصناعة أنابيب السبّاكة. وقد أثبت بولي رباعي فلورو الإيثين (PTFE) أن له خصائص غير اعتيادية؛ فهو مستقرّ جدًّا عند درجات الحرارة المرتفعة، ويكوّن سطحًا زلقًا جدًّا. ومن الجدير بالذكر أنّ هذه البوليمرات الصناعية متعدّدة الاستخدامات. فالكثير من تلك البوليمرات، مثل البولي بروبين، سهلة التشكُّل عن طريق صهرها وصبّها في قوالب. لذلك يُستخدم البولي بروبين لصنع مواد بلاستيكية متينة كالصناديق مثلًا. أضف إلى ذلك أنه بالإمكان سحبها على هيئة ألياف طويلة لصنع الحبال. وقد تم إدراج خصائص بعض بوليمرات الإضافة في الجدول (٧-٢).

وعلى الرغم من أن هذا النوع من البوليمرات مفيد، إلا أن له عيوبًا؛ فالمواد البلاستيكية المصنوعة من بوليمرات الإضافة تكون **غير قابلة للتحلُّل بيولوجيًا Non-biodegradable**. وعلى الرّغم من أن دولًا عديدة وضعت خططًا لإعادة تدوير المواد البلاستيكية واستخدامها، إلا أن معظمها لا يتم التخلّص منها بطريقة صحيحة. وينتهي بها المطاف مع النُّفايات الأخرى في المناطق الريفية والمحيطات، فتبقى هناك لمئات السنين (الصورة ٧-٥). وقد تقع في شباكها الحيوانات ممّا قد يؤدي إلى نفوقها. ويمكن أن تبتلعها الأسماك وكائنات حيّة بحرية أخرى ممّا يؤدي إلى اختناقها. ويُحتمل أن تتفتّت المواد البلاستيكية إلى قطع مجهرية، وتدخل بالتالي في سلسلتنا الغذائية. ويكفي أن ملايين الأطنان من المواد البلاستيكية تُلقى في المحيطات كل عام، حيث تكوّن جزيرة كبيرة من النُّفايات البلاستيكية في منتصف المحيط الهادئ.

البوليمر		المونومر	الخصائص	بعض الاستخدامات
اسمه العلمي	اسمه ورمزه التّجاريّان	صيغته البنائية		
البولي إيثين	البولي إيثلين، (البوليثين) PE		الإيثين $CH_2=CH_2$	صلد، ومتين	الأكياس البلاستيكية، الأكواب، الصحون المجوّفة، القناني، العبوات، ومواد التغليف
البولي بروبين	البولي بروبيلين PP		البروبين $CH_3CH=CH_2$	صلد، ومتين	الصناديق، العلب، والحبال البلاستيكية
البولي كلورو إيثين	بولي كلوريد الفينيل، PVC		الكلورو إيثين $CH_2=CHCl$	قوي، وصلد ولكنه ليس مرنًا كالبولي إيثين موصل رديء للحرارة	مواد عازلة، الأنابيب ومرازيب المياه
البولي رباعي فلورو إيثين	البولي رباعي فلورو إثيلين، (التفلون) PTFE		رباعي فلورو الإيثين $CF_2=CF_2$	سطح غير لاصق، مقاوم لدرجات الحرارة المرتفعة	المقالي غير اللاصقة، الصنابير والمفاصل غير اللاصقة
البولي فينيل إيثين	البولي ستيرين PS		الفينيل إيثين (الستيرين) $CH_2 = CH - C_6H_5$	خفيف، موصّل رديء للحرارة	مواد عازلة غير ملوّنة ومواد تغليف (على شكل رغوة)

الجدول ٧-٢ أمثلة على بعض بوليمرات الإضافة وبعض استخداماتها

مصطلحات علمية

- **غير قابلة للتحلُّل بيولوجيًا Non-biodegradable:** مادة لا تتفكّك ولا تتحلّل بشكل طبيعي في البيئة.



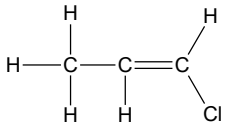
الصورة ٧-٥ غوّاص يجمع النفايات عن الشعاب المرجانية

بعض خصائص **بوليمرات الإضافة:**

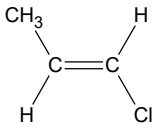
- تتكوّن جميع البوليمرات من جُزيئات ذات سلاسل طويلة تشكّلت عن طريق ارتباط عدد كبير من جُزيئات المونومرات.
- تتضمّن البلمرة بالإضافة جُزيئات مونومر تحتوي على رابطة ثنائية C=C.
- تُصنع بوليمرات الإضافة عادة من نوع واحد فقط من المونومر.
- تنكسر الرابطة الثنائية خلال عملية الإضافة، وترتبط الجُزيئات «المتشابهة» معًا لتكوّن جُزيئًا ذا سلسلة طويلة.

مثال ٧-١

اكتب الصيغة البنائية للبوليمر الذي يتكوّن من مونومرات لها التركيب البنائي الآتي:

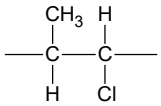


الخطوة ١: للحصول على الإجابة، من المفيد إعادة رسم الألكين، بحيث تكون جميع الروابط الموجودة حول الرابطة C=C متّجهة نحو الأعلى والأسفل.



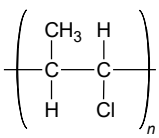
لاحظ أن الكربون في مجموعة الميثيل ($-CH_3$) الذي لا يعدّ جزءًا من الرابطة الثنائية قد تمّت كتابته كمجموعة CH_3.

الخطوة ٢: إزالة الرابطة الثنائية واستبدالها برابطة أحادية بين ذرّتَي الكربون.
ثم تُرسم روابط أحادية على يسار ويمين ذرّتَي الكربون الواقعتَين في الوسط.



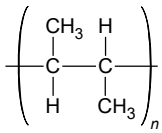
ويجب أن تكون ذرّات الكربون دائمًا محاطة بـ 4 روابط تساهمية.

الخطوة ٣: ارسم قوسَين حول الصيغة البنائية (بحيث يقطعان الرابطتَين الأحاديتَين الخارجيتَين)، ثم ضع الحرف *n* عند أسفل زاوية القوس الأيمن. ويعدّ هذا مهمًّا؛ لأنه يُشير إلى أن التركيب البنائي الموجود داخل القوسَين مكرّر مرات كثيرة، مشكِّلًا البوليمر.

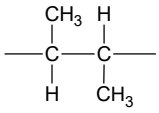


مثال ٧-٢

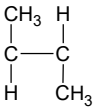
ما الصيغة البنائية للمونومر الذي تكوّن منه البوليمر الآتي:



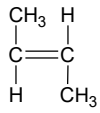
الخطوة ١: أزل القوسَين، والحرف n.



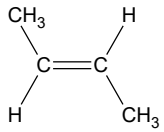
الخطوة ٢: أزل الرابطتَين الأحاديتَين من يسار ويمين ذرّتَي الكربون اللتَين تقعان في الوسط.

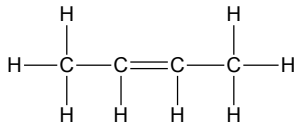


الخطوة ٣: ارسم رابطة ثانية بين ذرّتَي الكربون اللتَين تقعان في الوسط لتكوين رابطة ثنائية.



قد ترغب في إعادة رسم التركيب البنائي للألكين، بحيث يبدو مشابهًا أكثر للرسوم التخطيطية الواردة في الكتاب، كالمثالَين الآتيَين:





نشاط ٧-٣

مُقارنة مواد بلاستيكية مختلفة (إثرائي)

المهارات:

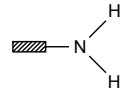
- **يُبيّن بطريقة عملية معرفته المتعلقة بكيفية الاستخدام الآمن للتقنيات والأجهزة والمواد (بما فيها اتّباع سلسلة من التعليمات المناسبة).**
- **ينجز التجربة ويسجّل الملاحظات والقياسات والتقديرات.**

تم ابتكار كثير من المواد البلاستيكية لأغراض مختلفة. يستكشف هذا النشاط الكثافة كخاصّية فيزيائية لمجموعة من المواد المختلفة، ومقاومة هذه المواد للأحماض والمواد القلويّة والمذيبات كخصائص كيميائية.

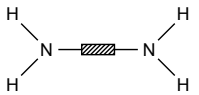
البلمرة بالتكثيف

كانت شركة دوبونت (DuPont) للكيماويات تجري في أوائل ثلاثينيّات القرن العشرين بحوثًا على الألياف الصناعية. وقد أسهمت المعرفة بألياف من الحرير والصوف الطبيعية في التّوصّل إلى أدلّة على كيفية تكوّن جُزيئات البروتين. وبتقليد الترابط في جُزيئات البروتينات، تم إنتاج أول نوع من الألياف الصناعية؛ النايلون. ويعدّ النايلون مادة صلبة عند تكوينه في البداية، ثم يتمّ صهره وتمريره عبر ثقوب صغيرة. وعندما تبرد هذه الخيوط الشعرية الطويلة، تُشدّ الألياف الناتجة لمحاذاة جُزيئات البوليمر لجعل الجزيئات مستقيمة وبالتالي أكثر تقاربًا، ومن ثم تُجفّف. بعد ذلك، تُنسج الألياف إلى قماش يُستخدم لصنع القمصان، وربطات العنق، والأغطية، وسواها... أو تحوّل إلى حبال أو خيوط لصناعة الشباك لاستخدامات عدّة. وعلاوة على ذلك، فلا يقتصر تصنيع النايلون على الألياف؛ فقد ثبت أنه مادة متعدّدة الاستخدامات، ويمكن صبّه في قوالب لصنع أدوات بلاستيكية صلدة كالإطارات المُسنّنة. والنايلون عبارة عن بوليمر مكوَّن من مونومرين مختلفين هما: أمين ثنائي وحمض كربوكسيلي ثنائي.

الأمين مركب عضوي يتضمن المجموعة الوظيفية $-NH_2$، لذلك يحتوي الأمين الثنائي على مجموعة $-NH_2$ عند كل من طرفي الجزيء

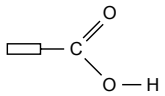


أمين

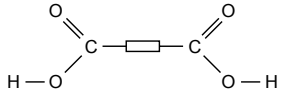


أمين ثنائي

حمض الكربوكسيل مركب عضوي يتضمن المجموعة الوظيفية $-COOH$، لذلك يحتوي الحمض الكربوكسيلي الثنائي على مجموعة $-COOH$ عند كل من طرفي الجزيء.



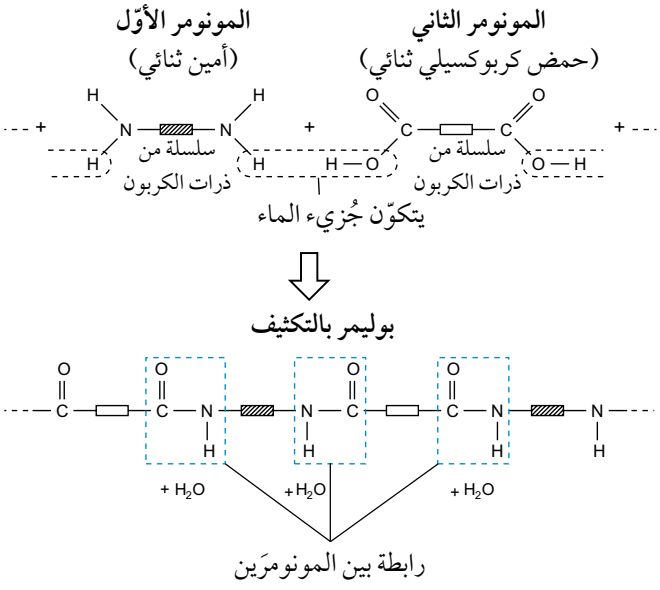
حمض كربوكسيلي



حمض كربوكسيلي ثنائي

في المخططات أعلاه، تم تبسيط سلسلة ذرات الكربون المرتبطة بالمجموعات الوظيفية في كل مونومر على شكل كتلة (مستطيل).

يصنع النايلون عن طريق **البلمرة بالتكثيف Condensation polymerisation**، وذلك عندما تتفاعل مجموعة أمينية ($-NH_2$) على أحد طرفَي المونومر ثنائي الأمين مع مجموعة كربوكسيلية ($-COOH$) على أحد طرفَي المونومر ثنائي الكربوكسيل لتكوين رابطة بين الجُزيئَين. وفي كل مرة تتكوّن فيها رابطة بين المونومرَين، يُفقد جُزيء ماء.



وكنتيجة لفقد جُزيئات صغيرة (مثل الماء) وتكوين جُزيئات ذات سلسلة طويلة، يُعرف هذا النوع من البوليمرات باسم **بوليمر التكثيف Condensation polymer**.

مصطلحات علمية

- **البلمرة بالتكثيف Condensation polymerisation:** عملية بلمرة يتم فيها ربط المونومرات عن طريق تفاعُل تكثيف يُزال خلاله جُزيء صغير، غالبًا ما يكون الماء.

تذكَّر

- لن يُطلب منك الصيغة البنائية المفصّلة للبوليمر. يمكنك تمثيل الصيغة البنائية المركزية لكل مونومر على شكل كتلة، كما تم توضيحه في الرسوم التخطيطية.
- ينبغي لك معرفة الصيغة البنائية للروابط الموجودة بين المونومرات في السلسلة.
- يجدر بك أن تتدرّب على هذه الرسومات لكي تتأكّد من أنك على دراية بها، ويمكنك تذكُّرها بسهولة.

مقارنة بين بوليمرات الإضافة وبوليمرات التكثيف

تُصنَّع معظم البولميرات بطريقتين هما؛ البلمرة بالإضافة أو البلمرة بالتكثيف. وكلتا الطريقتين تحتاجان إلى جزيئات صغيرة (مونومرات) لتكوين سلاسل طويلة (بوليمر)، إلا أن هناك بعض الاختلافات بينهما، كما هو موضح في الجدول (٣-٧).

أوجه المقارنة	البلمرة بالإضافة	البلمرة بالتكثيف
المونومرات المُستخدمة	تُستخدم عادة جُزيئات كثيرة من مونومر واحد.	تُستخدم عادة جُزيئات كثيرة من مونومرَين مختلفَين.
	يكون المونومر غير مُشبع، ويحتوي عادة على رابطة C=C.	تحتوي المونومرات على مجموعات وظيفية نشطة في طرفَي جُزيئاتها، مثل $-NH_2$ و $-COOH$.
التفاعُل الذي يحدث	تفاعل إضافة؛ ترتبط المونومرات معًا عن طريق كسر الرابطة الثنائية C=C.	تفاعُل تكثيف حيث ترتبط المونومرات معًا بفقد جزيء صغير (جُزيء الماء عادة) في كل مرّة يرتبط فيها مونومر بالسلسلة.
طبيعة المادة الناتجة	مادة ناتجة واحدة فقط؛ البوليمر.	مادتان ناتجتان: البوليمر والماء أو البوليمر وجُزيء صغير آخر.

الجدول ٧-٣ مقارنة بين طريقتي تصنيع البوليمرات الصناعية

أسئلة

٧-٧ ما المقصود بالبلمرة بالإضافة؟

٧-٨ اكتب معادلة رمزية لتكوّن البولي إيثين من الإيثين.

٧-٩ ارسم الصيغة البنائية للوحدة المتكرّرة في البوليمرَين الآتيَين:

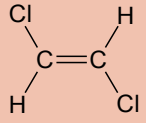
أ. البولي بروبين.

ب. البولي كلورو إيثين (PVC).

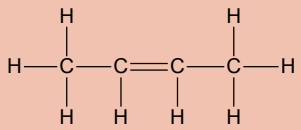
٧-١٠ ما المونومر المُستخدم لإنتاج البوليمر PTFE، (المعروف أيضًا باسم البولي رباعي فلورو إيثين)؟

٧-١١ ارسم الصيغة البنائية لبوليمر الإضافة الذي يمكن أن يتكوّن من كل من المونومريَن الآتيَين:

أ.

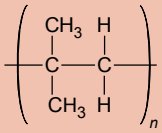


ب.

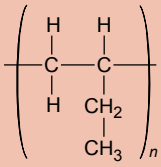


٧-١٢ ارسم الصيغة البنائية لكل من المونومرين اللذين يمكن أن يكوّنا بوليمرَي الإضافة الآتيين:

أ.



ب.



٧-١٣ يعد النايلون جُزيئًا صناعيًا كبيرًا يتم تصنيعه بطريقة البلمرة بالتكثيف. المجموعات الوظيفية للمونومرات هي $-NH_2$ و $-COOH$، وهي تكوّن بالتكثيف رابطة تمتلك الصيغة $-CONH-$.

أ. أثناء تكوّن النايلون، يتكوّن جُزيء آخر ناتج من تكثيف $-NH_2$ و $-COOH$، اكتب صيغته.

ب. ارسم الصيغة البنائية للنايلون الناتج. يمكنك تمثيل ذرات الكربون بين روابط $-CONH-$ بالكتل المستطيلة ▭.

٧-١٤ اكتب أوجه التشابه والاختلاف بين طريقتَي: البلمرة بالإضافة والبلمرة بالتكثيف.

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- طريقة تصنيع الإيثانول عن طريق تميُّه الإيثين أو التخمّر.
- للإيثانول استخدامات رئيسية مثل استخدامه كوقود أو مذيب.
- تحترق الكحولات بوجود فائض من الهواء (الأكسجين) فتنتج غاز ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء.
- طريقة بلمرة الألكينات لتكوين مجموعة مفيدة من بوليمرات الإضافة.
- البلمرة بالتكثيف هي طريقة أخرى تربط المونومرات معًا لإنتاج جُزيئات بوليمرية.
- النايلون مثال على بوليمر صناعي بالتكثيف.
- أوجه الاختلاف الرئيسية بين بوليمرات الإضافة، وبوليمرات التكثيف.

أسئلة نهاية الوحدة

١ تعدّ الكحولات سلسلة متجانسة من المُركّبات العضوية.

أ. ما المجموعة الوظيفية للكحولات؟

ب. اكتب الصيغة الجُزيئية للإيثانول.

ج. ارسم الصيغة البنائية للإيثانول.

د. تُستخدم الكحولات في الغالب كوقود، مثل الجازولين (البنزين).

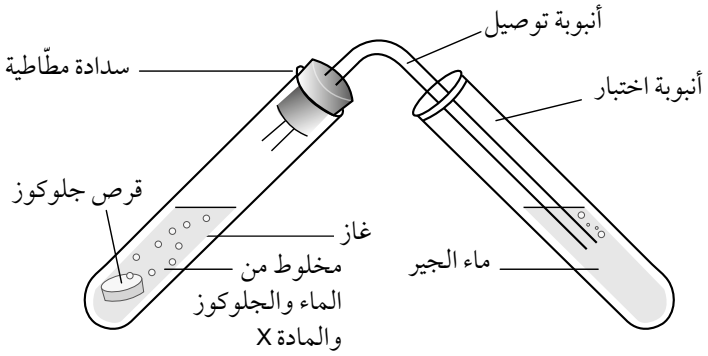
١. اكتب معادلة كيميائية موزونة لتفاعُل احتراق الإيثانول.

٢. يعدّ الإيثانول كوقود صديقًا للبيئة أكثر من الجازولين. فسّر ذلك.

٣. اذكر استخدامًا رئيسيًا آخر للكحولات.

٢ يتم إنتاج الإيثانول عن طريق تخمّر السكّريات مثل الجلوكوز.

يبيّن الرسم أدناه تجربة مخبرية لتخمّر الجلوكوز



أ. تعد المادة X المذكورة في الشكل أعلاه ضرورية لحدوث عملية التخمّر. ما اسم هذه المادة؟

ب. أي من درجات الحرارة الآتية تتيح الظرف الأفضل لنجاح هذه التجربة؟

١. 15 °C ٢. 25 °C ٣. 35 °C ٤. 45 °C

ج. ما الغاز الذي سينتج أثناء عملية التخمّر؟ وكيف يتم إثبات ذلك باستخدام الرسم المبيّن في الشكل أعلاه؟

د. الصيغة الكيميائية للجلوكوز هي: $C_6H_{12}O_6$.

اكتب معادلة كيميائية موزونة لعملية التخمّر المُنتِجة للإيثانول والغاز الذي تم تحديده في الجزئية **ج**.

هـ. ما المدة الزمنية التي يمكن أن يستغرقها حدوث التفاعُل؟

١. دقيقة واحدة.

٢. ساعة واحدة.

٣. أسبوع واحد.

٤. سنة واحدة.

و. بعد اكتمال التفاعُل، يجب فصل الإيثانول عن مخلوط التفاعُل.

اذكر اسم العملية التي تُستخدم للحصول على إيثانول نقي بشكل مقبول من المخلوط.

ز. أجب عن الأسئلة الآتية التي تصف طريقة إنتاج الإيثانول عن طريق تميُّه الإيثين:

١. اكتب المعادلة الكيميائية الرمزية.

٢. ما الظروف المطلوبة المناسبة لإنتاج الإيثانول بهذه الطريقة؟

٣. اذكر ميزتَين مقارنة بعملية التخمّر.

٤. اذكر اثنتين من السلبيات مقارنة بعملية التخمّر.

٣ أ. يُستخدم الإيثين لإنتاج البولي إيثين.

