سلطنة عمان
وزارة التربية والتعليم

رؤية عمان 2040

نتقدم بثقة
Moving Forward with Confidence

الكيمياء

كتاب الطالب

٩

الفصل الدراسي الثاني

الطبعة التجريبية ١٤٤٢هـ - ٢٠٢٠م

CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS

سلطنة عمان
وزارة التربية والتعليم

الكيمياء

كتاب الطالب

الفصل الدراسي الثاني

الطبعة التجريبية ١٤٤٢هـ - ٢٠٢٠م

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 ٢٠٢٠ م، طُبعت في سلطنة عُمان

هذه نسخة تمَّت مواءمتها من كتاب الطالب – العلوم للصف التاسع – من سلسلة كامبريدج للعلوم
المتكاملة IGCSE للمؤلفين ماري جونز، ريتشارد هاروود، إيان 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 ٣٠٢ / ٢٠١٩ واللجان المنبثقة عنه

محفوظة جميع الحقوق

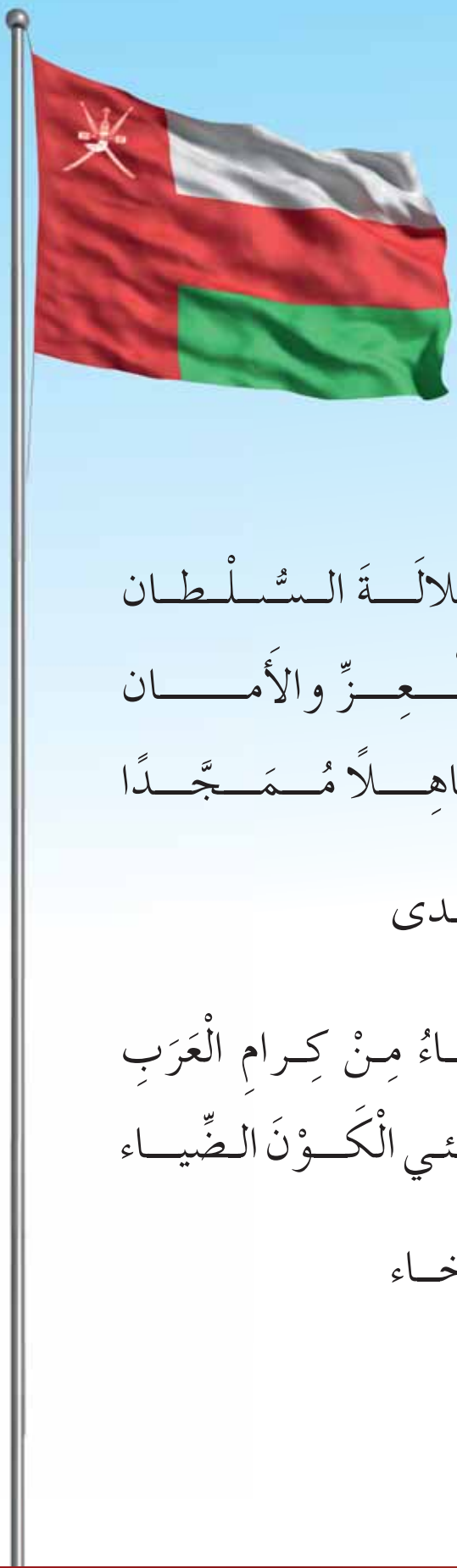
جميع حقوق الطبع والتأليف والنشر محفوظة لوزارة التربية والتعليم

**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 لـه
السلطان قابوس بن سعيد -طيّب اللّه ثراه-

حضرة صاحب الجلالة
السلطان هيثم بن طارق المعظم

سلطنـــــة عُمـــــان



النَّشيدُ الْوَطَنِيُّ

يـا رَبَّنـا احْفَـظْ لنـا جَـلالَـةَ الـسُّـلْـطـان
وَالشَّـعْبَ فـي الأَوْطـان بِـالْـعِـزِّ والأَمـان
وَلْـيَـدُمْ مـؤَيَّـدًا عـاهِـلاً مُـمَـجَّـدًا
بِـالـنُّـفـوسِ يُـفْـتَـدى

يا عُمانُ نَحْنُ مِنْ عَهْدِ النَّبي أَوْفِياءُ مِنْ كِرامِ الْعَرَبِ
فـارْتَقـي هـامَ السَّمـاء وَامْلَئي الْكَـوْنَ الـضِّيـاء
وَاسْعَدي وَانْعَمي بِالرَّخـاء

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 الطلاب، 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 الطلاب 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 السادسة الأحماض والقواعد

٦-١ الأحماض والقواعد والقلويات ١٥

٦-٢ الكواشف والرقم الهيدروجيني pH ١٩

٦-٣ تحديد الأحماض والقواعد ٢٤

٦-٤ أكاسيد الفلزّات وأكاسيد اللافلزّات ٢٧

الوحدة السابعة مُعادلات التفاعُلات الكيميائيّة

٧-١ المعادلات الكيميائية ٣٢

٧-٢ المزيد عن المعادلات الكيميائية ٣٧

الوحدة الثامنة تكوين الأملاح

٨-١ تفاعُلات تكوين الأملاح ٤١

٨-٢ الأملاح ٤٦

الوحدة التاسعة التحليل الكيميائي

٩-١ أهمّية التحليل الكيميائي ٥٤

٩-٢ اختبارات الكشف عن الماء ٥٥

٩-٣ اختبارات الكشف عن الغازات ٥٥

٩-٤ اختبارات الكشف عن الكاتيونات (الأيونات الموجبة) ٥٨

٩-٥ اختبارات الكشف عن الأنيونات (الأيونات السالبة) ٦٣

الوحدة العاشرة الأرض والغلاف الجوّي

١٠-١ غازات الغلاف الجوّي ٦٩

١٠-٢ مُنتجات من الأرض: الحجر الجيري ٧٦

مصطلحات علمية ٨١

الجدول الدوري للعناصر ٨٢

المقدمة

سوف تتعلَّم من خلال هذا المُقرَّر الكثير من الحقائق والمعلومات، كما ستكتسب مهارة التفكير مثل العُلماء. وقد تمَّت مواءمة كتاب الطالب – الكيمياء للصف التاسع – وفق سلسلة كامبريدج للعلوم المُتكامِلة IGCSE.

تتضمَّن وحدات كتاب الطالب البنود الآتية:

الأسئلة

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

الأنشطة

تحتوي كل وحدة على أنشطة مُتنوّعة تهدف إلى مُساعدتك على تطوير مهاراتك العملية.

مُلخَّص

وهو قائمة قصيرة تأتي في نهاية كل وحدة، وتحتوي على النقاط الرئيسية التي تمَّت تغطيتها في الوحدة. وسوف تحتاج إلى معرفة المزيد من التفاصيل عن هذه النقاط من خلال الرجوع إلى موضوعات الوحدة.

من المفيد أيضًا استخدام كتاب النشاط، الذي يُزوّدك بمجموعة من التمارين وأوراق العمل، تُساعدك على توظيف المعرفة التي اكتسبتها في تطوير مهاراتك في التعامل مع المعلومات وحل المشكلات، وكذلك صقل بعض مهاراتك العملية.

كيف تستخدم هذا الكتاب

تتضمَّن كل وحدة مجموعة من الأقسام تُحدِّد الموضوعات الرئيسية التي تتناولها، وتساعدك على التنقُّل خلالها.

الوحدة العاشرة

الأرض والغلاف الجوّي

Earth and the Atmosphere

تُغطّي هذه الوحدة:

- المُكوّنات الغازيَّة للهواء.
- الغازات النبيلة واستخداماتها.
- مصادر تلوُّث الهواء.
- المُشكلات الناتجة عن تلوُّث الهواء، والحلول المُقترحة لها.
- غازات الدفيئة وتغيُّرات المناخ.
- التفكُّك الحراري للحجر الجيري لإنتاج الجير الحي.
- مُعالَجة التربة الحمضية.

مصطلحات علمية

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

مصطلحات علمية

- **الحمض Acid:** جُزيء أو أيون قادر على منح أيون H^+ (بروتون) لقاعدة.
- **القاعدة Base:** جُزيء أو أيون قادر على قبول أيون H^+ (بروتون) من حمض.
- **المادة القلوية Alkali:** قاعدة تذوب في الماء، وتُشكِّل أيونات OH^- في محلولها المائي.

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

تذكّر

تعتمد شدة تفاعُل الفلزّات بالأحماض على طبيعة الفلزّات. فالفلزّات القلوية تتفاعل بشدَّة مع الأحماض، ويجب تفادي استخدامها قدر الإمكان. بالمُقابل، يوجد عدد من الفلزّات، قليلة النشاط، وهي لا تتفاعل مع الأحماض المُخفَّفة عند درجة حرارة الغرفة؛ نذكر منها النحاس والفضّة والذهب والبلاتين؛ وتُعرَف هذه الفلزّات بالمعادن الثمينة وتُستخدم في صناعة المجوهرات، ذلك أنها فلزّات مُقاوِمة لعمليات الأكسدة.

نشاط

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

نشاط ١٠-١

التفكُّك الحراري للحجر الجيري، واستقصاء المواد الناتجة

المهارات:

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

في هذا النشاط، سوف تستقصي التفكُّك الحراري للحجر الجيري (كربونات الكالسيوم). تؤدّي درجات الحرارة المُرتفعة إلى تفكيك الحجر الجيري إلى مادة صلبة بيضاء قاعديَّة وغاز حمضي.

أسئلة

ترد في كل وحدة لتقييم معرفة الطلاب واستيعابهم.

أسئلة

٦-١ ما المقصود بمصطلح مادّة أكّالة؟

٦-٢ ما الحمض الموجود في:

أ. عصير البُرتقال وعصير الليمون؟

ب. الخل؟

٦-٣ اذكر مثالَين على قاعدتَين لا تذوبان في الماء، ومثالَين على مادَّتين قلويَّتين.

٦-٤ ما صيغة كلّ من:

أ. حمض الكبريتيك؟

ب. حمض الهيدروكلوريك؟

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

يعتمد الملح المُتكوِّن دائمًا على الحمض، بحيث:

- يَنتُج ملح الكلوريد من حمض الهيدروكلوريك.
- يَنتُج ملح الكبريتات من حمض الكبريتيك.
- ينتُج ملح النترات من حمض النيتريك.

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

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- تتكوّن الأملاح نتيجة تفاعُل الأحماض مع كلّ من:
  - القواعد لتنتج ملحًا وماءً.
  - الفلزّات لتنتج ملحًا وغاز الهيدروجين.
  - كربونات الفلزّات لتنتج ملحًا وماءً وغاز ثاني أكسيد الكربون.
- تتفاعل القواعد والقلويات القوية مع مُركَّبات الأمونيوم لتنتج ملحًا وماء وغاز الأمونيا.
- يمكن تحضير الأملاح في المُختبر باتِّباع سلسلة من الخطوات التي تعتمد على طبيعة المادة المُتفاعِلة مع الحمض.
- يمكن تحضير أملاح ذائبة في المختبر عن طريق تفاعُل قواعد أو فلزّات أو كربونات غير ذائبة مع أحماض.
- يمكن تحضير أملاح ذائبة في المُختبر باستخدام المُعايرة لمحاليل حمضية ومحاليل قلوية.
- يمكن تحضير أملاح غير ذائبة في المُختبر باستخدام الترسيب عند خلط محاليل.
- تنفيذ تقنيات الترشيح والبلْوَرة والتجفيف للحصول على ملح نقي.

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

أسئلة نهاية الوحدة

١ في كثير من التفاعُلات الكيميائية يُلاحظ حدوث فوران، وهو ما يدلّ على تكوُّن غاز. طابق بين الاختبارات المختبرية والغازات التي تُحدِّدها هذه الاختبارات والنتائج المُتوقَّعة.

الاختبار	الغاز	النتيجة
عود ثقاب مُشتعِل	O_2	عديم اللون إلى عكر
عود ثقاب مُتوهِّج	CO_2	فرقعة حادّة
ماء الجير	Cl_2	يشتعل من جديد
ورقة رطبة من تبّاع الشمس الأحمر	NH_3	أزرق ← أحمر ← أبيض
ورقة رطبة من تبّاع الشمس الأزرق	H_2	أحمر ← أزرق

٢ اكتب الجُمل الآتية المُتعلِّقة باختبارات اللهب، وأكملها باستخدام الكلمات الواردة في القائمة أدناه:

اللافلزّية	الأزرق	أصفر	الكاتيونات	الأنيونات	الفلزّات

يمكن استخدام اختبارات اللهب لتحديد بعض كاتيونات ..... ويُستخدَم سلك فلزّي من النيكروم مثلاً، لوضع عيّنة من الملح في اللهب ..... لموقد بنزن. ويُستخدم لون اللهب بالتالي لتحديد ماهية ..... الموجودة. فمُركَّب يحتوي مثلًا على أيونات الصوديوم سيُعطي لهبًا لونه .....

لا تسمح لك هذه التقنية بتحديد ماهيَّة الأيونات السالبة ....., والتي تُسمّى .....

قائمة رموز المواد الإثرائية لمادّة الكيمياء

النوع	المصطلحات العلمية	أسئلة اختيار من متعدِّد	الأنشطة الإثرائية
QR Code			

الوحدة السادسة

الأحماض والقواعد
Acids and Bases

تُغطّي هذه الوحدة:

- الخصائص المُميِّزة للأحماض
- الخصائص المُميِّزة للقواعد والقلويات
- مقياس الرقم الهيدروجيني pH والكواشف
- تغيُّر ألوان الكواشف الشائعة
- الأيونات الموجودة في المحاليل الحمضية والقلوية
- الخصائص الحمضية والقاعدية لأكاسيد اللافلزّات وأكاسيد الفلزّات
- الأكاسيد المُتعادِلة والمُتذبذِبة

٦-١ الأحماض، والقواعد والقلويات

الأحماض

تُطلَق كلمة **حمض Acid** عادةً على موادّ ذات مذاق «حامض». فالخل، وعصير الليمون، وعصير الجريب فروت، والحليب الفاسد، جميعها مواد ذات مذاق حامض؛ وذلك لاحتوائها على أحماض، (الصورة ٦-١). توجد هذه الأحماض في مواد حيوانية ونباتية، وتُعرف بأنها أحماض عضوية. ومن أمثلتها حمض الإيثانويك في الخل وحمض السيتريك في الليمون، وهي في الغالب أحماض ضعيفة. وهناك أحماض أخرى غير عضوية مثل حمض الكربونيك الذي ينتج من ذوبان ثاني أكسيد الكربون في الماء، وهو موجود في المشروبات الغازية (الجدول ٦-١).

الصورة ٦-١ الحمضيات فواكه ذات مذاق حامض أو حادّ، لاحتوائها على أحماض

ويُعدّ حمض الكبريتيك وحمض الهيدروكلوريك من الأحماض القوية والتي تعُرف باسم الأحماض غير العضوية أو المعدنية. انظر الجدول (٦-١). حيث تحتوي بطّاريات السيّارات على حمض الكبريتيك المُركَّز الذي يُعتبر مادة **أكّالة Corrosive** للغاية، كما هو حال حمض الهيدروكلوريك أيضًا. وقد تُفاجأ حين تعلم بوجوده في مكان غير مُتوقَّع هو معدتك! وبرغم أن تركيزه مُخفَّف، إلا أنه قويٌّ بما يكفي لتفكيك الطعام الذي تتناوله. على أية حال لا يجدر بك تذوُّق الأحماض أو اختبار طعمها، فقد يكون بعضها خطرًا بل مميتًا عند تذوُّقها.

القواعد والقلويات

القاعدة Base مادة تتفاعل مع حمض، وتنتِج ماء، و**ملحًا Salt**. ويُعرف هذا النوع من التفاعُلات باسم **تفاعُل التعادُل Neutralisation**.

ويمكن تمثيل هذا التفاعُل بالمُعادلة العامَّة الآتية:

ماء + ملح ⟶ قاعدة + حمض

تتّصف مُعظَم القواعد بأنّها لا تذوب في الماء، وهذا ما يجعل القواعد القليلة التي تذوب في الماء مُهمَّة جدًّا. ويُطلق عليها اسم **القلويات Alkalis**.

ويمكن تمثيل تفاعُل مادة قلوية مع حمض بالمُعادلة العامَّة الآتية:

ماء + ملح ⟶ مادة قلوية + حمض

ويمكن تلخيص علاقة القلويات مع القواعد باستخدام أشكال رياضيَّة تُعرف باسم مُخطَّطات فن Venn diagrams (الشكل ٦-١). حيث تكون هذه العلاقة أشبه بالاختلاف بين أُسرتنا الصغيرة وعائلتنا الكبيرة. فالقواعد هي العائلة الكبيرة لتلك المُركَّبات. أما القلويات فهي مجموعة صغيرة ومُحدَّدة ضمن تلك العائلة الأكبر.

النوع	الاسم العلمي	الصيغة الكيميائية	قوي/ ضعيف*	مصادره واستخداماته
أحماض عضويّة	حمض الميثانويك (حمض النمليك)	$HCOOH$	ضعيف	في النمل الذي يستخدمه عندما يلسع، مُسبّبًا إحساسًا بالألم، وفي نبات القرّاص الذي يُسبّب الاحتكاك به إحساسًا بالحرق
	حمض الإيثانويك (حمض الأسيتيك)	CH_3COOH	ضعيف	في الخلّ
	حمض اللاكتيك	$CH_3CH(OH)COOH$	ضعيف	في الحليب واللبن الرائب
	حمض السيتريك	$C(OH)(CH_2COOH)_2COOH$	ضعيف	في الليمون والبرتقال وحمضيات أخرى
أحماض معدِنيّة	حمض الهيدروكلوريك	HCl	قوي	يُستخدم في تنظيف الأسطح الفلزّية، ويوجد في المعدة في هيئة حمض مُخفّف لتفكيك جُزيئات الطعام
	حمض النيتريك	HNO_3	قوي	يُستخدم في صناعة الأسمدة والمُتفجِّرات
	حمض الكبريتيك	H_2SO_4	قوي	في بطّاريات السيّارات، ويُستخدم في صناعة الأسمدة والدهانات والمُنظِّفات
	حمض الكربونيك	H_2CO_3	ضعيف	في المشروبات الغازيَّة
	حمض الفوسفوريك	H_3PO_4	ضعيف	في الدهانات المُقاوِمة للصدأ، ويُستخدم في صنع الأسمدة

*لا توجد علاقة مباشرة بين قوة الحمض أو ضعفه (من جهة) وخطورة أو سمّية الحمض (من جهة أخرى).

الجدول ٦-١ بعض الأحماض الشائعة واستخداماتها في الحياة اليومية

مصطلحات علمية

- **تفاعُل التعادُل Neutralisation:** تفاعُل يحدث بين حمض وقاعدة، وينتج عنه ملح وماء.

الشكل ٦ـ١ يُبيِّن مُخطَّط فن العلاقة بين القواعد والقلويات. فالقلويات جميعها قواعد، أما القواعد فليست جميعها قلويات

وعندما نجري المزيد من التجارب، سنجد أن أكاسيد الفلزّات وهيدروكسيدات الفلزّات تُعادِل الأحماض، سواء أكانت ذائبة في الماء أم لا. وبالتالي، فإن القلويات الذائبة في الماء تُشكِّل جُزءًا صغيرًا فقط من مجموعة المواد المُمثّلة في أكاسيد الفلزّات وهيدروكسيدات الفلزّات والتي تُعادل الأحماض. فعلى سبيل المثال، يُعدّ هيدروكسيد الماغنيسيوم مادة شائعة تُستخدَم للتخفيف من عسر الهضم الناتج من زيادة الحموضة في معدتِك.

لا يذوب هيدروكسيد الماغنيسيوم في الماء، لذا غالبًا ما يؤخذ في هيئة أقراص (الصورة ٦-٢)، أو محلول حليبي مُعلّق. ولما كان هيدروكسيد الماغنيسيوم لا يذوب في الماء، فهو يُصنَّف كقاعدة فقط، وليس كمادة قلوية.

أما القلويات فتتَّصِف عادة بملمسها الزلق على البشرة مثل الصابون، لأنّها تتفاعل مع دهون البشرة وتبدأ بتحويلها وإذابتها. لذا ينبغي عدم وضع القلويات المُستخدَمة في المُختبَر على البشرة؛ فقد تُلحِق بها ضررًا أخطر ممّا تُلحقه الأحماض.

الصورة ٦ـ٢ أقراص للتخفيف من عسر الهضم تحتوي على هيدروكسيد الماغنيسيوم

تُستخدم القلويات كعوامل مُزيلة للشحوم والزيوت؛ فهي تتفاعل معها وتُحوِّلها إلى مواد قابلة للذوبان، ويمكن بالتالي غسلها بالماء والتخلُّص منها بسهولة. ومن المُهِمّ أن تعرف أنّ الصابون يمكن أن يُصنَع بغلي الدهون الحيوانية أو الزيوت النباتية مع محلول مُركَّز من مادة قلوية.

ويُبيِّن الجدول (٦-٢) بعض القواعد والقلويات والاستخدامات الشائعة لها.

يمكن تلخيص خصائص الأحماض والقواعد والقلويات على النحو الآتي:

الأحماض:

- تُعادِل القواعد لتكوين ملح وماء.
- مُركَّبات تساهمية تحتوي على الهيدروجين.
- غالبًا ما تذوب في الماء.

القواعد:

- تُعادِل الأحماض لتكوين ملح وماء.
- تتضمَّن أكاسيد الفلزّات وهيدروكسيدات الفلزّات وكربونات الفلزّات.
- أغلبها لا يذوب في الماء.

القلويات:

- قواعد تذوب في الماء.
- يكون ملمسها زلِقًا على البشرة، مثل الصابون.

النوع	الاسم العلمي	الصيغة الكيميائية	قوي/ ضعيف	مصادره واستخداماته
قواعد	أكسيد الكالسيوم	CaO	قوي	يُستخدم لمُعادَلة حموضة التربة والنفايات الصناعية؛ كما يُستخدم في صناعة الأسمنت والخرسانة.
	هيدروكسيد الماغنيسيوم	$Mg(OH)_2$	قوي	يُستخدم في الأقراص المُضادَّة للحموضة وعسر الهضم.
	كربونات الكالسيوم	$CaCO_3$	ضعيف	يوجد في الطبيعة على هيئة حجر جيري وطبشور ورخام، ويُستخدم لمُعادلة حموضة التربة والبُحَيرات، ويُستخدم في صناعة أكسيد الكالسيوم.
قلويات	هيدروكسيد الصوديوم (الصودا الكاوية)	$NaOH$	قوي	يُستخدم في مُنظِّفات الأفران (مادة مُزيلة للشحوم)؛ وفي صناعة الصابون والورق، وله استخدامات صناعية أخرى.
	هيدروكسيد البوتاسيوم (البوتاس الكاوي)	KOH	قوي	يُستخدم في صناعة الصابون السائل ووقود الديزل الحيوي (biodiesel).
	هيدروكسيد الكالسيوم (يُسمّى محلوله ماء الجير)	$Ca(OH)_2$	قوي	يُستخدم لمُعادلة حموضة التربة، ولمُعادلة الغازات الحمضية التي تنتجها محطّات توليد الطاقة.
	هيدروكسيد الأمونيوم (محلول الأمونيا)	NH_4OH أو $NH_3(aq)$	ضعيف	يُستخدم في سوائل التنظيف المنزلية (مادة مُزيلة للشحوم)؛ وفي صناعة الأسمدة.
	كربونات الصوديوم	Na_2CO_3	ضعيف	يُستخدم لمعادلة الأحماض الموجودة في المسابح، ولمُعادلة الغازات الحمضية المُنبعثة من محطّات توليد الطاقة؛ ويُستخدم في صناعة بيكربونات الصوديوم (صودا الخبز).

الجدول ٦ـ٢ بعض القواعد والقلويات واستخداماتها في الحياة اليومية

تذكَّر

من المفيد تذكُّر أسماء بعض الأحماض والقواعد والقلويات الرئيسية وصيَغها من الجدوَلَين ٦-١ و ٦-٢. فهي التي سوف تستخدمها في التفاعُلات والمُعادلات.

- حمض الهيدروكلوريك
- حمض الكبريتيك
- حمض النيتريك
- هيدروكسيد الصوديوم
- محلول الأمونيا (هيدروكسيد الأمونيوم)
- أكسيد الكالسيوم
- كربونات الكالسيوم

أسئلة

٦-١ ما المقصود بمصطلح مادّة أكّالة؟

٦-٢ ما الحمض الموجود في:

أ. عصير البُرتقال وعصير الليمون؟

ب. الخل؟

٦-٣ اذكر مثالَين على قاعدتَين لا تذوبان في الماء، ومثالَين على مادَّتين قلويَّتين.

٦-٤ ما صيغة كلّ من:

أ. حمض الكبريتيك؟

ب. حمض الهيدروكلوريك؟

٦-٢ الكواشف والرقم الهيدروجيني pH

ما الكواشف؟

هناك موادّ مُلوَّنة (العديد منها مُستَخلص من النباتات) يتغيّر لونها إذا أُضيفت إلى محلول حمضي أو محلول قلوي. كما يتغيّر لونها إذا استُهلك محلول الحمض الذي يحتوي عليها في تفاعُل ما أو تمَّت مُعادلته بوساطة قاعدة، أو العكس. تُعرَف المواد التي يتغيَّر لونها بهذه الطريقة باسم **الكواشف Indicators**.

تحتوي بعض النباتات المُزهرة في تركيبها الداخلي على كاشف. فأزهار شُجَيرة الهيدرانجيا Hydrangea (الهورتنسيا Hortensia) مثلًا، تكون زرقاء اللون عندما تنمو في تربة حمضية، ووردية اللون عندما تنمو في تربة قلوية (الصورة ٦-٣). كما يمكن صُنع مُستخلصات مُلوَّنة تُستخدَم ككواشف من الملفوف الأحمر، أو من التوت الأسود. إلاّ أن تبّاع الشمس الذي يُستخلص من نبات الأشنات هو الكاشف الأكثر استخدامًا. يكون لون تبّاع الشمس أرجوانيًّا في محلول مُتعادِل. وفي المحلول الحمضي يتحوَّل لونه إلى الأحمر. (هذا التغيُّر في لون تبّاع الشمس يتضمَّن تفاعُلًا كيميائيًّا. فجُزيئات الكاشف تتغيَّر فعليًّا بوجود الحمض). وتمتلك القلويات تأثيرًا كيميائيًّا مُعاكِسًا لتأثير الأحماض، فتُغيِّر القلويات لون تبّاع الشمس إلى الأزرق. ويشيع أيضًا استخدام ورق تبّاع الشمس، فيكون إما أزرق أو أحمر. فورق تبّاع الشمس الأزرق يتغيّر لونه إلى الأحمر عند غمسه في محاليل حمضية. ويتغيَّر من الأحمر إلى الأزرق عند غمسه في محاليل قلوية. لاحظ أن ورق تبّاع الشمس يعطي مُؤشِّرًا واحدًا فقط هو تغيُّر اللون.

الصورة ٦-٣ يعتمد لون أزهار بعض أنواع شُجَيرات الهيدرانجيا (الهورتنسيا) على حمضية أو قلوية التربة

مصطلحات علمية

- **الكاشف Indicator**: مادة يتغيَّر لونها عند إضافتها إلى محلول حمضي أو محلول قلوي.

تذكَّر

- من السهل تذكُّر تغيُّر اللون الذي يُظهِره تبّاع الشمس في الحمض والمادة القلوية. وهذه المساعدة البصرية البسيطة تُساعِدك على التذكُّر:

أ
ز
أ ر
حمض / قاعدة
م
ر

- يُعدّ وجود الماء أمرًا مهمًّا للغاية في عمل الأحماض والقلويات. لذا نجد أنه عند اختبار الغازات، يجب أن يكون ورق تبّاع الشمس رطبًا دائمًا. فالغاز يحتاج إلى الذوبان في الماء ليُحقِّق التغيُّر في اللون، وهذا مُهمّ للغاية في إجرائك العملي.

الكاشف العام

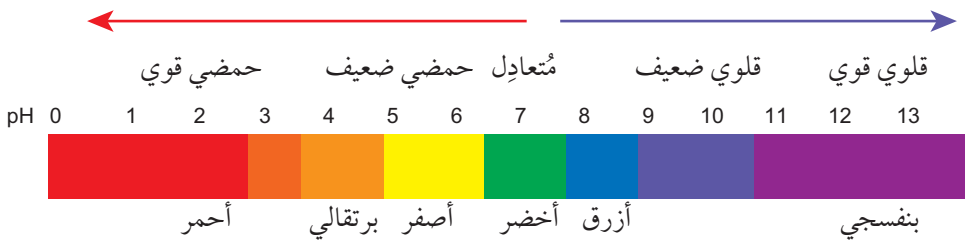
هناك كاشف يُستخدَم بكثرة، يُسمّى **الكاشف العامّ Universal Indicator**، وهو مخلوط من عدَّة صبغات كاشفة (الصورة ٦-٤).

الصورة ٦-٤ أوراق الكاشف العام مع دليل الألوان

ويعتبر هذا الكاشف مفيدًا جدًّا؛ لأنه يعطي مدًى من الألوان يعتمد على قوّة وتركيز الحمض أو المادة القلوية (الشكل ٦-٢). عندما تستخدم الكاشف العام، سترى أن محاليل الأحماض المختلفة تُنتج ألوانًا مُختلِفة. فالمحلول الحمضي القوي (مثل حمض الكبريتيك في بطارية السيارة) يُغيِّر لون الكاشف العام إلى أحمر قانٍ. والمحلول الأقلّ حمضية (مثل الخل) يُغيِّر لون الكاشف إلى البُرتقالي أو الأصفر. وسوف تنتج ألوانٌ أخرى مختلفة عند استخدام محاليل قلوية مختلفة. إلا أن معظم المحاليل القلوية تُعطي درجات اللون البنفسجي.

يمكن أن تكون الأحماض والقلويات في **المحاليل** إمّا **مُخفّفة Dilute** أو **مُركّزة Concentrated**. فعند إضافة كمّية كبيرة من الماء إلى كمّية قليلة من حمض أو من مادة قلوية، يكون المحلول مُخفّفًا؛ في حين أنه عند استخدام الكمّية نفسها من الحمض أو المادة القلوية مع كمّية أقلّ من الماء يصبح المحلول أكثر تركيزًا. ومع ذلك، فإن اختبار تراكيز مختلفة للحمض نفسه باستخدام الكاشف العام سيُعطي ألوانًا مختلفة باختلاف التركيز. فإذا غيّر حمض لون الكاشف العام إلى البرتقالي، مثلًا، ثم أضيف إليه الماء لتخفيف تركيزه، سيُغيِّر ذلك لون الكاشف إلى الأصفر، (الصورة ٦-٥).

الصورة ٦-٥ تغيُّر لون الكاشف العام مع انخفاض تركيز الحمض من البرتقالي إلى الأصفر



الشكل ٦-٢ مدى تغيُّر لون الكاشف العام في محاليل ذات قيَم pH مختلفة

نشاط ٦-١

اختبار الرقم الهيدروجيني pH لمواد نستخدمها في حياتنا اليومية

المهارات:

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

يُعدّ هذا النشاط تجربة تمهيدية للأفكار المُتعلِّقة بالأحماض والقلويات.

⚠
- ضع النظّارة الواقية لحماية عينَيك.
- ارتد معطف المُختبَر.
- البس القُفّازَين الواقيَين عند الضرورة، أثناء إجراء هذه التجربة.
- نفِّذ التجربة في خزانة طرد الغازات، أو في مُختبَر جيّد التهوئة.
- اغسل يديك بعد انتهاء التجربة.
- تُعتبَر العيّنات التي تحتوي على الأحماض أو القلويات من المواد المُهيِّجة وقد تكون ضارّة إذا كانت عالية التركيز. لا تتعامل مع المواد والمحاليل عالية التركيز مُباشرة.
- تجنَّب خلط العيِّنات لأن التفاعُل قد يكون قويًا.
- محلول الكاشف العام سريع الاشتعال، تجنَّب تعريضه للحرارة أو اللهب.

نشاط ٦-١

في هذا النشاط سوف تختبر مجموعة من المواد المنزلية والمواد المُستخدَمة في الحياة اليومية، باستخدام أوراق تبّاع الشمس الحمراء والزرقاء، ومحلول الكاشف العام (أو أوراق الكاشف العام). تشمل المواد والمُنتَجات التي يجري اختبارها كلاً من: عصير الليمون، والخل، ومُزيل الترسُّبات ومحاليل صابون مختلفة، ومُنظِّفات تحتوي على الأمونيا، ومعاجين أسنان، ومشروبات غازية.

نظِّم نتائجك في جدول يوضِّح ما يلي:

- اسم المُنتَج.
- تغيُّر لون ورقة تبّاع الشمس.
- تغيُّر لون الكاشف العام.
- القيمة التقريبية للرقم الهيدروجيني pH.
- نوع المُنتَج سواء أكان حمضيًّا أم قُلويًّا أم مُتعادِلًا.

أسئلة

١ أيٌّ من المُنتَجات الحمضية التي اختبرتها هي الأكثر حمضية؟ وأيٌّ منها كان الأقلّ حمضيّة؟ وضّح السبب.

٢ رتِّب المُنتَجات القلوية التي اختبرتها تصاعديًّا من الأقلّ قُلويَّة إلى الأكثر قُلويَّة. وضّح السبب.

٣ اشرح المخاطر المُحتَملة واحتياطات السلامة التي ستتَّخذها لاختبار حمضيَّة أو قُلويَّة المواد الكيميائية عند تعامُلك معها.

مقياس الرقم الهيدروجيني pH

وُضعت أفضل طريقة لقياس قوة محلول حمضي على يد عالم الكيمياء الحيوية الدانماركي سورين سورينسين (Søren Sørensen). فقد عمل في مُختبَرات مصانع كارلسبرغ للمشروبات الغازيَّة، وكان مُهتمًّا بفحص حمضية تلك المشروبات. فقدّم ما أصبح معروفًا باسم **مقياس الرقم الهيدروجيني pH scale**، وهذا المقياس يتدرَّج من 0 إلى 14، حيث تُطبَّق القواعد الآتية:

قواعد مقياس الرقم الهيدروجيني pH

- تمتلك الأحماض قيَم pH أقلّ من 7.
- كلَّما ازدادت حمضية المحلول، قلَّت قيمة رقمه الهيدروجيني pH.
- تمتلك القلويات قيَم pH تزيد عن 7.
- كلما ازدادت قلوية المحلول، ازدادت قيمة رقمه الهيدروجيني pH.
- المواد المُتعادلة التي لا تكون حمضية ولا قلوية، مثل الماء النقي، تمتلك رقمًا هيدروجينيًّا يساوي 7.

يمكن قياس الرقم الهيدروجيني pH لمحلول بعدَّة طرائق. كأن نستخدم أوراق الكاشف العام التي تكون حسّاسة على مدًى كامل من هذه القيَم. وتبقى الطريقة الأدقّ هي استخدام جهاز قياس الرقم الهيدروجيني أو مجسّ الرقم الهيدروجيني pH-meter or sensor (الصورة ٦-٦)، والذي يستخدم قطبًا كهربائيًّا (إلكترودًا electrode) لقياس الرقم الهيدروجيني كهربائيًّا. ويُوضّح الجدول (٦-٣) قيَم الرقم الهيدروجيني pH لبعض المواد الشائعة التي تمتلك التركيز نفسه.

الصورة ٦-٦ مجسّ pH لاختبار التربة

مصطلحات علمية

- **مقياس الرقم الهيدروجيني pH scale:** نظام يُستخدَم لقياس حموضة مادة (تركيز أيون H^+)؛ حيث تتدرّج قيَمه من 0 إلى 14.

	المادة	الرقم الهيدروجيني pH
حمضي قوي	حمض الهيدروكلوريك (HCl)	0.0
	العُصارة المعدية	1.0
	عصير الليمون	2.5
	الخلّ	3.0
	مشروب غازي	3.5
	عصير الطماطم	4.1
	القهوة السوداء	5.0
حمضي ضعيف	المطر الحمضي	5.6
	البول	6.0
	الحليب	6.0
	مياه الأمطار	6.5
مُتعادل	الماء النقي	7.0
	محلول السكّر	7.0
	الدم	7.4
قلوي ضعيف	محلول صودا الخبز	8.5
	معجون الأسنان	9.0
	محلول البوراكس	9.2
	حليب الماغنيسيا	10.5
	مُنظِّفات الأمونيا المنزلية	11.6
قلوي قوي	ماء الجير	12.4
	محلول هيدروكسيد الصوديوم (NaOH)	14.0

الجدول ٦-٣ قيَم الرقم الهيدروجيني لبعض المواد الشائعة

نشاط ٦-٢

فهم مقياس الرقم الهيدروجيني pH

المهارات:

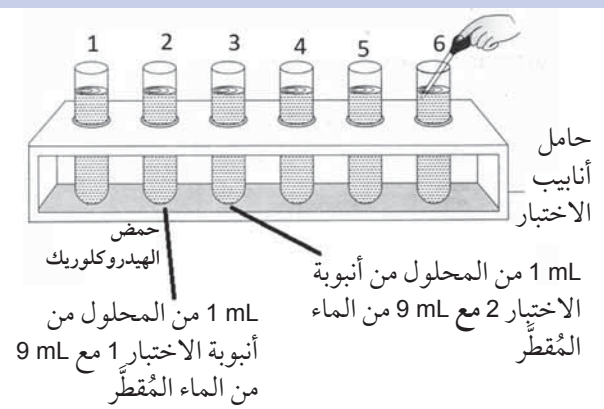
- يُبيّن، بطريقة عملية، معرفته بكيفية الاستخدام الآمن للتقنيات والأجهزة والمواد (بما فيها اتّباع سلسلة من التعليمات المناسبة).
- ينجز التجربة ويسجّل الملاحظات والقياسات والتقديرات.
- يناقش الملاحظات التجريبية والبيانات ويقيّمها.
- يقيّم الطرائق، ويقترح التحسينات المُحتملة.

ستتعلَّم في هذا النشاط، كيف تتغير قيَم الرقم الهيدروجيني pH مع التراكيز المختلفة للمحاليل وكيف يؤثِّر ذلك على لون الكاشف العام.

⚠
- ضع النظّارة الواقية لحماية عينَيك.
- ارتدِ معطف المُختبَر.
- البس القُفّازَين الواقيَين عند الضرورة، أثناء إجراء هذه التجربة.
- اغسل يدَيك بعد انتهاء التجربة.
- الحمض المُخفَّف والمادة القلوية المُخفَّفة من المواد المُهيِّجة.
- محلول الكاشف العام سريع الاشتعال. تجنَّب تعريضه للحرارة أو اللهب.

الطريقة

١ خذ مجموعة من الأنابيب، ورقِّمها من 1 إلى 13 وضعها في حامل أنابيب.



٢ استخدم مخبارًا مُدرَّجًا لنقل 10 mL من محلول حمض الهيدروكلوريك HCl (aq) إلى أنبوبة الاختبار رقم 1.

نشاط ٦-٢

٣ استخدم ماصّة لسحب 1 mL من المحلول من أنبوبة الاختبار رقم 1 وأعده إلى المخبار المُدرَّج. ثم أضف إليه 9 mL من الماء المُقطَّر. اخلط المحلول الناتج جيِّدًا واسكبه في أنبوبة الاختبار رقم 2.

٤ استخدم الماصّة نفسها لسحب 1 mL من المحلول من أنبوبة الاختبار 2، وأعده إلى المخبار المُدرَّج. ثم أضف إليه 9 mL من الماء المُقطَّر. اخلط المحلول الناتج جيِّدًا واسكبه في أنبوبة الاختبار رقم 3. كرِّر خطوة التخفيف هذه في أنابيب الاختبار من رقم 4 إلى رقم 6.

٥ استخدم المخبار المُدرَّج الثاني لإضافة 10 mL من الماء المُقطَّر إلى أنبوبة الاختبار رقم 7.

٦ استخدم المخبار المُدرَّج الثالث لنقل 10 mL من هيدروكسيد الصوديوم NaOH (aq) إلى أنبوبة الاختبار رقم 13.

٧ استخدم ماصّة نظيفة لسحب 1 mL من محلول هيدروكسيد الصوديوم من أنبوبة الاختبار رقم 13 وأعده إلى المخبار المُدرَّج. ثم أضف إليه 9 mL من الماء المُقطَّر. اخلط المحلول الناتج جيِّدًا واسكبه في أنبوبة الاختبار رقم 12.

٨ استخدم الماصّة نفسها لسحب 1 mL من المحلول من أنبوبة الاختبار 12 وأعده إلى المخبار المُدرَّج. ثم أضف إليه 9 mL من الماء المُقطَّر. اخلط المحلول الناتج جيِّدًا واسكبه في أنبوبة الاختبار رقم 11. كرِّر خطوة التخفيف هذه (تنازليًّا) في أنابيب الاختبار من رقم 11 إلى رقم 8.

٩ أضف بضع قطرات من الكاشف العام إلى كل محلول، واخلطه برفق لإظهار الألوان المختلفة.

النتائج

رقم أنبوبة الاختبار	تركيز محلول حمض HCl (mol/L)	تركيز محلول NaOH (mol/L)	اللون	قيمة pH
1	0.1	—		
2	0.01	—		
3	0.001	—		
4	0.0001	—		
5	0.00001	—		
6	0.000001	—		
7	—	—		
8	—	0.000001		
9	—	0.00001		
10	—	0.0001		
11	—	0.001		
12	—	0.01		
13	—	0.1		

أسئلة

١ ما الخاصيَّة التي تتوفّر في الكاشف العام لقياس الرقم الهيدروجيني pH؟

٢ لماذا يُعدُّ الكاشف العام مُناسبًا لهذه التجربة، بخلاف ورق تبَّاع الشمس؟

٣ ما مقدار اختلاف تركيز الحمض عند الرقم الهيدروجيني pH = 1 عمّا هو عند:

أ. pH = 2؟ ب. pH = 4؟

٤ قارن بين تركيز المادة القلوية (OH^-) عند pH = 10 وتركيزها عند pH = 13.

٥ وضّح ما إذا كانت هناك أي نتائج غير منطقية، وأشر إلى سبب حدوثها.

٦ قيِّم دقّة تجربتك من خلال النظر في نتيجة أنبوبة الاختبار رقم 7، التي تحتوي على الماء المُقطَّر.

٧ اقترح التحسينات التي يمكن إجراؤها على التجربة للحصول على نتائج دقيقة وموثوقة.

نشاط ٦-٣

مُقارنة فاعلية أقراص مختلفة مُضادّة للحموضة

المهارات:

- يُبيّن، بطريقة عملية، معرفته بكيفية الاستخدام الآمن للتقنيات والأجهزة والمواد (بما فيها اتّباع سلسلة من التعليمات المناسبة).
- يصف الخطوات التجريبية والتقانة المُستخدَمة ويشرحها.
- يكوّن التنبُّؤات والفرضيات (استنادًا إلى استيعاب المفاهيم والمعرفة)
- يحدِّد المتغيرات ويصف كيف يمكن قياسها، ويشرح لماذا ينبغي التحكُّم ببعض المُتغيّرات.

⚠
- ضع النظّارة الواقية لحماية عينَيك.
- ارتدِ معطف المُختبَر.
- اغسل يدَيك بعد انتهاء التجربة.
- محلول حمض الهيدروكلوريك المُخفَّف من المواد المُهيِّجة.

تُنتج معدتك حمض الهيدروكلوريك لتُساعدك على الهضم. وعندما تُفرط في الأكل، يمكن أن تنتج معدتك كمّية زائدة من الحمض، وتؤدّي بدورها إلى عسر في الهضم وحرقة تشعر بها في منطقة الصدر تُسمّى حرقة المعدة. وتعمل الأقراص المُضادَّة للحموضة وعسر الهضم على التخفيف من أعراض حرقة المعدة عن طريق مُعادلة الحمض الزائد. فهي تحتوي على مُضادات للأحماض لا تذوب في الماء مثل كربونات الكالسيوم أو كربونات الماغنيسيوم أو هيدروكسيد الماغنيسيوم.

يحتاج هذا النشاط منك إلى تخطيط استقصاء وتنفيذه لتحديد مدى فاعلية بعض أنواع الأقراص المُضادَّة للحموضة مع حمض الهيدروكلوريك المُخفَّف (0.5 mol/L).

يجب عليك التخطيط لاختبار ثلاثة أنواع مختلفة على الأقلّ من الأقراص المُضادَّة للحموضة مع حمض الهيدروكلوريك وذلك لتحديد أي منها هو الأكثر فاعلية.

وستحتاج خطّتك أن تتضمَّن ما يأتي:

- توقُّع أي الأقراص ستكون أكثر فاعلية ولماذا.
- كيف ستحكم على فاعلية الأقراص، وكيف ستقيس التفاعُل.
- تحديد المُتغيّرات الرئيسية، وكيف ستتحكَّم بها، بحيث تكون كل تجربة قابلة للمُقارنة مع التجارب الأخرى.
- الأدوات والأجهزة التي سوف تحتاج إليها، وتعليلك لاختيارها.
- المواد الكيميائية التي تحتاج إليها ولماذا.
- احتياطات السلامة التي تتَّخذها.
- الطريقة التي سوف تتَّبعها.

سيتحقَّق مُعلِّمك من خطّتك المكتوبة قبل أن تبدأ بتنفيذ تجربتك.

أسئلة

٦-٥ يُعدّ الميثيل البرتقالي أحد الكواشف. ماذا يعني ذلك؟

٦-٦ صنّف المحاليل الآتية إلى حمضي أو قلوي أو مُتعادِل إذا كان الرقم الهيدرجيني pH له يساوي:

أ. 11 ب. 7

ج. 8 د. 3

٦-٧ أي محلول هو الأكثر حمضية: محلول pH له يساوي 4، أم محلول pH له يساوي 1؟

٦-٣ تحديد الأحماض والقواعد

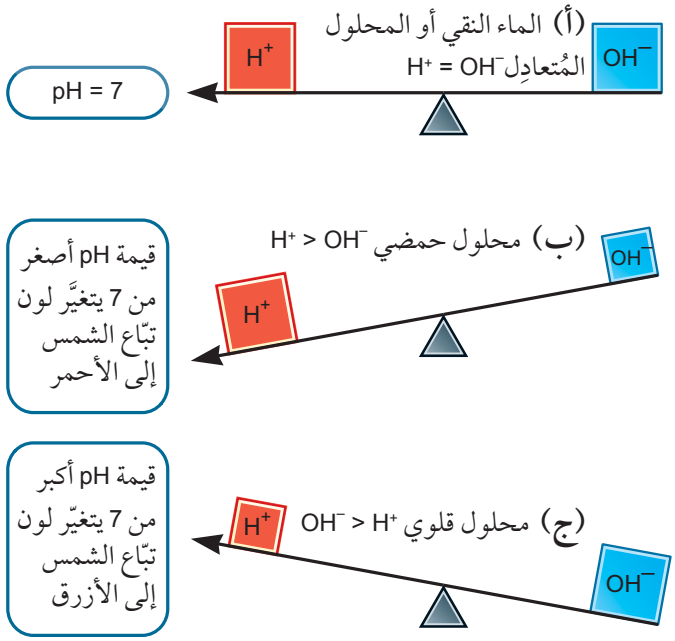
الأيونات في محاليل الأحماض والقلويات

إذا تفحّصنا مرة أخرى الصيَغ الكيميائية لبعض الأحماض المعروفة جيِّدًا (الجدول ٦-١)، سنُلاحظ أن هناك عنصرًا مُشتركًا فيما بينها. فهي جميعًا تحتوي على **الهيدروجين**.

وبالنظر إلى الجدول (٦-٢)، يمكننا ملاحظة أن هذه القلويات (باستثناء Na_2CO_3) تحتوي على **الهيدروكسيد** OH في صيَغها الكيميائية. وعند تفحُّص محاليل الأحماض أو محاليل القلويات سنجد أنها جميعًا مُوصّلة للكهرباء. ويدلّ ذلك على أن تلك المحاليل تحتوي على **أيونات Ions**. حتى أن الماء نفسه يحتوي على كمّية ضئيلة جدًّا من الأيونات. ففي الماء النقي، تكون تراكيز أيونات الهيدروجين **(H^+)** وأيونات الهيدروكسيد **(OH^-)** متساوية. وحين تذوب الأحماض في الماء فإنها تنتج أيونات الهيدروجين (H^+). لذلك، تحتوي محاليل الأحماض جميعها على أيونات H^+ أكثر من أيونات OH^-. فعلى سبيل المثال، عندما يذوب غاز كلوريد الهيدروجين (HCl) في الماء، ينتج عن ذلك محلول حمضي قوي؛ وسبب ذلك أن أيونات H^+ قد تحرّرت (أُطلقت) من جُزيئات HCl.

يُمثِّل الرقم الهيدروجيني مقياسًا لتركيز أيونات H^+ في محلول. ويُشير مُصطلح pH إلى تركيز أيونات الهيدروجين في المحلول.

وحين تذوب القلويات في الماء، فإنها تنتج أيونات الهيدروكسيد (OH^-). لذلك، تحتوي محاليل القلويات جميعها على كمّيّة فائضة من أيونات OH^-. في معظم الحالات، سيكون سهلاً التعرُّف على المحلول القلوي لأن صيغته غالبًا ما تحتوي بالفعل على OH. على سبيل المثال، صيغة محلول المادة القلوية، هيدروكسيد الصوديوم هي NaOH. وعلى الرغم من أن صيغة هيدروكسيد الماغنيسيوم تحتوي أيضًا على OH، إلا أنها لا تذوب في الماء، وهذا يجعلها قاعدة غير قلوية. أما بالنسبة للمُركَّبات الأخرى التي تذوب في الماء، مثل الأمونيا (NH_3) وكربونات الصوديوم (Na_2CO_3)، وبالرغم من أن صيَغها لا تُظهِر وجود OH، إلا أنَّها تكوّن محاليل قلوية. فعندما تذوب الأمونيا أو كربونات الصوديوم في الماء، فإنها تتفاعل معه بإزالة أيونات H^+ من جُزيئات H_2O، ممّا يؤدّي إلى إطلاق فائض من أيونات OH^-، ما يجعل هذه المحاليل قلوية. ويتأثَّر أي كاشف، مثل تبّاع الشمس، بوجود أيونات H^+ أو أيونات OH^- (الشكل ٦-٣).



الشكل ٦-٣ الرقم الهيدروجيني pH، وميزان أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد في المحلول

يُبيّن الجدول (٦-٤) الأيونات في بعض المحاليل الحمضية والقلوية المُهمَّة.

	الاسم	الأيونات الموجودة
الأحماض	حمض الهيدروكلوريك	H^+ و Cl^-
	حمض النيتريك	H^+ و NO_3^-
	حمض الكبريتيك	H^+ و HSO_4^- و SO_4^{2-}
القلويات	هيدروكسيد الصوديوم	Na^+ و OH^-
	هيدروكسيد البوتاسيوم	K^+ و OH^-
	هيدروكسيد الكالسيوم	Ca^{2+} و OH^-
	محلول الأمونيا	NH_4^+ و OH^-

الجدول ٦-٤ الأيونات الموجودة في محاليل الأحماض والقلويات

تحديد الأحماض والقواعد باستخدام أيونات الهيدروجين

يمكننا الآن استخدام أيونات الهيدروجين لإعطاء تعريف للحمض والقاعدة.

عندما يذوب حمض في الماء، تنتج أيونات الهيدروجين (H^+)، ولكن ماذا يحدث لهذه الأيونات H^+ إذا أضيفت قاعدة إلى المحلول؟ القاعدة هي قادرة على قبول أيونات H^+. فعلى سبيل المثال، في محلول هيدروكسيد الصوديوم، تكون أيونات OH^-، قادرة على قبول أيونات H^+ وتتفاعل هذه الأيونات لتكوين جُزيئات H_2O.

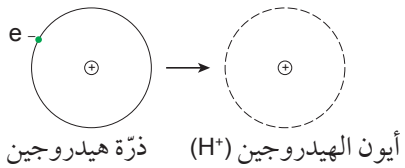
لذلك، عند إضافة قاعدة إلى محلول مائي يحتوي على حمض، يمكننا القول إن أيونات H^+ تنتقل (تتحرَّك) من الحمض (المانح) إلى القاعدة (المستقبِل).

مصطلحات علمية

- **الحمض Acid:** جُزيء أو أيون قادر على منح أيون H^+ (بروتون) لقاعدة.
- **القاعدة Base:** جُزيء أو أيون قادر على قبول أيون H^+ (بروتون) من حمض.
- **المادة القلوية Alkali:** قاعدة تذوب في الماء، وتُشكِّل أيونات OH^- في محلولها المائي.

تذكَّر

من المُهِمّ أن تدرك أن أيون الهيدروجين (H^+) هو بروتون. فبمجرد إزالة الإلكترون الوحيد لذرّة الهيدروجين، والذي يحمل الشحنة السالبة لتكوين أيون موجب، فإن كل ما يتبقّى هو عبارة عن بروتون للنواة يحمل شحنة موجبة.



أسئلة

٦-٨ ما العُنصر المشترك الموجود في جميع الأحماض؟

٦-٩ ما الأيون المشترك الموجود في المحاليل القلوية؟

٦-١٠ ما الأيونات الموجودة في كل من:

أ. محلول هيدروكسيد الكالسيوم؟

ب. محلول الأمونيا؟

٦-١١ هل تحتوي المياه النقية على كمّية أكثر أو أقلّ أو مُساوِية من أيونات الهيدروجين، مُقارَنة بأيونات الهيدروكسيد؟

نشاط ٦-٤

التفاعُل بين حمض ومادة قلوية

المهارات:

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

في هذا النشاط، سوف تستقصي ما يحدث لقيمة pH، عندما يتفاعل حمض مع مادة قلوية.

هيدروكسيد الصوديوم + حمض الهيدروكلوريك ⟶ ماء + كلوريد الصوديوم

- **ضع النظّارة الواقية لحماية عينَيك.**
- **ارتدِ معطف المُختبَر.**
- **البس القُفّازَين الواقيَين عند الضرورة، أثناء إجراء هذه التجربة.**
- **اغسل يدَيك بعد انتهاء التجربة.**
- **الحمض المُخفَّف والمادة القلوية المُخفَّفة من المواد المُهيِّجة.**
- **محلول الكاشف العام سريع الاشتعال. تجنَّب تعريضه للحرارة أو اللهب.**

سوف تستخدم نتائجك لتحديد نقطة تعادُل (neutralisation) المادة القلوية مع الحمض.

الطريقة

١ باستخدام مخبار مُدرّج، قس 10 mL من محلول هيدروكسيد الصوديوم، وأضفها إلى دورق.

٢ أضف بضع قطرات من الكاشف العام لإنتاج لون واضح.

٣ استخدم دليل الألوان (pH) لتسجيل قيمة pH التقريبية للمحلول. استخدم الجدول الآتي لتسجيل اللون ودرجة الحموضة للمحلول عند إضافة 0 mL إلى 25 mL من الحمض.

حجم الحمض المُضاف (mL)	اللون	قيمة pH
0		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		

نشاط ٦-٤

٤ باستخدام السحاحة، أضف 1 mL من حمض الهيدروكلوريك إلى المحلول في الدورق.

٥ حرّك المحلول الناتج، وسجِّل الرقم الهيدروجيني pH الجديد.

٦ أضف 1 mL من الحمض مرّة أخرى، وسجِّل الرقم الهيدروجيني pH.

٧ كرّر هذه العملية حتى تتمّ إضافة ما مجموعه 20 mL من الحمض.

أسئلة

١ صف كيف يتغيَّر الرقم الهيدروجيني للمحلول عند إضافة المزيد من الحمض.

٢ قدِّر حجم الحمض اللازم لمُعادلة المادة القلوية، استنادًا إلى الرقم الهيدروجيني، أو دليل الألوان. واشرح كيف توصَّلت إلى هذه الإجابة.

٣ استنادًا إلى قراءات الرقم الهيدروجيني، هل هناك أي نتائج غير مُتوقَّعة؟ اقترح القيَم التي كان ينبغي أن تكون، ولماذا حصلتَ على هذه النتائج غير المنطقية.

٤ كيف يمكن تحسين التجربة للحصول على نتائج أكثر دقَّة؟

٦-٤ أكاسيد الفلزّات، وأكاسيد اللافلزّات

الأكاسيد الحمضية والقاعدية

يتّصف كوكب الزهرة، وهو أقرب الكواكب إلى الأرض، بأنه شبيه في حجمه وكثافته للأرض. ومع ذلك، فإن الظروف على كوكب الزهرة مختلفة تمامًا عن كوكبنا. فدرجة الحرارة أعلى بكثير وتنبعث من البراكين الموجودة على سطحه كمّيات هائلة من بخار الماء وأكاسيد الكبريت إلى غلافه الجوّي. ينتج عن هذا الخليط من الغازات سُحب كثيفة من حمض الكبريتيك. لذلك تقوم المجسَّات (المسابير) الفضائية بمراقبة ودراسة الكوكب من مسافة بعيدة، لأن مُكوِّناتها الفلزِّية ستتفاعل مع الغلاف الجوِّي الحمضي للكوكب، في حال اقترابها منه (الصورة ٦-٧).

الصورة ٦-٧ صورة لمسبار فضائي تابع لوكالة الفضاء الأوروبية

تُبيِّن الصورة (٦-٨) كيف تتكوَّن غُيوم حمضية مُماثِلة لغُيوم كوكب الزُّهَرة، عن طريق حرق الكبريت في الأكسجين في أسطوانة غاز، وفقًا للمُعادلة اللفظية الآتية:

ثُنائي أكسيد الكبريت ⟶ أكسجين + كبريت

الصورة ٦-٨ حرق الكبريت في أسطوانة غاز تحتوي على الأكسجين

كذلك تتفاعل لافلزّات أخرى قابلة للاحتراق (مثل الكربون) بالطريقة نفسها لإنتاج غازات حمضية:

ثاني أكسيد الكربون ⟶ أكسجين + كربون

وعند إضافة الماء إلى أسطوانات الغاز، تذوب الغازات وتنتج محاليل تُغيّر لون ورقة تبّاع الشمس من الأزرق إلى الأحمر.

ففي حالة ثاني أكسيد الكربون، سيكوّن الغاز حمض الكربونيك:

حمض الكربونيك ⟶ ماء + ثاني أكسيد الكربون

وعلى غرار ثاني أكسيد الكربون، يمكن لأكاسيد لافلزّات أخرى أن تذوب في الماء لتكوين أحماض.

ويوضح تغيُّر لون ورقة تبّاع الشمس إلى الأحمر أن تلك المحاليل تحتوي على أحماض، وهي ناتجة عن احتراق لافلزّات مُكوِّنة **أكاسيد حمضية Acidic oxides**.

وينتج عن احتراق الفلزّات بوجود الأكسجين موادّ صلبة، هي أكاسيد تلك الفلزّات وتُسمّى **بالأكاسيد القاعدية Basic oxides** ومثال ذلك:

أكسيد الصوديوم ⟶ أكسجين + صوديوم

تذوب بعض الأكاسيد القاعدية في الماء لإنتاج محاليل تُغيّر لون ورقة تبّاع الشمس من الأحمر إلى الأزرق. وفي حالة أكسيد الصوديوم، يتكوّن هيدروكسيد الصوديوم وفقًا للمُعادلة الآتية:

هيدروكسيد الصوديوم ⟶ ماء + أكسيد الصوديوم

والأكاسيد القاعدية قادرة على مُعادلَة الأحماض. ومثال ذلك:

حمض الهيدروكلوريك + أكسيد الصوديوم ⟶ ماء + كلوريد الصوديوم

وتستطيع الأكاسيد الحمضية أيضًا أن تُعادِل القلويات. ومثال ذلك:

هيدروكسيد الصوديوم + ثلاثي أكسيد الكبريت ⟶ ماء + كبريتات الصوديوم

لاحظ أن كلتا الحالتَين، يتكوّن فيهما ملح وماء.

ويُوضِّح الجدول (٦-٥) أمثلة على أكاسيد فلزّات و أكاسيد لافلزّات ناتجة من تفاعُل بعض العناصر مع الأكسجين.

الخصائص المُميِّزة للأكاسيد

- تكوّن اللافلزّات عمومًا **أكاسيد حمضية** تذوب في الماء لتكوين محاليل **حمضية**.
- تكوّن الفلزّات أكاسيد صلبة، تُعادِل الأحماض لذا تُسمّى **أكاسيد قاعدية**. وعندما تذوب في الماء، تُنتج محاليل **قلوية**.