انسخ الجملتَين الآتيتَين المتعلقتين بهذا التفاعُل، ثم أكملهما باستخدام كلمات من القائمة أدناه:

عوامل حفّازة البوليمرات المونومرات

جُزيئات الإيثين التي ترتبط معًا لتكوين البولي إيثين تسمى .....

وجُزيئات البولي إيثين التي تكوّنت تسمى .....

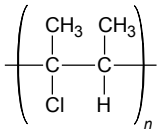
ب. ١. باختصار، صِف ما يحدث عندما تتفاعل جُزيئات الإيثين لتكوين البولي إيثين.

٢. اكتب معادلة كيميائية، باستخدام الصيَغ البنائية، لتوضيح تكوّن البولي إيثين من الإيثين.

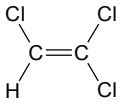
٣. اذكر استخدامَين للبولي إيثين.

ج. تم تصنيع الكثير من الجُزيئات الكبيرة الأخرى منذ اكتشاف البولي إيثين.

١. ارسم الصيغة البنائية للمونومر الذي سوف يكوّن البوليمر الآتي:



٢. ارسم الصيغة البنائية للبوليمر الذي يتكوّن من المونومر الآتي:



٤ البولي إيثين بوليمر تكوّن من الإيثين، ويعدّ مثالًا على بوليمر إضافة.

ويعدّ النايلون بوليمرًا أيضًا، ولكنه ليس بوليمر إضافة.

أ. ما الاسم المُعطى لنوع تفاعُل البلمرة الذي يكوّن النايلون؟

ب. اذكر خاصيتين تختلف فيهما البلمرة التي تُكوّن النايلون عن البلمرة التي تُكوّن البولي إيثين.

ج. يتكوّن النايلون الآتي من جُزيئَين مختلفَين، هما:

(حمض 1،6- ثنائي هكسانويك) $HOOCC_4H_8COOH$ و 1،6– ثنائي أمينو الهكسان $H_2NC_6H_{12}NH_2$

١. عندما يتفاعل حمض الهكسان ثنائي الكربوكسيل مع 1،6– ثنائي أمينو الهكسان، فإنه يشكّل النايلون ومادة ناتجة أخرى، ما اسمها؟

٢. اكتب التركيب البنائي لتوضّح كيف يرتبط هذان المُركّبان معًا في سلسلة البوليمر؛ ضمّن رسمك ثلاث وحدات مونومر على الأقل. يمكنك استخدام كتل (مستطيلات ▭) لتمثيل سلاسل الكربون.

د. يُستخدم النايلون أحيانًا كمادة عازلة في المُعدّات الكهربائية. ما الخاصّية التي يمتلكها النايلون والتي تجعله مناسبًا لهذا الاستخدام؟



الوحدة الثامنة

الطاقة الكيميائية والاتزان

Chemical Energetics and Equilibrium

تُغطّي هذه الوحدة:

- التفاعُلات الماصة والطاردة للحرارة.
- رسم المخططات البيانية للطاقة في التفاعلات الماصة والطاردة للحرارة.
- طاقة التنشيط (E_a)
- رسم منحنيات تغيُّر طاقة التفاعلات الماصة والطاردة للحرارة.
- تغيُّرات الطاقة أثناء كسر الروابط وتكوينها.
- التفاعُلات المنعكسة.
- الاتزان الديناميكي في الأنظمة المُغلقة.
- تصنيع الأمونيا باستخدام طريقة هابر.
- تصنيع حمض الكبريتيك باستخدام طريقة التلامُس.
- تصنيع الأسمدة واستخداماتها.

٨-١ تغيّرات الطاقة في التفاعُلات الماصّة والطاردة للحرارة

درست سابقًا أن هناك تفاعلات تنبعث منها طاقة على هيئة حرارة أو ضوء أو صوت، وهناك بعض التفاعُلات يتم فيها امتصاص طاقة من محيطها، فجميع التفاعلات تتضمن تغيُّرًا في الطاقة إلى حد ما، ولكن ليس من السهل ملاحظة ذلك دائمًا، فمعظم تغيُّرات الطاقة ينتج عنها انبعاث للحرارة نحو البيئة المحيطة وتكون العملية **طاردة للحرارة Exothermic**.

وفي حالات أقل، يبدو تغيّر الطاقة في هيئة امتصاص للحرارة من محيط التفاعل وتكون العملية **ماصّة للحرارة Endothermic**. ومع دراسة تغيّر الطاقة بشيء من التفصيل سنلاحظ أنّ أي تفاعُل كيميائي يتضمّن إحدى العمليتَين: الطاردة أو الماصّة للحرارة.

مصطلحات علمية

- **التفاعُل الطارد للحرارة Exothermic reaction:** تفاعُل يطلق حرارة نحو محيطه.
- **التفاعُل الماصّ للحرارة Endothermic reaction:** تفاعُل يمتص حرارة من محيطه.



الصورة ٨-١ حلقة غاز مشتعلة

ويُعدّ تفاعل الاحتراق من أكثر الأمثلة شيوعًا على تفاعُل يتضمّن تغيُّرًا في الطاقة الحرارية. على سبيل المثال، يحترق الغاز الطبيعي، وهو مكوّن من الميثان بشكل رئيسي، في ظروف مناسبة لإنتاج حرارة تُستخدم للطبخ في معظم المنازل (الصورة ٨-١).

لقد درست في الوحدة الرابعة أن احتراق الميثان (أو أي هيدروكربون آخر) بوجود الأكسجين، يَنتج عنه غاز ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء، وطاقة حرارية وفقًا للمعادلة الآتية:

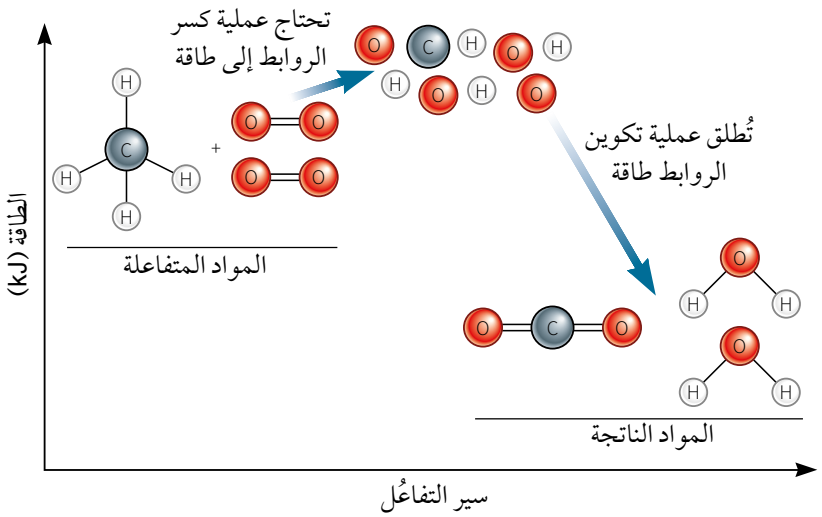
حرارة + ماء + ثاني أكسيد الكربون ⟶ أكسجين + ميثان

$$CH_4(g) + 2O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g) + heat$$

ويحتاج تفاعُل الاحتراق في البداية إلى تزويده بطاقة لبدء التفاعل (عادة ما تكون شرارة، أو مصدر إشعال آخر)، ولكنه يستمر بإطلاق الحرارة بشكل متواصل مما يؤدي الى رفع درجة حرارة محيطه.

تتكسر بعض الروابط الكيميائية أو جميعها في بداية التفاعل، ثم تتكوّن روابط أخرى جديدة (الشكل ٨-١)؛ ففي جُزيئات الميثان، تكون ذرّات الكربون مُرتبطة مع ذرّات الهيدروجين بروابط تساهمية. وفي غاز الأكسجين، تكون ذرّات الأكسجين مرتبطة معًا بروابط تساهمية ثنائية في جُزيئات ثنائية الذرّات. وأثناء التفاعُل، لا بدّ من تكسُّر الروابط جميعها الموجودة في هذه المواد المتفاعلة، ويحتاج تكسير تلك الروابط إلى امتصاص طاقة.

يتبع هذه العملية تكوّن روابط جديدة في المواد الناتجة: بين الكربون والأكسجين لتكوين ثاني أكسيد الكربون، وبين الهيدروجين والأكسجين لتكوين الماء. ويؤدّي تكوّن هذه الروابط إلى إطلاق طاقة. إن إجمالي الطاقة المنبعثة يكون أكبر من إجمالي الطاقة الممتصّة، وبالتالي، يُطلق هذا التفاعُل طاقة؛ لذا يعد **تفاعُلًا طاردًا للحرارة Exothermic reaction**. وتنبعث الطاقة على شكل حرارة نحو محيط التفاعُل الذي ترتفع درجة حرارته.



الشكل ٨-١ يتضمّن احتراق الميثان بداية كسر الروابط في المواد المُتفاعلة. يتبعه تكوين روابط جديدة في المواد الناتجة

- **تمتصّ** عملية كسر الروابط الكيميائية طاقة حرارية من محيطها. وبالتالي تكون **ماصّة للحرارة**.
- **تُطلق** عملية تكوين الروابط الكيميائية طاقة حرارية نحو محيطها. وبالتالي تكون **طاردة للحرارة**.

تذكّر

أن تفاعُلات الاحتراق تكون دائمًا طاردة للحرارة.

تُعدّ تفاعُلات احتراق أنواع الوقود الأحفوري المختلفة، كالنفط والغاز، طاردة للحرارة، كما ذكرنا سابقًا. وأن هذه الأنواع من الوقود تتمتّع بميزات رئيسية تجعلها مفيدة جدًا هي:

- سهولة إشعالها وإحراقها.
- قدرتها على إطلاق كمّيات كبيرة من الطاقة في هيئة حرارة.

وتعدّ **التفاعُلات الماصّة للحرارة Endothermic reactions** أقلّ شيوعًا بكثير من تلك الطاردة للحرارة. ويتم في هذه التفاعلات امتصاص الطاقة من محيط التفاعُل الذي تنخفض درجة حرارته.

فعلى سبيل المثال، يعدّ التفاعُل الذي يحدث بين النيتروجين والأكسجين ماصًا للحرارة. وهو أحد التفاعُلات التي تحدث نتيجة ارتفاع درجة حرارة الهواء، الناتجة عن احتراق وقود محركات السيارات (العوادم) حيث يحترق النيتروجين والأكسجين الموجودان في الهواء بحيث يتكون أحادي أكسيد النيتروجين، وفقًا للمعادلة الآتية:

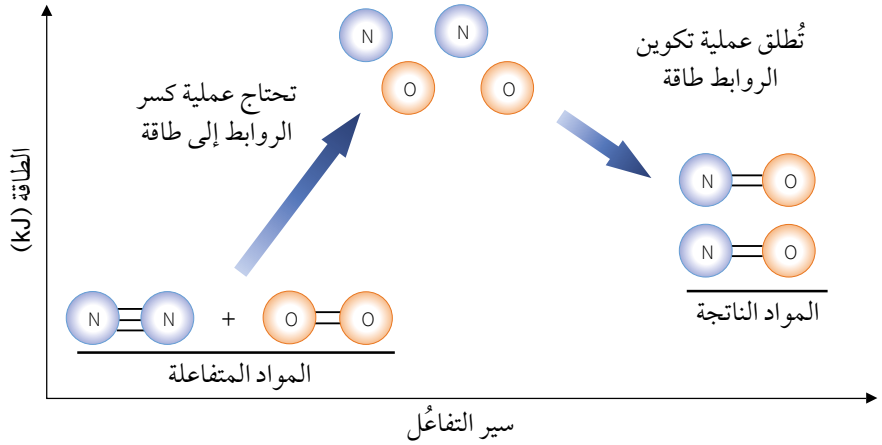
أحادي أكسيد النيتروجين ⟶ حرارة + أكسجين + نيتروجين

$$N_2(g) + O_2(g) + heat \longrightarrow 2NO(g)$$

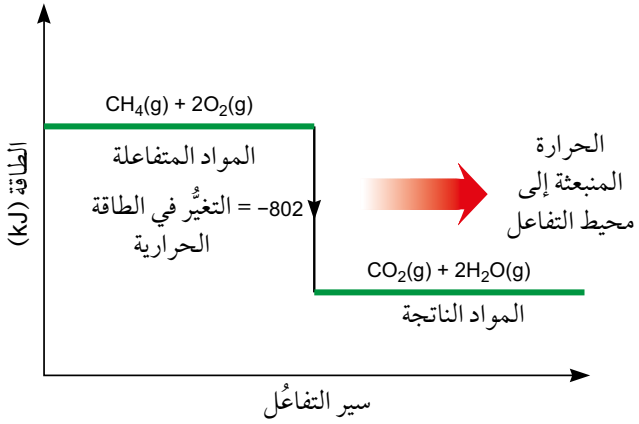
ويمكن شرح هذا التفاعُل الماصّ للحرارة من حيث الروابط المتكسّرة والمُتكوّنة كما في الشكل (٨-٢).

في البداية، تنكسر الروابط في جُزيئات النيتروجين والأكسجين (المواد المُتفاعلة)، ثم تتكوّن روابط جديدة بتكوّن جُزيئات أحادي أكسيد النيتروجين (المادة الناتجة). لاحظ أنه قد تمّ في هذه الحالة امتصاص طاقة لكسر الروابط في المواد المُتفاعلة أكبر من الطاقة التي انبعثت عند تكوين الروابط في المواد الناتجة. بحيث أن إجمالي تغيّر الطاقة في هذا التفاعُل يجعل منه تفاعلًا ماصًا للحرارة.

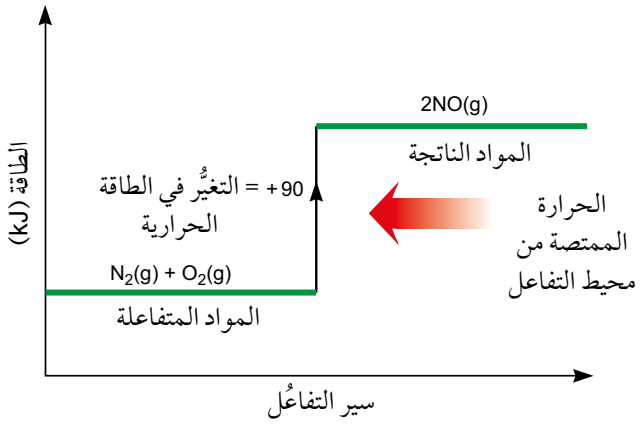
يمكن توضيح إجمالي التغيُّر في الطاقة الحرارية للتفاعُلات الطاردة للحرارة والتفاعُلات الماصّة للحرارة في **مخطّط الطاقة Energy diagram** (الشكل ٨-٣).



الشكل ٨-٢ يتضمّن تفاعُل النيتروجين مع الأكسجين بداية كسر الروابط في المواد المُتفاعلة، يتبعه تكوين روابط جديدة في المواد الناتجة



الشكل ٨-٣ (أ) مخطّط الطاقة لاحتراق الميثان. تكون المواد الناتجة أكثر استقرارًا من المواد المُتفاعلة. وتنبعث الطاقة نحو محيط التفاعُل. لذا يكون التفاعُل طاردًا للحرارة



الشكل ٨-٣ (ب) مخطّط الطاقة للتفاعُل بين النيتروجين والأكسجين. تكون المواد الناتجة أقل استقرارًا من المواد المُتفاعلة. ويتم امتصاص الطاقة من محيط التفاعُل. لذا يعد التفاعُل ماصًّا للحرارة

مثال ٨-١

بالنسبة لأي تفاعل، يمكن حساب إجمالي التغير في الطاقة استنادًا إلى الفرق بين طاقات الروابط في المواد المتفاعلة والناتجة:

إجمالي تغير الطاقة = (حاصل جمع كل طاقات روابط المواد المتفاعلة) - (حاصل جمع كل طاقات روابط المواد الناتجة)

يمكن توضيح كيفية استخدام هذه المعادلة، على سبيل المثال، باستخدام تفاعل الهيدروجين والكلور لتكوين كلوريد الهيدروجين، وفقًا للمعادلة الآتية:

$$H - H + Cl - Cl \longrightarrow 2H - Cl$$

يوضح الجدول أدناه طاقات الروابط في الجزيئات المبينة في المعادلة.

الرابطة	طاقة الرابطة (kJ)
H—H	436
Cl—Cl	242
H—Cl	431

- حاصل جمع طاقات الروابط في المواد المتفاعلة (H-H و Cl-Cl) يساوي: 436 + 242 = 678
- حاصل جمع طاقات الروابط في المواد الناتجة (H – Cl) يساوي: 431 x 2 = 862

وباستخدام المعادلة:

إجمالي تغير الطاقة = (حاصل جمع كل طاقات روابط المواد المتفاعلة) - (حاصل جمع كل طاقات روابط المواد الناتجة) =

678 - 862 = **-184 kJ**

تشير العلامة السالبة لإجمالي تغير الطاقة إلى انبعاث للطاقة، وأن التفاعل طارد للحرارة.

ففي التفاعُل الطارد للحرارة، كاحتراق الميثان، تنبعث الطاقة نحو محيط التفاعُل. ويبيّن مخطّط الطاقة أن السهم يتّجه نحو الأسفل من المواد المُتفاعلة إلى المواد الناتجة، وتكون قيمة تغيُّر الطاقة الحرارية بإشارة سالبة. وسبب ذلك هو أن الروابط في المواد الناتجة (CO_2، H_2O) تكون أقوى من الروابط في المواد المُتفاعلة (O_2، CH_4). وهذا يعني أن المواد الناتجة تكون أكثر استقرارًا من المواد المُتفاعلة (الشكل ٨-٣ أ).

أمّا في التفاعُل الماص للحرارة، كتفاعُل النيتروجين مع الأكسجين، فيتمّ امتصاص الطاقة من محيط التفاعُل. ويبيّن مخطّط الطاقة أن السهم يتّجه نحو الأعلى من المواد المُتفاعلة إلى المواد الناتجة، وتكون قيمة تغيُّر الطاقة الحرارية بإشارة موجبة. وسبب ذلك أن الروابط في المواد الناتجة (NO) تكون أضعف من الروابط في المواد المُتفاعلة (N_2، و O_2)، ممّا يعني أن المواد المُتفاعلة تكون أكثر استقرارًا من المواد الناتجة (الشكل ٨-٣ ب).

تكون بعض الروابط أقوى من غيرها، لذلك تحتاج إلى طاقة أكبر لكسرها، في حين أنها تُطلق طاقة أكبر من غيرها عندما تتكوّن.

تذكَّر

- عند رسم مخطّط الطاقة، من المهم معرفة ما إذا كان التفاعُل ماصًّا للحرارة أم طاردًا للحرارة.
- اتّجاه سهم تغيُّر الطاقة من المواد المُتفاعلة إلى المواد الناتجة يكون دائمًا نحو الأعلى في التفاعُلات الماصّة للحرارة، ويكون نحو الأسفل في التفاعُلات الطاردة للحرارة.
- تدلّ إشارة تغيّر قيمة الطاقة الحرارية أيضًا إلى اتّجاه التغيُّر في الطاقة الحرارية: فتكون إشارة التفاعُل الماصّ للحرارة موجبة، في حين تكون إشارة التفاعُل الطارد للحرارة سالبة.
- في المعادلات الكيميائية، عند كتابة قيمة الطاقة الحرارية مع المواد المتفاعلة، يكون التفاعل ماصًّا للحرارة، وعند كتابة قيمة الطاقة الحرارية مع المواد الناتجة يكون التفاعل طاردًا للحرارة.

نشاط ٨-١

قياس تغيُّرات الطاقة

المهارات:

- **يبيّن بطريقة عملية معرفته المتعلقة بكيفية الاستخدام الآمن للتقنيات والأجهزة والمواد (بما فيها اتبّاع سلسلة من التعليمات المناسبة).**
- **يخطط للتجارب والاستقصاءات.**
- **ينجز التجربة ويسجِّل الملاحظات والقياسات والتقديرات.**
- **يناقش الملاحظات التجريبية والبيانات ويقيّمها.**
- **يُقيِّم الطرائق، ويقترح التحسينات المُحتملة.**

يستقصي هذا النشاط ما إذا كان هناك امتصاص للحرارة (تفاعُل ماص للحرارة) أو انبعاث للحرارة (تفاعُل طارد للحرارة) في خمس تجارب مختلفة، كما يتيح حساب قيمة التغيُّر في الطاقة لكل منها.

المواد والأدوات والأجهزة

- مخبار مدرج عدد 2 (سعة 10 mL و 25 mL)
- ميزان حرارة
- كوب من البولي ستيرين في كأس زجاجية
- ملعقة كيماويات
- مسحوق حمض الستريك
- مسحوق الماغنيسيوم
- شريط ماغنيسيوم (طوله 3 cm)
- مسحوق كلوريد البوتاسيوم
- محلول كبريتات النحاس (II) (0.4 mol/L)
- حمض الهيدروكلوريك (0.4 mol/L)
- محلول هيدروكسيد الصوديوم (0.4 mol/L)
- حمض الكبريتيك (0.4 mol/L)
- محلول كربونات الصوديوم الهيدروجينية (0.4 mol/L)
- ماء

⚠
- **ضع النظّارة الواقية لحماية عينَيك.**
- **ارتد معطف المُختبَر.**
- **البس القُفّازَين الواقيَين أثناء إجراء هذه التجربة عند الضرورة.**
- **توخَّ الحيطة والحذر عند التعامُل مع السوائل حول الأجهزة الكهربائية، وتجنب إحداث أي انسكابات بالقرب منها.**
- **نظّف أي انسكابات باستخدام الماء.**
- **أبعد الماغنيسيوم عن أي لهب مكشوف وأي مصادر إشعال أخرى.**

الطريقة

التجربة ١:

١ ضع 10 mL من الماء في كوب نظيف من البولي ستيرين (يُوضع الكوب في كأس زجاجية لحمله). ثم قِس درجة حرارته وسجّلها في جدول النتائج.