العنصر	الأكسيد	تأثير إضافة الماء، واختباره بتبّاع الشمس
اللافلزّات		
الكبريت	ثُنائي أكسيد الكبريت SO_2، غاز عديم اللون	يذوب، يُغيّر لون تبّاع الشمس إلى **الأحمر**
الفوسفور	خُماسي أكسيد الفوسفور P_2O_5، صلب أبيض اللون	يذوب، يُغيّر لون تبّاع الشمس إلى **الأحمر**
الكربون	ثاني أكسيد الكربون CO_2، غاز عديم اللون	يذوب قليلًا، يغيّر ببطء لون تبّاع الشمس إلى **الأحمر**
الفلزّات		
الصوديوم	أكسيد الصوديوم Na_2O، صلب أبيض اللون	يذوب، يُغيّر لون تبّاع الشمس إلى **الأزرق**
الماغنيسيوم	أكسيد الماغنيسيوم MgO، صلب أبيض اللون	يذوب قليلًا، يُغيّر لون تبّاع الشمس إلى **الأزرق**
الكالسيوم	أكسيد الكالسيوم CaO، صلب أبيض اللون	يذوب، يُغيّر لون تبّاع الشمس إلى **الأزرق**
الحديد	أكسيد الحديد (II) FeO، صلب أسود اللون	لا يذوب
النحاس	أكسيد النحاس (II) CuO، صلب أسود اللون	لا يذوب

الجدول ٦-٥ أمثلة على أكاسيد بعض الفلزّات واللافلزّات

الأكاسيد المُتعادلة والمُتذبذبة

رأينا أن أكاسيد اللافلزّات حمضية في حين أنَّ أكاسيد الفلزّات قاعدية. لكن هناك استثناءات لذلك. حيث يمكن اعتبار الماء أكسيد هيدروجين وأكسيدًا لافلزّيًا. ومع ذلك، فإنه يمتلك pH يساوي 7، وبالتالي فهو **أكسيد مُتعادل Neutral oxide** وليس أكسيدًا حمضيًا كما هو مُتوقَّع. هناك استثناء آخر هو أحادي أكسيد الكربون (CO) فهو أيضًا أكسيد مُتعادِل. وهذا غير مُتوقَّع خاصَّة وأن الكربون يُنتِج أيضًا ثاني أكسيد الكربون وهو أكسيد حمضي. ومع ذلك فإن هذه الحالات نادرة بشكل عام، وبالتالي فإن «القاعدة العامة» التي تفيد أن معظم أكاسيد اللافلزّات حمضية تبقى مفيدة ومُهِمَّة.

والأهم من ذلك، السلوك غير الاعتيادي لأكاسيد بعض الفلزّات، التي تتفاعل مع الأحماض وتُعادِلها، وهذا سلوك مُتوقَّع. ولكنها أيضًا تُعادِل القلويات، وهذا سلوك غير اعتيادي، لذا يُطلق على هذه الأكاسيد تسمية **الأكاسيد المُتذبذِبة (المُتردِّدة) Amphoteric oxides**.

ومن أمثلة الفلزّات التي تكوّن أكاسيد مُتذبذِبة الخارصين والألومنيوم.

والجدير بالذكر أن تفاعُل أكسيد الألومنيوم مع كل من الأحماض والقواعد يُبيِّن خصائصه المُتذبذِبة. مثلًا يمكن توضيح تفاعُل أكسيد الألومنيوم مع حمض الهيدروكلوريك بالمُعادَلة اللفظيَّة الآتية:

حمض الهيدروكلوريك + أكسيد الألومنيوم ⟶ ماء + كلوريد الألومنيوم

ففي هذا المثال، يسلك أكسيد الألومنيوم كقاعدة تُعادِل الحمض.

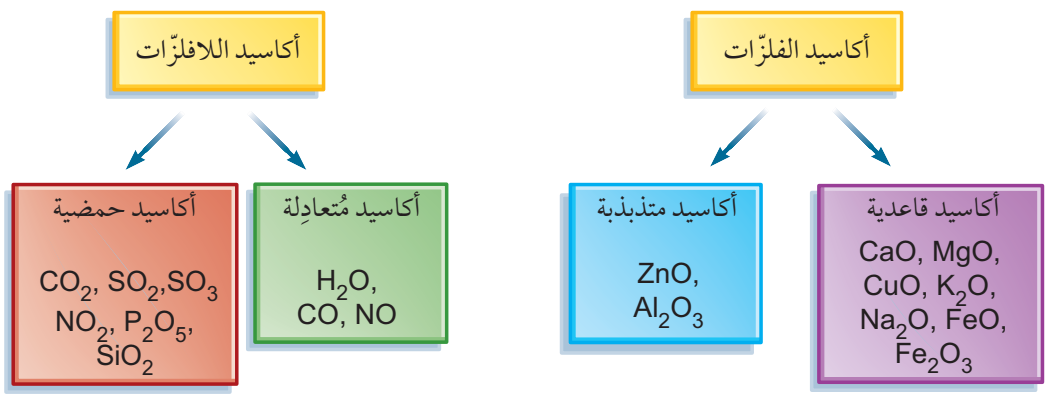
يمكن أيضًا لأكسيد الألومنيوم أن يسلك كحمض، فيتفاعل مع محلول هيدروكسيد الصوديوم المُركَّز الساخن وفقًا للمُعادلة اللفظية الآتية:

هيدروكسيد الصوديوم + أكسيد الألومنيوم ⟶ ماء + ألومينات الصوديوم

كذلك يخضع أكسيد الخارصين لتفاعُلات مُشابِهة مع حمض الهيدروكلوريك وهيدروكسيد الصوديوم. ولن تحتاج إلى تذكُّر هذه المُعادلات بالتفصيل؛ لكن ينبغي لك أن تعرف الآتي: سواء سَلَكَ أكسيد الفلزّ كحمض أو كقاعدة في تفاعُل التعادُل، فإن المواد الناتجة دائمًا هي ملح وماء (الشكل ٦-٤).

مصطلحات علمية

- **أكسيد الفلزّ المُتذبذِب (المتردد) Amphoteric metal oxide:** أكسيد فلزّ يتفاعل مع حمض أو مادة قلوية لإنتاج ملح وماء.



الشكل ٦-٤ تصنيف أكاسيد اللافلزّات وأكاسيد الفلزّات

أسئلة

٦-١٢ اكتب المعادلة اللفظية لكلّ من الآتي:

أ. تفاعُل احتراق الفوسفور في الأكسجين.

ب. تفاعُل ثاني أكسيد الكربون مع هيدروكسيد الصوديوم.

ج. التفاعُل الذي يحدث عندما يذوب أكسيد الكالسيوم في الماء.

د. تفاعُل أكسيد الماغنيسيوم مع حمض الكبريتيك.

٦-١٣ ما نوع المحلول الذي تتوقَّع أن يتكوَّن عندما يذوب ثنائي أكسيد الكبريت في الماء؟

٦-١٤ ما اللون المُتوقَّع لورقة تبّاع الشمس عند إضافتها إلى المحلول الناتج عن إذابة أكسيد الكالسيوم في الماء؟

٦-١٥ ما أكسيد الكربون الذي يكون مُتعادِلًا؟

٦-١٦ اكتب مثالًا واحدًا على الأكاسيد الفلزّية المتذبذِبة، واكتب المُعادلات اللفظية لتفاعُله مع حمض الهيدروكلوريك، ومع محلول هيدروكسيد الصوديوم.

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- تتفاعل الأحماض والقواعد معًا لتُنتج ملحًا وماء.
- يُعرَف التفاعُل الذي يحدث بين الحمض والقاعدة باسم تفاعُل التعادُل.
- القلويات مجموعة من القواعد التي تذوب في الماء.
- الأحماض تُغيّر لون تبّاع الشمس الأزرق إلى الأحمر، والقلويات تُغيّر لون تبّاع الشمس الأحمر إلى الأزرق.
- الرقم الهيدروجيني pH هو مقياس لحمضية أو لقلوية محلول مائي.
- يمكن قياس الرقم الهيدروجيني pH، تقريبيًا، باستخدام الكاشف العام.
- الأحماض تمتلك قيَم pH أصغر من 7، والقلويات تمتلك قيَم pH أكبر من 7، والمحلول المُتعادل يمتلك قيمة pH تساوي 7.
- المحاليل الحمضية تحتوي على فائض من أيونات الهيدروجين H^+ في حين تحتوي المحاليل القلوية على فائض من أيونات الهيدروكسيد OH^-.
- تُعرّف الأحماض والقواعد باستخدام مفهوم انتقال البروتون (H^+).
- تكوّن أكاسيد اللافلزّات الذائبة في الماء عادة محاليل حمضية، وتكوّن أكاسيد الفلزّات عادة محاليل قلوية عندما تذوب في الماء.
- تكون بعض أكاسيد اللافلزّات مُتعادلة، وبعض أكاسيد الفلزّات مُتذبذِبة.

أسئلة نهاية الوحدة

١ اكتب الجُمَل الآتية، مُستخدمًا الكلمات الواردة في القائمة أدناه:

منخفضًا	**مرتفعًا**	**الأحمر**	**الأزرق**
الهيدروكلوريك	**الكبريتيك**	**القواعد**	**تذوب**

الأحماض موادّ يمكنها أن تذوب في الماء، وتمتلك رقمًا هيدروجينيًّا pH ..... . الأحماض مثل حمض ..... (H_2SO_4)، وحمض ..... (HCl) تنتج أيونات H^+ في المحلول. وتغيّر الأحماض لون تبّاع الشمس إلى .....

تتفاعل ..... مع الأحماض. وعندما ..... القواعد في الماء تُسمّى قلويات وتنتج أيونات OH^- في المحلول. تمتلك القلويات رقمًا هيدروجينيًّا pH ..... وتغيّر لون تبّاع الشمس إلى .....

٢ يُعتبر حمض الكبريتيك H_2SO_4 حمضًا شائع الاستخدام في المُختبرات المدرسية.

أ. ما التغيّر الحاصل للون ورقة تبّاع الشمس عند غمسها في حمض الكبريتيك؟

ب. وضِّح كيف يمكن تحديد الرقم الهيدروجيني pH لعيّنة من هذا الحمض.

ج. اكتب اسم وصيغة الأيون الذي يجعل من حمض الكبريتيك حمضيًّا.

٣ يُعدّ كل من هيدروكسيد الصوديوم وكربونات الكالسيوم مادَّتَين صلبتَين لونهما أبيض عند درجة حرارة الغرفة، وتتفاعل كل منهما بسرعة مع حمض الهيدروكلوريك.

أ. صف أوجُه الاختلاف والشبه بين مادة قلوية وقاعدة.

ب. ما سبب تصنيف هيدروكسيد الصوديوم وكربونات الكالسيوم كقواعد؟

ج. لماذا يُعدّ هيدروكسيد الصوديوم مادّة قلوية وقاعدة، في حين تُعدّ كربونات الكالسيوم قاعدة فقط؟

د. اكتب اسم وصيغة الأيون الذي يجعل من هيدروكسيد الصوديوم مادّة قلوية.

هـ. توقّع قيمة pH لمحلول هيدروكسيد الصوديوم.

٤ عندما تتفاعل بعض العناصر مع الأكسجين، فإنها تكوّن أكاسيد.

أ. ١. اكتب المُعادلة اللفظية لاحتراق الماغنيسيوم في الهواء.
٢. صنِّف المادة الناتجة عن هذا التفاعُل كأكسيد حمضي، أو أكسيد قاعدي.

ب. ١. اكتب المُعادلة اللفظية لاحتراق الكبريت في الهواء.
٢. صنِّف المادَّة الناتجة عن هذا التفاعُل كأكسيد حمضي أو أكسيد قاعدي.

ج. ١. اكتب مثالَين على أكسيدَين مُتعادلَيْن.
٢. صف سلوك الأكسيد المُتذبذِب.

الوحدة السابعة

مُعادلات التفاعُلات الكيميائيّة

Equations for Chemical Reactions

تُغطّي هذه الوحدة:

- كتابة المُعادلات اللفظية بالاستناد إلى وصف تفاصيل التفاعُلات.
- كتابة المُعادلات الرمزية بالاستناد إلى المُعادلات اللفظية، أو وصف تفاصيل التفاعُلات.
- مُوازنة التفاعُلات الرمزيَّة.
- كتابة المُعادلات الأيونيَّة.
- استخدام رموز الحالة الفيزيائية في المُعادلات.

٧-١ المُعادلات الكيميائية

عندما تحدث بعض التفاعُلات الكيميائية، يتَّضح أن شيئًا ما قد تغيّر. فحين تتفاعل مادة صلبة مُتفجِّرة، تنتج كمّية كبيرة من النواتج الغازية. وقد يؤدّي التمدُّد السريع للغازات إلى تفجير الأجزاء المُحيطة بالتفاعُل. فالتفاعُل البركاني، الذي تتفكَّك فيه مادة ثُنائي كرومات الأمونيوم، يُطلق كمّية كبيرة من الطاقة، ويُنتِج غاز النيتروجين (الصورة ٧-١).

الصورة ٧ـ١ التفاعُل البُركاني لمادة ثُنائي كرومات الأمونيوم

وقد تُنتج بعض التفاعُلات الأخرى غازات أقلّ طاقة، وقد لا تُظهر أيّ تغيُّر واضح. فتفاعُل التعادُل بين محلول حمضي ومادة قلوية لا يُظهر أي تغيُّر يُمكن رؤيته. ومع ذلك، فإن تفاعُلًا قد حدث. بدليل ارتفاع حرارة المخلوط وتكوُّن موادّ جديدة يمكن فصلها وتنقيتها.

وسواء تمّت ملاحظة التفاعُل الكيميائي بوضوح أم لا، يمكننا استخدام المُعادلات لتمثيل التفاعُل الذي حدث وفهمه. وتأتي هذه المُعادلات على شكل مُعادَلات لفظية، أو مُعادَلات رمزية توضّح عدد ذرّات الموادّ المُتضمِّنة في التفاعُل والحالة الفيزيائية لهذه الموادّ.

المُعادَلات اللفظيّة

يمكننا كتابة تفاصيل التفاعُلات الكيميائية، لكنها قد تكون طويلة بعض الشيء. ولفهم التفاعُلات المُتشابِهة وتصنيفها في مجموعات، سيكون مُفيدًا إيجاد طريقة مُختصَرة لوصفها. وتُعدّ الطريقة الأبسط للقيام بذلك تمثيلَ التفاعُل على شكل **مُعادلة لفظية Word equation.**

تربط المُعادلة الكيميائية أسماء الموادّ التي تتفاعل (**المواد المُتفاعِلة Reactants**) مع المواد الجديدة التي تتكوَّن (**المواد الناتجة Products**) ويفصل بينهما سهم مُشيرًا إلى اتِّجاه التفاعُل. يمكن مثلاً كتابة المُعادَلة اللفظية لاحتراق الماغنيسيوم في الأكسجين (الصورة ٧-٢) على النحو الآتي:

أكسيد الماغنيسيوم ⟶ أكسجين + ماغنيسيوم

مواد ناتجة مواد مُتفاعِلة

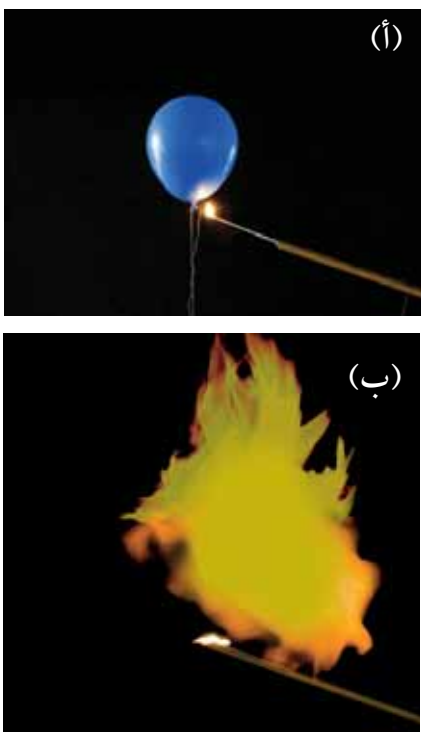
الصورة ٧ـ٢ احتراق الماغنيسيوم بشدَّة في الأكسجين

ويُعتبر التفاعُل بين الهيدروجين والأكسجين تفاعلًا طاردًا للحرارة بقوّة. وقد استُخدم لتزويد الصواريخ بالوقود، وأبرزها مكّوك الفضاء. حيث كانت تُبطِّن المكّوك خزّانات كبيرة تحتوي على الهيدروجين والأكسجين السائلَين. وفي عام 1986، أدّت وصلات المطّاط المُتشقِّقة الموضوعة على خزّانات وقود المكّوك تشالنجر Challenger إلى انفجاره بشكل كارثي، ما أودى بحياة طاقمه.

ويمكن كتابة المُعادلة اللفظية لهذا التفاعُل على النحو الآتي:

ماء ⟶ أكسجين + هيدروجين

لاحظ أنه على الرغم من كمّية الطاقة الكبيرة التي نتجت من هذا التفاعُل (الصورة ٧-٣)، إلّا أنّها لم تُدرج في المُعادَلة. فالمُعادَلة تُظهِر المواد الكيميائية المُتضمَّنة في التفاعُل فقط، والطاقة ليست مادة كيميائية.



الصورة ٧ـ٣ (أ) بالون مُمتلئ بالهيدروجين والأكسجين.
(ب) اشتعال البالون بشكل لافت عند تفاعُل الغازَين

تُزوِّدنا المُعادلات اللفظية ببعض المعلومات عن التفاعُل الكيميائي. ولكن يمكن صياغة المُعادَلات بطريقة أكثر اختصارًا عندما نكتبها باستخدام الصيَغ والرموز الكيميائية.

المُعادلات الرمزية الموزونة

توصَّلت الاستقصاءات التي أُجرِيت على عدد كبير من التفاعُلات الكيميائية المختلفة، إلى مبدأ مُهمّ ينطبق على التفاعُلات جميعها. فمهما كان عدد ونوع الذرّات الموجودة في بداية التفاعُل، سيكون هنالك دائمًا عدد الذرّات نفسه، ونوعها نفسه في نهاية التفاعُل. لكن خلال التفاعُل، تتمّ إعادة ترتيب ذرّات الموادّ المُتفاعِلة في موادّ جديدة ناتجة في نهاية التفاعُل.

تأمّل تفاعُل حمض الهيدروكلوريك مع هيدروكسيد الصوديوم لإنتاج ملح وماء. يمكن كتابة المُعادلة اللفظية لهذا التفاعُل على النحو الآتي:

هيدروكسيد الصوديوم + حمض الهيدروكلوريك ⟶ ماء + كلوريد الصوديوم

يُمكننا من هذه المُعادَلة اللفظية، كتابة **المُعادَلة الرمزية Symbol equation** وذلك بأن تحلّ الصيغة الكيميائية محلّ اسم كل مادة واردة في المُعادَلة اللفظية على النحو الآتي:

$$HCl + NaOH \rightarrow NaCl + H_2O$$

وبالتالي يجب التأكيد على عدّة نقاط مُهِمَّة، بالاستناد إلى هذه المُعادَلة الرمزية:

- يكون نوع الذرّات (H و Cl و Na و O) هو نفسه في بداية التفاعُل ونهايته.
- يكون عدد ذرّات كل نوع هو نفسه في بداية التفاعُل ونهايته (ذرّة Cl واحدة، وذرّة Na واحدة، وذرّة O واحدة، وذرّتا H).
- كل ما في الأمر أن الذرّات الموجودة «غيَّرت شركاءها» (فتمّ استبدال H بِـ Na الذي ارتبط مع Cl، ليرتبط H مع OH مُكوِّنًا H_2O).

ولكي تقوم الذرّات «بتغيير شركائها»، يجب أن يؤدّي التفاعُل إلى تفكيك بعض الروابط الموجودة بين ذرّات المواد المُتفاعِلة يتبعها تكوين روابط جديدة بين الذرّات لتتكوّن المواد الجديدة، أي المواد الناتجة.

يمكن كتابة المُعادلتَين اللفظية والرمزية للتفاعُل الوارد في الشكل (٧-١) على النحو الآتي:

ماء ⟶ أكسجين + هيدروجين

$$H_2 + O_2 \rightarrow H_2O$$

وعلى الرغم من أن نوع الذرّات هو نفسه على طرفَي المُعادلة الرمزية، إلا أن عدد الذرّات ليس نفسه. وعلى الرغم أيضًا من وجود ذرّتي H في طرف المواد المُتفاعِلة وفي طرف المواد الناتجة، فإن طرف المواد المُتفاعلة يحتوي على ذرّتَي O وطرف المواد الناتجة يحتوي على ذرّة O واحدة فقط. لذلك يجب التنبُّه إلى أن هذه المعادلة الرمزية **غير موزونة**.

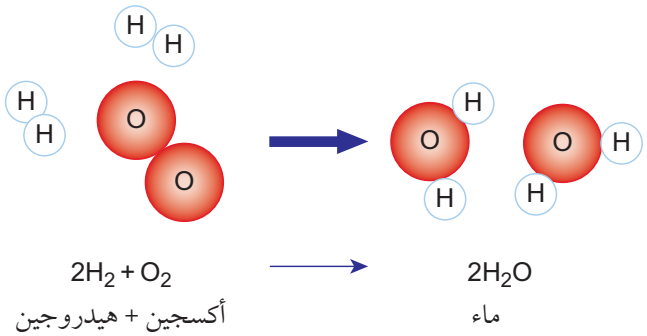
يمكننا فهم كيفية مُوازنة هذه المُعادَلة الرمزية المُحدَّدة. فنحن نعرف من الصيغة الكيميائية لجُزيء الماء (H_2O) أنه يحتوي على ذرَّتَي هيدروجين وذرّة أكسجين واحدة، وأن جُزيء الهيدروجين (H_2) يمكنه توفير ذرَّتي الهيدروجين اللازمتَيْن. كما أن جُزيء الأكسجين (O_2) يمكنه أيضًا توفير ذرَّة الأكسجين اللازمة، ولكن تبقى ذرّة أكسجين واحدة فائضة.

ونحن بذلك سنحتاج إلى **جُزيئَي** هيدروجين ($2H_2$) لتوفير ما يكفي من ذرّات الهيدروجين (4H) كي تتفاعل مع **ذرَّتي** الأكسجين (2O) الموجودَتين في جُزيء الأكسجين (O_2)، وهو ما سينتج عنه **جُزيئان** من الماء ($2H_2O$). عندها ستكون أعداد ذرّات الهيدروجين والأكسجين هي نفسها على طرفَي المُعادَلة.

ويمكن بالتالي كتابة المُعادلة الرمزية للتفاعُل الذي يحدث بين الهيدروجين والأكسجين على النحو الآتي:

$$\mathbf{2}H_2 + O_2 \rightarrow \mathbf{2}H_2O$$

والتي أصبحت الآن **معادلة موزونة Balanced equation**. وأصبحت أعداد كل نوع من الذرّات مُتساوِية على طرف المواد المُتفاعلة وعلى طرف المواد الناتجة من المُعادَلة، أي أربع ذرّات هيدروجين وذرّتا أكسجين على كل طرف، (الشكل ٧-١).



الشكل ٧ـ١ ملخَّص التفاعُل بين الهيدروجين والأكسجين

تذكَّر

- يُستخدَم للعناصر الفلزّية، مثل الماغنيسيوم، رمز العُنصر فقط (مثلًا: Mg).
- أما العناصر اللافلزّية، فكثير منها مثل الأكسجين، يكون في هيئة جُزيئات ثُنائية الذرّات (مثلًا: O_2).
- يمكن كتابة صيَغ المُركَّبات الأيونية بالاستناد إلى شحنات الأيونات الموجودة (مثلًا: Mg^{2+} و O^{2-} يعطيان MgO، وAl^{3+} و Cl^- يعطيان $AlCl_3$).
- يجب تذكُّر صيَغ المُركَّبات التساهُمية الشائعة (مثلًا: الماء H_2O، وثاني أكسيد الكربون CO_2، والأمونيا NH_3، وحمض الهيدروكلوريك HCl، وحمض الكبريتيك H_2SO_4).

كتابة المُعادلات الموزونة

تُعطينا **المُعادلة الرمزية الموزونة Balanced symbol chemical equation** معلومات عن التفاعُل أكثر مما يمكن أن تقدِّمه إلينا المُعادلة اللفظية البسيطة. والمثال الآتي يُوضِّح خطوات كتابة مُعادلة موزونة لتفاعُل ما.

مثال ٧-١

ما المُعادلة الكيميائية الموزونة للتفاعُل بين الماغنيسيوم والأكسجين؟

الخطوة ١: تأكَّد من أنك تعرف المواد المُتفاعِلة والمواد الناتجة. مثلًا: يحترق الماغنيسيوم في الهواء (الأكسجين) لتكوين أكسيد الماغنيسيوم.

الخطوة ٢: بناء على ذلك، يمكنك كتابة المُعادَلة اللفظية:

أكسيد الماغنيسيوم ⟶ أكسجين + ماغنيسيوم

الخطوة ٣: اكتب المُعادَلة الرمزية باستخدام الصيَغ الكيميائية للعناصر والمُركَّبات:

$Mg + O_2 \rightarrow MgO$

تذكَّر بأن الأكسجين يكون في هيئة جُزيئات ثُنائيَّة الذرّات. لذلك تكون هذه المُعادَلة غير موزونة: حيث توجد ذرّتا أكسجين على الطرف الأيسر (طرف المواد المُتفاعِلة)، بينما توجد ذرّة أكسجين واحدة فقط على الطرف الأيمن (طرف المواد الناتجة).

الخطوة ٤: وازن المُعادلة الكيميائية:

$2Mg + O_2 \rightarrow 2MgO$

لذلك نحتاج إلى موازنة المُعادَلة الكيميائية باستخدام مُعامِل مقداره **2** يوضع قبل صيغة أكسيد الماغنيسيوم MgO الناتج. والآن أصبح الأكسجين موزونًا لأننا نمتلك ذرّتَين منه في المواد المُتفاعلة، وذرَّتين منه في اثنَين من أكسيد الماغنيسيوم MgO. هذا يعني أن الماغنيسيوم Mg أصبح غير موزون، لذلك يجب إضافة مُعامِل مقداره **2** قبل رمز الماغنيسيوم Mg الموجود في المواد المُتفاعِلة.

ويتَّضح لك الآن أنك لا تستطيع تغيير صيَغ المواد المُتضمَّنة في التفاعُل، إذ تُحدِّدها طبيعة الترابُط الموجود في المواد نفسها. بل يمكنك فقط إضافة أعداد (مُعامِلات) قبل كل صيغة عند الضرورة.

لا تتضمَّن التفاعُلات الكيميائية عناصر تتفاعل معًا فحسب، بل إن معظم التفاعُلات تتضمَّن مُركَّبات أيضًا.

يتفاعل البوتاسيوم مع الماء لإنتاج هيدروكسيد البوتاسيوم وغاز الهيدروجين (الصورة ٧–٤)، وفقًا للمُعادلتَين، اللفظية والرمزية، الآتيتَين:

هيدروجين + هيدروكسيد البوتاسيوم ⟶ ماء + بوتاسيوم

$$K + H_2O \longrightarrow KOH + H_2$$

الصورة ٧–٤ يتفاعل البوتاسيوم بشدَّة مع الماء لإنتاج الهيدروجين

يُمكننا مُلاحظة أن هذه المُعادَلة تتضمَّن ثلاثة أنواع مُختلفة من الذرّات (K و H و O)؛ وأنَّ عدد ذرّات K و O هو نفسه على طرفَي المُعادَلة (أي ذرّة واحدة من K وذرَّة واحدة من O في طرف المواد المُتفاعِلة مُقابل ذرَّة واحدة من كل منهما في طرف المواد الناتجة). لكن ذلك لا ينطبق على H؛ ففي طرف المواد المُتفاعِلة، نرى ذرَّتَين من H في H_2O، مُقابل ثلاث ذرّات من H في طرف المواد الناتجة (واحدة في KOH واثنتان في H_2). وهذا يعني أن المُعادَلة غير موزونة.

ولجعلها موزونة، يجب أن يكون عدد الذرّات في طرفَي المُعادلة هو نفسه. يمكننا القيام بذلك عن طريق:

- وضع مُعامل مقداره **2** قبل الصيغة H_2O، وهذا سيعطينا 4 ذرّات H وذرّتي O في طرف المواد المُتفاعِلة.

$$K + 2H_2O \longrightarrow KOH + H_2$$

- نحتاج الآن إلى وضع مُعامِل آخر مقداره 2 أمام KOH، وهذا يعني أنّ لدينا الآن ذرَّتي O و 4 ذرّات H (من 2 KOH و H_2) في طرف المواد الناتجة. وهكذا تكون ذرّات O و H موزونة.

$$K + 2H_2O \longrightarrow \mathbf{2}KOH + H_2$$

- وبوضع مُعامِل مقداره 2 أمام KOH، يُصبح لدينا ذرَّة K زائدة في طرف المواد الناتجة مُقارنة مع المواد المُتفاعِلة. ويمكننا جعلها موزونة بكتابة مُعامِل مقداره **2** أمام K في طرف المواد المُتفاعِلة.

$$2K + 2H_2O \longrightarrow 2KOH + H_2$$

وهكذا تُصبح هذه المعادلة موزونة. تحقَّق بنفسك من أن أعداد أنواع الذرّات الثلاثة هي نفسها على كلا الطرفَين.

تذكَّر

من المهم أن تتذكّر أنك لا تستطيع تغيير صيَغ المواد عند موازنة المُعادلات، لأنها ثابتة بسبب طبيعة الذرّات وترابطها معًا.

وما يمكنك تغييره عند موازنة أي مُعادَلة هو فقط الأعداد (المُعامِلات) التي تقع قبل الرموز والصيَغ الكيميائية.

أسئلة

٧-١ اكتب المُعادلات اللفظية للتفاعُلات الكيميائية أدناه:

أ. يصدأ الحديد لأنه يتفاعل مع أكسجين الهواء لتكوين مُركَّب يُسمّى أكسيد الحديد (III).

ب. يُعادل هيدروكسيد الصوديوم حمض الكبريتيك لتكوين كبريتات الصوديوم والماء.