٢ أضف مقدار 4 ملاعق كيماويات من كلوريد البوتاسيوم إلى الماء. حرّك المخلوط باستخدام ميزان الحرارة، وتحقّق باستمرار من درجة الحرارة.

٣ سجّل في جدولك أعلى درجة حرارة أو أدنى درجة حرارة يصل لها المحلول. ستكون هذه درجة الحرارة التي انتهى عندها التفاعُل.

نشاط ٨-١

التجربة ٢:

١ ضع 10 mL من محلول هيدروكسيد الصوديوم في كوب نظيف من البولي ستيرين (يُوضع الكوب في كأس زجاجية لحمله). ثم قِس درجة حرارته وسجّلها في جدول النتائج.

٢ صبّ 10 mL من حمض الهيدروكلوريك في محلول هيدروكسيد الصوديوم. حرّك المخلوط، وتحقّق باستمرار من درجة الحرارة باستخدام ميزان الحرارة.

٣ سجّل في جدولك أعلى درجة حرارة أو أدنى درجة حرارة يصل لها المحلول. ستكون هذه درجة الحرارة التي انتهى عندها التفاعُل.

التجربة ٣:

١ ضع 10 mL من محلول كربونات الصوديوم الهيدروجينية في كوب نظيف من البولي ستيرين (يُوضع الكوب في كأس زجاجية لحمله). ثم قِس درجة حرارته وسجّلها في جدول النتائج.

٢ أضف مقدار 4 ملاعق كيماويات من مسحوق حمض الستريك إلى محلول كربونات الصوديوم الهيدروجينية. حرّك المخلوط، وتحقّق باستمرار من درجة الحرارة باستخدام ميزان الحرارة.

٣ سجّل في جدولك أعلى درجة حرارة أو أدنى درجة حرارة يصل لها المحلول. ستكون هذه درجة الحرارة التي انتهى عندها التفاعُل.

التجربة ٤:

١ ضع 10 mL من حمض الكبريتيك في كوب نظيف من البولي ستيرين (يُوضع الكوب في كأس زجاجية لحمله). ثم قِس درجة حرارته وسجّلها في جدول النتائج.

٢ أضف قطعة طولها 3 cm من شريط ماغنيسيوم إلى حمض الكبريتيك. حرّك المخلوط، وتحقّق باستمرار من درجة الحرارة باستخدام ميزان الحرارة.

٣ سجّل في جدولك أعلى درجة حرارة أو أدنى درجة حرارة يصل لها المحلول. ستكون هذه درجة الحرارة التي انتهى عندها التفاعُل.

التجربة ٥:

١ ضع 10 mL من محلول كبريتات النحاس (II) في كوب نظيف من البولي ستيرين (يُوضع الكوب في كأس زجاجية لحمله). ثم قِس درجة حرارته وسجّلها في جدول النتائج.

٢ أضف مقدار ملعقة كيماويات واحدة من مسحوق الماغنيسيوم إلى محلول كبريتات النحاس (II). حرّك المخلوط، وتحقّق باستمرار من درجة الحرارة باستخدام ميزان الحرارة.

٣ سجّل في جدولك أعلى درجة حرارة أو أدنى درجة حرارة يصل لها المحلول. ستكون هذه درجة الحرارة التي انتهى عندها التفاعُل.

النتائج

درجة الحرارة (°C)	التجربة				
	١	٢	٣	٤	٥
درجة الحرارة قبل التفاعل، T_1					
درجة الحرارة بعد التفاعل، T_2					
التغيُّر في درجة الحرارة $\Delta T = T_2 - T_1$					

الحسابات

احسب كمية الطاقة الحرارية الممتصة أو المنبعثة لكل تجربة مُستخدمًا المعادلة الآتية:

التغيُّر في الطاقة الحرارية=

– (التغيُّر في درجة الحرارة × الكتلة × السعة الحرارية النوعية للماء)

$$= - (\Delta T \times m \times C_p)$$

حيث إنّ:

C_p = (السعة الحرارية النوعية للماء) 4.18 (J/g/°C)

(specific heat capacity of water)

m = (g) كتلة المحلول*

*يمكنك افتراض أن كتلة المحلول هي نفسها حجم المحلول. تمّ في التجارب ١، و٣، و٤، و٥ استخدام محلول حجمه 10 mL. وتمّ في التجربة ٢، استخدام حجم إجمالي مقداره 20 mL.

أسئلة

١ استنادًا إلى حساباتك لقيَم الطاقة الحرارية، أيُّ تجربة كانت الأكثر امتصاصًا للحرارة، وأيٌّ منها كانت الأكثر طردًا لها؟

٢ على قاعدة كسر الروابط وتكوّنها، اشرح لماذا تكون بعض التفاعُلات ماصّة للحرارة، ويكون بعضها الآخر طاردًا لها.

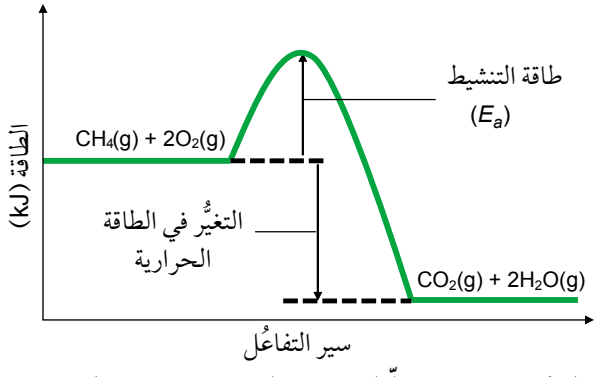
٣ حدّد الطريقة المعتمدة في هذه التجارب التي تجعل التفاعل معزولًا عن محيطه.

٤ اذكر طريقة أخرى يمكن من خلالها تحسين عملية عزل التجارب عن محيطها بشكل أفضل.

٥ اشرح **طريقتَين** يمكن من خلالهما تحسين دقّة القياسات في التجارب بصورة أفضل.

طاقة التنشيط (E_a)

على الرغم من أن أكثر التفاعُلات تكون طاردة للحرارة، فإنّ القليل منها يكون تلقائيًّا؛ حيث يبدأ دون الحاجة إلى مصدر طاقة لبدء التفاعل عند درجات الحرارة العادية، ومن الأمثلة على تلك التفاعُلات التلقائية، تفاعُل الصوديوم أو البوتاسيوم مع الماء. ولكن بصورة عامة لا بدّ من توفير طاقة لبدء التفاعُل؛ فعند حرق الوقود، مثلًا، تلزم طاقة لإشعاله (الشكل ٨-٤). قد يكون مصدر هذه الطاقة شرارة أو عود ثقاب أو أشعّة الشمس، وتُسمّى **طاقة التنشيط Activation energy** (ويُرمز إليها بـ E_a). وتكون هذه الطاقة ضرورية لكسر بعض الروابط قبل إمكانية حدوث تفاعُل؛ حيث يجب تحرير عدد كافٍ من الذرّات أو الجُزيئات لبدء تكوين روابط جديدة. وبمجرّد بدء التفاعُل، تؤدّي الطاقة المُنبعثة، عند تكوُّن الروابط الجديدة، إلى استمرار هذا التفاعُل.



الشكل ٨-٤ مخطّط منحنى طاقة احتراق غاز الميثان

مصطلحات علمية

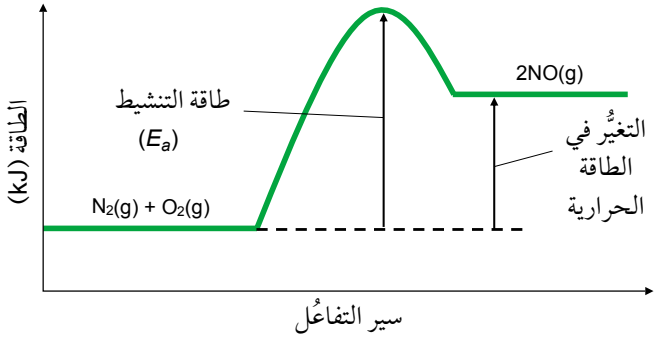
- **طاقة التنشيط Activation energy:** الحد الأدنى من الطاقة التي يجب أن تمتلكها جُسيمات المادة المُتفاعلة لحدوث التفاعُل.

تذكّر

لكي يحدث تفاعُل كيميائي، يجب أن تتكسر بعض روابط المواد المتفاعلة في البداية قبل إمكانية تكوّن أي روابط جديدة، لذا تحتاج التفاعُلات جميعها إلى **طاقة تنشيط**.

تحتاج التفاعُلات جميعها إلى بعض التنشيط. وإذا نظرنا إلى تفاعُل الصوديوم أو البوتاسيوم مع الماء، سنجد أن طاقة التنشيط منخفضة، لكن تتوفر طاقة كافية في محيط التفاعُل عند درجة حرارة الغرفة تتيح بدء التفاعُل بشكل تلقائي. إلّا أنّ هناك تفاعُلات أخرى طاردة للحرارة تحتاج إلى طاقة تنشيط أكبر؛ كأن يبدأ تفاعُل احتراق الماغنيسيوم بحرارة من شعلة موقد بنزن. وتحتاج التفاعُلات الماصّة للحرارة عادة إلى طاقة تنشيط أكبر.

يبيّن (الشكل ٨-٥) مخطّط منحنى الطاقة لتفاعُل النيتروجين مع الأكسجين الذي مر سابقًا. تكون طاقة التنشيط كبيرة إلى درجة أن الطاقة المُنبعثة عند تكوّن المواد الناتجة تكون أقل من الطاقة التي يجب امتصاصها. هذا يجعل التفاعُل إجمالًا ماصًّا للحرارة. ويتضح لنا لماذا يكون إجراء التفاعُلات الماصّة للحرارة أكثر صعوبة من إجراء التفاعُلات الطاردة للحرارة، حيث إنّ التفاعلات الماصة للحرارة في حاجة إلى توفير الطاقة اللازمة باستمرار لكي يحدث التفاعُل. ويمكن تفسير حدوث التفاعُلات الكيميائية كنتيجة للتصادُم بين الجسيمات (الذرّات أو الجُزيئات أو الأيونات). وفي كثير من تلك التصادُمات، لا تمتلك الجُسيمات المُتصادمة طاقة كافية لكي تتفاعل، بل ترتد بعيدًا بعضها عن بعض بما يُشبه السيّارات الكهربائية المُجهّزة للصدمات. ويحدث التفاعُل الكيميائي فقط عندما تكون الطاقة الكلّية للجُسيمات المُتصادمة أكبر من طاقة تنشيط التفاعُل أو تساويها.



الشكل ٨-٥ مخطّط منحنى الطاقة لتفاعل النيتروجين مع الأكسجين، يبيّن الحاجة إلى طاقة تنشيط كبيرة لبدء التفاعُل

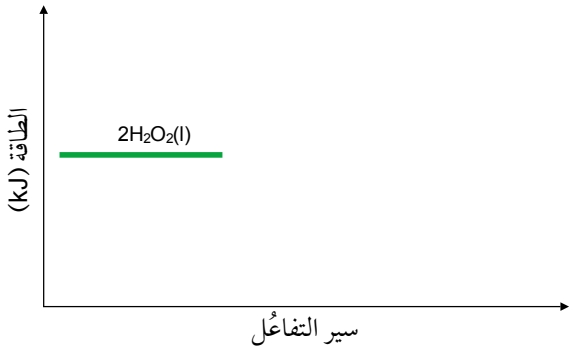
مثال ٨-٢

يتفكّك فوق أكسيد الهيدروجين (H_2O_2) إلى ماء وأكسجين وفقًا للمعادلة الآتية:

$$2H_2O_2(l) \longrightarrow 2H_2O(l) + O_2(g)$$

ارسم مخطّط منحنى تغيّر الطاقة لهذا التفاعُل، علمًا بأن قيمة تغيُّر الطاقة الحرارية فيه تساوي 98 kJ–، ويمتلك طاقة تنشيط تساوي 75 kJ+.

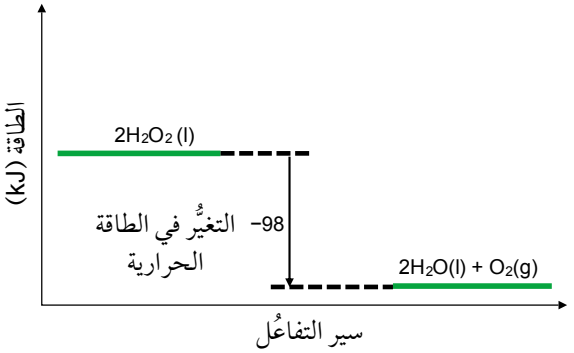
أوّلًا: ارسم المخطّط، وسمِّ المحورَين: الأفقي والعمودي، ومستوى الطاقة للمواد المُتفاعلة.



ثانيًا: ارسم مستوى طاقة المواد الناتجة.

لاحظ ما يلي: عندما تكون إشارة قيمة تغيُّر الطاقة الحرارية سالبة، فهذا يعني أن التفاعُل طارد للحرارة، لذا يجب أن يكون مستوى طاقة المواد الناتجة أدنى من مستوى طاقة المواد المُتفاعلة.

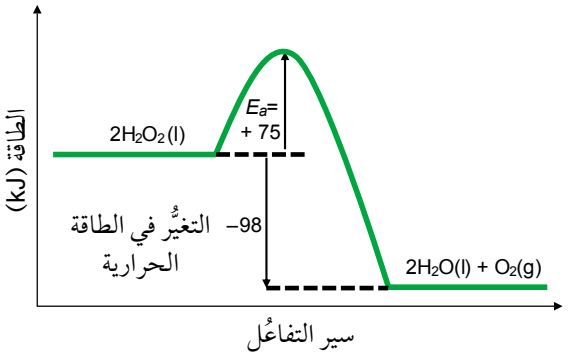
ارسم السهم، وسمّه بهدف توضيح اتّجاه التغيُّر في الطاقة.



ثالثًا: ارسم منحنى تغيُّر طاقة التفاعُل لضم مستويَي طاقة المواد المُتفاعلة والناتجة.

بما أن إشارة قيمة طاقة التنشيط تكون دائمًا موجبة، فإنّ المنحنى يكون تصاعُديًّا دائمًا في البداية.

ضع رمز طاقة التنشيط وقيمتها على المخطّط.



إن أمكن ، حاول رسم مخطّط منحنى تغيُّر طاقة التفاعُل على نفس المخطط باستخدام القيَم المعطاة لطاقة التنشيط وللتغيُّر في الطاقة الحرارية.

مثال ٨-٣

يتفكّك يوديد الهيدروجين (HI) إلى هيدروجين ويود وَفق المعادلة الآتية:

$$2H{-}I \longrightarrow H{-}H + I{-}I$$

تم إدراج قيمة الطاقة لكل رابطة موضّحة في المعادلة، في الجدول الآتي:

الرابطة	الطاقة (kJ)
H–I	299
H–H	436
I–I	151

ارسم مخطّط منحنى تغيّر الطاقة لهذا التفاعُل مستخدمًا البيانات أعلاه لحساب الطاقة اللازمة لكسر الروابط في المواد المُتفاعلة وتكوين الروابط في المواد الناتجة.

مثال ٨-٣

أوّلًا: ارسم المخطّط، وسمِّ عليه المحورَين: الأفقي والعمودي، ومستوى الطاقة للمواد المتفاعلة.



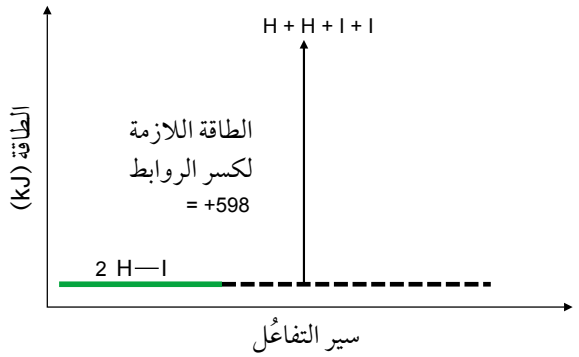
ثانيًا: احسب كمّية الطاقة اللازمة لكسر روابط المواد المُتفاعلة.

بما أن قيمة طاقة الرابطة H–I = 299 kJ، فإنّ قيمة طاقة الرابطتَين = 2 × 299

= 598 kJ

وبما أن كسر الروابط عملية ماصّة للحرارة، فلا بدّ من أن يتّجه سهم تغيُّر الطاقة نحو الأعلى انطلاقًا من المواد المتفاعلة.

يُرسم السهم ويُوضع له عنوان، وتُضاف الذرّات التي تكوّنت إلى المخطّط.



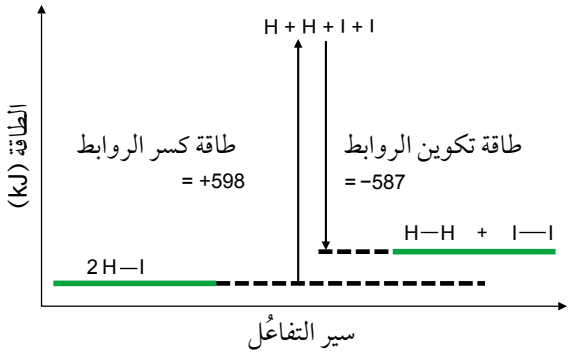
ثالثًا: احسب كمّية الطاقة المُنبعثة عندما تتكوّن روابط المواد الناتجة.

بما أن قيمة طاقة الرابطة H–H = 436 kJ وقيمة طاقة الرابطة I–I = 151 kJ فإن قيمة الطاقة للرابطتَين =

436 + 151 = 587 kJ

وبما أن تكوين الروابط عملية طاردة للحرارة، فيجب أن يتّجه سهم تغيُّر الطاقة نحو الأسفل انطلاقًا من الذرّات المُنفردة.

يُرسم السهم ويُوضع عنوان له، ويُضاف مستوى طاقة المواد الناتجة التي تكوّنت إلى المخطّط.



لاحظ الآتي: بما أن مستوى طاقة المواد الناتجة أعلى من مستوى طاقة المواد المتفاعلة، فإن قيمة إجمالي تغيُّر الطاقة تكون بإشارة موجبة.

ويمكن حساب قيمة إجمالي تغيُّر الطاقة باستخدام المعادلة الآتية:

إجمالي تغيُّر الطاقة = (حاصل جمع كل طاقات روابط المواد المتفاعلة) − (حاصل جمع كل طاقات روابط المواد الناتجة).

كما يلي:

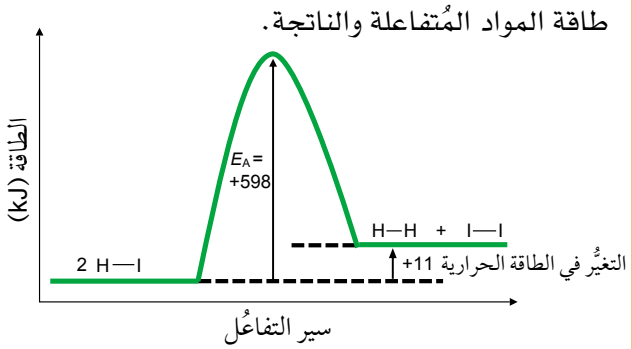
598 – 587 = + 11 kJ

وهي تشير إلى أن التفاعُل ماصّ للحرارة.

رابعًا: ارسم سهمًا نحو الأعلى لتوضيح الاتّجاه الماصّ للحرارة لإجمالي تغيُّر الطاقة من المواد المُتفاعلة إلى المواد الناتجة، ثم أضف قيمة إجمالي تغيُّر الطاقة.

لاحظ أن طاقة التنشيط لمخطّط تغيّر طاقة هذا التفاعُل تساوي كمّية الطاقة اللازمة لكسر روابط المواد المتفاعلة.

خامسًا: ارسم منحنى تغير طاقة التفاعُل لضم مستويَي طاقة المواد المُتفاعلة والناتجة.

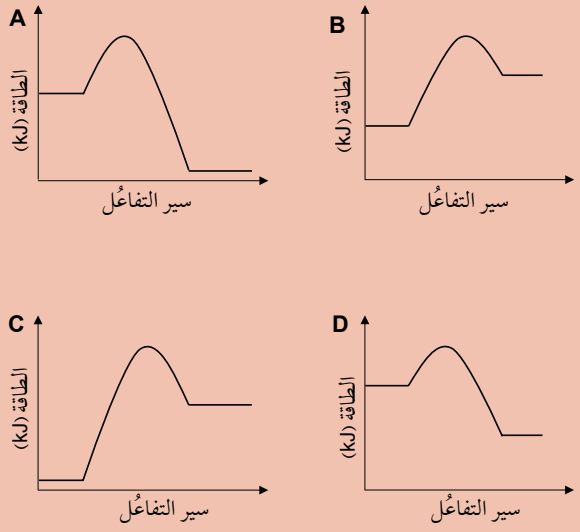


أسئلة

٨-١ ما نوع التفاعُل الذي يمتصّ الحرارة من محيطه؟

٨-٢ هل كسر الرابطة عملية ماصّة أم طاردة للحرارة ؟

٨-٣ توضّح المخطّطات: **A** و **B** و **C** و **D** مخطّطات تغيُّر الطاقة لأربعة تفاعُلات مختلفة.



اكتب رمز التمثيل البياني الذي:

أ. يُوضّح التفاعل الأكثر طردًا للحرارة

ب. يُوضّح التفاعل الذي يمتلك أصغر تغيّر ماصّ للحرارة.

ج. يمتلك أكبر طاقة تنشيط.

٨-٤ ادرس التفاعلين الآتيين، ثم أجب عن الأسئلة التي تليهما :

١. $Zn(s) + CuSO_4(aq) \longrightarrow ZnSO_4(aq) + Cu(s)$ (طارد للحرارة)

٢. $CaCO_3(s) \longrightarrow CaO(s) + CO_2(g)$ (ماص للحرارة)

أ. ارسم مخطّط الطاقة للتفاعلين موضحًا طاقة التنشيط.

ب. أيّ المخططين يمتلك طاقة تنشيط أكبر؟

٨-٢ التفاعُلات المنعكسة والاتزان الديناميكي

التفاعُلات المنعكسة (المتزنة)

لا يمثل اتجاه تغير الطاقة العامل الوحيد الذي يجب مراعاته في التفاعل الكيميائي. بل هناك عامل آخر يجب ملاحظته، وهو ما إذا كان التفاعل منعكسًا أم لا؛ فمعظم التفاعلات التي درستها سابقًا غير منعكسة، إلا أن هناك بعض التفاعلات تكون منعكسة. في هذه التفاعلات، يمكن إعادة تكوين المواد المتفاعلة من المواد الناتجة. وقد يتم هذا، إما بإضافة المواد الناتجة بعضها إلى بعض أو بإجراء تغيير في درجة الحرارة أو الضغط.

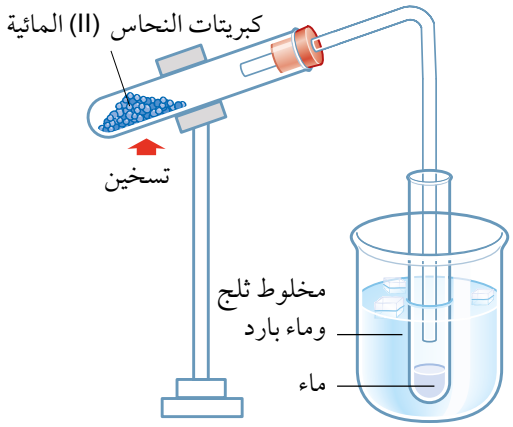
وسوف ندرس في هذا الموضوع أحد أنواع التفاعلات التي يمكن عكسها، وهو التفكك الحراري لملح مائي. **الملح المائي Hydrated** هو مركب أيوني يحتوي على الماء في تركيبه. وغالبًا ما يظهر الملح المائي في هيئة بلورات. وعندما لا يحتوي الملح على ماء في تركيبه، يُطلق عليه تسمية **ملح لامائي Anhydrous**. في بعض الحالات، قد يظهر الملح اللامائي بلون مختلف عن الملح المائي؛ فعلى سبيل المثال، يكون لون كبريتات النحاس (II) في شكلها المائي أزرق، في حين يكون لونها أبيض عندما تكون لامائية.

عندما تُسخّن كبريتات النحاس (II) المائية ($CuSO_4.5H_2O$) بشدة، فإنها تتفكّك حراريًّا، لتنتج كبريتات النحاس (II) اللامائية وبخار الماء. ويُسمى هذا النوع من التفاعلات أيضًا بتفاعل **إزالة (نزع) الماء Dehydration**، بسبب فقد الماء من التركيبة البلورية للملح المائي. ويتم هذا التفاعل وفقًا للمعادلة الآتية:

حرارة + كبريتات النحاس (II) المائية $\longrightarrow$ ماء + كبريتات النحاس (II) اللامائية

$$\underset{\text{بلورات زرقاء}}{CuSO_4 \cdot 5H_2O(s)} + \text{heat} \longrightarrow \underset{\text{مسحوق أبيض}}{CuSO_4(s)} + 5H_2O(g)$$

ينتج عن التفاعُل تغيُّر في اللون من الأزرق إلى الأبيض. حيث تتغير كبريتات النحاس (II) من شكلها المائي إلى اللامائي. ويكون ذلك واضحًا من خلال تحوُّل البلورات الزرقاء إلى مسحوق أبيض. يتم إنتاج الماء كغاز (بخار ماء)، ولكن يمكن تكثيفه بوساطة الجهاز المبيّن في الشكل (٨-٦).



الشكل ٨-٦ جهاز يُستخدم لتكثيف بخار الماء المُنبعث من بلّورات كبريتات النحاس (II) المائية ذات اللون الأزرق خلال عملية التسخين

بعد التفاعل، تُترك كبريتات النحاس (II) اللامائية (الجافة) والماء كي يبردا. ثم يتمّ عكس تفاعُل إزالة الماء بإضافة الماء ببطء إلى المسحوق الأبيض. يُعرف التفاعل بين كبريتات النحاس (II) اللامائية والماء باسم تفاعل **التميّه Hydration**. والملاحظ هنا أن لون مسحوق كبريتات النحاس (II) يتغيّر من الأبيض إلى الأزرق (الصورة ٨-٢). ينبعث خلال هذا التفاعل الكثير من الحرارة، وغالبًا ما يؤدّي إلى تحوُّل جزء من الماء المضاف إلى بخار. يمكننا بالتالي استنتاج أن هذا التفاعل طارد للحرارة.

ماء + كبريتات النحاس (II) اللامائية ⟶
حرارة + كبريتات النحاس (II) المائية

$$CuSO_4(s) + 5H_2O(l) \longrightarrow CuSO_4 \cdot 5H_2O(s) + heat$$

مسحوق أبيض — بلورات زرقاء

يمكن توقع ما إذا كان التفاعل المنعكس قد أنتج طاقة أو امتص طاقة. وبما أن إزالة الماء من كبريتات النحاس (II) المائية تُعدّ تفاعلاً ماصًّا للحرارة، فهذا يعني أن التفاعل المنعكس يجب أن يكون طاردًا للحرارة.



الصورة ٨-٢ إضافة الماء إلى كبريتات النحاس (II) اللامائية

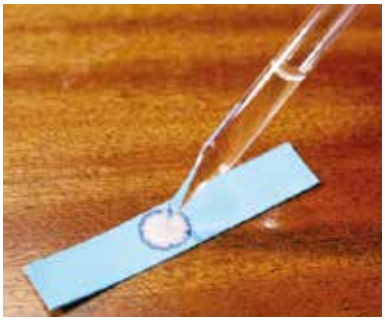
ومثال آخر على تفاعُل منعكس، هو تفاعُل كلوريد الكوبالت (II) والماء، حيث يكون كلوريد الكوبالت (II) اللامائي أزرق اللون، ولكن عند إضافة الماء إليه يتغيّر إلى اللون الوردي، وتنبعث منه حرارة، مما يشير إلى أن التفاعل طارد للحرارة.

ماء + كلوريد الكوبالت (II) اللامائي ⟶
حرارة + كلوريد الكوبالت (II) المائي

$$CoCl_2(s) + 6H_2O(l) \longrightarrow CoCl_2 \cdot 6H_2O(s) + heat$$

أزرق — وردي

وغالبًا ما يُستخدم هذا التغيّر في اللون كأساس لاختبار وجود الماء (الصورة ٨-٣).



الصورة ٨-٣ تغيُّر لون ورقة كلوريد الكوبالت (II) من الأزرق إلى الوردي عند إضافة الماء

ويمكن عكس التفاعُل عن طريق تسخين كلوريد الكوبالت (II) المائي، ليعود مرة أخرى إلى حالته اللامائية ولونه الأزرق. يشير استخدام الحرارة لهذا التفاعل إلى أنه تفاعل ماص للحرارة.

حرارة + كلوريد الكوبالت (II) المائي ⟶

ماء + كلوريد الكوبالت (II) اللامائي

$$CoCl_2 \cdot 6H_2O(s) + heat \longrightarrow CoCl_2(s) + 6H_2O(l)$$

وردي أزرق

وتعدّ عملية تميّه كلوريد الكوبالت (II) طاردة للحرارة، مشابهة لتميّه كبريتات النحاس (II)، في حين تعدّ عمليّة إزالة الماء من بلّورات كلوريد الكوبالت (II) ماصّة للحرارة مشابهة لإزالة الماء من كبريتات النحاس (II) المائية، يتمّ دعمها بالتسخين. ويمكن ملاحظة تأثير التسخين بوساطة حمام مائي على التفاعُل في الصورة (٨-٤)؛ فعندما يُترك محلول كلوريد الكوبالت (II) عند درجة حرارة الغرفة أو درجة حرارة أدنى، يكون لونه ورديًّا (الصورة ٨-٤ أ). ولكن عند تسخين المحلول، يتحوّل إلى لون أزرق غامق، يشبه حالته الصلبة اللامائية (الصورة ٨-٤ ب). ويمكن تلخيص هذين التفاعُلين المتعاكسين في معادلة واحدة مع استخدام سهمَين يشيران إلى اتّجاهَين متعاكسَين (⇌).

$$CoCl_2 \cdot 6H_2O(s) + heat \rightleftharpoons CoCl_2(s) + 6H_2O(l)$$

وردي أزرق





الصورة ٨-٤ (أ) يكون لون محلول كلوريد الكوبالت (II) ورديًّا محمرًّا عندما يُبرّد (ب) عندما يُسخّن محلول كلوريد الكوبالت (II)، يتحوّل لونه إلى أزرق غامق

يمكن عكس بعض التفاعُلات، إذا تم تغيير ظروفها.

يُعدّ تفكُّك كلوريد الأمونيوم مثالًا آخر على هذا النوع من التفاعُلات المنعكسة (الصورة ٨-٥). عند تسخينه في أنبوبة اختبار، يتفكّك المُركّب الصلب ذو اللون الأبيض ليكوّن غازَي الأمونيا وكلوريد الهيدروجين:

$$NH_4Cl(s) + heat \longrightarrow NH_3(g) + HCl(g)$$

ومع ذلك، تتمّ إعادة تكوين المُركّب الصلب الأبيض مرّة أخرى على السطح الأكثر برودة للجزء العُلوي من أنبوبة الاختبار:

$$NH_3(g) + HCl(g) \longrightarrow NH_4Cl(s) + heat$$

وعليه، يمكن تلخيص التفاعُل على النحو الآتي:

$$NH_4Cl(s) + heat \rightleftharpoons NH_3(g) + HCl(g)$$

ومرّة أخرى، يُلاحَظ أن أهمية تغيّر الطاقة الحرارية في هذا التفاعُل؛ فالتفاعُل الأمامي (forward) لتفكُّك كلوريد الأمونيوم يحتاج إلى حرارة، وهو تفاعُل ماص للحرارة، ولن يحدث التفاعُل العكسي (backwards) (حيث يتكوّن كلوريد الأمونيوم) إلا إذا تم تبريد التفاعل إلى درجة حرارة منخفضة نسبيًّا. ولأن التفاعل منعكس، فإن التفاعل العكسي يكون طاردًا للحرارة.



الصورة ٨-٥ تفكُّك كلوريد الأمونيوم بالحرارة في أسفل الأنبوبة، ثم تكوّنه من جديد في أعلى الأنبوبة بسبب انخفاض درجة الحرارة

مصطلحات علمية

- **التفاعُل المنعكس Reversible reaction:** التفاعل الذي يمكن أن يحدث في كلا الاتجاهين، بحيث تستطيع المواد الناتجة أن تتفاعل بعضها مع بعض لتكوين المواد المتفاعلة الأصلية.
- **مركب مائي Hydrated compound:** مركّب يحتوي في تركيبه على ماء.
- **مركب لامائي Anhydrous compound:** مركّب لا يحتوي في تركيبه على ماء.
- **إزالة الماء Dehydration:** نزع الماء من مركّب ما.
- **التميّه Hydration:** إضافة الماء إلى مركّب ما.

نشاط ٨-٢

تفاعُل منعكس يتضمّن كبريتات النحاس (II)

المهارات:

- يبيّن بطريقة عملية معرفته المتعلقة بكيفية الاستخدام الآمن للتقنيات والأجهزة والمواد (بما فيها اتبّاع سلسلة من التعليمات المناسبة).
- يخطط للتجارب والاستقصاءات.
- ينجز التجربة ويسجِّل الملاحظات والقياسات والتقديرات.
- يناقش الملاحظات التجريبية والبيانات ويقيّمها.

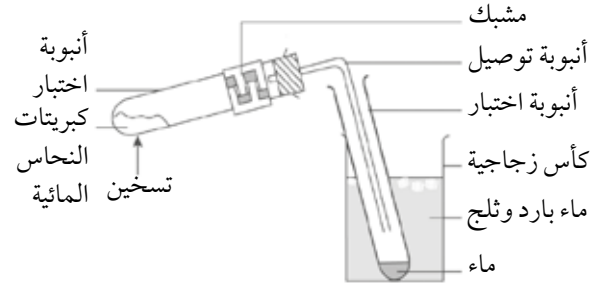
يستقصي النشاط التفكك الحراري لملح مائي، حيث تتم إزالة ماء التبلوُر من كبريتات النحاس (II) المائية بالتسخين. ويسمح تكثيف بخار الماء الناتج في أنبوبة اختبار ثانية بجمع الماء. بعد ذلك، تُميّه كبريتات النحاس (II) اللامائية البيضاء ليعود اللون الأزرق مرة أخرى.

المواد والأدوات والأجهزة

- أنبوبة اختبار عدد 2
- موقد بنزن
- أنبوبة توصيل (بزاوية قائمة)
- حامل ومشبك
- كأس زجاجية (250 mL)
- كبريتات النحاس (II) المائية، 5 g

⚠ **ضع النظّارة الواقية لحماية عينَيك.**
- **ارتدِ معطف المُختبَر.**
- **البسَ القُفّازَين الواقيَين أثناء إجراء هذه التجربة عند الضرورة.**
- **توخَّ الحيطة والحذر عند التعامُل مع السوائل حول الأجهزة الكهربائية، وتجنب إحداث أي انسكابات بالقرب منها.**

الطريقة



١ ركّب الجهاز كما هو مبيّن في الرسم التوضيحي. ضع 5 g تقريبًا من مسحوق كبريتات النحاس (II) المائية في أنبوبة الاختبار. تأكّد من تثبيت أنبوبة الاختبار بالمشبك قرب السدادة كما هو موضّح.

٢ سخّن كبريتات النحاس (II) الزرقاء حتّى يتحوّل لونها إلى الأبيض. حرّك اللهب على طول أنبوبة الاختبار من وقت إلى آخر، لمنع تكثّف الماء في أجزاء الأنبوبة الأكثر برودة، وبالتالي سيلانه نحو المادة الصلبة، ما قد يؤدّي إلى كسر أنبوبة الاختبار.

٣ تصرّف بسرعة لمنع رجوع الماء إذا وصل مستوى الماء المتجمّع إلى طرف أنبوبة التوصيل. ارفع حامل المشبك بحيث لا يدخل طرف أنبوبة التوصيل في الماء المتجمّع في أنبوبة الاختبار.

٤ دعْ كبريتات النحاس (II) اللامائية تبرد لتبلغ درجة حرارة الغرفة.

٥ أمسك بإحدى يدَيك أنبوبة الاختبار التي تحتوي على كبريتات النحاس (II) اللامائية، وصبّ الماء المتجمّع ببطء شديد على المسحوق الأبيض.

النتائج

سجّل أي ملاحظات شاهدتها أثناء عملية التسخين، وأثناء صبّ الماء على كبريتات النحاس (II) اللامائية.

أسئلة

١ ما الدليل الوارد في ملاحظاتك حول تغيّر الطاقة الحرارية في التفاعُلَين؛ الأمامي والمنعكس؟

٢ اكتب المعادلة اللفظية للتفاعُل المنعكس في هذا الاختبار.

٣ في حال تم اختبار كلوريد الكوبالت (II) بدلًا من كبريتات النحاس (II)، قارن بين لوني كلوريد الكوبالت (II) اللامائي والمائي، ولوني كبريتات النحاس (II) اللامائي والمائي.

٤ ضع خطة لتجربة تدرس فيها التفاعلات المنعكسة التي تحدث لكلوريد الكوبالت (II) المائي.

الاتزان الديناميكي

في التفاعل المنعكس، غالبًا ما يحدث التفاعُلان الأمامي والعكسي في الوقت نفسه. ويحدث هذا عندما يكون التفاعُل في نظام مُحكم الإغلاق، حيث لا يمكن للجُسيمات أن تتسرّب منه. فالتفاعُل المنعكس الذي يُحفظ في نظام مُحكم الإغلاق سوف يصل في النهاية إلى حالة من **الاتزان الديناميكي Dynamic equilibrium**، مما يعني أن التفاعُلَين الأمامي والعكسي يحدثان في الوقت نفسه وبمعدّل السرعة نفسه (الديناميكا)، وبالتالي لا يمكن ملاحظة أي تغيُّر (الاتزان).

يمكن عمليًّا توضيح الاتزان الديناميكي بمثال بسيط، هو عندما يُحفظ البروم السائل في دورق مُغلق ويتكوّن بخاره (الصورة ٨-٦). حيث تُكتب معادلة التفاعُل المنعكس على النحو الآتي:

$$Br_2(l) \rightleftharpoons Br_2(g)$$

سائل بني محمر — غاز برتقالي-بني

في البداية، عند وضع كمية قليلة من سائل البروم في دورق مُغلق بإحكام، لن يكون هناك بخار بروم، أو قد يتوفّر القليل جدًّا منه (الصورة ٨-٦ أ). ثم يبدأ البروم السائل بالتبخُّر ويمتلئ الدورق ببطء ببخار لونه برتقالي-بنّي مع انتقال الجُسيمات من الحالة السائلة إلى الحالة الغازيّة (الصورة ٨-٦ ب). وتدريجيًّا يصبح لون البخار داكنًا أكثر مع مرور الوقت، واستمرار حدوث مزيد من التبخُّر (الصورة ٨-٦ ج).

ومع ذلك، يتم الوصول سريعًا إلى نقطة يصبح عندها لون البخار ثابتًا، ويبقى البروم السائل موجودًا عند حجم ثابت (الصورة ٨-٦ د). عند هذه النقطة، يكون قد تم الوصول إلى اتزان ديناميكي بين حالتَي البروم؛ السائلة والغازيّة. وسوف تبقى هذه الحالة ثابتة طالما الدورق مُحكم الإغلاق، بحيث لا يمكن لبخار أو سائل البروم أن يتسرّب منه. وعلى الرغم من عدم تكوّن المزيد من الغاز أو السائل أو استهلاك أيّ منهما، يتواصل حدوث عمليتَي التبخُّر والتكثيف على المستوى المجهري (الميكروسكوبي)، ذلك أن بعض جُسيمات البروم السائل تكسب باستمرار طاقة حركية كافية للانتقال إلى الحالة الغازية، في حين تفقد بعض جُسيمات غاز البروم الطاقة وتعود إلى الحالة السائلة. وبما أن العمليّتَين: الأمامية والعكسية تحدثان في الوقت نفسه وبمعدّل السرعة نفسه، فلن يكون هناك تغيّر قابل للملاحظة، على الرغم من استمرار حدوث التغيّرات.

مصطلحات علمية

- **الاتزان الديناميكي Dynamic equilibrium:** تفاعُل منعكس في نظام مغلق، يكون فيه معدّل سرعة التفاعُل الأمامي مساويًا لمعدّل سرعة التفاعُل العكسي، بحيث لا تتغير الكمّية الإجمالية للمواد المُتفاعلة والناتجة.

وتعد مثل هذه التفاعلات مشكلة حقيقية للكيميائيين، لأنها لا تكتمل، و يكون مردود المواد الناتجة قليلًا، بسبب تحوُّلها إلى مواد متفاعلة مرّة أخرى، وبشكل مستمر.



الصورة ٨-٦ عرض عملي للاتزان الديناميكي بين حالتي البروم السائلة والغازية

تُصنّف الكثير من التفاعُلات الصناعية المهمة بأنّها تفاعُلات منعكسة، وتكون في حالة اتزان ديناميكي؛ فعلى سبيل المثال، يعدّ تفاعُل تميّه الإيثين لتكوين الإيثانول في الواقع تفاعلًا منعكسًا.

$$C_2H_4(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons C_2H_5OH(g)$$

في حالة الإيثانول الناتج بهذه الطريقة، سوف يتفكّك القليل منه دائمًا ليتحوّل من جديد إلى إيثين وبخار ماء، ولن يكون ممكنًا الحصول على مردود بنسبة 100% من الإيثانول.