ج. يتفاعل الصوديوم بشدّة مع الماء لإنتاج محلول هيدروكسيد الصوديوم وغاز الهيدروجين.

٧-٢ انقل المُعادلات الآتية إلى دفترك، وقم بمُوازنتها:

أ. $Cu + O_2 \longrightarrow \ldots CuO \ldots$

ب. $Na + O_2 \longrightarrow \ldots Na_2O \ldots$

ج. $CH_4 + \ldots O_2 \longrightarrow CO_2 + \ldots H_2O$

د. $Al + \ldots Cl_2 \longrightarrow \ldots AlCl_3 \ldots$

هـ. $\ldots ZnS + \ldots O_2 \longrightarrow \ldots ZnO + \ldots SO_2$

و. $Fe_2O_3 + \ldots CO \longrightarrow \ldots Fe + \ldots CO_2$

٧-٣ اكتُب المُعادلات اللفظية لكل تفاعُل في السؤال ٧–٢.

٧-٢ المزيد عن المُعادَلات الكيميائيّة

رموز الحالة الفيزيائية

إلى الآن، لم تُخبرنا المُعادلات الكيميائية عن الحالة الفيزيائية لكلّ من المواد المُتفاعِلة والمواد الناتجة.

يمكن صياغة المُعادلات الكيميائية بحيث تتضمَّن رُموزًا تُعطينا هذه المعلومات، تُسمّى **رموز الحالة State symbols**. تُبيّن هذه الرموز بوضوح ما الذي سيتكوَّن خلال التفاعل: غاز أم راسب؟ يُظهر الجدول (٧-١) الرموز الأربعة المُستخدَمة في المُعادَلات الكيميائية.

الرمز	المعنى
(s)	مادة صلبة
(l)	مادة سائلة
(g)	غاز
(aq)	محلول مائي؛ مادة ذائبة في الماء

الجدول ٧-١ رموز الحالة المُستخدَمة في المُعادلات الكيميائية

تُبيِّن الأمثلة الآتية كيف يمكن استخدام رموز الحالة. فهي تُظهر بوضوح تكوّن غاز أو مادة راسبة في تفاعُل ما.

هيدروجين + هيدروكسيد البوتاسيوم ⟶ ماء + بوتاسيوم

$$2K(s) + 2H_2O(l) \rightarrow 2KOH(aq) + H_2(g)$$

يتضمّن هذا المثال رموز الحالة الأربعة جميعها. ويمكن مُلاحظة ذلك في الصورة (٧-٤)، حيث يتفاعل البوتاسيوم **الصلب** مع الماء في حالته **السائلة**، فينتج عن ذلك **غاز** الهيدروجين و**محلول مائي** لهيدروكسيد البوتاسيوم. ويكون هذا التفاعُل شديدًا جدًّا بحيث ينصهر البوتاسيوم ويتبخَّر جزء من الماء إلى غاز.

سبق أن تعرَّفنا على تفاعُل التعادُل بين حمض الهيدروكلوريك وهيدروكسيد الصوديوم الذي يتمّ على النحو الآتي:

⟶ هيدروكسيد الصوديوم + حمض الهيدروكلوريك
ماء + كلوريد الصوديوم

حيث يذوب كل من حمض الهيدروكلوريك وهيدروكسيد الصوديوم في الماء، لذلك يأخذ كل منهما رمز الحالة التي تُسمّى **محلولًا مائيًا** (aq). ومن المُتوقَّع أن يكون كلوريد الصوديوم مادة صُلبة لأنه مُركَّب أيوني. ولكن نظرًا لذوبانه في الماء، سيأخذ أيضًا الرمز (aq) على أنه رمز لحالته.

$$HCl(aq) + NaOH(aq) \rightarrow NaCl(aq) + H_2O(l)$$

لاحظ أن هذا المثال يُبيِّن عملية **التعادُل Neutralisation**، وعندما ينتج الماء نفسه في التفاعُل، فإنه سيأخذ الرمز (l) الذي يُشير إلى **الحالة السائلة**، ولن يأخذ الرمز (aq). وفي هذا التفاعُل، تلاحظ أن محلولَين نقيَّين يُخلطان معًا فينتج عن ذلك محلول مائيّ صافٍ، لأن المواد الناتجة تكون ذائبة في الماء.

وتُبيِّن المُعادَلة اللفظية الآتية تفاعُل **ترسيب Precipitation**.

⟶ هيدروكسيد الصوديوم + كبريتات النحاس (II)
كبريتات الصوديوم + هيدروكسيد النحاس (II)

$$CuSO_4(aq) + 2NaOH(aq) \rightarrow Cu(OH)_2(s) + Na_2SO_4(aq)$$

لاحظ في هذ المثال أن المواد المُتفاعِلة أيضًا موجودة في محلول مائي، ولكنها أنتجت **مادة صلبة** هي هيدروكسيد النحاس (II). في هذا التفاعُل، تلاحظ أن خلط المحلولَين الصافيَين نتج عنه مخلوط عكِر بسبب تكوُّن مادة صلبة راسبة.

تذكَّر

قد لا يتضمَّن توصيف التفاعُلات دائمًا الكلمات التي تُحدِّد الحالات الفيزيائية للمادة. وهذه بعض الأمثلة التي توضّح كيف يمكن استنتاج حالة المادة من التوصيف:

- تبخّر، فوران، بخار، أبخرة، تصاعُد غاز: للحالة الغازية.
- انصهار، تكثّف: للحالة السائلة.
- تبلور، ترسيب، مسحوق: للحالة الصلبة.
- ذائبة (في الماء)، تكوّن محلول (في الماء): للمحلول المائي.

يمكن الافتراض أن بعض أنواع المواد تمتلك حالة فيزيائية ومتوقَّعة عند درجة حرارة الغرفة والضغط الجوي:

- جميع الفلزّات، (باستثناء الزئبق) تكون في الحالة الصلبة.
- المواد السائلة (مثلًا: الماء (H_2O) والبروم (Br_2) والزئبق (Hg) والإيثانول (C_2H_5OH)).
- الكثير من الجُزيئات ثُنائية الذرّات والجُزيئات الصغيرة الأخرى تكون في الحالة الغازيّة (مثل O_2، H_2، Cl_2، CO_2).
- أكثر المُركَّبات الأيونية تكون في الحالة الصلبة، ولكن الكثير منها يذوب في الماء. وبالتالي، تكون في حالة المحلول المائي.
- الأحماض والقواعد تُستخدم عادة في حالة المحاليل المائية.

مصطلحات علمية

- **الترسيب Precipitation**: تكوُّن مادّة صلبة عند خلط محلولَيْن معًا، أو عند ضخّ غاز داخل محلول.

المُعادلات الأيونيَّة

تُعدّ المُعادلات الرمزية الموزونة مُفيدة للغاية في تمثيل التفاعُلات. ولكنّنا قد نرغب في تبسيط المعادلة أكثر. فعلى سبيل المثال، رأينا سابقًا في التفاعُل بين محاليل كبريتات النحاس (II) وهيدروكسيد الصوديوم تكوُّن مادة صلبة راسبة من هيدروكسيد النحاس (II)، في حين لم يُلحظ فعليًا تكوُّن كبريتات الصوديوم الأقلّ أهمّية. لذلك نحن في الواقع نهتمّ فقط بما يحدث بين أيونات النحاس (II) وأيونات الهيدروكسيد في المحلول، لأن تلك الأيونات هي فقط اللازمة لإنتاج هيدروكسيد النحاس (II).

وبدلاً من كتابة مُعادَلة رمزية موزونة كاملة، يمكننا ببساطة كتابة مُعادَلة تُظهِر فقط التفاعُل بين الأيونات الذي يؤدّي إلى تكوُّن المادة الراسبة:

$$Cu^{2+}(aq) + 2OH^-(aq) \rightarrow Cu(OH)_2(s)$$

تُعرف هذه المُعادَلة باسم **المُعادَلة الأيونية الصافية Net ionic equation** لأنها توضِّح فقط الأيونات المُشارِكة في التفاعُل. فالمُعادَلة الأيونية تدع الأيونات التي لا تشارك في التفاعل المُهم جانبًا (أي أيونات الصوديوم والكبريتات)؛ وتُعرف هذه الأيونات باسم **الأيونات المُتفرِّجة Spectator ions**. وتُعدّ المُعادلات الأيونية مُفيدة ولا سيّما في تمثيل تفاعُلات تُغيِّر خلالها بعض الأيونات فقط حالتها عبر تغيير ترابُطها أو حالتها الفيزيائية (من محلول مائي إلى صلبة، مثلًا).

يمكننا كتابة المُعادَلات الأيونية من خلال الملاحظة الدقيقة لمُعادلة رمزية موزونة. فالمُعادلة التي رأيناها، لتعادُل حمض الهيدروكلوريك مع محلول هيدروكسيد الصوديوم هي الآتية:

$$HCl(aq) + NaOH(aq) \rightarrow NaCl(aq) + H_2O(l)$$

نكتب أوَّلًا صيَغ جميع الأيونات الموجودة، لنحصل على المُعادلة الأيونية، كما يأتي:

$$[H^+(aq) + Cl^-(aq)] + [Na^+(aq) + OH^-(aq)] \rightarrow$$
$$[Na^+(aq) + Cl^-(aq)] + H_2O(l)$$

لاحظ أن الماء مُركَّب تساهُمي سائل، وليس محلولًا مائيًّا، وبالتالي فإنه لن يتجزّأ إلى أيونات.

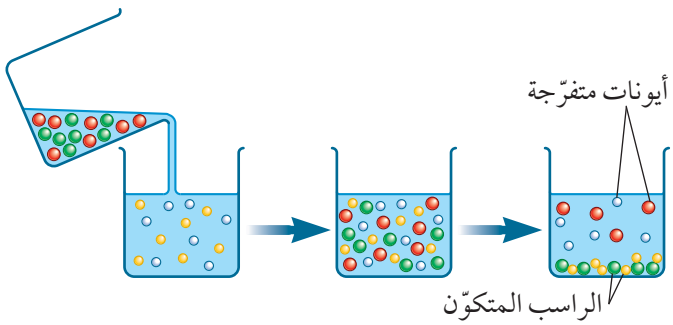
ويُبيِّن استخدام رموز الحالة الفيزيائية بشكل واضح الأيونات التي لم تتغيّر خلال التفاعُل. تُعدّ هذه الأيونات أيونات مُتفرِّجة ويمكن استبعادها من المُعادَلة، لأنها غير مُشارِكة. ويمكننا بالتالي شطبها حيث إنها تظهر مُتماثِلة على طرفَي المُعادَلة، كما يأتي:

$$[H^+(aq) + \cancel{Cl^-(aq)}] + [\cancel{Na^+(aq)} + OH^-(aq)] \rightarrow$$
$$[\cancel{Na^+(aq) + Cl^-(aq)}] + H_2O(l)$$

وبالتالي نحصل على **المُعادلة الأيونيَّة الصافية** لتفاعُل التعادُل هذا:

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

يُزوّدنا تطبيق المبادئ نفسها على تفاعُل الترسيب بصورة واضحة للأيونات التي تتفاعل (الشكل ٧-٢).



الشكل ٧-٢ في تفاعُل الترسيب يُخلط محلولان يحتويان على أيونات يتفاعل بعضها لتكوين مادة راسبة

تُكتب المُعادَلة الموزونة لترسيب هيدروكسيد النحاس (II)، التي رأيناها، على النحو الآتي:

$$CuSO_4(aq) + 2NaOH(aq) \rightarrow Cu(OH)_2(s) + Na_2SO_4(aq)$$

وعند كتابة رموز أو صيَغ جميع الأيونات الموجودة، نحصل على المُعادلة الأيونية، كما يأتي:

$$[Cu^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq)] + [2Na^+(aq) + 2OH^-(aq)] \rightarrow$$
$$Cu(OH)_2(s) + [2Na^+(aq) + SO_4^{2-}(aq)]$$

وبعد تحديد الأيونات المُتفرِّجة يمكن شطبها كما يأتي:

$$[Cu^{2+}(aq) + \cancel{SO_4^{2-}(aq)}] + \cancel{[2Na^+(aq)}] + 2OH^-(aq)] \rightarrow$$
$$Cu(OH)_2(s) + [\cancel{2Na^+(aq)} + \cancel{SO_4^{2-}(aq)}]$$

لاحظ أنَّه على الرغم من أن الموادّ المُتفاعِلة والمواد الناتجة جميعها، هي مُركَّبات أيونية، فإن المحاليل المائيَّة فقط تكون أيوناتها منفصلة بعضها عن بعض. فهيدروكسيد النحاس (II) مادة صلبة لا تذوب في الماء، لأن أيوناتها مُتجاذِبة بشدة، لذا، لا يمكن فصلها إلى أيونات حرّة. ومرَّة أخرى، إذا شُطبت الأيونات التي لم تشارك في التفاعُل، فإننا نحصل على المُعادلة الأيونية الصافية الآتية:

$$Cu^{2+}(aq) + 2OH^-(aq) \rightarrow Cu(OH)_2(s)$$

هذه هي المعادلة الأيونية الصافية لترسيب هيدروكسيد النحاس (II) التي رأيناها سابقًا؛ أما الأيونات المُتفرِّجة (أيونات الكبريتات والصوديوم) فقد استُبعِدت. توضِّح هذه المُعادَلة أهمِّية رموز الحالة الفيزيائية. ذلك أن استخدام (s) يُمكِّننا من القول إن هذه المُعادلة تُظهِر أن راسبًا قد تكوّن.

أسئلة

٤-٧ مُستخدِمًا وصف كل تفاعُل، أضف رموز الحالة الفيزيائية إلى المُعادلات الآتية:

أ. يتفاعل هيدروكسيد الكالسيوم الصلب مع كلوريد الأمونيوم الصلب، لإنتاج كلوريد الكالسيوم الصلب وغاز الأمونيا وبخار الماء:

$$Ca(OH)_2(...) + 2NH_4Cl(..) \rightarrow$$
$$CaCl_2(...) + 2NH_3(...) + 2H_2O(...)$$

ب. يتفاعل فلزّ الصوديوم مع الماء، لتكوين محلول هيدروكسيد الصوديوم وغاز الهيدروجين:

$$2Na\ (...) + 2H_2O(...) \rightarrow 2NaOH(...) + H_2(...)$$

ج. يذوب مسحوق كربونات الكالسيوم في حمض الهيدروكلوريك، فيحدث أثناء التفاعُل فوران، ويبقى في النهاية محلول عديم اللون:

$$CaCO_3(...) + 2HCl(...) \rightarrow$$
$$CaCl_2(...) + CO_2(...) + H_2O(...)$$

٥-٧ لكلّ من المُعادلات الكيميائية الآتية، اكتُب:

١. المُعادَلة الأيونية.

٢. المُعادَلة الأيونية الصافية.

أ.
$$BaCl_2(aq) + MgSO_4(aq) \rightarrow$$
$$MgCl_2(aq) + BaSO_4(s)$$

ب.
$$FeCl_3(aq) + 3KOH(aq) \rightarrow$$
$$3KCl(aq) + Fe(OH)_3(s)$$

ج.
$$Na_2CO_3(aq) + 2HCl(aq) \rightarrow$$
$$2NaCl(aq) + CO_2(g) + H_2O(l)$$

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- تمثيل التغيُّرات التي تحدث في تفاعُل كيميائي باستخدام المُعادلات اللفظية والمُعادلات الرمزية الموزونة.
- يمكن جعل المُعادلات الكيميائية تقدِّم مزيدًا من المعلومات عبر تضمينها رموز الحالة الفيزيائية.
- يمكن تبسيط مُعادلات التفاعُلات التي تحتوي على أيونات، بحيث تتضمَّن فقط الأيونات التي تُشارِك فعليًّا في التفاعُل.

أسئلة نهاية الوحدة

١ اكتب المُعادلات اللفظية للتفاعُلات أدناه:

أ. يُعادل أكسيد الماغنيسيوم محلول حمض الكبريتيك لتكوين محلول كبريتات الماغنيسيوم والماء.

ب. يحترق فلزّ النحاس في أكسجين الهواء، لتكوين مُركَّب يُسمّى أكسيد النحاس (II).

ج. يتفاعل فلزّ الكالسيوم بشدّة مع الماء، وينتج عن ذلك محلول هيدروكسيد الكالسيوم وغاز الهيدروجين.

٢ اكتب المُعادَلات الرمزية الموزونة للتفاعُلات الواردة في السؤال رقم ١.

٣ اكتب رموز الحالة الفيزيائية للمواد في المُعادلات الرمزية الموزونة التي كتبتها في السؤال ٢.

٤ **أ.** يُطلق على الوقود المُتجدِّد، الذي يمكن استخدامه لتشغيل السيّارات، تسمية «الإيثانول الحيوي». وهو يحترق داخل مُحرِّك السيارة.

وازن المعادلة الرمزية الآتية لتلخيص هذا التفاعُل.

$$\ldots\ldots C_2H_5OH + \ldots\ldots O_2 \rightarrow \ldots\ldots CO_2 + \ldots\ldots H_2O$$

ب. الشمع مُركَّب هيدروكربوني صلب عند درجة حرارة الغرفة. اكتب رموز الحالة الفيزيائية في المُعادَلة الموزونة أدناه لتلخيص التفاعُل الذي يحدث عند احتراق شمعة .

$$C_{31}H_{64}\ldots\ldots + 47O_2\ldots\ldots \rightarrow 31CO_2\ldots\ldots + 32H_2O\ldots\ldots$$

٥ عندما يُخلط محلول نترات الفضَّة ($AgNO_3$) مع محلول كلوريد الصوديوم (NaCl)، تتكوّن مادة صلبة بيضاء اللون، هي كلوريد الفضَّة.

أ. استخلص اسم المادة الناتجة الذائبة في المحلول.

ب. يتفاعل يوديد الصوديوم بالطريقة نفسها، ولكنه يُنتج مادة صلبة صفراء اللون. اكتب رموز الحالة الفيزيائية في المُعادلة الرمزية الموزونة أدناه.

$$AgNO_3\ldots\ldots + NaI\ldots\ldots \rightarrow AgI\ldots\ldots + NaNO_3\ldots\ldots$$

ج. يتفاعل بروميد الصوديوم بالطريقة نفسها أيضًا، ولكنه يُنتج مادة صلبة لونها أبيض حليبي. مُعادلة التفاعُل الرمزية الموزونة هي:

$$AgNO_3(aq) + NaBr(aq) \rightarrow AgBr(s) + NaNO_3(aq)$$

استنتج المُعادلة الأيونية الصافية الموزونة لهذا التفاعُل.

الوحدة الثامنة

تكوين الأملاح
Making Salts

تُغطّي هذه الوحدة:

- تفاعُلات تكوين الأملاح:
  - تفاعُلات الأحماض مع القواعد
  - تفاعُلات الأحماض مع الفلزّات
  - تفاعُلات الأحماض مع الكربونات
  - تفاعُلات القواعد مع مُركبات الأمونيوم
- تحضير أملاح ذائبة في الماء.
- تحضير أملاح غير ذائبة في الماء باستخدام الترسيب.
- اختيار الطريقة المناسبة لتحضير ملح مُحدَّد.

٨-١ تفاعُلات تكوين الأملاح

تفاعُلات الأحماض

درست في الوحدة السادسة أن تفاعُلات التعادُل هي من أهم تفاعُلات الأحماض، وهي تلك التي يتفاعل فيها حمض مع قاعدة (أو مادة قلوية)، وهناك تفاعُلات كيميائية أخرى تُشارك بها الأحماض، وهي تفاعُلها مع:

- الأكاسيد القاعدية والمُتذبذِبة.
- الفلزّات النشطة، مثل الماغنيسيوم أو الخارصين.
- كربونات الفلزّات (أو الكربونات الهيدروجينية للفلزّات).

وتتميّز التفاعُلات السابقة جميعها في أنها تُنتِج مواد ذات خصائص مُشتركة، وتحمل اسمًا مُشتركًا، وهو **الملح Salt**.

نستخدم كلمة «الملح» عادة للدلالة على «ملح الطعام» أي كلوريد الصوديوم. فهو الملح الذي نضيفه إلى طعامنا، وهو ملح البحر، الذي استُخدم عبر العصور لحفظ الطعام. لكن في الكيمياء، تمتلك هذه الكلمة معنى أكثر شمولية.

مصطلحات علمية

- **الملح Salt:** مُركَّب يتكوَّن عندما يحلّ فلزّ محلّ الهيدروجين في الحمض.

تفاعُل الأحماض مع القواعد

تتفاعل الأحماض مع القواعد (أو القلويات) وفقًا للمُعادلة الآتية:

ماء + ملح ⟶ حمض + قاعدة

ويعتمد الملح الناتج عن هذا التفاعُل على طبيعة المواد المُتفاعِلة. فمثلًا يتكوّن ملح كلوريد الصوديوم وفقًا للمُعادَلة اللفظية الآتية:

⟶ حمض الهيدروكلوريك + هيدروكسيد الصوديوم

ماء + كلوريد الصوديوم

والتي يمكن كتابتها وفقًا للمُعادَلة الرمزية الموزونة الآتية:

$$NaOH(aq) + HCl(aq) \rightarrow NaCl(aq) + H_2O(l)$$

وتُكتب المُعادلة الأيونية لهذا التفاعُل على النحو الآتي:

$$Na^+(aq) + OH^-(aq) + H^+(aq) + Cl^-(aq) \rightarrow$$
$$Na^+(aq) + Cl^-(aq) + H_2O(l)$$

ويمكن أن يُكتَب التفاعُل الذي يحدث بين أيّ حمض وأي مادة قلوية كمُعادلة أيونية صافية على النحو الآتي:

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

أيون الهيدروجين (في الماء)	أيون الهيدروكسيد (في الماء)	ماء

ويُبيِّن الجدول (٨-١) أمثلة أخرى على أملاح متكوّنة من تفاعُلات مختلفة بين أحماض وقواعد.

يعتمد الملح المُتكوِّن دائمًا على الحمض، بحيث:

- يَنتُج ملح الكلوريد من حمض الهيدروكلوريك.
- يَنتُج ملح الكبريتات من حمض الكبريتيك.
- ينتُج ملح النترات من حمض النيتريك.

تذكّر

من المهم أن تدرك مصدر الشقَّين المُكوِّنَين للملح؛ لأن ذلك يُساعدك على توقُّع الملح الذي ستحصل عليه من تفاعُل يتضمّن حمضًا وقاعدة. فبلّورات كلوريد الصوديوم تنتج من مُعادلة حمض الهيدروكلوريك بمحلول هيدروكسيد الصوديوم. مثلًا:

NaCl

يأتي الشق اللافلزّي من الحمض — حمض الهيدروكلوريك

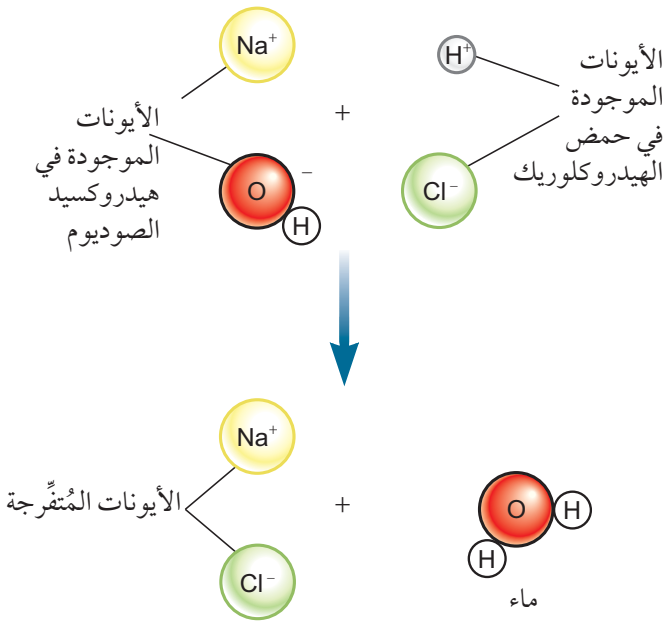
يأتي الشق الفلزّي من القاعدة أو المادة القلوية — هيدروكسيد الصوديوم

القاعدة	الملح المُتكوِّن مع ...		
	حمض الهيدروكلوريك (HCl)	حمض الكبريتيك (H_2SO_4)	حمض النيتريك (HNO_3)
هيدروكسيد الصوديوم (NaOH)	كلوريد الصوديوم، NaCl	كبريتات الصوديوم، Na_2SO_4	نترات الصوديوم، $NaNO_3$
هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH)	كلوريد البوتاسيوم، KCl	كبريتات البوتاسيوم، K_2SO_4	نترات البوتاسيوم، KNO_3
أكسيد الماغنيسيوم (MgO)	كلوريد الماغنيسيوم، $MgCl_2$	كبريتات الماغنيسيوم، $MgSO_4$	نترات الماغنيسيوم، $Mg(NO_3)_2$
أكسيد النحاس (II) (CuO)	كلوريد النحاس (II)، $CuCl_2$	كبريتات النحاس (II)، $CuSO_4$	نترات النحاس (II)، $Cu(NO_3)_2$

الجدول ٨-١ أمثلة على تكوين الأملاح

وتبقى الأيونات المُتفرِّجة (أيونات الكلوريد والصوديوم) في المحلول، مُنتجةً محلول كلوريد الصوديوم (الشكل ٨-١).

وقد يتبلْوَر الملح في المحلول، إذا تبخّر بعض الماء.



الشكل ٨-١ تفاعُل حمض الهيدروكلوريك مع هيدروكسيد الصوديوم

تفاعُل الأحماض مع الفلزّات

يمكن استخدام الفلزّات مُتوسِّطة النشاط (الماغنيسيوم أو الخارصين على سبيل المثال) لإزاحة الهيدروجين من الحمض بشكل آمن. فيتصاعد الهيدروجين على شكل غاز، (الصورة ٨-١). أما الملح المُتكوِّن، فيعتمد على طبيعة الفلزّ والحمض المستخدمَين؛ وتُكتب مُعادلة التفاعُل على النحو الآتي:

هيدروجين + ملح ⟶ حمض + فلز

يتفاعل الماغنيسيوم مع حمض الكبريتيك على النحو الآتي:

⟶ حمض الكبريتيك + ماغنيسيوم

هيدروجين + كبريتات الماغنيسيوم

$$Mg(s) + H_2SO_4(aq) \rightarrow MgSO_4(aq) + H_2(g)$$

ويتفاعل الخارصين مع حمض الهيدروكلوريك على النحو الآتي:

⟶ حمض الهيدروكلوريك + خارصين

هيدروجين + كلوريد الخارصين

$$Zn(s) + 2HCl(aq) \rightarrow ZnCl_2(aq) + H_2(g)$$

الصورة ٨-١ تفاعُل حمض الهيدروكلوريك مع (أ) شريط ماغنيسيوم (ب) مع حُبيبات الخارصين، مُنتجًا غاز الهيدروجين

ولكتابة المُعادلة الأيونية في هذه الحالة، نفصل الأيونات بعضها عن بعض، ثم نحذف الأيونات المُتفرّجة التي تظهر على كلا الطرفَين:

$$Zn(s) + [2H^+(aq) + \cancel{2Cl^-(aq)}] \rightarrow$$

$$[Zn^{2+}(aq) + \cancel{2Cl^-(aq)}] + H_2(g)$$

وبعد حذف الأيونات المُتفرِّجة تُصبح المُعادَلة الأيونية الصافية كما يأتي:

$$Zn(s) + 2H^+(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + H_2(g)$$

!

تعتمد شدَّة تفاعُل الفلزّات مع الأحماض على طبيعة الفلزّات. فالفلزّات القلوية تتفاعل بشدَّة مع الأحماض، ويجب تفادي استخدامها قدر الإمكان. بالمُقابِل، يوجد عدد من الفلزّات، قليلة النشاط، وهي لا تتفاعَل مع الأحماض المُخفَّفة عند درجة حرارة الغرفة؛ نذكر منها النحاس والفضّة والذهب والبلاتين؛ وتُعرَف هذه الفلزّات بالمعادن الثمينة وتُستخدم في صناعة المجوهرات، ذلك أنها فلزّات مُقاوِمة لعمليات الأكسدة.

تفاعُل الأحماض مع الكربونات

تتفاعل الأحماض مع الكربونات وتُطلِق غاز ثاني أكسيد الكربون. وربّما لاحظت أن هذا التفاعُل يحدث مع الأقراص الفوّارة المُضادَّة للحموضة. وتكون النتيجة مُعادلة الحمض، وإنتاج ملح على النحو الآتي:

كربونات الفلزّ + حمض ⟶

ثاني أكسيد الكربون + ماء + ملح

تعتمد الطريقة المخبرية لتحضير ثاني أكسيد الكربون على هذا التفاعُل. حيث يتفاعل حمض الهيدروكلوريك المُخفَّف مع قطع الرخام (كربونات الكالسيوم) على النحو الآتي:

كربونات الكالسيوم + حمض الهيدروكلوريك ⟶

ثاني أكسيد الكربون + ماء + كلوريد الكالسيوم

(ويُبيّن المثال ٨-١ كيفية كتابة المُعادلة الرمزية الموزونة والمُعادلة الأيونية لهذا التفاعُل)

مثال ٨-١

اكتب المُعادلة الموزونة، مُتضمِّنة رموز الحالة الفيزيائية، للتفاعُل بين حمض الهيدروكلوريك وكربونات الكالسيوم، ثم اكتب المُعادلة الأيونية الصافية له.

الخطوة ١: تأكَّد من أنك تعرف نوع التفاعُل الذي يحدث. ففي هذا المثال نعرف أن الحمض يتفاعل مع كربونات الفلزّ، وينتج عنه ملح وماء وثاني أكسيد الكربون.

الخطوة ٢: اكتب المُعادلة اللفظية:

كربونات الكالسيوم + حمض الهيدروكلوريك ⟶

ثاني أكسيد الكربون + ماء + كلوريد الكالسيوم

الخطوة ٣: اكتب المُعادلة الرمزية باستخدام الصيَغ الكيميائية للمُركَّبات:

$$HCl + CaCO_3 \rightarrow CaCl_2 + H_2O + CO_2$$

تأكَّد من أنك تعرف الصيَغ الكيميائية لكل من حمض الهيدروكلوريك، وكربونات الكالسيوم، والماء، وثاني أكسيد الكربون.