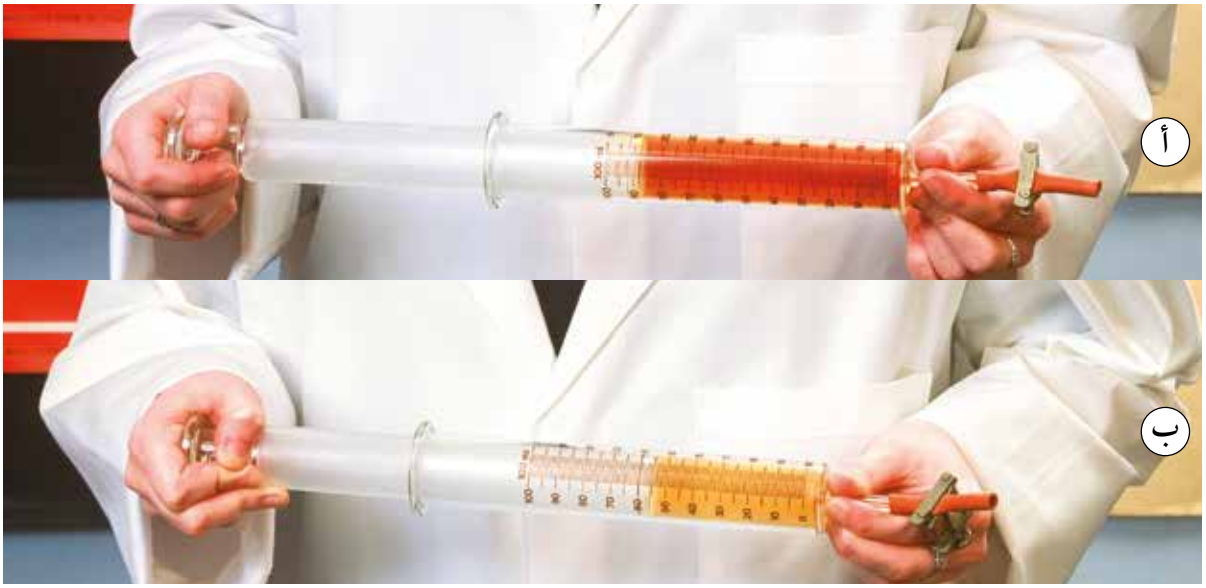
لحسن الحظ، وجد الكيميائيون أن تغيير ظروف تفاعُل ما، يمكنه «دفع» التفاعُل الموجود في حالة الاتزان الديناميكي نحو التفاعُل الأمامي، لتكوين مزيد من المادة الناتجة. ويكون لدرجة الحرارة تأثير كبير على الاتّجاه الذي يأخذه تفاعُل منعكس ما. وسبق أن درست أن التسخين أو رفع درجة الحرارة يفكّك الأملاح المائية لتكوين أملاح لامائية، وأن تبريد مخلوط من غازَي NH_3 و HCl يكوّن المُركّب الصلب NH_4Cl.

يعدّ الضغط أيضًا أحد الظروف التي يمكن تغييرها، والتي لها تأثير كبير على بعض التفاعُلات الغازية؛ فالتفاعُل الغازيّ المنعكس لغاز ثنائي أكسيد النيتروجين NO_2 نحو رباعي أكسيد ثنائي النيتروجين N_2O_4 dinitrogen tetroxide، يعدّ مثالًا جيدًا على تأثير الضغط في الاتزان الديناميكي الذي تمثله المعادلة الآتية:

$$2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g)$$

غاز عديم اللون غاز بني اللون

عندما يكون الغازان NO_2 و N_2O_4 في حالة اتزان ديناميكي ضمن مِحقنة مُحكمة الإغلاق، يكون لون المخلوط برتقاليًّا-بنّيًّا فاتحًا. هذا اللون هو نتيجة لنسب الغازين في المخلوط المتّزن (الصورة ٨-٧ أ). وعندما تُدفع المِحقنة إلى نصف الحجم الأصلي تقريبًا، يزداد الضغط على المخلوط الغازي. وهذا يسبب نقص حجم المخلوط الذي يبدو داكنًا في البداية، ولكن لونه يصبح بنّيًّا مصفرًّا فاتحًا جدًّا بعد مضيِّ بضع دقائق (الصورة ٨-٧ ب). وكلما أصبح لون المخلوط فاتحًا أكثر، أشار إلى وجود كمّية أقلّ من الغاز NO_2 البنّي، ووجود كمّية أكبر من الغاز N_2O_4 عديم اللون. إنّ ما جرى في هذا الاتزان الديناميكي المحدّد، هو أنّ زيادة الضغط «دفعت» التفاعُل الأمامي لتكوين مزيد من غاز N_2O_4.



الصورة ٨-٧ عرض عملي لتأثير الضغط على غازات في حالة اتزان ديناميكي (أ) غاز NO_2 ذو اللون البنّي وغاز N_2O_4 عديم اللون موجودان في حالة اتزان ديناميكي (ب) ازدياد الضغط على المخلوط الموجود في حالة اتزان ديناميكي يؤدي إلى تكوّن المزيد من N_2O_4 (التفاعل الأمامي)، ويصبح لون المخلوط فاتحًا أكثر

أسئلة

٥-٨ تمتلك مركّبات بعض العناصر الانتقالية ألوانًا في حالتها المائية، وعندما تجف أو تتغير الظروف، تتغير ألوان المركّبات. ما تغير اللون الذي نشاهده في حالة:

أ. تسخين كبريتات النحاس (II) المائية ؟

ب. إضافة الماء إلى كلوريد الكوبالت (II) اللامائي ؟

ج. تبريد محلول كلوريد الكوبالت (II) الساخن عند درجة حرارة الغرفة؟

٦-٨ بروميد الأمونيوم مُركّب صلب أبيض اللون. عند تسخينه في أنبوبة تسخين، يبدو أن كمّيته تتناقص، ومن ثَمّ تبدأ مادة صلبة بيضاء بالتكوّن عند أعلى أنبوبة التسخين. اشرح هذه الملاحظات مُستخدمًا مفهوم التفاعُل المنعكس.

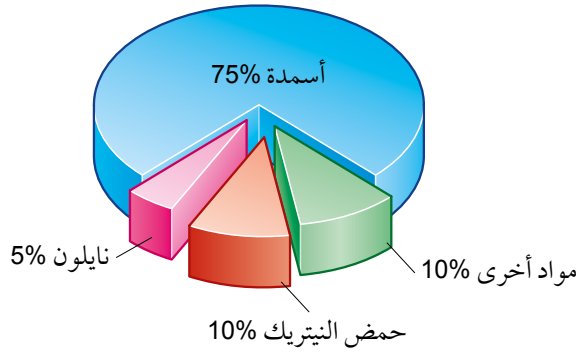
٧-٨ اشرح المقصود بالاتزان الديناميكي.

٨-٨ وُضعت عبوتان من الماء في مكان دافئ. تُركت إحداهما مفتوحة، في حين أُغلقت العبوة الأخرى. صف ما سيحدث للماء في العبوتَين بعد مِضيّ بضعة أيام.

٣-٨ العمليات الصناعية

تصنيع الأمونيا (عملية هابر)

يعدّ غاز الأمونيا (NH_3) مادة أوّلية مهمّة في صناعة كثير من المواد الكيميائية، منها الأدوية والنايلون والأصباغ والمواد المتفجّرة. يُلخّص الشكل (٨-٧) الاستخدامات الرئيسية للأمونيا. حيث يعد الهدف الرئيسي من الإنتاج الصناعي للأمونيا هو تصنيع الأسمدة الزراعية.



الشكل ٨-٧ استخدامات الأمونيا الناتجة من عملية هابر

يمتلك غاز **الأمونيا** عدة خصائص، منها أنه:

- عديم اللون.
- ذو رائحة مميّزة (نفاذة).
- أقلّ كثافة من الهواء.
- يغيّر لون ورق تبّاع الشمس الأحمر إلى الأزرق.
- شديد الذوبان في الماء، وينتج عنه محلول قلوي.

تُبيّن الصيغة الكيميائية لجزيء الأمونيا أنه مركّب من ذرات النيتروجين والهيدروجين. ويطلق على تصنيع الأمونيا من غازي النيتروجين والهيدروجين اسم **عملية هابر Haber process** التي يندمج فيها النيتروجين والهيدروجين معًا اندماجًا مباشرًا تحت ظروف معينة لتكوين الأمونيا، وفقًا للمعادلة الآتية:

أمونيا ⇌ هيدروجين + نيتروجين

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$$

يتمّ الحصول على غاز الهيدروجين اللازم من التفاعُل المُحفّز للغاز الطبيعي (الميثان) مع بخار الماء، الذي يتم وفقًا للمعادلة الآتية:

$$CH_4(g) + 2H_2O(g) \longrightarrow CO_2(g) + 4H_2(g)$$

ويمكن الحصول على غاز النيتروجين من الهواء مباشرة فهو متوفر بنسبة (78%)، والغاز الرئيسي الآخر في الهواء هو الأكسجين (21%) بالإضافة إلى كميات قليلة من غازات أخرى مثل ثاني أكسيد الكربون والأرغون. في بعض المصانع، يُستخرج النيتروجين من الهواء باستخدام التقطير التجزيئي، حيث يُسال الهواء بضغطه عند درجات حرارة منخفضة، ثم يُترك ليتبخّر في برج التجزئة. يكون غاز النيتروجين المتجمّع في الجزء العلوي من العمود نقيًّا تقريبًا وخاليًا من الأكسجين والغازات الأخرى. ولزيادة نقاوة النيتروجين المتجمِّع، فإن معظم المصانع تستخدم بعض غاز الهيدروجين الناتج من الغاز الطبيعي للتخلص من الأكسجين والإبقاء على غاز النيتروجين فقط، حيث يتفاعل الهيدروجين مع الأكسجين الموجود في الهواء لإنتاج الماء، الذي يمكن تكثيفه كسائل، فيبقى غاز النيتروجين.

تتضمن عملية هابر عددًا من الخطوات (الشكل ٨-٨):

الخطوة ١: يُخلط غاز النيتروجين المُستخلَص من الهواء وغاز الهيدروجين الناتج من الغاز الطبيعي معًا. وتكون نسبة النيتروجين إلى الهيدروجين 3:1 بحيث تطابق النسبة الموضّحة في المعادلة أعلاه.

الخطوة ٢: يحتوي المخلوط الغازي على شوائب متبقيّة من الهواء والغاز الطبيعي مثل غاز ثاني أكسيد الكربون، الذي تتمّ إزالته عن طريق تمرير المخلوط الغازي عبر محلول قلوي يمتص غاز ثاني أكسيد الكربون تاركًا غازَي النيتروجين والهيدروجين.

الخطوة ٣: يتم ضغط غازي النيتروجين والهيدروجين المنقّى إلى نحو 200 atm (وحدة ضغط جوي). أثناء ضغط الغازات، يتم توليد حرارة يمكن استخدامها لتوفير الحرارة اللازمة للتفاعل في الخطوة ٤.

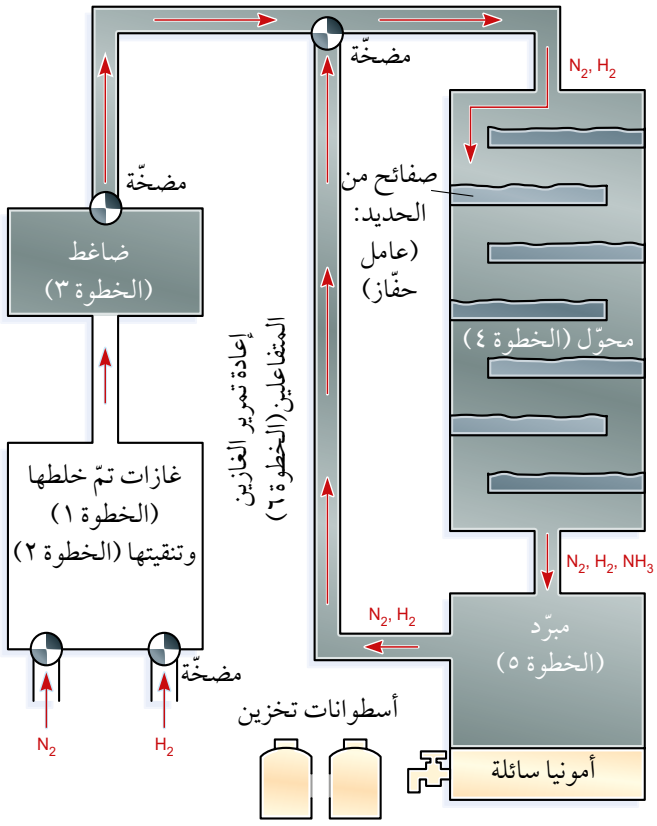
الخطوة ٤: يُمرر مخلوط غازي النيتروجين والهيدروجين المضغوط إلى المحوّل، حيث يحدث التفاعل لإنتاج الأمونيا، وفقًا للمعادلة الآتية:

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$$

في المحوّل، يتم تسخين الغازات إلى درجة حرارة 450 °C تقريبًا. ثم يُمرَّر غازا النيتروجين والهيدروجين فوق صفائح محفّزة. تحتوي هذه الصفائح على مسحوق الحديد الناعم الذي يعمل كعامل حفّاز. ونظرًا لأن التفاعل منعكس، فإنّه لا يمكن تحويل كل النيتروجين والهيدروجين إلى أمونيا. ففي المحوّل، يتفكك بعض الأمونيا مرة أخرى إلى نيتروجين وهيدروجين. وتكون نسبة الأمونيا في المخلوط الغازي أقل من 40%.

الخطوة ٥: يمرّر مخلوط غازات النيتروجين والهيدروجين والأمونيا في المبرّد. تمتلك الأمونيا درجة غليان تساوي (-33 °C) وهي أعلى بكثير من درجة غليان النيتروجين (-196 °C) أو الهيدروجين (-253 °C)، لذلك تتكثّف الأمونيا عند درجة حرارة أعلى بكثير من الغازين الآخرين. فعن طريق تبريد المخلوط، تُفصل الأمونيا الناتجة من الغازين الآخرين بتكثيفها كسائل، ثم تُخزَّن كسائل تحت الضغط.

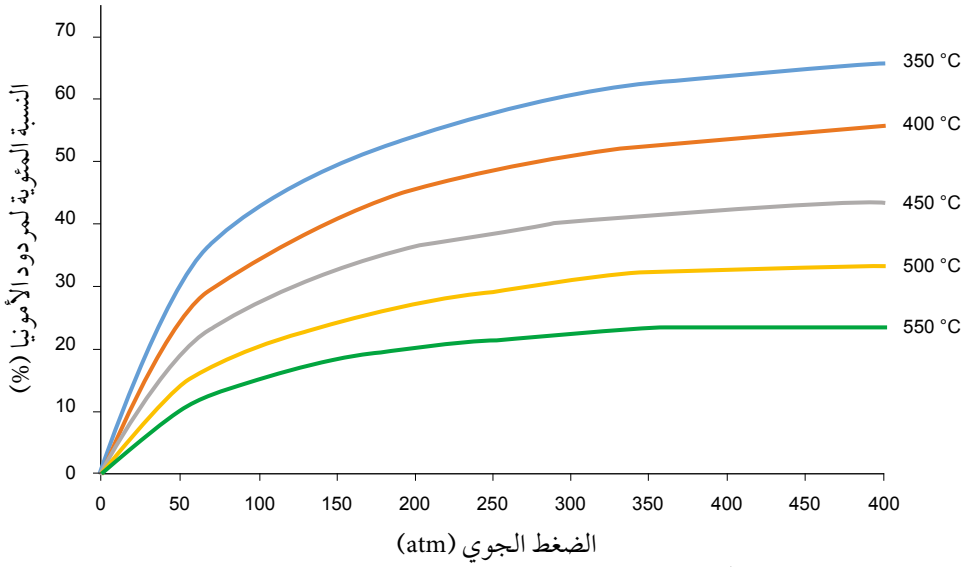
الخطوة ٦: حين يعود غازا النيتروجين والهيدروجين المتبقيَين في المخلوط من المبرّد إلى المحوّل للتفاعل مرة أخرى فوق صفائح العامل الحفّاز لإنتاج المزيد من الأمونيا. من خلال إعادة التمرير بهذه الطريقة، يمكن تحقيق عائد نهائي بنسبة 98% من الأمونيا انطلاقًا من المواد المتفاعلة.



الشكل ٨-٨ رسم تخطيطي لمراحل إنتاج الأمونيا بعملية هابر

الظروف اللازمة لتصنيع الأمونيا

مما سبق، يتبين أن قيَم الضغط ودرجة الحرارة تتغيّر، للتأثير على الاتزان، حيث يتم تعزيز التفاعُل الأمامي، ويزداد بالتالي مردود المادة الناتجة (النسبة المئوية). وتتمثّل الظروف الأكثر ملاءمة لعملية هابر من أجل الحصول على المردود الأكبر من الأمونيا في الضغط المُرتفع ودرجة الحرارة المنخفضة. ويمكن رؤية هذا من خلال التمثيل البياني في الشكل (٨-٩).



الشكل ٨-٩ تمثيل بياني يمثِّل النسب المئوية لمردود الأمونيا مقابل الضغط وعند درجات حرارة معينة

حيث يكون المردود الأعلى للأمونيا عند درجات حرارة أدنى من 350 °C، وضغط أعلى من 400 atm.

ومع ذلك، فإن ظروف الضغط ودرجة الحرارة المُستخدمة فعلًا في عملية هابر هي 200 atm و 450 °C، وتُعدّ حلًّا وسطًا للحصول على المردود الأفضل من الأمونيا مع مراعاة عوامل أخرى، مثل: معدّل السرعة، والطاقة اللازمة والكلفة، وشروط السلامة.

تأثير الضغط

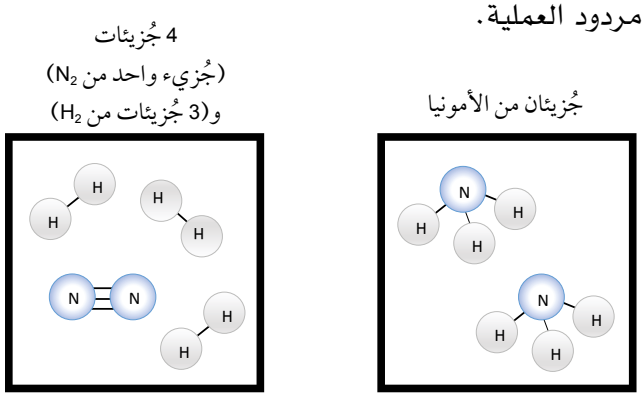
يعدّ الضغط مقياسًا لعدد تصادمات الجُزيئات الغازيَّة بجدار الوعاء. فكلما ازداد عدد جُزيئات الغاز في وعاء التفاعُل، ازداد عدد التصادمات التي سوف تحدث على جداره، وبالتالي سيكون الضغط في الوعاء أكبر. وعليه فإن ما يخضع له الضغط من ارتفاع أو انخفاض سيتحكم في اتجاه التفاعُل، معتمدًا بذلك على عدد مولات المواد المُتفاعلة والناتجة المُبيّنة في المعادلة.

وبمُعاينة المعادلة الكيميائية لعملية هابر في الشكل (٨-١٠)، يمكننا ملاحظة أن عدد الجُزيئات في الطرف الأيسر للمعادلة (المواد المتفاعلة) أكبر من عدد الجُزيئات في طرفها الأيمن (المواد الناتجة).

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$$

إذن، يُنتج التفاعُل الأمامي في عملية هابر عددًا أقلّ من الجُزيئات. فإذا رُفِع الضغط في وعاء التفاعُل لعملية هابر، فسوف ينزاح موضع الاتزان في الاتجاه الأمامي، أي اتجاه تكوّن عدد أقل من الجزيئات الغازية، فينخفض الضغط.

يُنتج التفاعُل الأمامي مزيدًا من الأمونيا، وهكذا يزداد مردود العملية.



الشكل ٨-١٠ مقارنة بين الضغط الذي ينتج عن جُزيئات المواد المُتفاعلة، والضغط الذي ينتج عن جُزيئات المواد الناتجة في عملية هابر

لاحظ أن الارتفاع في الضغط سوف يزيد أيضًا عدد التصادمات التي تحدث بين الجُزيئات وتكرارها.

وسوف تنجم عن هذا الأمر فائدة إضافية تتمثّل في زيادة معدّل سرعة التفاعُل. وعلى الرغم من أن ارتفاع الضغط سوف يزيد مردود سرعة إنتاج الأمونيا ومعدلها، إلا أنه خطِر ومُكلِف من حيث صناعة أوعية وآلات تتحمّل قيَم الضغط المرتفعة. لذا يتم التعامل مع ضغط متوسط يساوي 200 atm، كونه مُرتفعًا بشكل كافٍ للحصول على مردود مقبول من الأمونيا من جهة، ومنخفضًا بما يكفي لجعل تكلفته مقبولة، ويكون التعامل معه آمنًا من جهة أخرى.

تأثير درجة الحرارة

ولتوضيح تأثير درجة الحرارة على إنتاجية الأمونيا، يجب مراعاة تغيُّر طاقة التفاعُلين الأمامي والعكسي لعملية هابر.

فإذا انخفضت درجة حرارة وعاء التفاعُل لعملية هابر، فسوف ينزاح موضع الاتزان في الاتجاه الأمامي.

$$N_2(g) + 3H_2(g) \longrightarrow 2NH_3(g) + 92\ kJ$$

وهكذا يُنتج التفاعُل الأمامي المزيد من الأمونيا، ويزداد مردوده.

وعلى الرغم من أن انخفاض درجة حرارة التفاعل، يزيد مردود الأمونيا، إلا أنه في المقابل يعني انخفاض معدّل سرعة إنتاجها. لذلك تُستخدَم درجة حرارة متوسّطة تبلغ 450 °C، فهي منخفضة بشكل كافٍ للحصول على مردود مقبول من الأمونيا من جهة، وتعدّ مرتفعة ما يكفي للحصول على معدّل سرعة تفاعل مقبول من جهة أخرى.

إزالة المادة الناتجة واستخدام العامل الحفّاز

يستخدم الكيميائيون طرائق أخرى لزيادة مردود مادة ناتجة من تفاعُل منعكس، منها طريقة تعتمد على فصل المادة الناتجة من مخلوط التفاعل؛ ففي عملية هابر، يتحقّق ذلك عن طريق تكثيف الأمونيا لفصلها عن غازَي النيتروجين والهيدروجين، ثم تخزينها مضغوطة لحفظها في هيئة مادة سائلة. أما المخلوط الباقي المكوّن من غازَي النيتروجين والهيدروجين فيتم تدويره لصنع المزيد من الأمونيا.

يُستخدم، في عملية هابر أيضًا، عامل حفّاز هو الحديد. وهذا ضروري لزيادة معدّل سرعة التفاعُل، لأن درجة حرارة التفاعُل المُنخفضة نسبيًّا تُبطئ إنتاج الأمونيا. ومع ذلك، يجب تذكّر أن هذا لا يزيد مردود الأمونيا، بل يتيح فقط للمصنّعين إنتاجها بسرعة أكبر. يتم تمرير المخلوط الغازي فوق عدد من الصفائح التي تحتوي على عامل حفّاز من مسحوق الحديد الناعم، الذي يزيد من مساحة سطح التلامُس مع المواد المُتفاعلة. ومع ذلك، وبمرور الوقت، يتلوّث العامل الحفّاز، ولا يعود فاعلًا. لذا يجب استبداله بصورة منتظمة.

يُلخّص الجدول (٨-١) الظروف المثالية والمناسبة لعملية هابر.

الظروف	الظروف المثالية لمردود عالٍ من الأمونيا	العيوب	الظروف المناسبة
الضغط	مُرتفع	غير آمن ومكلف	200 atm (وحدة ضغط جوي)
درجة الحرارة	مُنخفضة	معدّل سرعة التفاعُل بطيء	450 °C
فصل كمّية الأمونيا في مخلوط التفاعل	إزالة الأمونيا من المخلوط	يحتاج إلى درجة حرارة منخفضة لتكثيف الأمونيا، ثم تخزينها تحت الضغط	—
العامل الحفّاز	لا تأثير له على مردود الأمونيا، لكنه يزيد معدّل سرعة التفاعُل	قد يتلوّث ولا يعود فاعلًا مع مرور الوقت	تغييره بصورة منتظمة

الجدول ٨-١ الظروف المثالية والمناسبة لعملية هابر في تصنيع الأمونيا

أسئلة

٨-٩ حدّد ظرفَين أو عاملين يمكن تغييرهما لزيادة المردود من مادة ناتجة في تفاعُل صناعي.

٨-١٠ كيف يتم الحصول على الهيدروجين والنيتروجين المستخدمَين في عملية هابر؟

٨-١١ اكتب المعادلة الكيميائية لعملية هابر متضمنةً رموز الحالة الفيزيائية.

٨-١٢ ما الذي يُعطي المردود الأفضل من الأمونيا، الضغط المرتفع أم الضغط المنخفض؟

٨-١٣ ما التي تُعطي المردود الأفضل من الأمونيا، درجة الحرارة المرتفعة أم درجة الحرارة المنخفضة؟

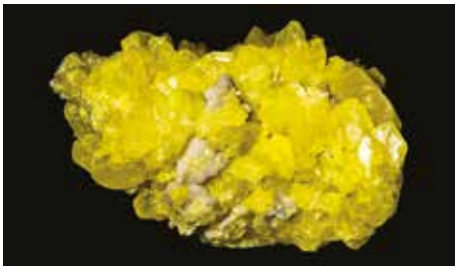
٨-١٤ ما الظروف المناسبة من الضغط ودرجة الحرارة المُستخدمة في عملية هابر؟

٨-١٥ اذكر **طريقتَين** أُخريَين يستخدمهما الكيميائيون لجعل عملية تصنيع الأمونيا أكثر فاعلية.

تصنيع حمض الكبريتيك (عملية التلامس)

يعدّ الكبريت العنصر السادس عشر الأكثر وفرة في القشرة الأرضية بلونه الأصفر المميّز، وهو لافلزّ صلب (الصورة ٨-٨). يوجد الكبريت بشكل طبيعي تحت الأرض في طبقات ضخمة من الكبريت في دول مثل بولندا والمكسيك، أو على شكل رواسب بركانية كما في إندونيسيا. يوجد الكبريت أيضًا بشكل طبيعي في مُركّباته، مثل خامات كبريتيد الحديد أو كبريتيد الرصاص، وفي الغاز الطبيعي على هيئة كبريتيد الهيدروجين.

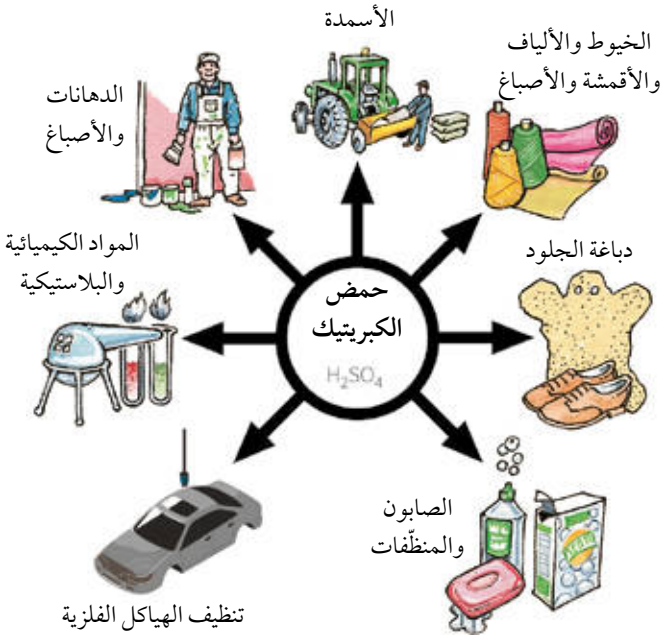
يُستخدم الكبريت في مجالات كثيرة: كمبيد للفطريات، وصنع العقاقير الطبية، وصنع رؤوس عيدان الثقاب، وتقوية المطّاط المُستخدم في إطارات السيارات من خلال عملية



الصورة ٨-٨ كبريت مُتبلْوِر

تُدعى الفلكنَة (vulcanisation). ومع ذلك، يُستخدم نحو 90% من الكبريت في الصناعة الكيميائية لإنتاج حمض الكبريتيك (H_2SO_4).

ويلخِّص الشكل (٨-١١) الاستخدامات المُتنوِّعة لحمض الكبريتيك.



الشكل ٨-١١ استخدامات متنوّعة لحمض الكبريتيك

وتُسمّى العملية المستخدمة لإنتاج حمض الكبريتيك **عملية التلامُس Contact process**. تُبيِّن الصورة (٨-٩) مصنعًا يستخدم عملية التلامُس.



الصورة ٨-٩ مصنع لإنتاج حمض الكبريتيك

تتألّف المواد الأوّلية التي تدخل في تصنيع حمض الكبريتيك من الكبريت والهواء والماء، وتتضمّن عملية التصنيع عدة خطوات:

الخطوة ١:

يُحرق الكبريت في الهواء (الذي يوفرّ الأكسجين) لتكوين غاز ثنائي أكسيد الكبريت. ويتم التفاعل وفقًا للمعادلة الآتية:

ثنائي أكسيد الكبريت ⟶ أكسجين + كبريت

$$S(s) + O_2(g) \longrightarrow SO_2(g)$$

الخطوة ٢:

يُضاف مزيد من الهواء إلى ثنائي أكسيد الكبريت الذي تكوّن في الخطوة ١. ويكون التفاعُل الرئيسي في عملية التلامس هو التفاعُل الذي يندمج فيه ثنائي أكسيد الكبريت والأكسجين لتكوين ثلاثي أكسيد الكبريت وفقًا للمعادلة الآتية:

ثلاثي أكسيد الكبريت ⇌ أكسجين + ثنائي أكسيد الكبريت

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$$

يُعد هذا التفاعل منعكسًا، لذا ستكون المواد المُتفاعلة والناتجة في حالة اتزان. ويجب مراعاة الظروف اللازمة للحصول على المردود الأفضل من ثلاثي أكسيد الكبريت. وتبدو معادلة التفاعُل مشابهة لمعادلة عملية هابر من حيث أن عدد مولات المادة الناتجة أقلّ من عدد مولات المواد المُتفاعلة، وأن التفاعُل الأمامي طارد للحرارة.

يُشكّل الضغط المُرتفع ودرجة الحرارة المنخفضة أفضل الظروف لعملية التلامس. ومع ذلك، يعد الضغط المرتفع غير آمن ومُكلفًا، في حين أن درجة الحرارة المنخفضة تبطئ معدّل سرعة التفاعل.

لذلك تُستخدم درجة حرارة متوسِّطة تبلغ 450 °C وضغط من 2 – 1) atm). وفي حين أن درجة الحرارة المُستخدَمة مُماثلة لتلك المستخدمة في عملية هابر، فإن الضغط المستخدم أقلّ بكثير مما يمكن توقُّعه. وسبب ذلك أن مردود ثلاثي أكسيد الكبريت لا يزداد بشكل كبير عند استخدام ضغط أكبر.

يتم تمرير الغازات فوق عدّة صفائح ثابتة تحتوي على العامل الحفّاز؛ أكسيد الفناديوم (v) V_2O_5. ويتيح هذا التصميم حدوث تلامُس أكبر بين العامل الحفّاز والغازات المُتفاعِلة لتكوين ثلاثي أكسيد الكبريت. وقبل أن يصل مخلوط الغازات إلى صفيحة العامل الحفّاز الأخير، تتم إزالة غاز ثلاثي أكسيد الكبريت.

وسوف يؤدّي هذا إلى تفاعُل المزيد من ثنائي أكسيد الكبريت والأكسجين لتكوين مزيد من ثلاثي أكسيد الكبريت لاستعادة حالة الاتزان. وأي غازات لم تتفاعل ستتم إعادة تدويرها عبر برج عملية التلامُس للحصول على أكبر كمية من ثلاثي أكسيد الكبريت الناتج.

وهكذا تُحقِّق العملية نسبة مردود من ثلاثي أكسيد الكبريت تبلغ 98%.

الخطوة ٣:

من الناحية النظرية، يمكن صنع حمض الكبريتيك ببساطة عن طريق إضافة ثلاثي أكسيد الكبريت إلى الماء.

حمض الكبريتيك ⟶ ماء + ثلاثي أكسيد الكبريت

ومع ذلك، لا يتم استخدام هذا التفاعل لأنه طارد للحرارة بشدة، وينتج ضبابًا حمضيًّا يُسبِّب مشكلات بيئية كإلحاق الضرر بالمباني، وبالحياة البرية، وتنجم عنه أمراض في الجهاز التنفُّسي. بدلًا من ذلك، يُذاب ثلاثي أكسيد الكبريت الناتج في هذه الخطوة في محلول عالي التركيز من حمض الكبريتيك. لا ينتج التفاعل بين ثلاثي أكسيد الكبريت وحمض الكبريتيك الكثير من الحرارة، وبالتالي لا يكوّن ضبابًا حمضيًّا. ويتم هذا التفاعل وفق المعادلة الآتية:

⟶ حمض الكبريتيك + ثلاثي أكسيد الكبريت

حمض البيروكبريتيك (أوليوم)

$$SO_3(g) + H_2SO_4(l) \longrightarrow H_2S_2O_7(l)$$

يُعرف المنتَج المتكوِّن من هذا التفاعل باسم **الأوليوم Oleum** ($H_2S_2O_7$)، ويسمى أيضًا حمض الكبريتيك المُدخّن.

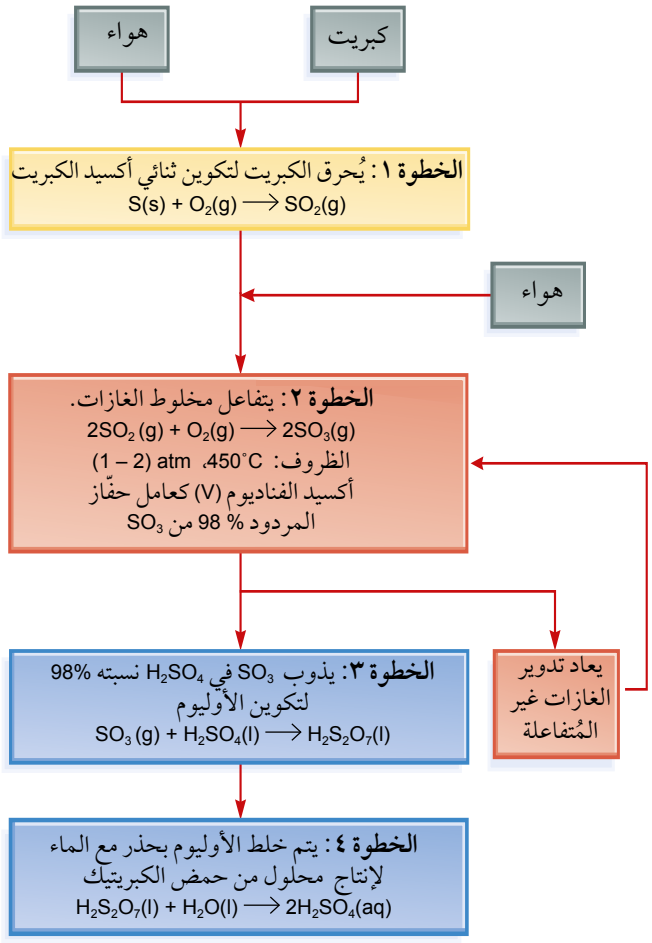
الخطوة ٤:

عندما تدعو الحاجة إلى تحضير حمض الكبريتيك، يتم تخفيف الأوليوم بالماء، وفقًا للمعادلة الآتية:

حمض الكبريتيك ⟶ ماء + أوليوم

$$H_2S_2O_7(l) + H_2O(l) \longrightarrow 2H_2SO_4(aq)$$

يُلخِّص المخطَّط المُبيَّن في الشكل (٨-١٢) عملية تصنيع حمض الكبريتيك.



الشكل ٨-١٢ مُخطّط يلخّص عملية تصنيع حمض الكبريتيك

يمتلك حمض الكبريتيك عدة خصائص، منها أنه:

- سائل زيتي عديم اللون (عندما يكون مُركزًا) ومحلول عديم اللون (عندما يكون مخفَّفًا).
- عامل تجفيف (عندما يكون مُركزًا).
- يغيّر لون ورقة تّباع الشمس من الأزرق إلى الأحمر.
- يتفاعل مع القواعد والفلزّات والكربونات.
- يكوّن أملاحًا تُسمّى الكبريتات.

تذكّر

في عملية هابر المستخدمة لتصنيع الأمونيا، وفي عملية التلامُس المستخدمة لتصنيع حمض الكبريتيك، عليك معرفة الظروف المُناسبة للتفاعل وكيف تم اختيارها. تذكّر أن هذَين التفاعُلَين منعكسان ويصلان إلى حالة اتزان في الظروف المحددة.

مصطلحات علمية

- **عملية هابر Haber process:** العملية الصناعية المُستخدمة في تصنيع الأمونيا.
- **عملية التلامُس Contact process:** العملية الصناعية المُستخدمة في تصنيع حمض الكبريتيك.
- **الأوليوم Oleum:** محلول مكوّن من ثلاثي أكسيد الكبريت الذائب في حمض الكبريتيك.

أسئلة

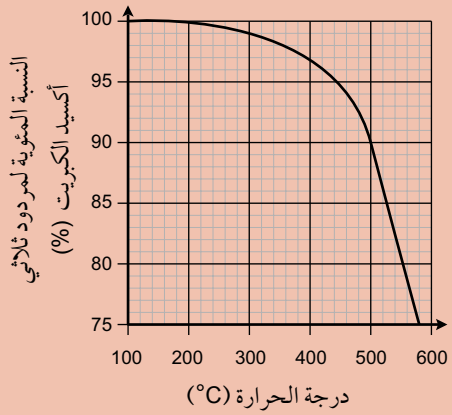
٨-١٦ اكتب معادلة كيميائية لحرق الكبريت تتضمن رموز الحالة الفيزيائية.

٨-١٧ اكتب معادلة كيميائية، تتضمّن رموز الحالة الفيزيائية، لتكوين ثلاثي أكسيد الكبريت الناتج في عملية التلامُس.

٨-١٨ من خلال المعادلة التي كتبتها للسؤال ٨-١٧، أيهما سيعطي مردودًا أفضل من ثلاثي أكسيد الكبريت: الضغط المرتفع أم المنخفض؟

أسئلة

٨-١٩ يبيّن التمثيل البياني أدناه النسبة المئوية لمردود ثلاثي أكسيد الكبريت في عملية التلامُس عندما ترتفع درجة الحرارة عند ضغط ثابت.



أ. صف كيف يتغيّر مردود ثلاثي أكسيد الكبريت مع تغيّر درجة الحرارة.

ب. استخدم التمثيل البياني لتحدّد درجة الحرارة عندما يساوي مردود ثلاثي أكسيد الكبريت 79%.

ج. حدِّد النسبة المئوية لمردود ثلاثي أكسيد الكبريت عند درجة الحرارة 450 °C.

د. حدِّد ما إذا كان التفاعُل الذي ينتج ثلاثي أكسيد الكبريت ماصًّا أم طاردًا للحرارة.

٨-٢٠ لماذا يُستخدم أكسيد الفناديوم (V) في عملية التلامُس؟

٨-٢١ لماذا يجب عدم خلط ثلاثي أكسيد الكبريت مع الماء لتكوين حمض الكبريتيك؟

٨-٢٢ أ. يُضاف ثلاثي أكسيد الكبريت أوّلًا إلى حمض الكبريتيك (H_2SO_4) لصنع الأوليوم ($H_2S_2O_7$).

اكتب معادلة كيميائية موزونة، تتضمَّن رموز الحالة الفيزيائية، لهذا التفاعُل.

ب. بعد ذلك، يُضاف الماء إلى الأوليوم لصنع حمض الكبريتيك.

اكتب معادلة كيميائية موزونة تتضمَّن رموز الحالة الفيزيائية لهذا التفاعُل.

الأسمدة

يعد كلّ من الأمونيا وحمض الكبريتيك موادّ كيميائية أساسية تدخل في إنتاج **الأسمدة Fertilisers** الصناعية غير العضوية. إنّ الأسمدة مواد تُضاف إلى التربة كمغذيات للنباتات والمحاصيل، لتزويدها بالعناصر التي تحتاج إليها. وتوجد هذه العناصر بكميات قليلة في التربة، وهي تُستهلك من خلال امتصاص النباتات لها عبر جذورها. تعمل الأسمدة التي يُضيفها المزارعون على تعويض تلك العناصر، وبالتالي زراعة وإنتاج محاصيل جديدة. ويتم إنتاج ملايين الأطنان من هذه الأسمدة سنويًّا لتلبية الطلب المتزايد على المحاصيل لسكان العالم المتزايد عددهم باطّراد.

وتتمثّل أكثر العناصر المُغذية أهمّية في النيتروجين (N) والفوسفور (P) والبوتاسيوم (K). ويلخّص الجدول (٨-٢) أهمّية كل عنصر في الحفاظ على سلامة النباتات.

تُستخدم معظم الأمونيا الناتجة من عملية هابر في تصنيع الأسمدة؛ فالأمونيا السائلة نفسها يمكن استخدامها في الواقع استخدامًا مباشرًا كسماد، إلا أنها قد تكون خطرة ويصعب التعامُل معها أو نقلها. يتمّ تحويل معظم الأمونيا إلى مجموعة متنوّعة من الأسمدة الصلبة، حيث تحوَّل كمية كبيرة منها إلى حمض النيتريك الذي يُستخدم في تصنيع النترات.

الأسمدة النيتروجينية

تعد نترات الأمونيوم (Nitram) الأكثر أهمّية بين **الأسمدة النيتروجينية Nitrogenous fertilisers** (وهي سماد يكون العنصر الأساسي فيه هو النيتروجين الذي يوجد بنسبة عالية). فهي تحتوي على النيتروجين بنسبة كتلية تساوي 35%. ويتم إنتاجها عند معادلة محلول أمونيا بحمض النيتريك وفقًا للمعادلة الآتية:

نترات الأمونيوم ⟶ حمض النيتريك + أمونيا

$$NH_3(aq) + HNO_3(aq) \longrightarrow NH_4NO_3(aq)$$

ويمكن بلْوَرة نترات الأمونيوم وتحويلها إلى حُبيبات تكون مناسبة للنثر على الأرض.