يمكن كتابة الصيغة الكيميائية لكلوريد الكالسيوم من الشحنات التي تحملها الأيونات الموجودة (مثلًا، يحتاج أيون Ca^{2+} إلى أيونَين اثنَين Cl^- لمُعادلة الشحنة، لذا تكون صيغته $CaCl_2$)

الخطوة ٤: وازن المُعادَلة الكيميائية:

تُبيِّن المُعادَلة غير الموزونة وجود ذرَّتَي Cl في $CaCl_2$، وذرَّتَي H في H_2O في المواد الناتجة، في حين أن هناك ذرَّة H واحدة، وذرَّة Cl واحدة في المادة المُتفاعِلة HCl. لذلك، لكي نُوازن المُعادَلة الكيميائية، نحتاج إلى جُزيئَين اثنَين من حمض الهيدروكلوريك، ويتم ذلك بإضافة المُعامِل 2 قبل المادة المُتفاعِلة HCl.

$$2HCl + CaCO_3 \rightarrow CaCl_2 + H_2O + CO_2$$

الخطوة ٥: أضف رموز الحالة الفيزيائية:

عليك أن تتذكَّر أن حمض الهيدروكلوريك هو محلول مائي (aq)، وأن الماء سائل (l)، وأن ثاني أكسيد الكربون غاز (g) عند درجة حرارة الغرفة والضغط الجوّي، وأن المُركَّبات الأيونية تكون دائمًا صلبة، ولكن بعضها يذوب في الماء. وفي هذه الحالة، يكون $CaCO_3$ صلبًا (s)، بينما يكون $CaCl_2$ ملحًا ذائبًا في الماء (aq).

$$2HCl(aq) + CaCO_3(s) \rightarrow CaCl_2(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$$

ولكتابة المُعادَلة الأيونية الصافية، يتمّ شطب الأيونات المُتفرِّجة:

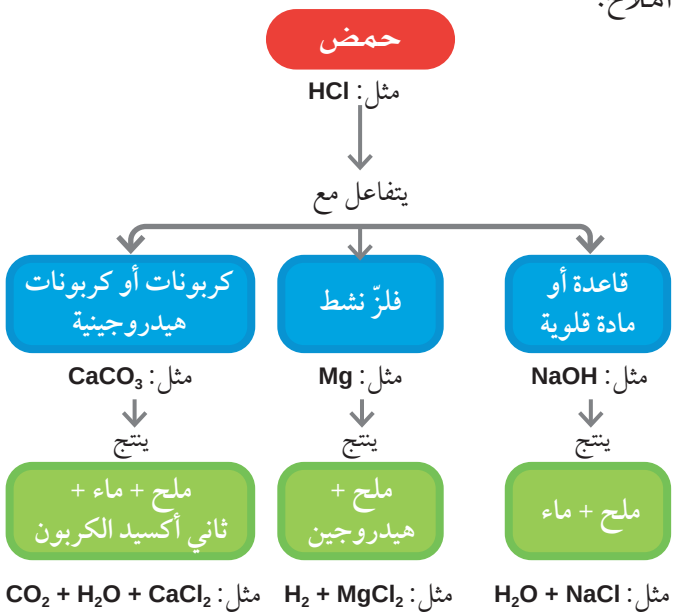
$$[2H^+(aq) + \cancel{2Cl^-(aq)}] + CaCO_3(s) \rightarrow$$

$$Ca^{2+}(aq) + \cancel{2Cl^-(aq)} + H_2O(l) + CO_2(g)$$

فنحصل على المُعادَلة الآتية:

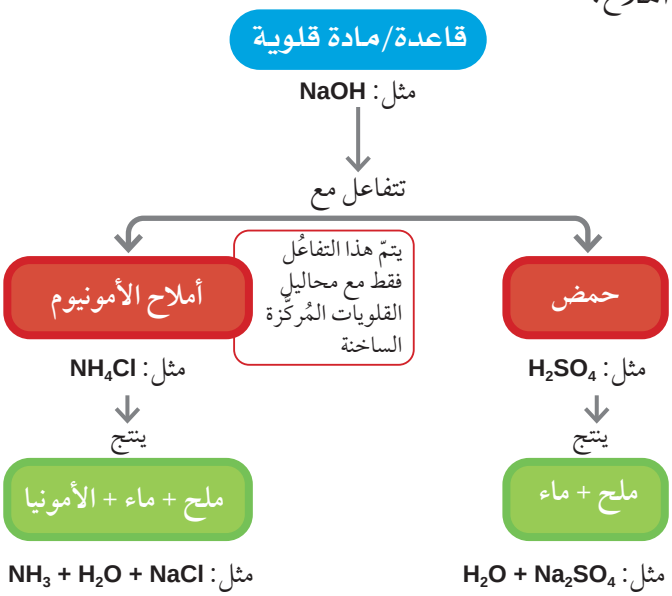
$$2H^+(aq) + CaCO_3(s) \rightarrow Ca^{2+}(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$$

يُلخّص الشكل (٨-٢) تفاعُلات الأحماض المُؤدِّية إلى تكوُّن أملاح.



الشكل ٨-٢ مُخطَّط يبيّن تفاعُلات الأحماض المُؤدّية إلى تكوين أملاح

يُلخّص الشكل (٨-٣) تفاعُلات القواعد المُؤدّية إلى تكوُّن أملاح.



الشكل ٨-٣ مُخطَّط يُبيّن بعض تفاعُلات القواعد المُؤدّية إلى تكوين أملاح

تفاعُلات القواعد

كما لاحظنا سابقًا، فإن القواعد والقلويات جميعها قد تُشارك في تفاعُلات التعادُل مع الأحماض. ولكن هل من تفاعُلات أُخرى مُميَّزة لهذه المواد؟

لقد سبق أن درست في الوحدة السادسة، أن محاليل القلويات المُركّزة تتفاعل مع الأكاسيد المُتذبذِبة لتُنتِج ملحًا وماء أيضًا.

ومن التفاعُلات المُميَّزة التي يمكن تنفيذها بسهولة في المُختبر تفاعُل قاعدة قوية وأحد مُركّبات الأمونيوم. فمُركّب الأمونيوم هو مُركّب أيوني يحتوي على أيونات الأمونيوم NH_4^+. وتتفاعل القواعد القوية الصلبة أو محاليل القلويات مع مُركّبات الأمونيوم لإنتاج ملح وماء، وغاز الأمونيا. فمثلًا، يتفاعل هيدروكسيد الكالسيوم مع كلوريد الأمونيوم وفقًا للمُعادلة اللفظية وللمُعادلة الرمزية الموزونة أدناه:

كلوريد الأمونيوم + هيدروكسيد الكالسيوم $\xrightarrow{\text{حرارة}}$ أمونيا + ماء + كلوريد الكالسيوم

$$Ca(OH)_2(s) + 2NH_4Cl(s) \xrightarrow{\text{حرارة}} CaCl_2(s) + H_2O(g) + 2NH_3(g)$$

نستنتج من ذلك أن تفاعُل أيّ من مُركّبات الأمونيوم مع قاعدة قوية يؤدّي إلى إنتاج غاز الأمونيا (إزاحة الأمونيا).

أسئلة

٨-١ اكتب المُعادلات اللفظية لتفاعُل كل من:
- **أ.** الخارصين مع حمض الكبريتيك
- **ب.** الماغنيسيوم مع حمض الهيدروكلوريك
- **ج.** هيدوركسيد البوتاسيوم مع حمض الهيدروكلوريك
- **د.** أكسيد الكالسيوم مع حمض الكبريتيك
- **هـ.** كربونات الصوديوم مع حمض الهيدروكلوريك
- **و.** كربونات النحاس (II) مع حمض النيتريك

٨-٢ اكتب المُعادلات الكيميائية الموزونة للتفاعُلات المذكورة في السؤال ٨-١.

٨-٣ اكتب المُعادَلة اللفظية لتفاعُل هيدروكسيد الصوديوم مع كلوريد الأمونيوم.

٨-٤ اكتب المُعادلة الكيميائية الموزونة للتفاعُل المذكور في السؤال ٨-٣.

٨-٥ إذا استُخدم هيدروكسيد الماغنيسيوم بدلًا من هيدروكسيد الصوديوم، فلن تتمّ إزاحة الأمونيا من كلوريد الأمونيوم. ماذا تُخبرك هذه المُلاحظة عن ترتيب قوة الهيدروكسيدات وتدرُّجها كقواعد؟

٨-٢ الأملاح

أهمّية الأملاح

يُعدّ ملح كلوريد الصوديوم أساسيًّا وضروريًّا للحياة، وهو مادّة أوّلية مُهمَّة في الصناعة. وعلى المستوى الحيوي، يؤدّي وظائف كثيرة: فهو يُشارك في تقلُّص العضلات، ويسمح بتوصيل النبضات العصبية في الجهاز العصبي، ويتحوّل إلى حمض الهيدروكلوريك الذي يُسهِّل عملية الهضم في المعدة. وعندما نتعرّق، فإننا نفقد الماء وكلوريد الصوديوم. ويُؤدّي فقدان الكثير من الملح أثناء ممارسة الرياضة والتمارين البدنية إلى الإصابة بالتشنُّج العضلي.

يمكن الحصول على الأملاح عن طريق التعدين أو بإنتاجها صناعيًّا. وسنشرح هنا بعض طرائق تحضير الأملاح في المُختبر والتي تعتمد على سؤال أساسي وهو: هل الملح الذي تسعى إلى تحضيره ذائب أم غير ذائب في الماء.

تحضير الأملاح الذائبة

يمكن الحصول على الأملاح الذائبة من حمض مُعيّن، باستخدام أيّ من التفاعُلات الثلاثة المُميَّزة للأحماض التي تمّ توضيحها في الشكل (٨-٢).

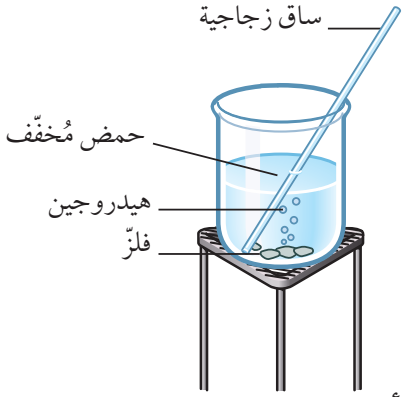
الطريقة أ - حمض مع فلزّ صلب، أو قاعدة، أو كربونات

يمكن استخدام هذه الطريقة مع مواد صلبة (فلزّ، أو قاعدة أو كربونات)، ويتمّ الحصول على بلّورات الملح الناتج باتِّباع الخطوات الآتية:

- **الخطوة ١:** يُضاف **فائض** (أكثر من الحاجة) من المادة الصلبة إلى الحمض (لضمان استهلاك الحمض كلّيًّا) ويُترك لكي يتفاعل. فإذا لم يُستهلك الحمض في هذه المرحلة، فإنه سيصبح أكثر تركيزًا عند تبخُّر الماء لاحقًا (الخطوة ٣).
- **الخطوة ٢:** تُرشّح المادة الصلبة الفائضة.
- **الخطوة ٣:** تُبخّر الرُّشاحة بتأنٍّ لتركيز محلول الملح. ويمكن إجراء ذلك باستخدام حمّام مائي ساخن كما في الشكل (٨-٤)، أو حمّام رملي موضوع فوق موقد بنزن، كما توضِّحه الصورة (٨-٢).
- **الخطوة ٤:** عندما تُصبح رؤية البلّورات مُمكنة (نقطة التبلور)، نُوقف التسخين، ويُترك المحلول المُركّز ليبرد كي تتكوّن البلّورات، ثم تُرشح البلّورات وتُغسَل بقليل من الماء المُقطَّر (البارد)، ثم تُجفَّف بعناية بين ورقتَي ترشيح.

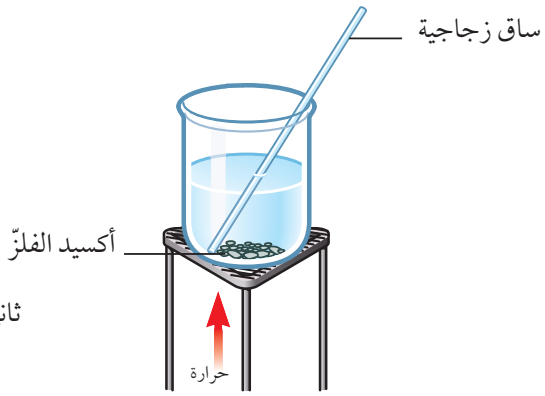
الصورة ٨-٢ استخدام حمّام رملي لتبخير الماء للحصول على بلورات الملح

الخطوة ١



(أ)

سخّن الحمض، أطفئ موقد بنزن. أضف فائضًا من الفلزّ إلى الحمض، وانتظر حتّى يتوقّف تكوُّن الهيدروجين



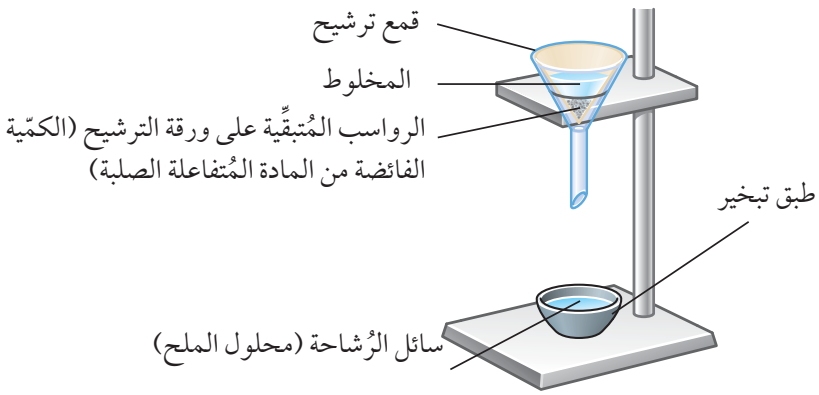
(ب)

أضف فائضًا من أكسيد (أو هيدروكسيد) الفلزّ إلى الحمض وانتظر حتى يتوقّف المحلول عن تغيير لون ورقة تبّاع الشمس الأزرق إلى الأحمر

(ج)

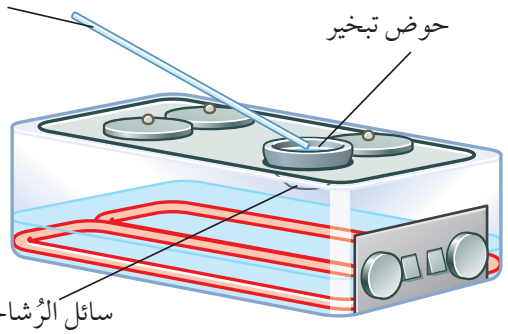
أضف فائضًا من كربونات الفلزّ إلى الحمض، وانتظر حتى يتوقّف تكوّن ثاني أكسيد الكربون

الخطوة ٢



الخطوة ٣

تُغمس الساق الزجاجية في المحلول عدَّة مرّات، ثم يتمّ إخراجها وتُترك لتبرد؛ وعندما نلاحظ تكوُّن بلّورات صغيرة على الساق، يكون المحلول قد أصبح جاهزًا لإخراجه من الحمّام المائي



الخطوة ٤

تتكوَّن البلّورات عندما يبرد المحلول ، رشِّحها، واغسلها، ثم جفّفها

الشكل ٨-٤ خطوات تحضير ملح ذائب في الماء

نشاط ٨-١

تحضير بلّورات كبريتات النحاس (II)

المهارات:

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

يشمل هذا النشاط التقنيات المستخدمة لتحضير ملح يذوب في الماء (الشكل ٨-٤).

⚠ **ضع النظّارة الواقية لحماية عينَيك.**
- **ارتدِ معطف المختبر.**
- **اغسل يديك جيّدًا عند انتهاء التجربة.**
- **لاحظ أن حمض الكبريتيك مادّة مُهيّجة مع التركيز المُستخدَم في هذا النشاط.**

الطريقة

١ ضع 15 mL من حمض الكبريتيك (تركيزه 0.2 mol/L) في أنبوبة تسخين.
٢ ضع الأنبوبة في كأس زجاجية بها ماء مغليّ حتّى مُنتصفها.
٣ زن ما بين 0.3 g و 0.5 g من أكسيد النحاس (II).
٤ أضف نصف كمّية أكسيد النحاس (II) إلى الحمض الموجود في أنبوبة التسخين. ثم رجّ الأنبوبة، وأعدها إلى الحمّام المائي الساخن.
٥ بعد ذوبان المادة الصلبة، أضف الكمّية الباقية من أكسيد النحاس (II).
٦ اترك الأنبوبة في الماء الساخن مُدّة خمس دقائق إضافية، واحرص على إخراجها من حين إلى آخر لرجّها.
٧ رشّح المادة الصلبة غير المُتفاعلة، واجمع المحلول الأزرق الصافي في دورق مخروطي سعته 100 mL. ويمكن استخدام ورقة ترشيح مُتعرِّجة لتسريع عملية الترشيح.
٨ اغلِ المحلول من دقيقتَين إلى ثلاث دقائق.
٩ صبَّ المحلول الساخن في طبق نظيف وجاف.
١٠ اترك الطبق في مكان آمن ودافئ لمُدّة أسبوع وراقب البلّورات التي تكوّنت.

أسئلة

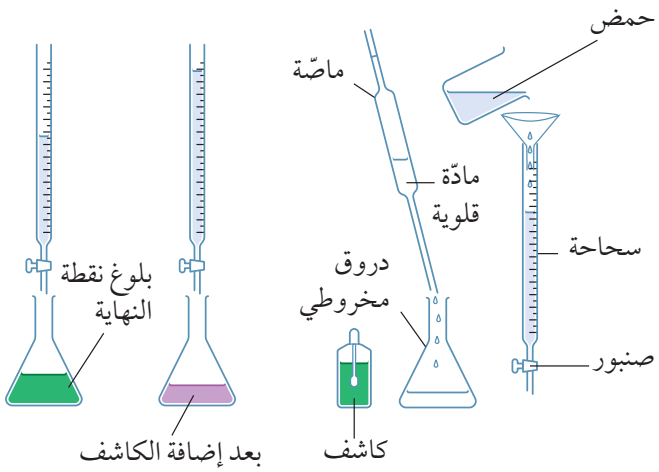
١ اكتب المُعادلتَين الكيميائيَّتين اللفظية والرمزية للتفاعُل الذي يحدث.
٢ ماذا تستنتج، من بقاء بعض المادة الصلبة غير المُتفاعِلة بعد انتهاء التفاعل.

الطريقة ب - حمض مع مادة قلوية باستخدام عملية المُعايرة

تتضمّن الطريقة ب (**طريقة المُعايرَة Titration**) مُعادَلة حمض مع مادة قلوية (مثل هيدروكسيد الصوديوم)، أو كربونات ذائبة (مثل كربونات الصوديوم). وبما أنَّ المواد المُتفاعِلة والمواد الناتجة تكون عديمة اللون، يُستخدم كاشف لتحديد نقطة التعادُل أو **نقطة النهاية End-point** (النقطة التي يتغيَّر عندها لون الكاشف حيث تتمّ مُعادلة كلّ كمّية المادة القلوية).

تُقسم هذه الطريقة إلى ثلاث مراحل (الشكل ٨-٥).

- **المرحلة ١:** يُصبّ محلول الحمض في السحاحة التي تُستخدم لقياس حجم المحلول المُضاف بدقّة. ويُوضع حجم مُحدَّد ومعروف من المحلول القلوي في دورق مخروطي باستخدام ماصّة؛ لأن الماصّة تعطي حجمًا مُحدَّدًا بدقّة. وتُضاف بضع نقاط من كاشف (مثل، الثايمول فثالين، أو الميثيل البرتقالي، (الشكل ٨-٦)) إلى الدورق.



المرحلة ١: يتمّ ملء السحاحة بالحمض، وإضافة حجم معلوم من المادة القلوية إلى الدورق المخروطي.

المرحلة ٢: يُضاف الحمض إلى المادة القلوية حتى بلوغ نقطة النهاية.

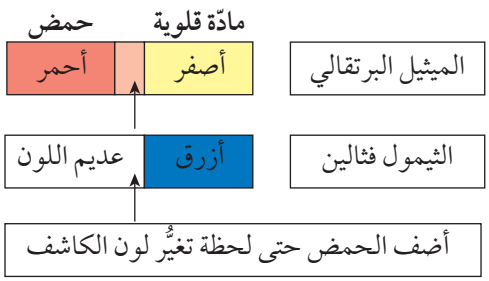
المرحلة ٣: يتمّ تبخير المحلول (بدون كاشف)، وبَلْوَرة الملح كما في الطريقة أ.

الشكل ٨-٥ الطريقة ب (طريقة المُعايرة) لتحضير ملح ذائب

- **المرحلة ٢:** يُضاف من السحاحة محلول الحمض بتأنٍّ إلى الدورق، حتى لحظة تغيُّر لون الكاشف. ومع بلوغ نقطة نهاية التفاعُل، يُسجّل حجم الحمض المُضاف إلى الدورق. تُكرَّر التجربة من دون استخدام الكاشف، باستخدام الحجم نفسه من المحلول القلوي في الدورق، وإضافة الحجم نفسه من محلول الحمض الذي سُجِّل في التجربة الأولى إلى الدورق. وكحلّ بديل، يمكن إضافة فحم نشط، إلى المخلوط بعد انتهاء التفاعُل، لإزالة الكاشف المُلوَّن. وبعد ذلك يمكن ترشيح الفحم النشط.

(أ)

(ب)



الشكل ٨-٦ (أ) الألوان الفعلية للميثيل البرتقالي في الحمض، وفي المادة القلوية. (ب) تغيُّرات لون الكاشفَين: الميثيل البرتقالي، والثايمول فثالين

- **المرحلة ٣:** يتمّ تبخير محلول الملح، ثمّ يُبرَّد لتكوين البلّورات كما في الطريقة أ: الخطوتين ٣و ٤.

لا يُعتَبر استخدام الكاشف العام في المُعايرة مُناسِبًا، لأن لونه يتغيّر عبر مدى من الألوان. أمّا الكاشف الجيّد في المُعايرة، فهو ذلك الذي يتغيَّر لونه بشكل واضح (حادّ)، بحيث يُمكنك أن تعرف متى تتوقَّف. ويُبيِّن الشكل (٨-٦) كاشفَيْن مُناسبَيْن، والتغيُّرات في ألوانهما.

تُعدّ طريقة المُعايرة هذه مفيدة جدًّا، ليس لتحضير الأملاح فحسب، بل لتحديد تركيز محلول حمض مُعيّن أو محلول مادة قلوية معيّنة.

نشاط ٨-٢

استخدام عملية المُعايَرة لتحضير ملح ذائب

المهارات:

- يُبيّن، بطريقة عملية، معرفته بكيفية الاستخدام الآمن للتقنيات والأجهزة والمواد (بما فيها اتّباع سلسلة من التعليمات المناسبة).
- ينجز التجربة ويسجِّل الملاحظات والقياسات والتقديرات.
- يقيِّم الطرائق، ويقترح التحسينات المُحتملة.

في هذا النشاط سوف تستخدم تفاعُل التعادُل الذي يحدث بين قاعدة ذائبة (مادة قلوية)، وحمض لتكوين ملح ذائب. وبعد ذلك ستفصل الملح عن المحلول لتكوين عيّنة من بلّورات ملح نقي.

تحضير الأملاح غير الذائبة بواسطة الترسيب

ليست الأملاح جميعها ذائبة في الماء، فكلوريد الفضَّة وكبريتات الباريوم، مثلًا، ملحان غير ذائبَين، وبالتالي لا يمكن تحضيرهما بواسطة عملية التبلوُر، لذا تُستخدم عملية الترسيب الأيوني لتكوين هذا النوع من الأملاح.

يمكن مثلًا تكوين كبريتات الباريوم بإضافة محلول أحد الكبريتات الذائبة (كبريتات الصوديوم مثلًا) إلى محلول أحد أملاح الباريوم الذائبة (نترات الباريوم مثلًا). سوف نلاحظ فورًا تكوُّن كبريتات الباريوم التي لا تذوب في الماء. وتترسَّب المادة الصلبة تدريجيًّا لتستقرّ في قاع الأنبوبة أو الكأس الزجاجية. ويمكن بالتالي ترشيح الراسب، ثم غسله بالماء المُقطَّر وتجفيفه في فرن ساخن. وتُكتب المُعادَلة اللفظية والمُعادَلة الرمزية لهذا التفاعُل على النحو الآتي:

كبريتات الصوديوم + نترات الباريوم ⟶

نترات الصوديوم + كبريتات الباريوم

$$Ba(NO_3)_2(aq) + Na_2SO_4(aq) \rightarrow BaSO_4(s) + 2NaNO_3(aq)$$

وللحصول على المُعادلة الأيونية الصافية، تُشطب الأيونات المُتفرِّجة، التي تكون مُتماثِلة على طرفَي المُعادَلة، كما توضّح المُعادلة الآتية:

$$[Ba^{2+}(aq) + \cancel{2NO_3^-(aq)}] + [\cancel{2Na^+(aq)} + SO_4^{2-}(aq)] \rightarrow$$

$$BaSO_4(s) + [\cancel{2Na^+(aq)} + \cancel{2NO_3^-}(aq)]$$

فنحصل على المُعادلة الأيونية الصافية الآتية:

$$Ba^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq) \rightarrow BaSO_4(s)$$

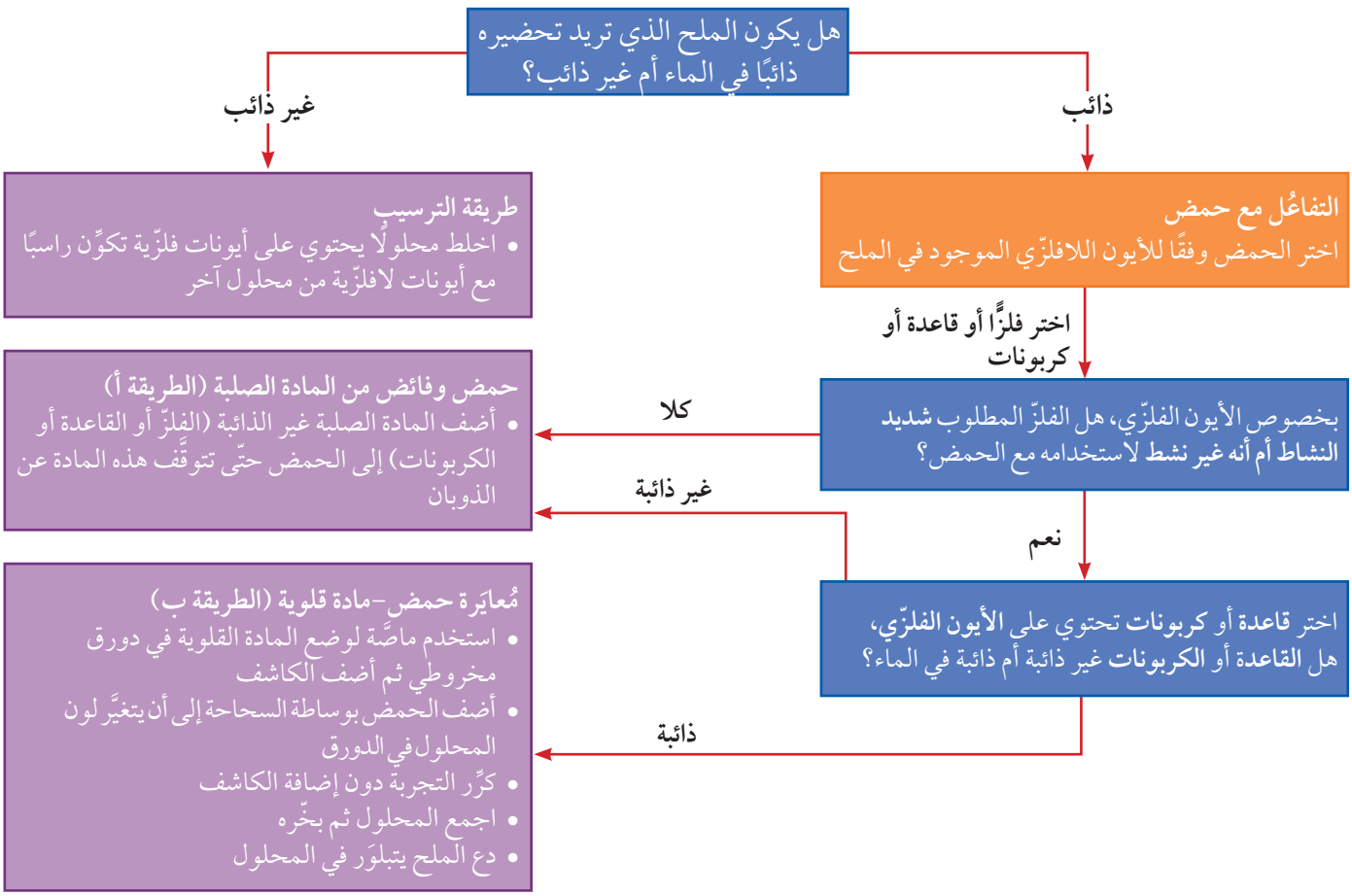
وعلى الرغم من أن $BaSO_4$ مُركَّب أيوني، سوف تلاحظ أنَّه المُركَّب الوحيد في المُعادلة الذي لا يتجزّأ إلى أيوناته. فهو مُركَّب صلب، ولا تمتلك أيوناته حرّية الحركة التي نجدها في المُركَّبات الأخرى الذائبة في المحلول. لذا فإن رموز الحالة الفيزيائية تمتلك أهمّية خاصّة في المُعادلات التي تُظهِر تكوُّن أملاح غير ذائبة، ذلك أنها توضّح تكوّن مادة صلبة من محلول مائي.

اختيار طريقة مُناسبة لتحضير ملح مُعيّن

بعد أن تعرّفت على طرائق تحضير أملاح ذائبة وغير ذائبة، ستجد أن اختيار طريقة تحضير ملح مُعيّن تعتمد على عدَّة أمور:

- هل الملح الذي يتمّ تحضيره يكون ذائبًا أم غير ذائب؟
- ما نوع الملح المطلوب تحضيره (كلوريد أم كبريتات أم نترات، مثلًا)؟
- هل الفلزّ المُستخدَم نشط بشكل كافٍ ليحلّ محلّ الهيدروجين في الحمض؟ وإذا كان الأمر كذلك، فهل هو شديد النشاط وبالتالي هو غير آمن؟
- هل القاعدة أو الكربونات المُستخدَمة تكون ذائبة أم غير ذائبة؟

يوضِّح الشكل (٨-٧) مُخطَّطًا لطرائق تحضير الأملاح.