العنصر	الرمز	دور العنصر في الحفاظ على سلامة النباتات	تأثير نقص العنصر في التربة
النيتروجين	N	يساعد على تكوين البروتينات اللازمة لنمو النباتات والجذور	يتوقّف نمو النبات ويصبح لون الأوراق أخضر باهتًا أو أصفر.
الفوسفور	P	يدعم نموّ النباتات ويُستخدم في تخزين الطاقة ونقلها	يُوقف نمو النبات ويصبح لون الأوراق داكنًا.
البوتاسيوم	K	يدعم نمو أوراق النباتات وتنظيم (توزيع واستهلاك) الماء	تتكوّن بقع صغيرة صفراء اللون على أطراف أوراق النباتات وحوافها.

الجدول ٨-٢ دور بعض العناصر في الحفاظ على سلامة النباتات وتأثير نقصها

تذوب نترات الأمونيوم في الماء. وتُعدّ هذه الذوبانية ضرورية، لأن النباتات تحتاج إلى مُركّب نيتروجيني ذائب لتتمكّن من امتصاصه عبر جذورها. وهنالك نوعان من مُركّبات النيتروجين تستخدمهما النباتات، هما: مُركّبات الأمونيوم (تحتوي على أيون NH_4^+) والنترات (تحتوي على أيون NO_3^-). وتوفّر نترات الأمونيوم هذَين النوعَين من الأيونات.

وتُعدّ كبريتات الأمونيوم أحد أملاح الأمونيوم المُهمّة التي تُنتِجها مُعادَلة محلول أمونيا مع حمض الكبريتيك، وفقًا للمعادلة الآتية:

كبريتات الأمونيوم ⟶ حمض الكبريتيك + أمونيا

$$2NH_3(aq) + H_2SO_4(aq) \longrightarrow (NH_4)_2SO_4(aq)$$

تذوب كبريتات الأمونيوم في الماء مثلها مثل كافة أملاح الأمونيوم. ومع ذلك، تميل أملاح الأمونيوم إلى جعل التربة حمضية قليلًا. وللتغلُّب على ذلك، يمكن خلطها مع الطبشور (كربونات الكالسيوم)، الذي سيعادل التأثير الحمضي. يعدّ «طبشور النيترو Nitro-chalk» مثالًا على **سماد مُركّب Compound fertiliser**. وهذا النوع من الأسمدة مهمّ لقدرته على تجهيز مخاليط معيّنة لتوفير كمّيات متفاوتة من عناصر مختلفة.

الأسمدة المركبة

وقد تم تصميم **السماد المُركّب NPK (NPK-compound fertiliser)** خصّيصًا لتوفير كمّيات كبيرة من العناصر الثلاثة الرئيسية (التي تحتاج إليها النباتات) وهي: النيتروجين N، والفوسفور P، والبوتاسيوم K (الصورة ٨-١٠). يتكوّن المخلوط النموذجي من نترات الأمونيوم، NH_4NO_3، وفوسفات الأمونيوم، $(NH_4)_3PO_4$، وكلوريد البوتاسيوم، KCl. يُوجد كلوريد البوتاسيوم بشكل طبيعي كملح يمكن سحقه وطحنه مع نترات الأمونيوم. في حين يجب تصنيع فوسفات الأمونيوم عن طريق تفاعُل تعادل آخر بين محلول أمونيا وحمض الفوسفوريك (H_3PO_4) وفقًا للمعادلة الآتية:

فوسفات الأمونيوم ⟶ حمض الفوسفوريك + أمونيا

$$3NH_3(aq) + H_3PO_4(aq) \longrightarrow (NH_4)_3PO_4(aq)$$

ويعدّ حمض الكبريتيك مهمًا لأنه يدخل في تصنيع حمض الفوسفوريك اللازم لهذه العملية.

يُنتج مصنع السماد نوعَين رئيسيَّين من المواد، هما:

- **الأسمدة النيتروجينية nitrogeneous fertilisers**، وهي أسمدة صلبة تحتوي على النيتروجين، تُباع على شكل حُبيبات، نذكر منها نترات الأمونيوم (NH_4NO_3)، وكبريتات الأمونيوم ($(NH_4)_2SO_4$)، واليوريا ($CO(NH_2)_2$).
- **الأسمدة المُركّبة NPK - fertilisers compound NPK** وهي مخاليط توفّر العناصر الثلاثة الأساسية الأكثر أهمّية، التي تفقدها التربة بسبب استخدامها زراعيًّا بشكل واسع؛ أي النيتروجين (N) والفوسفور (P) والبوتاسيوم (K). وهي في العادة تكون مخلوطًا من نترات الأمونيوم وفوسفات الأمونيوم وكلوريد البوتاسيوم، بنسب مختلفة وفقًا لطبيعة التربة.



الصورة ٨-١٠ بعض أنواع الأسمدة؛ لاحظ على أكياسها الأرقام مقابل الرموز الثلاثة الأساسية (N:P:K)

أضرار الأسمدة

على الرغم من أهمّية الأسمدة في الزراعة للحصول على محاصيل وفيرة سنويًّا، إلا أن لها أضرارًا ولا سيّما عند المُبالغة في استخدامها. ولمّا كانت الأسمدة تذوب في الماء، فإن هطول أمطار غزيرة يؤدّي إلى غسلها وإزالتها من الحقول وتسرّبها إلى الأنهار ومجاري المياه الأخرى. تعزّز أيونات الأمونيوم والفوسفات نموّ الطحالب الصغيرة، التي تكوّن طبقة طينية خضراء تغطّي سطح الماء. وتمنع هذه الطبقة وصول أشعّة الشمس إلى النباتات التي تعيش تحت سطح الماء، وتمنع بالتالي حدوث التمثيل الضوئي. عندئذ، سيكون إنتاج هذه النباتات للأكسجين قليلًا، ما يؤدّي إلى اختناق الأسماك والكائنات الحية المائية الأخرى التي تعيش في الماء، ومن ثَمّ موتها. وفضلًا عن ذلك، سوف تستهلك البكتيريا التي تحلّل المواد العضوية الميتة الكمّيات القليلة الباقية من الأكسجين. يُسمّى هذا النوع من التلوُّث **الإثراء الغذائي Eutrophication**. وتبيّن الصورة (٨-١١) تأثير الإثراء الغذائي على بحر قزوين.



الصورة ٨-١١ صورة جوّية لبحر قزوين، يبيِّن الجزء العلوي الأيمن من البحر دوامات خضراء ناتجة عن نموّ الطحالب

مصطلحات علمية

- **الأسمدة Fertiliser:** مواد تُضاف إلى التربة كمُغذّيات للنباتات والمحاصيل الزراعية التي تمتصّ العناصر اللازمة لنموّها.
- **الأسمدة النيتروجينية Nitrogeneous fertiliser:** أسمدة تحتوي على نسبة عالية من عنصر النيتروجين.
- **الأسمدة المُركَّبة NPK compound fertiliser-NPK:** أسمدة تحتوي على نسب عالية من عناصر النيتروجين (N)، والفوسفور (P)، والبوتاسيوم (K).

نشاط ٨-٣

صُنع سماد

المهارات:

- يبيّن بطريقة عملية معرفته المتعلقة بكيفية الاستخدام الآمن للتقنيات والأجهزة والمواد (بما فيها اتبّاع سلسلة من التعليمات المناسبة).
- يخطط للتجارب والاستقصاءات.
- ينجز التجربة ويسجِّل الملاحظات والقياسات والتقديرات.
- يناقش الملاحظات التجريبية والبيانات ويقيّمها.

أدّى ظهور عملية هابر وعملية التلامُس إلى نهضة في الزراعة، وذلك بجعل عملية تصنيع الأسمدة الصناعية ممكنة. ومن الأمثلة عليها كبريتات الأمونيوم التي يتم تصنيعها عن طريق معادلة حمض الكبريتيك مع محلول أمونيا وفقًا للمعادلة الآتية:

$$H_2SO_4(aq) + 2NH_3(aq) \longrightarrow (NH_4)_2SO_4(aq)$$

ويمكن زيادة تركيز محلول كبريتات الأمونيوم بالتسخين. وبعد ذلك يُبرّد المحلول للسماح بتكوّن بلورات.

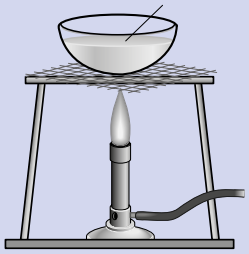
المواد والأدوات والأجهزة

- مخبار مدرّج عدد 2 (سعة 10 mL و 25 mL)
- موقد بنزن، وحصيرة عازلة للحرارة
- حوض تبخير
- ملعقة كيماويات
- ساق زجاجية للتحريك
- منشفة ورقية
- ورق تبّاع الشمس الأحمر
- حمض كبريتيك مخفّف (0.75 mol/L)
- محلول أمونيا (1.5 mol/L)

⚠
- **ضع النظّارة الواقية لحماية عينَيك.**
- **ارتد معطف المُختبَر.**
- **البس القُفّازَين الواقيَين أثناء إجراء هذه التجربة عند الضرورة.**
- **توخَّ الحيطة والحذر عند التعامُل مع السوائل حول الأجهزة الكهربائية، وتجنب إحداث أي انسكابات بالقرب منها.**
- **نفّذ التجربة في خزانة طرد الغازات أو في مختبر جيد التهوئة.**
- **حمض الكبريتيك المخفّف مادة ضارة ومُهيّجة؛ لذا تجنّب ملامسته للجلد ولا تستنشق البخار. وإذا انسكب منه على يدَيك، فاغسلهما على الفور.**
- **محلول الأمونيا المُخفّف من المواد المهيّجة للجلد.**

الطريقة

محلول مائي من كبريتات الأمونيوم



١ ضع حوض التبخير على شبكة معدنية فوق حامل ثلاثي الأرجل. صبّ في الحوض 25 mL من حمض الكبريتيك المُخفَّف.

٢ بعد ذلك، أضف 5 mL من محلول أمونيا مخفّف، باستخدام المخبار المُدرَّج الصغير. حرّك المخلوط بساق زجاجية.

٣ ضع قطعة رطبة من ورق تبّاع الشمس الأحمر فوق حوض التبخير، وسجِّل اللون. سجِّل حجم محلول الأمونيا المضاف ولون ورقة تبّاع الشمس في جدول نتائج، مع عناوين ووحدات مناسبة.

٤ تابع إضافة محلول الأمونيا بكمّيات مقدارها 5 mL، كل مرة، إلى حوض التبخير، مع تحريك المخلوط وإمساك ورقة تبّاع الشمس الأحمر فوق الحوض. تابع تسجيل حجم محلول الأمونيا المضاف، ولون ورقة تبّاع الشمس. وبمُجرّد أن يتغيّر لون ورقة تبّاع الشمس إلى الأزرق، توقّف عن إضافة محلول الأمونيا.

٥ سخّن حوض التبخير إلى أن تبقى كمّية ضئيلة من المحلول السائل. **لا تسخّن حتى الجفاف!** واترك المحلول السائل ليبرد.

٦ أزل البلّورات التي تكوَّنت باستخدام ملعقة كيماويات، ثم دعها تجفّ على منديل ورقي أو ورقة ترشيح.

أسئلة

١ اذكر سببًا واحدًا يفسّر لماذا تُعدّ كبريتات الأمونيوم مفيدة كسماد.

٢ سمّ **عنصرَين** أساسيَّين تحتاج النباتات إليهما و**لا** توفّرهما كبريتات الأمونيوم.

٣ اقترح كيف تختبر كبريتات الأمونيوم التي صنعتها لتعرف إن كانت سمادًا جيّدًا.

٤ اشرح كيف سمح استخدام قطعة رطبة من ورق تبّاع الشمس الأحمر بتوضيح اكتمال التفاعُل.

نشاط ٨-٣

٥ احسب عدد مولات كل من حمض الكبريتيك (تركيزه 0.75 mol/L) والأمونيا (تركيزها 1.5 mol/L) التي تتفاعل، مستخدمًا المعادلة الآتية:

عدد المولات = التركيز (mol/L) × الحجم (L)

٦ يتم التفاعل وفقًا للمعادلة الآتية:

$$H_2SO_4(aq) + 2NH_3(aq) \longrightarrow (NH_4)_2SO_4(aq)$$

اشرح ما إذا كان عدد مولات حمض الكبريتيك أو عدد مولات الأمونيا المحسوبَين في السؤال ٥ يتوافق مع النسب المولية المُبيّنة في المعادلة.

٧ صف وسيلة لتحسين الطريقة التي يمكنك بها قياس حجوم **دقيقة** من حمض الكبريتيك ومحلول الأمونيا، وجعلها تتفاعل معًا. علِّل اختيار الأدوات التي ستستخدمها من أجل تحسين طريقتك.

٨ اقترح تجربة لإنتاج نترات الأمونيوم تتضمن المحاليل والتراكيز والحجوم التي سوف تستخدمها. علّل اختيار المواد الكيميائية التي ستستخدمها لتحسين طريقتك.

أسئلة

٨-٢٣ ما المقصود بالسماد؟

٨-٢٤ ما العناصر الثلاثة الأساسية التي يتضمّنها السماد المركّب NPK؟

٨-٢٥ يمتلك كل عنصر تم ذكره في السؤال **٨-٢٤** وظيفة محدَّدة يؤدّيها للحفاظ على سلامة النباتات. اذكر وظيفة كل عنصر.

٨-٢٦ كيف تُسبِّب الأسمدة التلوُّث؟

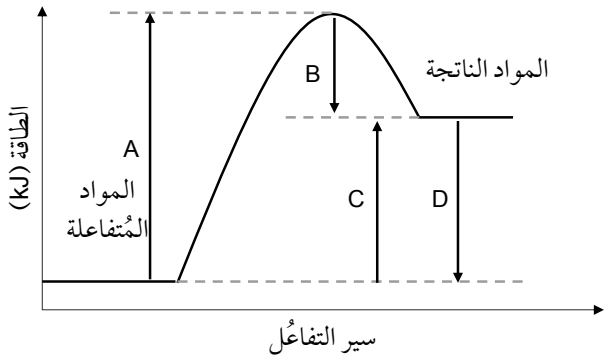
ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- تتضمّن التفاعُلات الكيميائية جميعها تغيُّرات في الطاقة، فهي إمّا تفاعُلات طاردة للحرارة (تُطلق حرارة نحو محيطها) أو تفاعُلات ماصّة للحرارة (تمتصّ حرارة من محيطها).
- تحتاج عملية كسر روابط في المواد المُتفاعلة إلى طاقة (ماصّة للحرارة)، في حين تُطلق عملية تكوين روابط في المواد الناتجة طاقة (طاردة للحرارة).
- رسم وتفسير مخطّطات الطاقة ومنحنيات تغيّر الطاقة، التي تتضمّن طاقة التنشيط والتغيُّر في الطاقة الحرارية لتفاعُل ما.
- إمكانية عكس تفاعُلات مُحدَّدة إذا تم تغيير ظروف تلك التفاعُلات.
- الاتزان الديناميكي هو تفاعُل منعكس في نظام مغلق، حيث تحدث التفاعُلات الأمامية والعكسية بمعدّل السرعة نفسه، ولكن لا يحدث تغيُّر إجمالي في كمّيات المواد المُتفاعِلة والناتجة.
- عملية إنتاج الأمونيا باستخدام عملية هابر، بما فيها الظروف التي تُعطي أفضل مردود من المادة الناتجة، والظروف المناسبة التي تم استخدامها.
- عملية إنتاج حمض الكبريتيك باستخدام عملية التلامس، بما فيها الظروف التي تُعطي أفضل مردود من المادة الناتجة، والظروف المناسبة التي تم استخدامها.
- استخدام الأمونيا وحمض الكبريتيك في تصنيع الأسمدة.
- أهمّية الأسمدة المُركّبة NPK (التي تحتوي على النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم)، والمُشكلات الناجمة عنها.

أسئلة نهاية الوحدة

١ أ. يبيِّن التمثيل البياني الآتي مخطَّط منحنى تغيُّر الطاقة لتفاعُل ماصّ للحرارة.



١. ما المقصود بتفاعُل ماصّ للحرارة؟

٢. يوضح مخطط منحنى تغيّر الطاقة أربعة تغيرات مختلفة في الطاقة معنونة بالرموز: **A** و **B** و **C** و **D**.
أكمل الجدول أدناه بكتابة الرمز المناسب مقابل كل وصف لتغيّر في الطاقة.

وصف تغيُّر الطاقة	الرمز
تغيُّر الطاقة عند تكوّن روابط في المواد الناتجة	
تغيُّر الطاقة عند كسر روابط في المواد المتفاعلة	
تغيُّر إجمالي الطاقة الحرارية لهذا التفاعل	
طاقة التنشيط	

ب. يحترق الهيدروجين بوجود الأكسجين لتكوين الماء.
يمكن كتابة معادلة هذا التفاعُل باستخدام الصيَغ التركيبية البنائية لتوضيح الروابط.

$$\begin{matrix} H-H \\ H-H \end{matrix} \quad + \quad O=O \quad \longrightarrow \quad \begin{matrix} H-O-H \\ H-O-H \end{matrix}$$

يتضمّن الجدول الآتي طاقة كل رابطة مبيّنة في معادلة التفاعُل.

الرابطة	الطاقة (kJ)
H−H	436
O=O	496
H−O	463

١. احسب كمّية الطاقة الممتصة اللازمة لكسر الروابط في المادّتَين المُتفاعلتَين: الهيدروجين والأكسجين.

٢. احسب كمّية الطاقة المُنبعثة عند تكوين روابط المادة الناتجة؛ الماء.

٣. احسب تغيُّر إجمالي الطاقة الحرارية لهذا التفاعُل.

٤. هل التفاعُل طارد للحرارة أم ماص للحرارة؟
استخدم إجابتك عن الجزئية ٣ لشرح إجابتك عن هذا السؤال.
٥. ارسم مخطّط الطاقة لهذا التفاعُل.

٢ تكون بلورات كبريتات الحديد (II) المائية خضراء اللون، وتتصرَّف بطريقة مشابهة لبلّورات كبريتات النحاس (II) المائية عند تسخينها.
عند تسخين بلّورات كبريتات الحديد (II) المائية في أنبوبة اختبار مفتوحة، يتغيَّر لونها، ويتجمَّع البخار المُتكثّف في الطرف الأعلى من الأنبوبة.

$$FeSO_4 \cdot 7H_2O(s) \longrightarrow FeSO_4(s) + 7H_2O(g)$$

أ. اكتب معادلة لفظية لهذا التفاعُل.

ب. هل هذا التفاعُل طارد للحرارة أم ماصّ للحرارة؟ اشرح إجابتك.

ج. ما اللون الذي تتوقّع أن تكون عليه كبريتات الحديد (II) بعد التسخين؟

د. تُترك كبريتات الحديد (II) لتبرد، ثم يُضاف إليها الماء؛ يُسمع صوت فرقعات صغيرة تُرافِق إنتاج بخار الماء، وتعود كبريتات الحديد (II) إلى لونها الأخضر الأصلي. فسِّر ذلك.

هـ. تُظهر المعادلة الآتية تفاعُلًا مُشابهًا:

$$CoCl_2 \cdot 6H_2O(s) \rightleftharpoons CoCl_2(s) + 6H_2O(g)$$

أزرق وردي

١. هل يعدّ هذا التفاعل منعكسًا؟ فسِّر أجابتك.
٢. اشرح كيف يمكن استخدام هذا التفاعُل كاختبار لوجود الماء.

٣ تعدّ عملية هابر عملية صناعية تُستخدم لتصنيع الأمونيا من النيتروجين والهيدروجين.

أ. ١. سمّ المصادر الطبيعية التي تُعدّ مصدرًا للنيتروجين اللازم لهذه العملية.
٢. اذكر **مصدرين** من المصادر الطبيعية التي تتفاعل لإنتاج الهيدروجين اللازم لهذه العملية.

ب. تُكتب المعادلة اللفظية لعملية هابر على النحو الآتي:

أمونيا ⇌ هيدروجين + نيتروجين

اكتب المعادلة الكيميائية الرمزية الموزونة لعملية هابر، التي تتضمَّن رموز الحالة الفيزيائية.

ج. تعدّ عملية هابر تفاعُلًا طاردًا للحرارة.
وضِّح المقصود بطارد للحرارة، من حيث كسر الروابط وتكوينها.

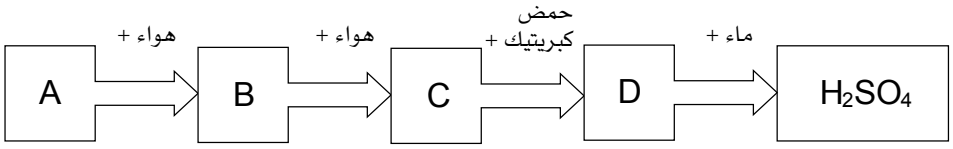
د. يتأثّر مردود الأمونيا بكلٍّ من الضغط ودرجة الحرارة.
اشرح لماذا ينتج الضغط المرتفع مردودًا كبيرًا من الأمونيا.

هـ. تُستخدم درجة الحرارة 450 °C في عملية هابر.
اشرح سبب اختيار درجة الحرارة هذه.

و. لماذا يُستخدم الحديد في التفاعُل؟

ز. صِف كيف تتم عملية فصل الأمونيا من مخلوط التفاعل المتزن، ولماذا يؤدّي ذلك إلى زيادة كفاءة عملية هابر.

٤ يبيِّن المُخطَّط الآتي عملية تصنيع حمض الكبريتيك (H_2SO_4)، التي تُعرف أيضًا بعملية التلامُس.



أ. فيما يلي، طابق كل رمز في المخطَّط أعلاه مع الصيغة التي يُمثِّلها:

A	$H_2S_2O_7$
B	SO_3
C	SO_2
D	S

ب. اكتب معادلة لفظية للتفاعُل الذي يحوّل **A** إلى **B**.

ج. تعدّ عملية تحويل **B** إلى **C** التفاعُل الأساسي في عملية التلامُس.

١. اكتب معادلة كيميائية موزونة لهذا التفاعُل تتضمّن رموز الحالة الفيزيائية.

٢. اذكر ظروف كلّ من درجة الحرارة والضغط التي استُخدمت لتحويل **B** إلى **C**.

٣. سمّ العامل الحفّاز المُستخدم في هذا التفاعُل.

د. يُستخدم حمض الكبريتيك بدلًا من الماء لإذابة المادة **C**، لأنه أكثر أمانًا. اشرح ما الذي سيحدث لو استُخدم الماء بدلًا من حمض الكبريتيك.

هـ. يُستخدم حمض الكبريتيك بشكل رئيسي لتصنيع السماد.
صف كيف يمكن استخدام حمض الكبريتيك لصنع مُركَّب معروف يُستخدم كسماد.

٥ يتم تصنيع الأسمدة المُركَّبة NPK على نطاق واسع.
ناقش مزايا استخدام الأسمدة المُركَّبة NPK وعيوبها.

مصطلحات علمية

الاتزان الديناميكي Dynamic equilibrium: تفاعُل منعكس في نظام مغلق، يكون فيه معدّل سرعة التفاعُل الأمامي مساويًا لمعدّل سرعة التفاعُل العكسي، بحيث لا تتغير الكمّية الإجمالية للمواد المُتفاعلة والناتجة. (ص ٨١)

الاختزال Reduction: عملية نزع أو فقد أكسجين من مادة ما أو كسبها للإلكترونات. (ص ٢٩)

إزالة الماء Dehydration: نزع الماء من مركّب ما. (ص ٧٩)

الأسمدة Fertiliser: مواد تُضاف إلى التربة كمُغذّيات للنباتات والمحاصيل الزراعية التي تمتصّ العناصر اللازمة لنموّها. (ص ٩٢)

الأسمدة المُركَّبة NPK compound fertiliser-NPK: أسمدة تحتوي على نسب عالية من عناصر النيتروجين (N)، والفوسفور (P)، والبوتاسيوم (K). (ص ٩٢)

الأسمدة النيتروجينية Nitrogeneous fertiliser: أسمدة تحتوي على نسبة عالية من عنصر النيتروجين. (ص ٩٢)

الأكسدة Oxidation: عملية كسب أو إضافة أكسجين إلى مادة ما أو فقدها للإلكترونات. (ص ٢٩)

الإلكتروليت Electrolyte: محلول أو مصهور يوصّل الكهرباء بوساطة حركة الأيونات. (ص ٣٢)

الآنود (المصعد) Anode: القطب الموجب في عملية التحليل الكهربائي، وتحدث عنده الأكسدة. (ص ٣٢)

الأوليوم Oleum: محلول مكوّن من ثلاثي أكسيد الكبريت الذائب في حمض الكبريتيك. (ص ٨٩)

البلاستيك Plastic: بوليمر صناعي يُستخدم لتصنيع مجموعة واسعة من المُنتجات المختلفة. (ص ٥٨)

البلمرة Polymerisation: تفاعُل عدد كبير من جُزيئات صغيرة (مونومرات) معًا لتكوين جُزيء ذي سلسلة طويلة (بوليمر). (ص ٥٨)

البلمرة بالإضافة Addition polymerisation: عملية بلمرة تتضمّن مونومرات تحتوي على رابطة ثنائية واحدة على الأقل بين ذرات الكربون، وتحدث عن طريق تفاعُلات إضافة. (ص ٥٨)

البلمرة بالتكثيف Condensation polymerisation: عملية بلمرة يتم فيها ربط المونومرات عن طريق تفاعُل تكثيف يُزال خلاله جُزيء صغير، غالبًا ما يكون الماء. (ص ٦٣)

البوليمر Polymer: جُزيء ذو سلسلة طويلة يتكوّن من ترابط عدد كبير من جُزيئات المونومر معًا على شكل وحدات متكررة. (ص ٥٨)

التحليل الكهربائي Electrolysis: التفاعُل الكيميائي الذي ينشأ عند مرور تيّار كهربائي عبر مُركّب أيوني مصهور أو ذائب في محلول مائي. (ص ٣٢)

التخمّر Fermentation: تفكُّك مُركّب عضوي باستخدام كائنات حيّة دقيقة مثل الخميرة في ظروف لاهوائية. (ص ٥٢)

التفاعُل الطارد للحرارة Exothermic reaction: تفاعُل يطلق حرارة نحو محيطه. (ص ٦٨)

التفاعُل الماصّ للحرارة Endothermic reaction: تفاعُل يمتص حرارة من محيطه. (ص ٦٨)

التفاعُل المنعكس Reversible reaction: التفاعل الذي يمكن أن يحدث في كلا الاتجاهين، بحيث تستطيع المواد الناتجة أن تتفاعل بعضها مع بعض لتكوين المواد المتفاعلة الأصلية. (ص ٧٩)

التميّه Hydration: إضافة الماء إلى مركّب ما. (ص ٧٩)

التنفُّس اللاهوائي Anaerobic respiration: مجموعة من التفاعُلات الكيميائية، يتمّ خلالها تفكيك جُزيئات المواد الغذائية من أجل تحرير الطاقة المُختزَنة فيها دون استخدام الأكسجين. (ص ٥٢)

طاقة التنشيط Activation energy: الحد الأدنى من الطاقة التي يجب أن تمتلكها جُسيمات المادة المُتفاعلة لحدوث التفاعُل. (ص ٧٤)

العازل الكهربائي Electrical insulator: مادة لا توصّل الكهرباء. (ص ٣٠)

العامل المؤكسِد Oxidising agent: مادة تمنح الأكسجين إلى مادة أخرى أو تكتسب إلكترونات. (ص ٢٩)

العامل المُختزِل Reducing agent: مادة تنزع الأكسجين من مادة أخرى أو تفقد إلكترونات. (ص ٢٩)

عملية التلامُس Contact process: العملية الصناعية المُستخدمة في تصنيع حمض الكبريتيك. (ص ٨٩)

عملية هابر Haber process: العملية الصناعية المُستخدمة في تصنيع الأمونيا. (ص ٨٩)

غير قابلة للتحلُّل بيولوجيًا Non-biodegradable: مادة لا تتفكّك ولا تتحلّل بشكل طبيعي في البيئة. (ص ٦١)

القطب الكهربائي الخامل Inerte electrode: مادة موصّلة تنقل الكهرباء، ولكنها لا تتفاعل مع الإلكتروليت والمواد الناتجة في الظروف العادية خلال التحليل الكهربائي. (ص ٣٢)

الكاثود (المهبط) Cathode: القطب السالب في عملية التحليل الكهربائي، ويحدث عنده الاختزال. (ص ٣٢)

الكحولات Alcohols: سلسلة من المُركّبات العضوية التي تحتوي على المجموعة الوظيفية OH –. (ص ٥١)

مادة مؤكسَدة Oxidised substance: مادة تكسب الأكسجين أو تفقد إلكترونات خلال تفاعُل ما. (ص ٢٩)

مادة مختزَلة Reduced substance: مادة تفقد الأكسجين أو تكسب إلكترونات خلال تفاعُل ما. (ص ٢٩)

المجموعة الوظيفية Functional group: ذرة أو مجموعة من الذرّات تُميِّز الصيغة البنائية لمجموعة من المركّبات التي تحتويها وتحدّد خصائصها الفيزيائية والكيميائية. (ص ٥١)

المذيب Solvent: مادة تذيب مادة أخرى. (ص ٥٦)

مركب لامائي Anhydrous compound: مركّب لا يحتوي في تركيبه على ماء. (ص ٧٩)

مركب مائي Hydrated compound: مركّب يحتوي في تركيبه على ماء. (ص ٧٩)

الموصّل الكهربائي Electrical conductor: مادة توصّل الكهرباء، ولكنها لا تتغيّر كيميائيًّا خلال العملية. (ص ٣٠)

المونومر Monomer: جزيء صغير له القدرة على الارتباط بجزيئات أخرى، على شكل وحدات متكررة، لتكوين جُزيء ذي سلسلة طويلة (بوليمر). (ص ٥٨)

الهالوجين Halogen: عنصر لافلزي يوجد كجزيء ثنائي الذرّة يقع في المجموعة VII. (ص ١٨)

الهاليد Halide: مُركَّب هالوجيني يمتلك فيه الهالوجين شحنة مقدارها 1-. (ص ١٨)

الوقود الحيوي Biofuel: وقود من مصدر حيوي (نباتي أو حيواني) يمكن استخدامه في وسائل النقل المختلفة. (ص ٥٦)

مُلحق

الصيغ الكيميائية الشائعة

الجدول ١: صيغ الجزيئات والمركبات الأيونية الشائعة

الاسم	الصيغة
أكسجين	O_2
هيدورجين	H_2
نيتروجين	N_2
كلور	Cl_2
بروم	Br_2
يود	I_2
ماء	H_2O
ثاني أكسيد الكربون	CO_2
أحادي أكسيد الكربون	CO
ثنائي أكسيد الكبريت	SO_2
ثلاثي أكسيد الكبريت	SO_3
ميثان	CH_4
إيثان	C_2H_6
إيثين	C_2H_4
إيثانول	C_2H_5OH
أمونيا	NH_3
حمض الهيدروكلوريك	HCl
حمض الكبريتيك	H_2SO_4
هيدروكسيد الصوديوم	$NaOH$
كلوريد الصوديوم	$NaCl$
أكسيد الكالسيوم	CaO
أكسيد الألومنيوم	Al_2O_3
أكسيد الحديد (III)	Fe_2O_3
كربونات الكالسيوم	$CaCO_3$
كبريتات النحاس (II)	$CuSO_4$

الجدول ٢: صيغ الأيونات الشائعة

الاسم	الصيغة
صوديوم	Na^+
ليثيوم	Li^+
بوتاسيوم	K^+
كالسيوم	Ca^{2+}
ماغنيسيوم	Mg^{2+}
ألومنيوم	Al^{3+}
نحاس (II)	Cu^{2+}
حديد (II)	Fe^{2+}
حديد (III)	Fe^{3+}
خارصين	Zn^{2+}
أمونيوم	NH_4^+
هيدورجين	H^+
هيدوركسيد	OH^-
كلوريد	Cl^-
بروميد	Br^-
يوديد	I^-
كربونات	CO_3^{2-}
كبريتات	SO_4^{2-}
نترات	NO_3^-

الجدول ٣: سلسلة النشاط الكيميائي للفلزات والتفاعلات الشائعة

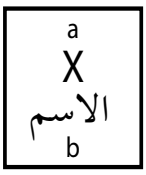
	الفلز	التفاعل مع الماء	التفاعل مع حمض مخفف	تفاعل أكسيد الفلز مع الكربون
ازدياد النشاط الكيميائي ↑	بوتاسيوم K	تتفاعل مع الماء البارد لتعطي الهيدروجين	تتفاعل بشدة لإعطاء الهيدروجين	لا يوجد تفاعل لأكسيد الفلز مع الكربون
	صوديوم Na			
	كالسيوم Ca			
	ماغنيسيوم Mg			
	ألومنيوم Al	تتفاعل مع بخار الماء عند تسخينه ليعطي الهيدروجين	تتفاعل بنسبة اقل لإعطاء الهيدروجين	
	كربون C			
	خارصين Zn			يُختزل أكسيد الفلز بالكربون
	حديد Fe			
	هيدورجين H_2			
	نحاس Cu	لا تتفاعل	لا تتفاعل	يُختزل أكسيد الفلز بالكربون
	فضة Ag			
	ذهب Au			

الجدول الدوري للعناصر

				المجموعة III	المجموعة IV	المجموعة V	المجموعة VI	المجموعة VII	المجموعة VIII
				5 B Boron بورون 11	6 C Carbon كربون 12	7 N Nitrogen نيتروجين 14	8 O Oxygen أكسجين 16	9 F Fluorine فلور 19	10 Ne Neon نيون 20
				13 Al Aluminium ألومنيوم 27	14 Si Silicon سيليكون 28	15 P Phosphorus فوسفور 31	16 S Sulfur كبريت 32	17 Cl Chlorine كلور 35.5	18 Ar Argon أرغون 40
27 Co Cobalt كوبالت 59	28 Ni Nickel نيكل 59	29 Cu Copper نحاس 64	30 Zn Zinc خارصين 65	31 Ga Gallium غاليوم 70	32 Ge Germanium جيرمانيوم 73	33 As Arsenic زرنيخ 75	34 Se Selenium سيلينيوم 79	35 Br Bromine بروم 80	36 Kr Krypton كريبتون 84
45 Rh Rhodium روديوم 103	46 Pd Palladium بالاديوم 106	47 Ag Silver فضة 108	48 Cd Cadmium كادميوم 112	49 In Indium إنديوم 115	50 Sn Tin قصدير 119	51 Sb Antimony أنتيمون 122	52 Te Tellurium تيلوريوم 128	53 I Iodine يود 127	54 Xe Xenon زينون 131
77 Ir Iridium إريديوم 192	78 Pt Platinum بلاتين 195	79 Au Gold ذهب 197	80 Hg Mercury زئبق 201	81 Tl Thallium ثاليوم 204	82 Pb Lead رصاص 207	83 Bi Bismuth بيزموث 209	84 Po Polonium بولونيوم –	85 At Astatine أستاتين –	86 Rn Radon رادون –

63 Eu Europium أوروبيوم 152	64 Gd Gadolinium غادولينيوم 157	65 Tb Terbium تيربيوم 159	66 Dy Dysprosium ديسبروسيوم 163	67 Ho Holmium هولميوم 165	68 Er Erbium إيربيوم 167	69 Tm Thulium ثوليوم 169	70 Yb Ytterbium إيتربيوم 173	71 Lu Lutetium لوتيشيوم 175
95 Am Americium أميرسيوم –	96 Cm Curium كوريوم –	97 Bk Berkelium بيركيليوم –	98 Cf Californium كاليفورنيوم –	99 Es Einsteinium إينشتاينيوم –	100 Fm Fermium فيرميوم –	101 Md Mendelevium مانديليفيوم –	102 No Nobelium نوبيليوم –	103 Lr Lawrencium لاورنسيوم –

المفتاح



a = العدد الذري

X = الرمز

b = الكتلة الذريّة النسبية

	المجموعة I	المجموعة II						
الدورة 1								1 H Hydrogen هيدروجين 1
الدورة 2	3 Li Lithium ليثيوم 7	4 Be Beryllium بريليوم 9						
الدورة 3	11 Na Sodium صوديوم 23	12 Mg Magnesium ماغنيسيوم 24						
الدورة 4	19 K Potassium بوتاسيوم 39	20 Ca Calcium كالسيوم 40	21 Sc Scandium سكانديوم 45	22 Ti Titanium تيتانيوم 48	23 V Vanadium فناديوم 51	24 Cr Chromium كروم 52	25 Mn Manganese منغنيز 55	26 Fe Iron حديد 56
الدورة 5	37 Rb Rubidium روبيديوم 86	38 Sr Strontium سترونشيوم 88	39 Y Yttrium إيتريوم 89	40 Zr Zirconium زيركونيوم 91	41 Nb Niobium نيوبيوم 93	42 Mo Molybdenum موليبدنوم 96	43 Tc Technetium تكنيشيوم –	44 Ru Ruthenium روثينيوم 101
الدورة 6	55 Cs Caesium سيزيوم 133	56 Ba Barium باريوم 137	La to Lu	72 Hf Hafnium هافنيوم 178	73 Ta Tantalum تانتالوم 181	74 W Tungsten تنغستن 184	75 Re Rhenium رينيوم 186	76 Os Osmium أوزميوم 190
الدورة 7	87 Fr Francium فرانسيوم –	88 Ra Radium راديوم –	Ac to Lr					

57 La Lanthanum لانثانوم 139	58 Ce Cerium سيريوم 140	59 Pr Praseodymium برازيوديميوم 141	60 Nd Neodymium نيوديميوم 144	61 Pm Promethium بروميثيوم –	62 Sm Samarium ساماريوم 150
89 Ac Actinium أكتينيوم –	90 Th Thorium ثوريوم –	91 Pa Protactinium بروتاكتينيوم –	92 U Uranium يورانيوم –	93 Np Neptunium نبتونيوم –	94 Pu Plutonium بلوتونيوم –

شكر وتقدير

يتوجه المؤلفون والناشرون بالشكر الجزيل إلى جميع من منحهم حقوق استخدام مصادرهم أو مراجعهم. وبالرغم من رغبتهم في الإعراب عن تقديرهم لكل جهد تم بذله، وذكر كل مصدر تم استخدامه لإنجاز هذا العمل، إلا أنه يستحيل ذكرها وحصرها جميعًا. وفي حال إغفالهم لأي مصدر أو مرجع فإنه يسرهم ذكره في النسخ القادمة من هذا الكتاب.

Images in order of appearance:
SCIENCE PHOTO LIBRARY; MARTYN F. CHILLMAID / SCIENCE PHOTO LIBRARY; CHARLES D. WINTERS / SCIENCE SOURCE / SCIENCE PHOTO LIBRARY; DK IMAGES / SCIENCE PHOTO LIBRARY; MARTYN F. CHILLMAID / SCIENCE PHOTO LIBRARY (x3); CHRIS R SHARP / SCIENCE PHOTO LIBRARY; ANDREW LAMBERT PHOTOGRAPHY/SCIENCE PHOTO LIBRARY (x4); GIPHOTOSTOCK / SCIENCE PHOTO LIBRARY; TREVOR CLIFFORD PHOTOGRAPHY/SCIENCE PHOTO LIBRARY; BEN JOHNSON/ SCIENCE PHOTO LIBRARY; DORLING KINDERSLEY / UIG / SCIENCE PHOTO LIBRARY; WLADIMIR BULGAR / SCIENCE PHOTO LIBRARY; TREVOR CLIFFORD PHOTOGRAPHY / SCIENCE PHOTO LIBRARY; DAVID R. FRAZIER/SCIENCE PHOTO LIBRARY; ANDREW LAMBERT PHOTOGRAPHY / SCIENCE PHOTO LIBRARY; SCUBAZOO / SCIENCE PHOTO LIBRARY; CHARLES D. WINTERS/SCIENCE PHOTO LIBRARY; chinahbzyg/Shutterstock; TEK IMAGE/SCIENCE PHOTO LIBRARY; MARTYN F. CHILLMAID/SCIENCE PHOTO LIBRARY; ANDREW LAMBERT PHOTOGRAPHY/SCIENCE PHOTO LIBRARY; PHIL DEGGINGER / SCIENCE PHOTO LIBRARY; CHARLES D. WINTERS / SCIENCE PHOTO LIBRARY; ANDREW LAMBERT PHOTOGRAPHY/SCIENCE PHOTO LIBRARY; CHARLES D. WINTERS / SCIENCE PHOTO LIBRARY (x4); MARTYN F. CHILLMAID / SCIENCE PHOTO LIBRARY (x2); MARTIN BOND/SCIENCE PHOTO LIBRARY; MILLARD H. SHARP / SCIENCE PHOTO LIBRARY; NASA / SCIENCE PHOTO LIBRARY



رقم الإيداع: ٢٠٢٢/٤٧٤٠

مزون للطباعة والنشر والتغليف (ش.م.م) - ٢٤٨١٥٦٩٣

الكيمياء

كتاب الطالب ١٠

يزخر كتاب الطالب بالعديد من الموضوعات مع شرح واضح وسهل لكل المفاهيم المتضمنة في هذه الموضوعات، ويقدّم أنشطة ممتعة لاختبار مدى فهم الطلاب.

يتضمن كتاب الطالب:

- أنشطة عملية في كل وحدة، لمساعدة الطلاب على تطوير مهاراتهم العملية.
- أسئلة عن كل موضوع لتعزيز الفهم.
- مصطلحات علمية رئيسية موضَّحة في الوحدات، فضلاً عن قاموس للمصطلحات يرد في آخر الكتاب.
- أسئلة في نهاية كل وحدة من شأنها تأهيل الطلاب لخوض الاختبارات.

إجابات الأسئلة مُتضمَّنة في دليل المعلّم.

يشمل منهج الكيمياء للصف العاشر من هذه السلسلة أيضًا:

- كتاب النشاط
- دليل المُعلِّم

ISBN 978-99969-3-969-3

9 789996 939693 >

www.moe.gov.om