الشكل ٨-٧ مُخطط يوضِّح طرائق تحضير الأملاح

بعض القواعد العامة المُتعلِّقة بذوبانية الأملاح:

- النترات جميعها تذوب في الماء
- معظم الكلوريدات تذوب في الماء، باستثناء كلوريدات الفضّة والرصاص
- معظم الكبريتات تذوب في الماء، باستثناء كبريتات الكالسيوم والباريوم والرصاص

بعض القواعد العامَّة المُتعلِّقة بنشاط الفلزّات:

- فلزّات المجموعة (I) والكالسيوم والباريوم هي شديدة النشاط
- النحاس والفضَّة غير نشطَين تمامًا

بعض القواعد العامة لذوبانية القواعد والكربونات:

- كربونات الفلزّات لا تذوب في الماء باستثناء كربونات فلزّات المجموعة (I)
- هيدروكسيدات وأكاسيد الفلزّات لا تذوب في الماء باستثناء هيدروكسيدات وأكاسيد فلزّات المجموعة (I)، والكالسيوم والباريوم

نشاط ٨-٣

استخدام تفاعُل الترسيب لتحضير ملح غير ذائب

المهارات:

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

سوف تستخدم في هذا النشاط تفاعُل الترسيب الذي يحدث عندما تخلط محلولَيْن مائيَّين ذائبَين، بهدف تكوين ملح غير ذائب. وبعد ذلك سوف تفصل الملح الصلب عن المحلول للحصول على عيّنة ملح نقي (مادة صلبة راسبة).

- **ضع النظّارة الواقية لحماية عينَيك.**
- **ارتدِ معطف المختبر.**
- **البسِ القفّازَين الواقيَين عند الضرورة، أثناء إجراء هذه التجربة.**
- **اغسل يدَيك جيّدًا عند انتهاء التجربة.**

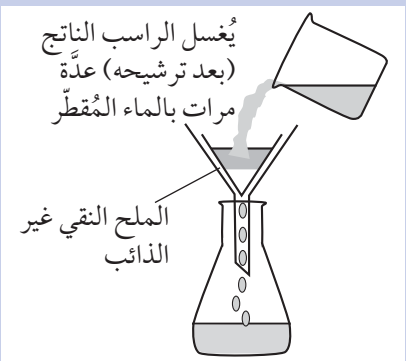
الطريقة

١ أضف 100 mL من محلول كربونات الصوديوم إلى كأس زجاجية.

٢ أضف 100 mL من محلول كلوريد الكالسيوم إلى كأس زجاجية ثانية.

٣ اخلط المحلولَين معًا في الكأس الزجاجية سعة 250 mL، ولاحظ ما سيحدث.

٤ قم بترشيح المخلوط الناتج، واجمع الراسب (البقايا الصلبة في ورقة الترشيح).



٥ اغسل الراسب بالماء المُقطَّر.

٦ ضع ورقة الترشيح في فرن التجفيف للحصول على عيّنة جافَّة ونقية من الملح غير الذائب.

أسئلة

١ اكتب المُعادلات الآتية للتفاعُل:

أ. المُعادلة اللفظية

ب. المُعادلة الرمزية الموزونة مع رموز الحالة الفيزيائية

ج. المُعادلة الأيونية الصافية

٢ ما اسم المركَّبات الذائبة في هذه التجربة؟

٣ ما اسم الملح غير الذائب الناتج في هذه التجربة؟

٤ اكتب رموز الأيونات المُتفرِّجة في هذه التجربة.

٥ اكتب بإيجاز كيف يمكن الحصول على عيّنة جافَّة ونقية من الملح الذائب الناتج خلال هذا التفاعُل.

أسئلة

٦-٨ فسّر: تعتمد طرائق تحضير ملح ما، باستخدام فلزّ صلب، أو قاعدة، أو كربونات، استخدام فائض من المادة الصلبة.

٧-٨ عند تطبيق مثل هذه الطريقة لتحضير الملح المذكور في السؤال ٨-٦، ما هي الطريقة المُستخدَمة لإزالة فائض المادة الصلبة بعد انتهاء التفاعُل؟

٨-٨ ما اسم الأداتَين الأساسيَّتَين من الأدوات الزجاجية المُدرّجة المُستخدَمة في طريقة المُعايَرة لتحضير ملح.

٩-٨ فسّر: يجب عدم تسخين بلّورات الملح التي تمّ تحضيرها في نهاية هذه التجارب بشدّة عند تجفيفها.

١٠-٨ تم تحضير ملحَين ذائبَين في الماء كما يلي:

أ. تحضير الملح الذائب، كبريتات الخارصين، باستخدام القاعدة غير الذائبة، أكسيد الخارصين.

ب. تحضير الملح الذائب، كلوريد البوتاسيوم، باستخدام القاعدة الذائبة، هيدروكسيد البوتاسيوم.

لكل من الملحَين المذكورَين أعلاه:

- اكتُب اسم المادة المُتفاعِلة الإضافية اللازمة.
- اكتب المُعادلتَين اللفظية والرمزية الموزونة.
- اكتب المعادلة الأيونية والمعادلة الأيونية الصافية.

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- تتكوّن الأملاح نتيجة تفاعُل الأحماض مع كلّ من:
  - القواعد لتنتج ملحًا وماءً.
  - الفلزّات لتنتج ملحًا وغاز الهيدروجين.
  - كربونات الفلزّات لتنتج ملحًا وماءً وغاز ثاني أكسيد الكربون.
- تتفاعل القواعد والقلويات القوية مع مُركّبات الأمونيوم لتنتج ملحًا وماء وغاز الأمونيا.
- يمكن تحضير الأملاح في المُختبر باتّباع سلسلة من الخطوات التي تعتمد على طبيعة المادة المُتفاعِلة مع الحمض.
- يمكن تحضير أملاح ذائبة في المختبر عن طريق تفاعُل قواعد أو فلزّات أو كربونات غير ذائبة مع أحماض.
- يمكن تحضير أملاح ذائبة في المُختبر باستخدام المُعايرة لمحاليل حمضية ومحاليل قلوية.
- يمكن تحضير أملاح غير ذائبة في المُختبر باستخدام الترسيب عند خلط محاليل.
- تنفيذ تقنيات الترشيح والبلْوَرة والتجفيف للحصول على ملح نقي.

أسئلة نهاية الوحدة

١ يُعدّ الماغنيسيوم فلزًّا نشطًا.

أ. اكتب المُعادلة اللفظية، ثم المُعادَلة الكيميائية الرمزية الموزونة، للتفاعُل الذي يحدث بين الماغنيسيوم وحمض الكبريتيك.

ب. اقترح طريقة للحصول على بلّورات جافّة ونقية من كبريتات الماغنيسيوم باستخدام الماغنيسيوم وحمض الكبريتيك.

٢ كبريتات النحاس (II) ملح ذائب أزرق اللون. يُمكن استخدام كربونات النحاس (II) ($CuCO_3$)، وأكسيد النحاس (II) (CuO) لتحضير كبريتات النحاس (II) ومُركّبات أخرى.

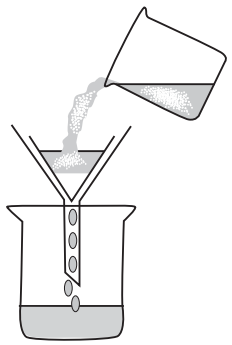
أ. فسّر: لا يمكن تكوين كبريتات النحاس (II) بطريقة مباشرة من تفاعُل فلزّ النحاس مع محلول حمض الكبريتيك المُخفّف.

ب. اقترح طريقة لتكوين عيّنة من بلّورات جافّة ونقية لكبريتات النحاس (II) باستخدام كربونات النحاس (II).

ج. اكتب المُعادلة الرمزية الموزونة للتفاعُل بين كربونات النحاس (II) وحمض الهيدروكلوريك.

د. اكتب الاسم والصيغة الكيميائية للملح المُتكوِّن من تفاعُل أكسيد النحاس (II) مع حمض الهيدروكلوريك.

٣ يُبيّن الشكل أدناه الأدوات والمواد اللازمة لتكوين الملح غير الذائب، يوديد الرصاص (II) PbI_2.



أ. اشرح المقصود بمُصطلح الملح.

ب. صف كيفية تكوين يوديد الرصاص (II) باستخدام محلول يوديد البوتاسيوم (KI) ومحلول نترات الرصاص (II) $Pb(NO_3)_2$. يجب أن تتضمّن إجابتك الملاحظات التي سجّلتها.

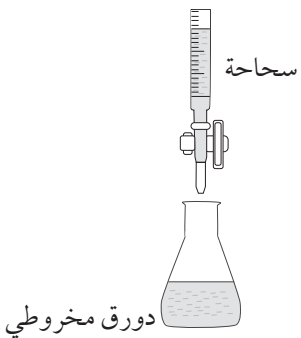
ج. اكتب المُعادلة اللفظية للتفاعُل الذي يحدث بين يوديد البوتاسيوم ونترات الرصاص (II).

د. اكتب المُعادلة الرمزية الموزونة للمُعادلة اللفظية التي كتبتها في الجُزئية **ج**.

هـ. اكتب المُعادلة الأيونية الصافية لهذا التفاعُل، التي تتضمَّن رموز الحالة الفيزيائية.

٤ يُبيّن الشكل أدناه الأدوات اللازمة لتكوين نترات الأمونيوم NH_4NO_3 في المُختبر، عبر تفاعُل محلول هيدروكسيد الأمونيوم مع حمض النيتريك، وفقًا للمُعادلة الرمزية الموزونة الآتية:

$$NH_4OH + HNO_3 \rightarrow NH_4NO_3 + H_2O$$



أ. ما اسم المادة القلوية المُتفاعِلة؟

ب. ما اسم هذا النوع من التفاعُلات؟

ج. صف كيف تُحضِّر بلّورات جافّة ونقية من نترات الأمونيوم.

د. اكتب المُعادلة الأيونية لهذا التفاعُل، والتي تتضمَّن رموز الحالة الفيزيائية.

هـ. اكتب المُعادلة الأيونية الصافية لهذا التفاعُل.

الوحدة التاسعة

التحليل الكيميائي Chemical Analysis

تُغطّي هذه الوحدة:

- الكشف عن وجود الماء
- الكشف عن الغازات
- الكشف عن الكاتيونات (الأيونات الموجبة)
- الكشف عن الأنيونات (الأيونات السالبة)

٩-١ أهمّية التحليل الكيميائي

يُعدّ **التحليل Analysis** واحدًا من أهمّ المجالات التي يعمل عليها الكيميائيون. إذ يهتمّ الكيميائيون التحليليون، بكلّ المواد التي نعرفها ونستخدمها في مجالات الصناعة والطب والحياة الاجتماعية والمنزلية. وفيما يلي قائمة ببعض المهام التي يؤدّونها:

- فحص مُكوِّنات الأطعمة لاكتشاف ما فيها من موادّ ضارّة.
- التحقُّق من نقاوة الهواء، والماء في الآبار والأفلاج.
- فحص الغازات المُنبعثة من مُحرّكات المركبات والمصانع.
- استكشاف المواد الموجودة على الكواكب والكُوَيكبات الأخرى.
- التأكُّد من أن الأدوية التي نستخدمها نقية وفعّالة.
- إيجاد مواد مفيدة وجديدة من النباتات.
- مسح مسرح الجريمة بحثًا عن أدلَّة.

التحليل النوعي

نعمد إلى استخدام بعض الاختبارات المُهمَّة لتحديد ماهيَّة الغازات والموادّ التي يتضمّنها محلول ما. فاختبارات تعرُّف المُركَّبات غير العضوية أمر مُهمّ بحد ذاته، لأنّها تُقدِّم طرائق تكون بمثابة قاعدة لهذا النوع من التحليل. ففي المرحلة الأولى، نريد ببساطة أن نعرف المُركَّب الموجود. ويُعرف هذا النوع من التحليل باسم **التحليل النوعي Qualitative analysis**.

أسئلة

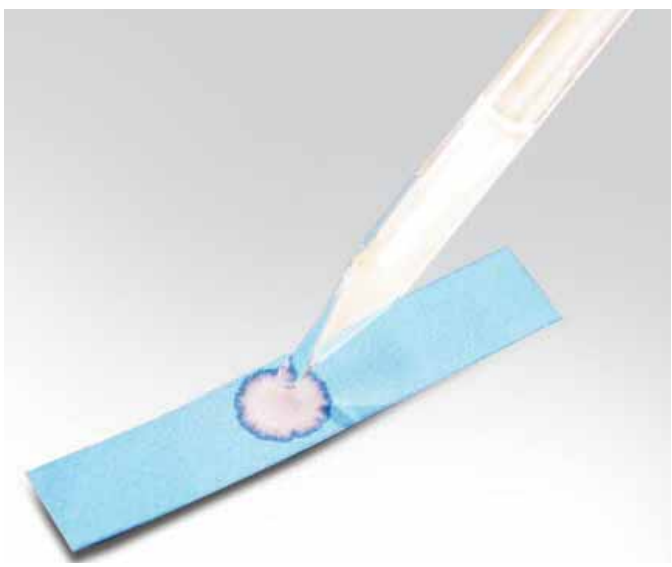
٩-١ أعطِ ثلاثة أسباب تدفع الكيميائي إلى تحليل مادة مُعيّنة.

٩-٢ اختبارات الكشف عن الماء

هناك اختباران كيميائيَّان يُستخدمان للتأكّد من وجود الماء. وتُستخدَم في كلّ منهما مُركَّبات **لامائيَّة Anhydrous**؛ وهي أملاح لا تحتوي على ماء التبلْوُر. وعندما يُضاف الماء إليها، تُصبح تلك المُركَّبات **مائية Hydrated**، ويتغيَّر لونها. نذكر منها على سبيل المثال:

- كبريتات النحاس (II) اللامائية البيضاء، والتي تتحوَّل إلى كبريتات نحاس (II) مائية زرقاء عند إضافة الماء إليها.
- كلوريد الكوبالت (II) اللامائي، الأزرق، والذي يتحوَّل إلى كلوريد كوبالت (II) مائي ورديّ عند إضافة الماء إليه.

تُستخدم هذه المُركَّبات اللامائية على شكل ورقة كاشف، مثلها مثل أوراق تبّاع الشمس والكاشف العام، (الصورة ٩-١).



الصورة ٩-١ اختبار وجود الماء باستخدام ورقة كلوريد الكوبالت (II). يتحوَّل لون الورقة من الأزرق إلى الوردي عند إضافة الماء

وعلى الرغم من أن كلا الاختبارَين يُثبتان وجود الماء، فإنّهما لا يؤكِّدان أن الماء نقيّ بالفعل. ولكي تُحدِّد أن السائل هو ماء نقي، سوف تحتاج إلى قياس درجة غليانه، فإذا كانت تساوي 100 °C بالضبط، يكون الماء نقيًّا.

أما ورق الكاشف العام وأوراق تباع الشمس، فهي تُساعدنا على معرفة ما إذا كان السائل الذي نختبره مُتعادلاً. ولكننا لا نستطيع أن نفترض تلقائيًّا أن ذلك السائل هو الماء، لأن هناك سوائل أخرى عديمة اللون، وقد تكون مُتعادِلة أيضًا (مثل الإيثانول).

!

إذا طُلب إليك إجراء اختبار كيميائي لوجود الماء، فعليك تسمية اختبار يحدث خلاله تغيُّر كيميائي. ويُعدُّ اختيارك لاختبار كلوريد الكوبالت (II) اللامائي، أو لاختبار كبريتات النحاس (II) اللامائية إجابة صحيحة. أما اختبار درجة الغليان، فلا يُعدّ إجابة صحيحة.

أسئلة

٩-٢ ما تغيُّر اللون الذي سيظهر عندما يوضع الماء على ورقة كاشف كبريتات النحاس (II) اللامائية؟

٩-٣ ما اسم المادة الموجودة في ورقة الكاشف، والتي سيتغيَّر لونها من الأزرق إلى الوردي عند إضافة الماء إليها؟

٩-٤ يتحوَّل لون ورقة الكاشف العام إلى الأخضر، إذا أضيف إليها سائل عديم اللون غير معروف. لماذا لا يُمكننا أن نجزُم أن هذا السائل عديم اللون هو الماء؟

٩-٣ اختبارات الكشف عن الغازات

تُجرى اختبارات نوعية كثيرة بهدف معرفة الغازات الناتجة من بعض التفاعُلات الكيميائية.

يحتوي الجدول (٩-١) على غازات شائعة وخصائصها، وعلى الاختبارات المُستخدَمة للكشف عن وجودها. وسوف تُلاحظ أن معظم الغازات لا يمكن رؤيتها أو شمّها، وقد تكون ذات رائحة كريهة، أو سامّة، لذلك يكون الاختبار الكيميائي النوعي ضروريًّا. ومن المُهمّ في أي اختبار يُجرى لغاز مُعيَّن، ألاّ يُعطي نتيجةً مُماثِلة عند اختبار غازات أخرى.

يمكن التمييز بين غازَي الأكسجين والهيدروجين باستخدام عود ثقاب مُشتعِل أو مُتوهِّج. حيث يُلاحَظ اشتعاله بوجود الأكسجين. ذلك أن الأكسجين ضروري لحرق موادَّ كالخشب. لكن بوجود الهيدروجين، يؤدّي عود الثقاب المُشتعِل إلى حدوث انفجار صغير يُسمع «كفرقعة». وفي هذه الحالة، يكون الهيدروجين هو الوقود الذي يحترق ويتفاعل بشكل مُتفجِّر مع أكسجين الهواء، ووفقًا للمُعادلة الآتية:

$$2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(g)$$

تعدّ ورقة تبّاع الشمس اختبارًا مفيدًا للتمييز بين غازات مختلفة. ويُشترَط أن تكون رطبة، بحيث يذوب الغاز الذي يتمّ اختباره في رطوبتها لإظهار سلوكه الحمضي أو القاعدي. رأينا في الوحدتَين ٦ و٨، أنَّ غاز الأمونيا يسلك سلوك قاعدة، وبالتالي فإنّه سوف يُغيِّر لون ورقة تبّاع الشمس الرطبة من الأحمر إلى الأزرق.

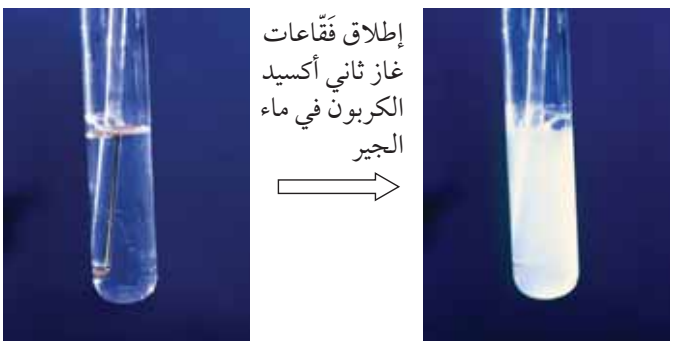
أما غاز الكلور فإنه يذوب في الماء لإنتاج محلول حمضي، لذلك سوف يُغيِّر لون ورقة تبّاع الشمس الرطبة من الأزرق إلى الأحمر. ومع ذلك، يعمل الكلور أيضًا كمادة مبيّضة، ويُغيِّر لون ورقة تبّاع الشمس الرطبة المُلوّنة إلى الأبيض.

ويمكن أيضًا استخدام تلك الاختبارات الكيميائية النوعية للتعرُّف على غاز ثاني أكسيد الكربون؛ فهو يُطفئ عود الثقاب المُشتعِل، ويُغيِّر ببطء لون ورقة تبّاع الشمس الرطبة من الأزرق إلى الأحمر.

وهناك اختبار أكثر دقّة لهذا الغاز، يعتمد على إطلاق فقّاعات الغاز في ماء الجير (محلول هيدروكسيد الكالسيوم). فإذا كان الغاز هو ثاني أكسيد الكربون، فسوف يتحوَّل المحلول الصافي إلى مخلوط أبيض عكر، (الصورة ٩-٢). ويرجع ذلك إلى تشكُّل راسب أبيض من كربونات الكالسيوم. ويتمّ التفاعُل وفقًا للمُعادلتَين اللفظية والرمزية الآتيتَين:

ثاني أكسيد الكربون + هيدروكسيد الكالسيوم ⟶ ماء + كربونات الكالسيوم

$$Ca(OH)_2(aq) + CO_2(g) \rightarrow CaCO_3(s) + H_2O(l)$$



الصورة ٩-٢ الكشف عن وجود ثاني أكسيد الكربون باستخدام ماء الجير

الغاز	اللون والرائحة	الاختبار	نتائج الاختبار
الأكسجين (O_2)	عديم اللون عديم الرائحة	تقريب عود ثقاب مُتوهِّج من الغاز	يشتعل عود الثقاب
الهيدروجين (H_2)	عديم اللون عديم الرائحة	تقريب عود ثقاب مُشتعِل من الغاز	يحترق الهيدروجين مع فرقعة حادة
الأمونيا (NH_3)	عديم اللون ذو رائحة نفاذة	تعريض ورقة رطبة من تبّاع الشمس الأحمر (أو ورقة الكاشف العام) للغاز	يتغيَّر لون ورقة تبّاع الشمس إلى الأزرق
الكلور (Cl2)(*)	أخضر باهت ذو رائحة خانقة	تعريض ورقة رطبة من تبّاع الشمس (أو ورقة الكاشف العام) للغاز	يتغيَّر لون ورقة تبّاع الشمس إلى الأبيض (ورقة تبّاع الشمس الزرقاء سيتحوَّل لونها إلى الأحمر أوّلًا)
ثاني أكسيد الكربون (CO_2)	عديم اللون عديم الرائحة	إطلاق فقّاعات الغاز في ماء الجير (محلول هيدروكسيد الكالسيوم)	يتكوَّن راسب أبيض من كربونات الكالسيوم (يتحوَّل المحلول إلى مخلوط عكر)

(*) هذا الغاز سام، لذا اختبره بحذر واستخدم خزانة طرد الغازات.

الجدول ٩-١ اختبارات الكشف عن بعض الغازات

نشاط ٩-١

تحديد ماهيَّة بعض الغازات

المهارات:

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

يقدِّم هذا النشاط بعض الاختبارات الكيميائية المُستخدَمة للتعرّف على الغازات.

⚠
- ضع النظّارة الواقية لحماية عينَيك.
- ارتدِ معطف المختبر.
- اغسل يدَيك جيّدًا عند انتهاء التجربة.
- يُعدّ حمض الهيدروكلوريك وفوق أكسيد الهيدروجين من المواد التي تُسبِّب تهيُّجًا للجلد عند استخدامهما بالتركيز المُقترَح في هذا النشاط.
- تعامل مع الأدوات الساخنة بحذر.

الطريقة

اختبار على الغاز A

١ صبّ حوالي 5 mL من حمض الهيدروكلوريك في أنبوبة تسخين (موجودة على حامل أنابيب الاختبار).

٢ استخدم ملعقة كيماويات لإضافة حُبيبات الخارصين إلى الحمض الموجود في أنبوبة الاختبار.

٣ اختبر الغاز A المُنبعِث باستخدام عود ثقاب مُشتعِل.

٤ سجِّل جميع مُلاحظاتك في قسم النتائج.

اختبار على الغاز B

١ أضف حوالي 5 mL من فوق أكسيد الهيدروجين في أنبوبة تسخين (موجودة على حامل أنابيب الاختبار).

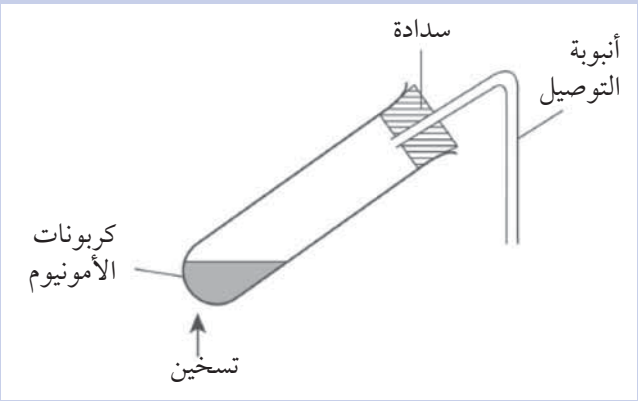
٢ استخدم ملعقة كيماويات لإضافة أكسيد المنغنيز (IV) إلى أنبوبة الاختبار.

٣ اختبر الغاز B المُنبعِث باستخدام عود ثقاب مُتوهِّج.

٤ سجِّل جميع مُلاحظاتك في قسم النتائج.

اختبارات على الغازات C و D و E

١ ضع القليل من كربونات الأمونيوم في أنبوبة تسخين، وقم بإعداد الجهاز، كما هو موضَّح فيما يلي.



٢ سخّن أنبوبة التسخين بتأنٍّ، مُستخدِمًا لهب موقد بنزن، ثم ضع قطعة من ورق كلوريد الكوبالت الثنائي عند فتحة أنبوبة التوصيل لاختبار الغاز C.

٣ استمرّ في تسخين أنبوبة التسخين بتأنٍّ، ثم ضع ورقة رطبة من تبّاع الشمس الأحمر عند فتحة أنبوبة التوصيل لاختبار الغاز D.

٤ استمر في التسخين واستخدم أنبوبة التوصيل لجعل الغاز E الناتج يتدفَّق عبر ماء الجير في أنبوبة التسخين التي تحتويه.

٥ سجِّل مُلاحظاتك ونتائج الاختبارات في الجدول أدناه.

النتائج والاستنتاجات

الغاز	نتيجة الاختبار	ماهية الغاز
A		
B		
C		
D		
E		

نشاط ٩-١

أسئلة

١ اكتب المُعادَلتَين اللفظية، والرمزية الموزونة، لتفاعُل الخارصين وحمض الهيدروكلوريك لإنتاج الغاز **A**.

٢ يتفكَّك فوق أكسيد الهيدروجين (H_2O_2) عند التسخين لتكوين الغاز **B** والماء. اكتب المُعادَلتَين اللفظية، والرمزية الموزونة، لتفكُّك فوق أكسيد الهيدروجين لإنتاج الغاز **B**.

٣ تتفكَّك كربونات الأمونيوم $(NH_4)_2CO_3$ عند التسخين لتكوين الغازات **C** و **D** و **E**.

اكتب المُعادَلتَين، اللفظية والرمزية الموزونة، اللتَين تُبيِّنان إنتاج الغازات **C** و **D** و **E** عندما تتفكَّك كربونات الأمونيوم.

أسئلة

٥-٩ باستخدام عود ثقاب مشتعل كيف يمكنك التمييز بين غاز الهيدروجين وغاز الأكسجين؟

٦-٩ كيف تستخدم ورق تبّاع الشمس لمعرفة الفرق بين غاز الأمونيا وغاز الكلور؟

٧-٩ صف الطريقة الأدقّ للكشف عن غاز ثاني أكسيد الكربون.

٤-٩ اختبارات الكشف عن الكاتيونات (الأيونات الموجبة)

درست سابقًا أن المُركَّبات الأيونية تتكوّن من شقَّيَن أحدهما موجب (الكاتيون) والآخر سالب (الأنيون)، ونظرًا لوجود أنواع كثيرة من الكاتيونات والأنيونات، سيكون جيّدًا إجراء تحليل نوعي للمُركَّب الأيوني المجهول، للكشف عن ماهيَّة الأيونات الموجبة والسالبة المُكوِّنة له.

ستتعرّف هنا على كيفية اختبار محاليل الأملاح التي تحتوي على الكاتيونات الآتية: Li^+ و Na^+ و K^+ و NH_4^+ و Fe^{2+} و Fe^{3+} و Cu^{2+} و Zn^{2+} و Ca^{2+}.

يجري الكشف عن الكاتيونات عادة عن طريق تفاعُلات **الترسيب Precipitation** باستخدام القلويات، حيث تتكوّن رواسب ذات ألوان مُميّزة للكاتيون. غير أن بعض الكاتيونات تُكوِّن رواسب بيضاء، وللتمييز بينها يُضاف المزيد من المادة القلوية للتحقُّق من ذوبان الراسب.

توجد كاتيونات لا تُكوِّن رواسب في مُركَّباتها، فيتمّ الكشف عنها باستخدام اختبارات اللهب.

اختبارات اللهب

يُساعدنا في اختبار الأيونات الموجبة أن أيونات بعض الفلزّات تُنتج ألوانًا مُميَّزة في **اختبار اللهب Flame test**.

يتمّ إجراء اختبار اللهب وفقًا للآتي:

- يُغمس سلك نيكروم (أو سلك بلاتين) في حمض الهيدروكلوريك المُركَّز، ثم يُسخَّن داخل اللهب الأزرق لموقد بنزن بهدف تنظيفه.
- يُغمس السلك في الحمض مرَّة أخرى، ثم في مسحوق المُركَّب الذي يجري اختباره (أو محلوله).
- يُوضع السلك وما عليه من مسحوق المُركَّب داخل اللهب الأزرق لموقد بنزن، ويُلاحَظ اللون.

يوضّح الجدول (٩-٢) ألوان اللهب لكاتيونات بعض الفلزّات الشائعة: لاحظ أن أيونات الفلزّات في الواقع، لا تنتج كلها لهبًا مُلوَّنًا في اختبار اللهب. لذلك نلجأ إلى اختبارات كيميائية بديلة تتضمَّن الترسيب.

أيون الفلزّ	الصيغة الكيميائية	لون اللهب
الليثيوم	Li^+	أحمر قرمزي
الصوديوم	Na^+	أصفر
البوتاسيوم	K^+	بنفسجي (أرجواني)
النحاس (II)	Cu^{2+}	أزرق مخضرّ

الجدول ٩-٢ اختبارات اللهب لبعض الكاتيونات

اختبارات الترسيب باستخدام القلويات

نحن نعلم أن العديد من هيدروكسيدات الفلزّات لا تذوب في الماء. وهذا ما يُشكِّل أساسًا لاختبارات نوعية تتضمَّن الترسيب. ونجد من بين هيدروكسيدات الفلزّات المُهمّة التي تذوب في الماء، هيدروكسيد الصوديوم وهيدروكسيد البوتاسيوم وهيدروكسيد الليثيوم. وبما أن الأيونات Li^+، وNa^+، وK^+ جميعها تُعطي ألوانًا مُتمايزة في اختبارات اللهب، فليس ضروريًّا إجراء اختبارات الترسيب لهذه الأيونات.

ففي اختبار الترسيب لكاتيون فلزّ، تُضاف مادة قلوية (تحتوي على أيونات OH^-) إلى محلول المُركَّب الأيوني المُراد اختباره. فتندمج أيونات الهيدروكسيد المُضافة مع أيونات الفلزّ ويترسَّب هيدروكسيد الفلزّ الصلب من المحلول. يُوضِّح الجدول (٩-٣) نتائج الاختبارات المُستخدَمة لتحديد الكاتيونات باستخدام هيدروكسيد الصوديوم (مادة قلوية قوية) ومحلول الأمونيا (مادة قلوية ضعيفة).

فعند تفاعُل هيدروكسيد الأمونيوم مع كلوريد الحديد (III)، مثلًا، يتكوّن راسب بُنّي محمرّ من هيدروكسيد الحديد (III) وفقًا للمُعادلة الأيونية الصافية الآتية:

$$Fe^{3+}(aq) + 3OH^-(aq) \rightarrow Fe(OH)_3(s)$$

لاحظ أن عدد أيونات OH^- اللازمة في المُعادلة الأيونية تتطابق مع عدد شحنات أيون الفلزّ. وهذا ما يسمح بمُوازنة المُعادلة الأيونية.

تكون بعض رواسب الهيدروكسيدات مُلوَّنة. ونتيجة لذلك، يمكن اختبار محلول ملح ما، فقط بإضافة مادة قلوية إليه، والتحقُّق من لون الراسب:

- تُعطي أملاح النحاس (II) راسبًا أزرق فاتحًا من هيدروكسيد النحاس (II) (ويمكن أيضًا ملاحظة أن هذا الراسب يذوب عند إضافة فائض من محلول الأمونيا إليه).
- تُعطي أملاح الحديد (II) راسبًا أخضر فاتحًا من هيدروكسيد الحديد (II) (الشكل ٩-١ أ).
- تُعطي أملاح الحديد (III) راسبًا بُنيًّا مُحمرًّا من هيدروكسيد الحديد (III) (الشكل ٩-١ ب).

ففي الشكل (٩-١ أ)، يُمكننا أن نرى أنه قد تمَّت إضافة هيدروكسيد الصوديوم إلى كبريتات الحديد (II) لتكوين راسب من هيدروكسيد الحديد (II).

يُمكننا كتابة المُعادلات اللفظية والرمزية الموزونة لهذا التفاعُل على النحو الآتي:

هيدروكسيد الصوديوم + كبريتات الحديد (II) ⟶ كبريتات الصوديوم + هيدروكسيد الحديد (II)

$$FeSO_4(aq) + 2NaOH(aq) \rightarrow Fe(OH)_2(s) + Na_2SO_4(aq)$$

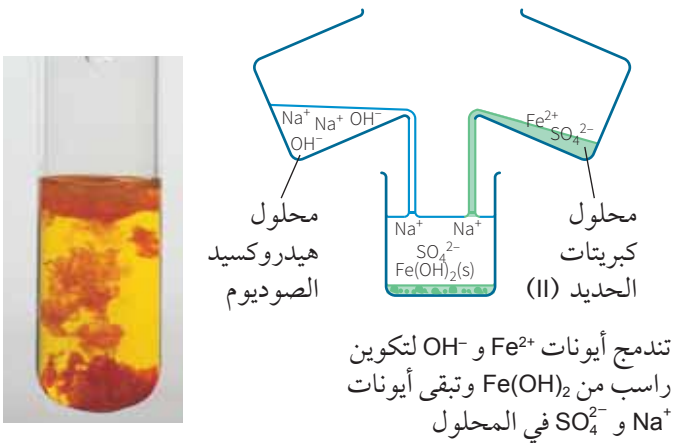
وللحصول على المُعادلة الأيونية الصافية، يتمّ شطب الأيونات المُتفرِّجة في المُعادلة الرمزية على النحو الآتي:

$$[Fe^{2+}(aq) + \cancel{SO_4^{2-}(aq)}] + [\cancel{2Na^+(aq)} + 2OH^-(aq)] \rightarrow Fe(OH)_2(s) + [\cancel{2Na^+(aq)} + \cancel{SO_4^{2-}(aq)}]$$

فنحصل على:

$$Fe^{2+}(aq) + 2OH^-(aq) \rightarrow Fe(OH)_2(s)$$

(أ) (ب)



تندمج أيونات Fe^{2+} و OH^- لتكوين راسب من $Fe(OH)_2$ وتبقى أيونات Na^+ و SO_4^{2-} في المحلول

الشكل ٩-١ (أ) ترسُّب هيدروكسيد الحديد (II). (ب) ترسُّب هيدروكسيد الحديد (III). لاحظ اختلاف لونَي الراسبَين

تكون بعض رواسب الهيدروكسيدات بيضاء اللون، مثل هيدروكسيدات الكالسيوم والخارصين، كما يتّضح في الجدول (٩-٣). ويوجد العديد غيرها، كهيدروكسيدات الماغنيسيوم والألومنيوم.

ينتج عن إضافة هيدروكسيد الصوديوم إلى محلول ملح أيّ من هذه الفلزّات راسب أبيض في كل حالة. مثل:

$$Ca^{2+}(aq) + 2OH^{-}(aq) \rightarrow Ca(OH)_2(s)$$

و

$$Zn^{2+}(aq) + 2OH^{-}(aq) \rightarrow Zn(OH)_2(s)$$

وعلى الرغم من أن كلا الراسبَين لونهما أبيض، فإن الاختبار يبقى مفيدًا لأنَّنا نستطيع التمييز بين هيدروكسيد الكالسيوم وهيدروكسيد الخارصين، بإضافة كمّيَّة فائضة من هيدروكسيد الصوديوم. ذلك أن راسب هيدروكسيد الخارصين يذوب ليُعطي محلولًا عديم اللون، في حين أن راسب هيدروكسيد الكالسيوم لا يذوب. ويرجع ذوبان هيدروكسيد الخارصين في فائض من هيدروكسيد الصوديوم إلى أنه **هيدروكسيد مُتذبذِب**، حيث يمكنه التفاعُل مع الأحماض ومع القواعد. أما هيدروكسيدات الفلزّات الأخرى، مثل هيدروكسيد الكالسيوم، فهي لا تذوب في فائض من هيدروكسيد الصوديوم، لأنها هيدروكسيدات قاعدية، وتتفاعل فقط مع الأحماض في تفاعُلات التعادُل.

عند تكرار الاختبار لأيونات Zn^{2+} و Ca^{2+} مع محلول الأمونيا بدلًا من محلول هيدروكسيد الصوديوم، نلاحظ فرقًا آخر، هو تكوُّن راسب أبيض من هيدروكسيد الخارصين في حين لا تتمّ ملاحظة أي شيء مع أيونات الكالسيوم. ويرجع ذلك إلى أن محلول الأمونيا مادة قلوية أضعف بكثير من هيدروكسيد الصوديوم، وأنه يحتوي على كمّية أقلّ من أيونات OH^{-}. ومع هذه الكمّية القليلة يبقى هيدروكسيد الكالسيوم ذائبًا في الماء، مُقارنة بهيدروكسيد الخارصين. من الجدير بالذكر أن إضافة القلويات في هذه التجارب يجب أن تتمّ بشكل تدريجي لتفادي الحصول على نتائج مُضلِّلة. فعلى سبيل المثال، قد يتكوَّن راسب من هيدروكسيد الخارصين يذوب على الفور، إذا أضيفت كمّية كبيرة من محلول الأمونيا؛ فإذا لم يُلاحظ تكوُّن الراسب، يمكن استخلاص نتيجة خاطئة عن ماهيّة الراسب.

الأيون الموجب (الكاتيون) في محلول مائي	قطرات قليلة من مادة قلوية (مثل هيدروكسيد الصوديوم أو محلول الأمونيا)	فائض من مادة قلوية (مثل هيدروكسيد الصوديوم أو محلول الأمونيا)
أيونات المجموعة (I) (K^+, Na^+, Li^+)	لا وجود للراسب	لا وجود للراسب
الحديد (II) (Fe^{2+})	**راسب هُلامي أخضر** من هيدروكسيد الحديد (II)	لا يذوب الراسب
الحديد (III) (Fe^{3+})	**راسب هُلامي بُنّي محمرّ** من هيدروكسيد الحديد (III)	لا يذوب الراسب
النحاس (II) (Cu^{2+})	**راسب هُلامي أزرق باهت** من هيدروكسيد النحاس (II)	لا يذوب الراسب في فائض من هيدروكسيد الصوديوم؛ **ولكنه يذوب في فائض من الأمونيا، ويُعطي محلولًا ذا لون أزرق داكن**
الكالسيوم (Ca^{2+})	**راسب أبيض** من هيدروكسيد الكالسيوم	لا يذوب الراسب
الخارصين (Zn^{2+})	**راسب أبيض** من هيدروكسيد الخارصين	يذوب الراسب
الأمونيوم (NH_4^+)	**يتكوَّن غاز الأمونيا عند تسخين ملح الأمونيوم مع محلول هيدروكسيد الصوديوم. ولا ينتج أي غاز عند تسخين ملح الأمونيوم مع محلول الأمونيا**	

الجدول ٩-٣ اختبارات الكشف عن بعض الأيونات الموجبة (الكاتيونات) في محاليل مائية

ونظرًا لأن اختبارات كاتيونات الفلزّات في محاليلها المائيَّة تستخدم العملية نفسها والمواد الكيميائية نفسها، فقد يكون مُفيدًا إنتاج مُخطَّط بسيط للمساعدة على تحديد الكاتيون. يقدّم الشكل (٩-٢) مثالًا على استراتيجية لتحديد الكاتيونات.

اختبار أيونات الأمونيوم باستخدام القلويات

درست في الموضوع ٨-١ أن مُركَّبات الأمونيوم هي مُركَّبات أيونية غير عادية، ذلك أنها لا تمتلك أيونًا فلزّيًّا موجبًا، بل تمتلك كاتيونات لافلزّية أساسها غاز الأمونيا (المُكوَّن من ذرّات النيتروجين والهيدروجين). وصيغة أيون الأمونيوم هي NH_4^+.

وعندما تتفاعل مُركَّبات الأمونيوم مع محاليل القلويات القوية تُنتِج غاز الأمونيا (NH_3) الذي يمكن الكشف عنه بسهولة، لأنه غاز قاعدي ويُغيِّر لون ورقة تبّاع الشمس الرطبة من الأحمر إلى الأزرق (الجدول ٩-١):

هيدروكسيد الصوديوم + نترات الأمونيوم ⟶ أمونيا + ماء + نترات الصوديوم

$$NH_4NO_3(aq) + NaOH(aq) \rightarrow NaNO_3(aq) + H_2O(l) + NH_3(g)$$

يحدث هذا التفاعُل لأن الأمونيا قاعدة أضعف من هيدروكسيد الصوديوم، الذي يستطيع بالتالي إزاحتها بسهولة من أملاحها.

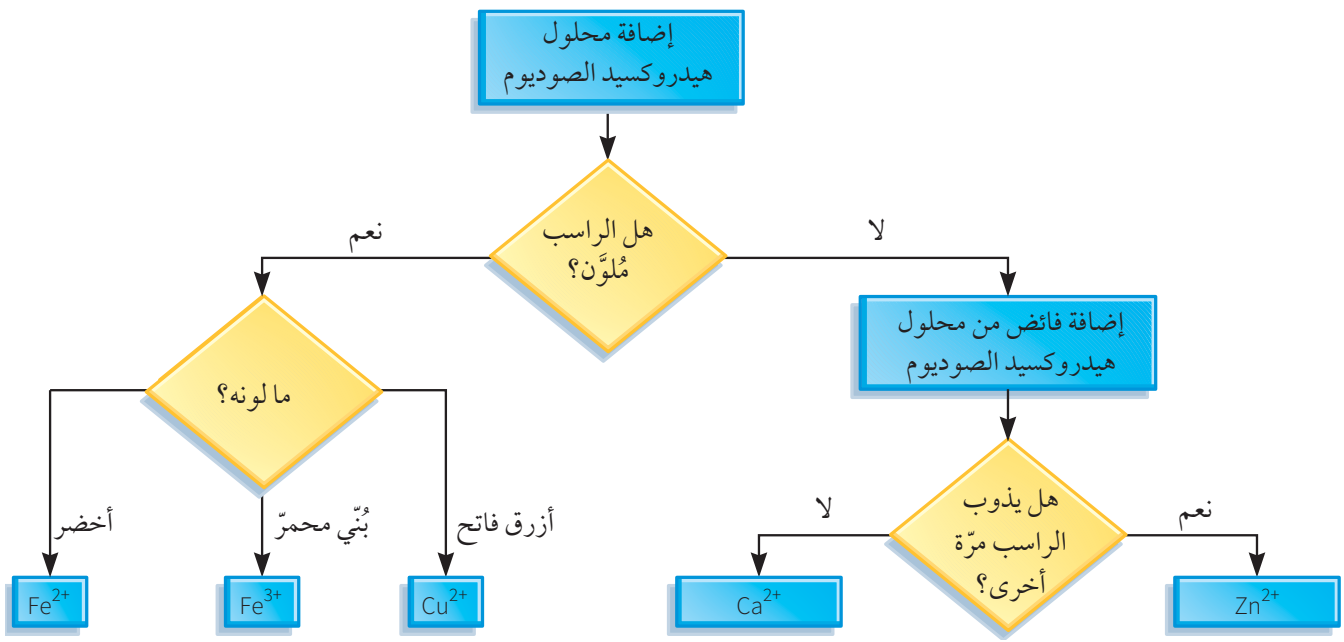
وللحصول على المُعادلة الأيونية الصافية، يتمّ شطب الأيونات المُتفرِّجة في المُعادلة الرمزية الكلّية على النحو الآتي:

$$[NH_4^+(aq) + \cancel{NO_3^-(aq)}] + [\cancel{Na^+(aq)} + OH^-(aq)] \rightarrow [\cancel{Na^+(aq)} + \cancel{NO_3^-(aq)}] + H_2O(l) + NH_3(g)$$

نحصل على:

$$NH_4^+(aq) + OH^-(aq) \rightarrow H_2O(l) + NH_3(g)$$

ويمكن استخدام هذا التفاعُل لاختبار أيونات الأمونيوم في مادة غير معروفة، ولتحضير الأمونيا في المُختبر أيضًا.



الشكل ٩-٢ طريقة تحديد أيونات الفلزّات في المحاليل المائية

نشاط ٩-٢

تحديد ماهيَّة بعض الكاتيونات (الأيونات الموجبة)

المهارات:

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

في هذا النشاط سوف تنفّذ اختبارات كيميائية لتحديد ماهيَّة عدد من الكاتيونات.

⚠
- ضع النظّارة الواقية لحماية عينَيك.
- ارتدِ معطف المختبر.
- اغسل يدَيك جيّدًا عند انتهاء التجربة.
- تعدُّ محاليل كلوريد النحاس (II)، وكبريتات الحديد (II)، وكبريتات الحديد (III)، وحمض الهيدروكلوريك المُخفَّف ومحلول هيدروكسيد الصوديوم، من المواد التي تُسبِّب تهيُّجًا للجلد عند استخدامها.
- تذكَّر أن المواد والأدوات التي يتمّ تسخينها على موقد بنزن ستكون ساخنة، ويمكن أن تُسبِّب حروقًا للجلد.

الطريقة

اختبارات اللهب

١ ضع حلقة سلك النيكروم nichrome في حمض الهيدروكلوريك، ثم في لهب موقد بنزن الأزرق، للتأكُّد من أن جميع الشوائب السابقة قد احترقت.

٢ اغمس الحلقة في محلول العيِّنة.

٣ ضع الحلقة في لهب بنزن الأزرق، ولاحظ اللون.

٤ كرِّر الخطوات من ١ إلى ٣ لكل محلول يتمّ اختباره.

اختبارات الترسيب مع المادة القلوية

١ ضع 5 mL من محلول العيِّنة في أنبوبة اختبار، وباستخدام قطّارة:

أ. أضف قطرة واحدة في كل مرَّة، من محلول هيدروكسيد الصوديوم، وسجِّل مُلاحظاتك.

ب. أضف فائضًا من محلول هيدروكسيد الصوديوم، وسجِّل مُلاحظاتك.

ج. عند اختبار محلول يحتوي على أيونات الأمونيوم، سخّن المحلول بتأنٍّ بعد إضافة هيدروكسيد الصوديوم، ثم اختبر الغاز المُنبعِث باستخدام ورقة رطبة من تبّاع الشمس الأحمر، وسجِّل مُلاحظاتك.

٢ ضع 5 mL من محلول العيِّنة نفسها في أنبوبة اختبار أخرى، وباستخدام قطّارة:

أ. أضف قطرة واحدة في كل مرَّة، من محلول الأمونيا، وسجِّل مُلاحظاتك.

ب. أضف فائضًا من محلول الأمونيا، وسجِّل مُلاحظاتك.

٣ كرِّر الخطوتَين ١ و ٢ لكلّ محلول يتمّ اختباره.

أسئلة

١ أكمل جدول النتائج:

اسم محلول الملح	رمز الأيون الموجب (الكاتيون)	لون اللهب	إضافة قطرات من هيدروكسيد الصوديوم، ثم إضافة فائض منه	إضافة قطرات من محلول الأمونيا، ثم إضافة فائض منه

٢ ما أهمّية تنظيف حلقة سلك النيكروم قبل كل اختبار لمحلول مُختلف؟

٣ ما أهمّية إضافة المادة القلوية بوساطة قطّارة بدلاً من الاستعانة بمخبار مدرَّج؟

٤ ما الأيونات التي لا تُكوِّن رواسب مع القلويات؟

٥ اكتب المُعادلة الأيونية الصافية لتفاعُل هيدروكسيد الصوديوم مع أيونات النحاس (II).

٦ يُعدّ هيدروكسيد الصوديوم ومحلول الأمونيا من القلويات، ولكنَّهما في بعض الأحيان لا يخضعان للتفاعُلات نفسها. ما الفرق الرئيسي بين هاتَين المادتَين القلويَّتَين؟

٧ بناءً على نتائجك اكتب مثالاً على تفاعُل تُشارِك فيه الأمونيا، ولكن لا يُشارِك فيه هيدروكسيد الصوديوم.

٨ يُعدّ التفاعُل بين أيونات الأمونيوم وهيدروكسيد الصوديوم أحد التفاعُلات التي لا يُشارِك فيها محلول الأمونيا. اكتب المُعادلة الأيونية الصافية لتفاعُل هيدروكسيد الصوديوم مع أيونات الأمونيوم.

٩ كيف تُفسِّر المُعادلة الأيونية التي كتبتها في السؤال ٨ مُلاحظاتك على التفاعُل؟

٩-٥ اختبارات الكشف عن الأنيونات (الأيونات السالبة)

يُمثِّل الأنيون في المُركَّبات الأيونية الجزء الذي مصدره الحمض. وسوف تدرس في هذا الموضوع اختبارات الكشف عن بعض الأنيونات بالاعتماد على تفاعُلات ترسيب أو إنتاج غاز. يُوضِّح الجدول (٩-٤) اختبارات التعرُّف إلى الأنيونات الشائعة.

> **لاحظ**
>
> تُعدّ اختبارات التحليل هذه مُهمَّة جدًّا، لا سيّما اختبارات أيونات الفلزّات التي ينتج عنها رواسب مُلوَّنة.
> لذا يجب عليك تعلُّمها والتمكُّن من التمييز بين ألوان الرواسب المختلفة لتلك الأيونات.

أسئلة

٩-٨ ما لون اللهب الذي سينتج عن مُركَّب أيوني يحتوي على أيونات النحاس (II)؟

٩-٩ أي أيون فلزّي ينتج عنه اختبار لهب ذي لون أرجواني؟

٩-١٠ ما اسم الكاتيون اللافلزّي؟

٩-١١ ما الاختبار المُستخدَم للكشف عن الأيون الوارد في السؤال ٩-١٠؟

٩-١٢ لماذا يكون تحديد ماهيَّة الكثير من أيونات الفلزّات باستخدام محلول هيدروكسيد الصوديوم أمرًا مُمكنًا؟

٩-١٣ أيٌّ من هيدروكسيدات الفلزّات تكون مُلوَّنة؟

٩-١٤ أيٌّ من هيدروكسيدات الفلزّات سوف يذوب في فائض من محلول الأمونيا؟

٩-١٥ اكتب مُعادلة أيونية لتفاعُل أيونات النحاس (II) وأيونات الهيدروكسيد، تتضمَّن رموز الحالة الفيزيائية.

٩-١٦ اكتب مُعادلة أيونية لتفاعُل أيونات الحديد (III) وأيونات الهيدروكسيد، تتضمَّن رموز الحالة الفيزيائية.

اختبارات الأنيونات باستخدام الترسيب

يُوضِّح الجدول (٩-٤) أن العديد من اختبارات الأنيونات هي تفاعُلات ترسيب.

يتمّ اختبار أيون الكبريتات بمُفاعلته مع أحد أملاح الباريوم الذائبة (مثل نترات الباريوم)، فيتكوَّن راسب أبيض غير ذائب في الماء هو كبريتات الباريوم،

وتُكتب المُعادلة الأيونية الصافية لهذا الاختبار على النحو الآتي:

$$Ba^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq) \rightarrow BaSO_4(s)$$

لاحظ أن المحلول المُستخدَم كمصدر لأيونات $Ba^{2+}(aq)$ في الاختبار يحتوي على نترات الباريوم. وعلى عكس كبريتات الباريوم، فإن نترات الباريوم شديدة الذوبان في الماء.

وبشكل عام، تذوب المُركَّبات الأيونية التي تحتوي على النترات في الماء بسهولة، ويُعدّ أيون النترات خيارًا جيدًا عندما يكون المطلوب مُركَّبًا ذائبًا لفلزٍّ مُحدَّد.

أما أيونات الكلوريد وأيونات البروميد فتستخدم أملاح الفضَّة الذائبة Ag^+ لاختبار كل منهما، فيترسَّب كلوريد الفضَّة وبروميد الفضَّة. ويُستخدم عادة محلول نترات الفضَّة كمصدر لأيونات الفضَّة Ag^+. هذه الأيونات تتفاعل مع الأنيون الموجود في المحلول لتكوين كلوريد الفضَّة أو بروميد الفضَّة. ويكون مُركَّبا الفضَّة كلاهما غير ذائبَين ويترسَّبان في المحلول. وتُكتب المُعادلتان الأيونيَّتان لهذَين التفاعُلَين على النحو الآتي:

$$Ag^+(aq) + Cl^-(aq) \rightarrow AgCl(s)$$

كلوريد الفضّة

$$Ag^+(aq) + Br^-(aq) \rightarrow AgBr(s)$$

بروميد الفضّة

ويمتلك الراسبان لونَين مختلفَين؛ فيكون AgCl راسبًا أبيض، في حين يكون AgBr راسبًا أبيض حليبيًّا. ومع ذلك، يكون صعبًا جدًّا تحديد الفرق بين هذَين اللونَيْن في الواقع.

يجدر التنبيه إلى أنه عند اختبار أيونات SO_4^{2-} و Cl^- و Br^- يُضاف حمض النيتريك قبل المحلول المُتفاعِل، لأن الأنيونات الأخرى، مثل الكربونات، قد تتداخل مع الاختبار، وتؤدّي إلى تكوين راسب. لذلك تتمّ إضافة الحمض لكي يتفاعل مع الكربونات، ويزيلها من المحلول.

اختبار الكربونات باستخدام الحمض

يتمّ الكشف عن أنيون الكربونات بمُفاعلته مع حمض (HCl مثلًا)، ما يؤدّي لانبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون. ويمكننا استخدام هذا التفاعُل كاختبار لنعرف إن كانت المادة المجهولة كربونات أم لا.

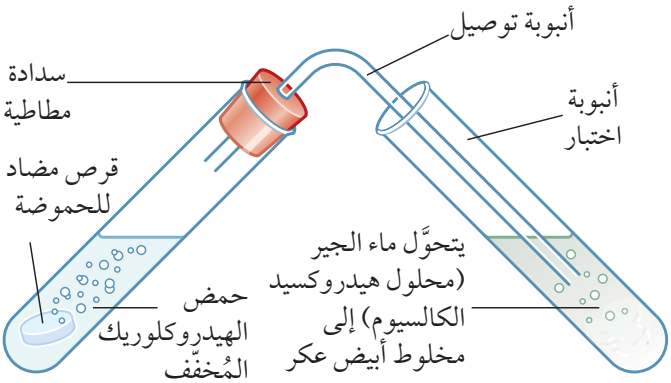
ويمكن إجراء اختبار نموذجي بإضافة حمض النيتريك إلى مسحوق المادة الصلبة، أو إلى محلول مُركَّب الكربونات. فإذا حدث فوران مصحوب بتصاعُد غاز دلّ ذلك على وجود أنيون الكربونات. وتُكتب المُعادلة الأيونية الصافية للتفاعُل على النحو الآتي:

$$2H^+(aq) + CO_3^{2-}(aq) \rightarrow H_2O(l) + CO_2(g)$$

وللتحقُّق من ماهيّة الغاز المُتصاعِد، يجب تمريره في ماء الجير الصافي (محلول هيدروكسيد الكالسيوم) ومُلاحظة ما يحدث. ارجع إلى الموضوع (٩-٢).

فإذا تحوَّل ماء الجير إلى مخلوط عكر، يكون الغاز المُتصاعد ثاني أكسيد الكربون، وتكون المادّة كربونات.

يُبيِّن الشكل (٩-٣) كيف يمكن اختبار مُركَّب أيوني لمعرفة إن كان يحتوي على كربونات.



الشكل ٩-٣ اختبار مُركَّب أيوني يحتوي على الكربونات

اختبار النترات باستخدام مادة قلوية والألومنيوم

تتفاعل أملاح النترات مع الألومنيوم بوجود محلول قلوي، وينتج عن ذلك غاز الأمونيا. والخطوة الأولى في اختبار وجود أيون النترات (NO_3^-) في مُركَّب ما، هي إضافة محلول هيدروكسيد الصوديوم إلى محلول مائي للمُركَّب. يُضاف بعد ذلك مسحوق أو رقائق الألومنيوم إلى المحلول، ويُسخّن المخلوط بعناية.

فإذا كانت هناك أيونات نترات فسوف يُطلق المحلول غاز الأمونيا.

المُعادلة الأيونية لهذا التفاعُل مُعقَّدة نسبيًّا وتُكتب على النحو الآتي:

$$3NO_3^-(aq) + 5OH^-(aq) + 2H_2O(l) + 8Al(s) \rightarrow 3NH_3(g) + 8AlO_2^-(aq)$$

أيون الهيدروكسيد أيون النترات — أيون الألومينات أمونيا

(هذه المُعادلة غير مطلوبة منك، ولكنك ستحتاج إلى معرفة المواد المُتفاعِلة، وإلى أنّ غاز الأمونيا هو الناتج الأساسي).

وكما رأينا في الجدول (٩-١)، فإن تغيُّر لون ورقة تبّاع الشمس الرطبة من الأحمر إلى الأزرق، يُؤكِّد أن الغاز المُنبعِث هو الأمونيا. وهو ما يؤكِّد بالتالي أن المُركَّب يحتوي على أيونات NO_3^-.

عند وصف محلول عديم اللون، يجب أن تكون دقيقًا باستخدام الصفة. ذلك أن كثيرًا من الطلاب يستخدمون كلمة «صاف» أو «شفاف» هنا، وهذا غير صحيح؛ فكلمة صاف لا تُعطي المعنى نفسه الذي تعطيه عبارة عديم اللون.

من المُهمّ معرفة وفهم الاختبارات الواردة في الجداول ٩–١ و٩–٢ و٩–٣ و ٩–٤؛ لعدم توفُّر نسخة منها لك في الامتحانات.

الأيون السالب	الاختبار	نتيجة الاختبار
الكبريتات (SO_4^{2-})	اجعل المحلول حمضيًّا بإضافة **حمض مُخفَّف** (HCl أو HNO_3)، ثم أضف محلول **نترات الباريوم**	يتكوَّن **راسب أبيض** من كبريتات الباريوم
الكلوريد (Cl^-)	اجعل المحلول حمضيًّا بإضافة **حمض النيتريك المُخفَّف**، ثم أضف محلولًا **مائيًّا من نترات الفضَّة**	يتكوَّن **راسب أبيض** من كلوريد الفضَّة
البروميد (Br^-)	اجعل المحلول حمضيًّا بإضافة **حمض النيتريك المُخفَّف**، ثم أضف محلولًا **مائيًّا من نترات الفضَّة**	يتكوَّن **راسب أبيض** (حليبي) من بروميد الفضَّة
الكربونات (CO_3^{2-})	أضف **حمضًا مُخفَّفًا** إلى المادة الصلبة أو المحلول	**يحدث فوران** (تكوُّن فقاعّات)، يتكوّن ثاني أكسيد الكربون الذي **يجعل ماء الجير عكرًا**
النترات (NO_3^-)	اجعل المحلول قلويًّا بإضافة **محلول هيدروكسيد الصوديوم**، ثم أضف **رقائق الألومنيوم**، **وسخِّنه** بلطف	يتصاعد غاز الأمونيا (الذي يُحوِّل لون **ورقة تبّاع الشمس الحمراء الرطبةً إلى الأزرق**)

الجدول ٩–٤ اختبارات الكشف عن بعض الأيونات السالبة (الأنيونات)

نشاط ٩-٣

تحديد ماهيَّة بعض الأنيونات (الأيونات السالبة)

المهارات:

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

يسمح لك هذا النشاط بالتخطيط لتحديد الأنيونات الموجودة في خمسة محاليل مختلفة، باستخدام اختبارات كيميائية. تحتاج إلى وضع خطَّة لاختبار النتائج أو مخطَّط تدفُّقي (خريطة ذهنية).

⚠
- **ضع النظّارة الواقية لحماية عينَيك.**
- **ارتدِ معطف المختبر.**
- **اغسل يدَيك جيّدًا عند انتهاء التجربة.**
- **يُسبّب حمض النيتريك ومحلول هيدروكسيد الصوديوم ومحلول نترات الفضَّة تهيُّجًا للجلد والجهاز التنفُّسي.**
- **تعامل مع الأدوات الساخنة بحذر.**

باستخدام الأدوات والمواد الكيميائية الآتية فقط، اكتب خطَّة لتحديد الأنيون الموجود في كل من المحاليل الخمسة المُقترَحة.

الأنيونات الخمسة التي ستختبرها هي:

- البروميد (Br^-)
- الكبريتات (SO_4^{2-})
- الكلوريد (Cl^-)
- النترات (NO_3^-)
- الكربونات (CO_3^{2-})

ستحتاج إلى كتابة طريقة يمكن اتِّباعها، وتتضمَّن إرشادات السلامة المُناسبة.

ستحتاج أيضًا إلى تصميم جدول لتسجيل وجمع مُلاحظاتك ونتائجك.

عند كتابة خطَّتك، فكِّر في أفضل ترتيب لإجراء الاختبارات، بحيث تستخدم أقلّ كمّيّة مُمكنة من المواد الكيميائية، وتحديد الأنيونات بأقلّ عدد مُمكن من الاختبارات.

قد ترغب في رسم مُخطَّط بياني يوضِّح نتائج الاختبارات والخطوات اللاحقة.

بمُجرَّد أن يتحقَّق المُعلِّم من خطَّتك ويُوافق عليها، باشر بتنفيذها.

نشاط ٩-٣

الاستنتاجات

المحلول	الأنيون الموجود في المحلول
A	
B	
C	
D	
E	

أسئلة

١ اشرح أهمّية استخدام ورق تبّاع الشمس في بعض الاختبارات الكيميائية.

٢ لماذا تُعدّ إضافة حمض إلى المحاليل، كخُطوة أولى، أمرًا ضروريًا؟

٣ في هذه التجربة، يُفضَّل استخدام حمض النيتريك بدلاً من حمض الهيدروكلوريك أو حمض الكبريتيك. اشرح كيف سيؤثّر حمض الهيدروكلوريك وحمض الكبريتيك على بعض الاختبارات، إذا ما استُخدما بدلاً من حمض النيتريك.

نشاط ٩-٤

تحديد ماهيَّة ثلاثة مُركَّبات غير معروفة

المهارات:

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

في هذا النشاط، ستجري سلسلة من الاختبارات الكيميائية لتحديد ماهيَّة ثلاثة مُركَّبات غير معروفة: X و Y و Z.

أسئلة

٩-١٧ ما الغاز الناتج من إضافة مادة قلوية وألومنيوم إلى محلول يحتوي على أيونات النترات؟

٩-١٨ سمّ محلولاً يُعطي راسبًا مع أيونات الكبريتات.

٩-١٩ كيف يساعد محلول نترات الفضَّة في التمييز بين أيونات البروميد والكلوريد في محلول ما؟

٩-٢٠ يُبيِّن الجدول أدناه نتائج الاختبارات العملية التي تمّ إجراؤها على المواد التي لها الرموز الافتراضية من A إلى E.

اختر من بين المواد (A، B، C، D، E) المادة التي يمكن أن تكون:

أ. ماءً مُقطَّرًا

ب. محلول كلوريد الصوديوم

ج. غاز الكلور

د. حمض الهيدروكلوريك

المادة	التأثير على محلول الكاشف العام	تأثير حمض الهيدروكلوريك	تأثير محلول نترات الفضَّة
A	يتحوَّل إلى اللون الأحمر، ثم الأبيض	لا يتفاعل	لا يتفاعل
B	يتحوَّل إلى اللون الأزرق	يفور	لا يتفاعل
C	يتحوَّل إلى اللون الأحمر	لا يتفاعل	يتكوّن راسب أبيض
D	يبقى اللون الأخضر	لا يتفاعل	لا يتفاعل
E	يبقى اللون الأخضر	لا يتفاعل	يتكوّن راسب أبيض

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- اختبارات الكشف عن الماء
- اختبارات الكشف عن الغازات
- تحديد ماهيَّة مُركَّبات أيونية بواسطة:
  - اختبارات الكشف عن كاتيونات الفلزّات باستخدام اللهب
  - اختبارات الكشف عن الكاتيونات باستخدام محلول هيدروكسيد الصوديوم ومحلول الأمونيا
  - اختبارات الكشف عن الأنيونات باستخدام محاليل لتكوين رواسب
  - اختبارات الكشف عن الأنيونات باستخدام تفاعُلات تؤدّي إلى إطلاق غاز

أسئلة نهاية الوحدة

١ في كثير من التفاعُلات الكيميائية يُلاحظ حدوث فوران، وهو ما يدلّ على تكوُّن غاز. طابق بين الاختبارات المختبرية والغازات التي تُحدِّدها هذه الاختبارات والنتائج المُتوقَّعة.

الاختبار	الغاز	النتيجة
عود ثقاب مُشتعِل	O_2	عديم اللون إلى عكر
عود ثقاب مُتوهِّج	CO_2	فرقعة حادّة
ماء الجير	Cl_2	يشتعل من جديد
ورقة رطبة من تبّاع الشمس الأحمر	NH_3	أزرق ← أحمر ← أبيض
ورقة رطبة من تبّاع الشمس الأزرق	H_2	أحمر ← أزرق

٢ اكتب الجُمل الآتية المُتعلّقة باختبارات اللهب، وأكملها باستخدام الكلمات الواردة في القائمة أدناه:

اللافلزّية	الأزرق	أصفر	الكاتيونات	الأنيونات	الفلزّات

يمكن استخدام اختبارات اللهب لتحديد بعض كاتيونات ..... ويُستخدَم سلك فلزّي من النيكروم مثلاً، لوضع عيّنة من الملح في اللهب ..... لموقد بنزن. ويُستخدم لون اللهب بالتالي لتحديد ماهية ..... الموجودة. فمُركَّب يحتوي مثلًا على أيونات الصوديوم سيُعطي لهبًا لونه .....

لا تسمح لك هذه التقنية بتحديد ماهيَّة الأيونات السالبة ....., والتي تُسمّى .....

٣ من خلال دراستك لمسحوق نترات النحاس (II) أجب عمّا يأتي:

أ. اذكر نتيجة اختبار اللهب مع هذا المُركَّب.

ب. اكتب رمز الأيون الموجب الموجود في هذا المُركَّب.

ج. إذا وُضع الأيون الذي تمّ تحديده في الجُزئية ب في محلول مائي، يكون مُمكنًا اختباره باستخدام محلول الأمونيا. صف نتيجة الاختبار الكيميائي بين هذا الأيون ومحلول الأمونيا.

د. اقترح طريقة لاختبار أيون النترات.

هـ. يوجد ملح نحاس آخر، هو كبريتات النحاس (II)، وهو يُستخدم كاختبار للماء. صف هذا الاختبار الكيميائي وتوقَّع نتيجته.

٤ يمكن لفلزّ الليثيوم (فلزّ شديد النشاط) أن يتفاعل مع حمض الهيدروكلوريك (HCl) لتكوين كلوريد الليثوم (LiCl) وغاز.

أ. اذكر اسم الغاز الناتج.

ب. ما الاختبار المُستخدم للكشف عن ماهيَّة الغاز الناتج؟ وما النتيجة المُتوقَّعة من الاختبار؟

ج. ينتج عن كلوريد الليثيوم اختبار لهب إيجابي. ما لون اللهب الناتج؟ اختر إجابة واحدة.

أصفر **أرجواني** **أحمر قُرمزي** **أزرق مخضر**

د. حدِّد الاختبار الكيميائي والنتيجة المُتوقَّعة من هذا الاختبار، والتي تُبيِّن أن ملح الليثيوم يحتوي على أيونات الكلوريد.

٥ كبريتات الحديد (II) مُركَّب أيوني صلب، لونه أخضر باهت، وهو موجود في الأقراص التي تُعالج نقص الحديد في جسم الإنسان.

أ. ما المُلاحظات التي تتمّ مُشاهدتها عند خلط محلول كبريتات الحديد (II) مع محلول كلوريد الباريوم الحمضي؟

ب. استنتج المُعادلة الأيونية الصافية التي تتضمَّن رموز الحالة الفيزيائية، للتفاعُل بين كبريتات الحديد (II) ومحلول كلوريد الباريوم الحمضي.

ج. ما المُلاحظات التي تتمّ مُشاهدتها عند خلط محلول كبريتات الحديد (II) مع محلول هيدروكسيد الصوديوم؟

د. استنتج المُعادلة الأيونية الصافية التي تتضمَّن رموز الحالة الفيزيائية، للتفاعُل بين كبريتات الحديد (II) ومحلول هيدروكسيد الصوديوم.

٦ سقط المُلصقان عن زُجاجتَين في مُختَبر، تحتوي كلّ منهما على مسحوق أبيض: أحدهما هو بروميد الكالسيوم والآخر هو كربونات الصوديوم؛ (المادتان تذوبان في الماء).

أ. هل يمكن استخدام اختبار اللهب لتحديد ماهيَّة المادَّتَين؟

ب. اشرح كيف يُستخدَم تفاعُل ترسيب لتحديد المادة التي تحتوي على أيونات الكالسيوم.

ج. اشرح كيف يُستخدَم اختبار غاز ثاني أكسيد الكربون لتحديد ماهيَّة كل من المادَّتَين.

د. تمّ تحضير محلولَين مائيَّين للملحَين أعلاه. صف اختبارًا وتوقَّع نتيجته، لإثبات أن أحد المحلولَين يحتوي على أيونات البروميد.

الوحدة العاشرة

الأرض والغلاف الجوّي

Earth and the Atmosphere

تُغطّي هذه الوحدة:

- المُكوّنات الغازيَّة للهواء.
- الغازات النبيلة واستخداماتها.
- مصادر تلوُّث الهواء.
- المُشكلات الناتجة عن تلوُّث الهواء، والحلول المُقترحة لها.
- غازات الدفيئة وتغيُّرات المناخ.
- التفكُّك الحراري للحجر الجيري لإنتاج الجير الحي.
- مُعالَجة التربة الحمضية.

١٠-١ غازات الغلاف الجوّي

مُكوِّنات الهواء

يُعدّ الغلاف الجوّي للأرض أحد أهمّ الموارد الطبيعية لكوكبنا. فهو يُوفِّر الهواء الذي تتنفَّسه جميع الكائنات الحية، ويحدّ من فقدان الحرارة المُنعكِسة (المُنبعِثة) من الأرض إلى الفضاء، ويحمينا من الأشعَّة فوق البنفسجية المُؤذِية الآتية من الشمس. إلّا أن التركيب الحالي لغلافنا الجوّي مُعرَّض للخطر بسبب الأنشطة البشرية التي تُلوِّث هواءنا. فالأمطار الحمضية، والتغيُّرات الحادَّة في الطقس، وأمراض الجهاز التنفُّسي، كلها مشاكل ترتبط بنوعية الهواء المُحيط بنا.

الهواء في غلافنا الجوّي هو مخلوط من الغازات، إذ يحتوي الهواء النظيف والجافّ، (بنسب مئوية تقريبية) على المُكوِّنات الآتية: النيتروجين 78%، والأكسجين 21%، والأرغون 0.9%، و 0.1% من غازات أخرى مثل ثاني أكسيد الكربون، والنيون، **وغازات نبيلة Noble gases** أخرى (الجدول ١٠-١). أضِف إلى ذلك أن الهواء يحتوي أيضًا على بُخار الماء، وتتراوح نسبته ما بين 0.2% و 4% وفقًا لدرجة الحرارة وللموقع على الكرة الأرضية. فهواء المُحيطات مثلًا يحتوي على نسبة بخار ماء أعلى من نسبة هواء الصحاري.

ويُعدّ غاز ثاني أكسيد الكربون جُزءًا مهمًّا من الهواء، بالرغم من أنه يشكِّل فقط حوالي 0.04% منه. أما الغازات الأخرى المعروفة، كالهيدروجين، فتوجد بكمّيات ضئيلة جدًّا تقلّ عن 0.001%.

الغاز	النسبة المئوية التقريبية في الهواء (%)
النيتروجين (N_2)	78
الأكسجين (O_2)	21
الأرغون (Ar)	0.9
ثاني أكسيد الكربون (CO_2)	0.04
الهيليوم (He)، النيون (Ne)، الكريبتون (Kr)، الزينون (Xe)	0.06
بُخار الماء (H_2O)	4 - 0.2

الجدول ١٠-١ النسب المئوية التقريبية لمُكوِّنات الهواء

عناصر المجموعة الثامنة VIII: الغازات النبيلة

توجد الغازات النبيلة في الغلاف الجوّي للأرض، وهي تُشكِّل معًا حوالي 1% من مجموع الغازات، علمًا أن غاز الأرغون هو الأكثر شيوعًا بينها. وتُعرَف هذه الغازات بأنَّها غير نشطة بشكل تام، وهي موجودة في الطبيعة على شكل ذرّات مُفردة. ويُشار إليها أحيانًا كغازات خاملة. وهذا يعني أنها لا تتفاعل، لأنها تمتلك تركيبًا إلكترونيًّا مُستقرًّا يكون فيه مستوى الطاقة الخارجي مُمتلئًا بالإلكترونات.

ومع ذلك، ومنذ ستّينيات القرن العشرين، تمّ تحضير بعض المُركبّات مع الزينون والكريبتون، وتغيَّرت التسمية إلى الغازات النبيلة.

فذرّات الغازات النبيلة لا تندمج معًا لتكوين جُزيئات، أو أي شكل آخر من التراكيب البنائيَّة. وتتَّصف هذه الغازات بدرجات انصهار وغليان مُنخفِضة جدًّا. فالهيليوم مثلًا يمتلك درجة الانصهار الأدنى مقارنة ببقية العناصر الكيميائية، ولا يمكن تحويله إلى مادة صلبة بتبريده فقط (فالضغط ضروري أيضًا). وتُشير جميع هذه الخصائص إلى أن ذرّات الغازات النبيلة تكون مُستقِرَّة جدًّا.

يعتمد الكثير من استخدامات الغازات النبيلة على عدم نشاطها الكيميائي. فيُستخدم غاز الهيليوم لملء البالونات والمناطيد؛ لأنَّه غير نشط وأقلّ كثافة من غازات الهواء الرئيسيَّة، ويُستخدَم الأرغون وغازات نبيلة أخرى في الأنواع المختلفة من وسائل الإضاءة. حيث تُملأ بعض المصابيح الكهربائية بغاز الأرغون؛ والهدف من ذلك منع أسلاك التنجستن من الاحتراق، (الصورة ١٠-١).

الصورة ١٠-١ تحتوي المصابيح الكهربائية ذات الأسلاك المعدنية على الأرغون، الذي لا يتفاعل مع أسلاك التنجستن الساخنة

فالأرغون لا يتفاعل مع التنجستن حتى عند درجات الحرارة المُرتفِعة جدًّا. ويكون عدم نشاطه مفيدًا أيضًا عند استخدام الفلزّات في درجات الحرارة المُرتفِعة.

ففي عمليّات لحام الفلزّات، تُستخدَم درجات حرارة مُرتفعة، يمكن عندئذٍ للفلزّ الساخن أو المُنصهِر أن يتفاعل مع كل من الأكسجين أو النيتروجين الموجودَين في الهواء. وعند استخدام الأرغون بدل الهواء، يكون الغلاف الغازي المُحيط بالفلزّ خاملًا، وهو ما يمنعه من التفاعُل. وتُستخدم الغازات النبيلة الأخرى في لافتات «النيون» الإعلانية وفي الليزر، لأنها تتوهّج بألوان مختلفة عندما يتدفّق التيار الكهربائي عبرها.

أسئلة

١٠-١ ما الغاز الأكثر وفرة في الهواء؟

١٠-٢ ما ثاني أكثر الغازات وفرة في الهواء؟

١٠-٣ لماذا يُستخدم غاز الهيليوم في البالونات، والمناطيد؟

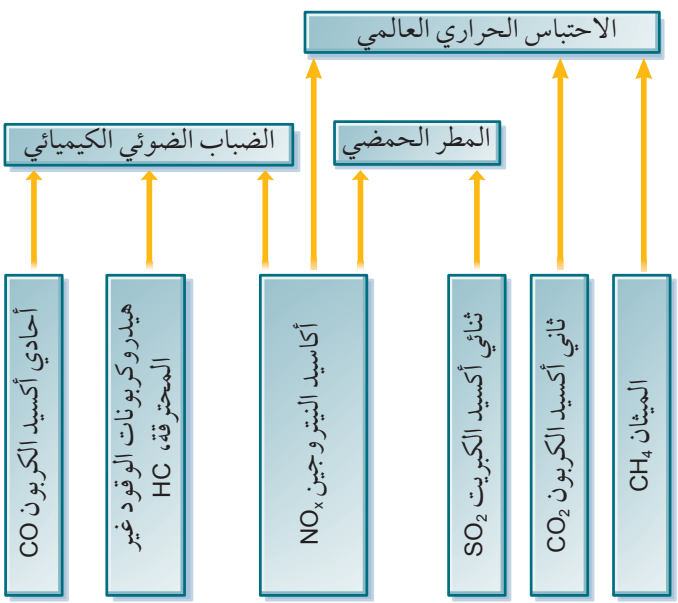
١٠-٤ لماذا يتمّ ملء المصابيح الكهربائية بغاز الأرغون؟

تلوُّث الهواء

على الرغم من أن الغازات المُكوِّنة للغلاف الجوّي الحالي مُستقِرَّة إلى حدّ ما، فإنّ غازات كثيرة تُطلَق في الهواء، مصدرها الرئيسي هو عمليات استخراج الوقود الأحفوري وإحراقه **Combustion**. تكون قلَّة منها غير ضارَّة، وتُسبِّب البقيَّة مُشكلات بيئيَّة، خاصَّة إذا أُطلقت بكمّيات كبيرة. ويُبيّن الجدول (١٠-٢) بعض الغازات الرئيسية المُسبِّبة للمُشكلات البيئية. ويُلخِّص الشكل (١٠-١) تأثيرات المُلوّثات الرئيسية للهواء.

الغاز	صيغته الكيميائية	المشكلة البيئية، أو الصحّية التي يُسبِّبها
الميثان	CH_4	غاز دفيئة، يؤدّي إلى الاحتباس الحراري العالمي وتغيُّر المُناخ.
ثاني أكسيد الكربون	CO_2	غاز دفيئة، يؤدّي إلى الاحتباس الحراري العالمي وتغيُّر المُناخ.
أحادي أكسيد الكربون	CO	غاز عالي السمّية، يندمج مع الهيموجلوبين الموجود في الدم، ويمنعه من نقل الأكسجين؛ يُسبِّب الدوار والصداع، وربما الموت.
ثُنائي أكسيد الكبريت	SO_2	موجود في المطر الحمضي، الذي يُتلف الأبنية، ويُلحق الضرر بالحياة البريّة.
أكاسيد النيتروجين	NO_x	موجودة في المطر الحمضي، وهي غازات دفيئة، تتفاعل مع غازات أخرى لتكوين ضباب ضوئي كيميائي، يُسبِّب مُشكلات في التنفُّس، وخاصَّة للأشخاص الذين يعانون من الربو.

الجدول ١٠-٢ بعض الغازات الرئيسيّة المُسبِّبة للمشكلات البيئية



الشكل ١٠-١ مُلخَّص عن مشكلات التلوُّث الجوّي المُتنوِّعة الناجمة عن النشاط البشري

غاز الميثان Methane (CH_4) موجود في الغاز الطبيعي، ويتمّ الحصول عليه عند استخراج الوقود الأحفوري من القشرة الأرضية. يتكوَّن الميثان من عُنصرَي الهيدروجين والكربون فقط (مُركَّب **هيدروكربوني Hydrocarbon**). واحتراق الميثان (أو أي مادة أخرى تحتوي على الكربون) سينتج عنه غاز **ثاني أكسيد الكربون Carbon dioxide**.

ماء + ثاني أكسيد الكربون ⟵ أكسجين + ميثان

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

يُمثِّل هذا التفاعُل **الاحتراق الكامل Complete combustion** للميثان، فعند وجود كمّية وافرة من الأكسجين يتحوَّل الكربون كلّه إلى غاز ثاني أكسيد الكربون. ولكن عند وجود كمّية محدودة من الأكسجين، تحدث عملية **احتراق غير كامل Incomplete combustion**، وينتج عنها **أحادي أكسيد الكربون Carbon monoxide** بدلًا من ثاني أكسيد الكربون.

ماء + أحادي أكسيد الكربون ⟵ أكسجين + ميثان

$$2CH_4(g) + 3O_2(g) \longrightarrow 2CO(g) + 4H_2O(l)$$

وفي النظام المُغلَق لمُحرِّك السيّارة، لا يحترق الوقود الهيدروكربوني عادة بشكل كامل، وذلك بسبب نقص الأكسجين اللازم. لذا يتكوَّن أحادي أكسيد الكربون إضافة إلى ثاني أكسيد الكربون.

مصطلحات علمية

- **الاحتراق الكامل Complete combustion:** عملية احتراق المادة في وفرة من الأكسجين، وتأكسُدها الكامل.
- **الاحتراق غير الكامل Incomplete combustion:** عملية احتراق المادة في كمّية محدودة من الأكسجين، وتأكسُدها الجُزئي.

تُنتِج معظم دول العالم الكهرباء عن طريق حرق الفحم أو النفط. وهذان الوقودان الأحفوريّان كلاهما مُلوَّث بالكبريت. وعندما يُحرقان في محطّات توليد الطاقة الكهربائية، يتفاعل الكبريت فيهما مع الأكسجين الموجود في الهواء، وينتج عن ذلك **ثُنائي أكسيد الكبريت Sulfur dioxide** وفقًا للمُعادَلة الآتية:

كبريت + أكسجين ⟵ ثُنائي أكسيد الكبريت

$$S(s) + O_2(g) \longrightarrow SO_2(g)$$

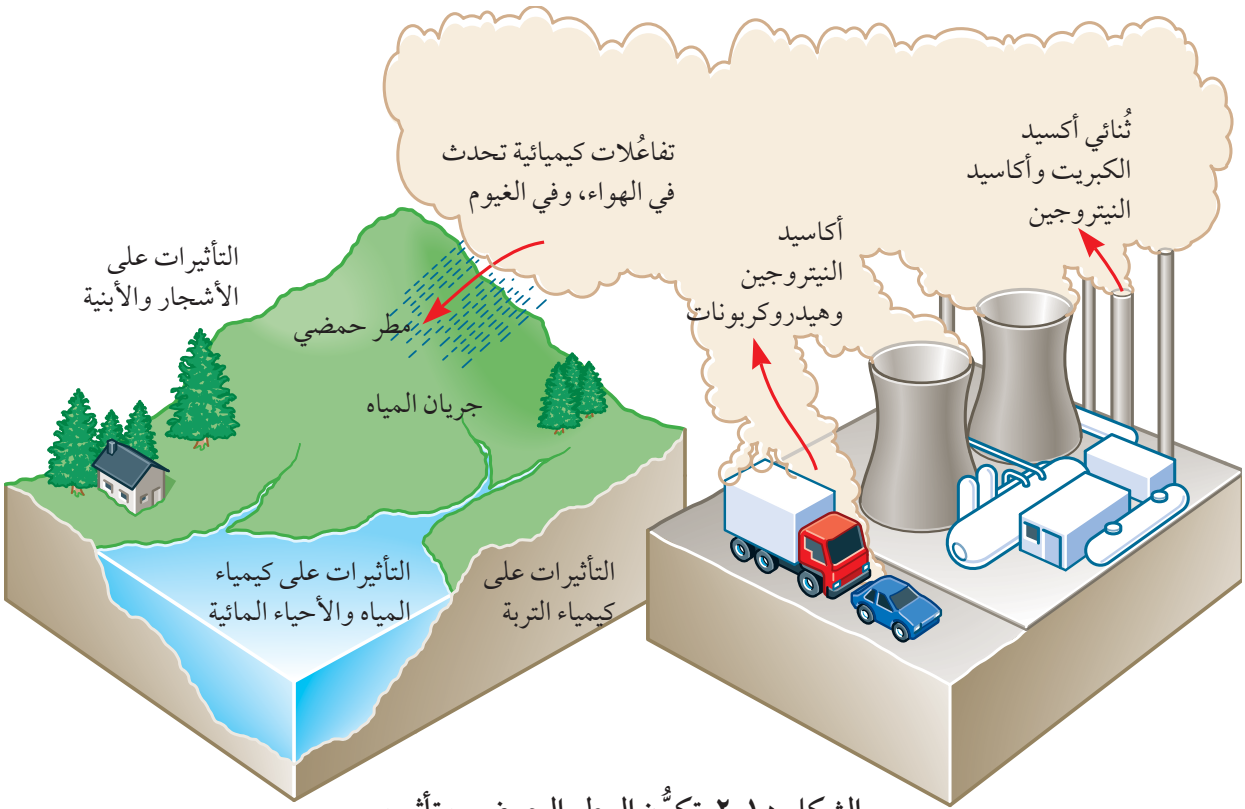
ويوجد نوع آخر من الغازات المُلوِّثة التي قد تتكوَّن أثناء احتراق الوقود الأحفوري، وهي **أكاسيد النيتروجين Nitrogen oxides** (NO_x)، التي تتضمَّن **أحادي أكسيد النيتروجين Nitrogen monoxide** (NO)، و**ثُنائي أكسيد النيتروجين Nitrogen dioxide** (NO_2). وتتكوَّن أكاسيد النيتروجين عند درجات حرارة مُرتفِعة جدًّا، وهي تنتج عن عملية الاحتراق في أفران محطّات توليد الكهرباء، أو في مُحرِّكات السيّارات، فتُسبِّب درجات الحرارة المُرتفعة تلك تفاعُل النيتروجين والأكسجين الموجودَين في الهواء. ومن الأمثلة على ذلك:

نيتروجين + أكسجين ⟵ ثُنائي أكسيد النيتروجين

$$N_2(g) + 2O_2(g) \longrightarrow 2NO_2(g)$$

المطر الحمضي

تذوب غازات ثُنائي أكسيد الكبريت، وأكاسيد النيتروجين (وهي أكاسيد حمضية)، في مياه الأمطار؛ فينتج عن ذلك **مطر حمضي Acid rain** (الشكل ١٠-٢) له تأثيرات كثيرة، منها تعريض الأبنية والمنحوتات للتلف؛ فضلًا عن تفاعُله مع بعض المواد القاعدية، كالحجر الجيري، والإسمنت، والخرسانة، مسبِّبًا تآكلها. أضِف إلى ذلك أنَّ مُعدَّل سرعة تآكُل الفلزّات مثل الحديد، والسبائك مثل الفولاذ والبرونز المُستخدَمة في البناء، يزداد عند تعرُّضها للمطر الحمضي. وبسبب تأثيرات المطر الحمضي تُصبِح مياه المُسطَّحات المائية حمضية ممّا قد يُعرِّض الكائنات المائية والنباتية للضرر.



الشكل ١٠-٢ تكوُّن المطر الحمضي وتأثيره

يمكن أيضًا أن تفقد التربة العناصر الغذائية وأيونات الفلزّات، ممّا يُسبِّب حرمان الأشجار من المواد اللازمة لنموِّها. ويمكن أيضًا أن تدخل بعض أيونات الفلزّات (كأيونات الألومنيوم) في الماء وتُسبِّب تلفًا لخياشيم الأسماك. ويمكن أن تحمل الرياح سحب الأمطار الحمضية بعيدًا عن المناطق الصناعية، ممّا يؤدّي إلى انتقال التلوُّث إلى دول أخرى.

مصطلحات علمية

- **المطر الحمضي Acid rain:** مطر يحتوي على مُلوِّثات حمضية تكوَّنت نتيجة حرق الوقود الأحفوري، وتُسبِّب أضرارًا في البيئة.

الاحتباس الحراري العالمي وتأثير الدفيئة

يتوفَّر غازا ثاني أكسيد الكربون والميثان طبيعيًّا في الغلاف الجوّي، وينتجان أيضًا من الأنشطة البشرية. ويؤدّي ازدياد كمّيات هذَين الغازَين في الهواء إلى ظهور شكل مختلف من التلوُّث البيئي. يدخل ثاني أكسيد الكربون إلى الهواء بشكل رئيسي عن طريق **التنفُّس Respiration**، والاحتراق الكامل للمواد التي تحتوي على الكربون. وتتمّ إزالة ثاني أكسيد الكربون بواسطة النباتات خلال التمثيل الضوئي. وبالرغم من ذلك، فإنَّ اختلالًا قد حدث في التوازُن بين هذه العمليات وحرق المزيد من الوقود الأحفوري وقطع أشجار الغابات التي كان يمكنها إزالة ثاني أكسيد الكربون عبر التمثيل الضوئي. أما الميثان، فهو من نواتج التحلُّل اللاهوائي للمواد العضوية، وينتج كذلك بكمّيات كبيرة في حقول الأرزّ ومكبّات النفايات. وينتج أيضًا في الجهاز الهضمي للحيوانات، ابتداءً من الماشية وانتهاءً بالنمل الأبيض.

تُعرَف هذه الغازات معًا، إضافة إلى بُخار الماء، وأكاسيد النيتروجين، باسم **غازات الدفيئة greenhouse gases**. تُدفِئ حرارة الشمس الأرض، لكن هذه الحرارة كانت لتتسرَّب سريعًا لولا وجود غلافنا الجوّي. فدائمًا تكون الليالي الصافية باردة لعدم وجود غيوم تحفظ الحرارة في الغلاف الجوّي الداخلي. وتُعدّ بعض الغازات أكثر فاعلية

من غيرها في حفظ الحرارة؛ فإذا توفَّرت كمِّية كبيرة منها في الغلاف الجوّي، فسوف يؤدّي ذلك إلى ازدياد **تأثير الدفيئة Greenhouse effect**، وتصبح الأرض أكثر دفئًا، (الشكل ١٠-٣). ويُعدّ ثاني أكسيد الكربون والميثان الغازَين الرئيسيَّين من غازات الدفيئة؛ وتبلغ فاعليَّة الميثان ما يُقارب 20 مرَّة فاعليَّة ثاني أكسيد الكربون في منع تسرُّب الحرارة.

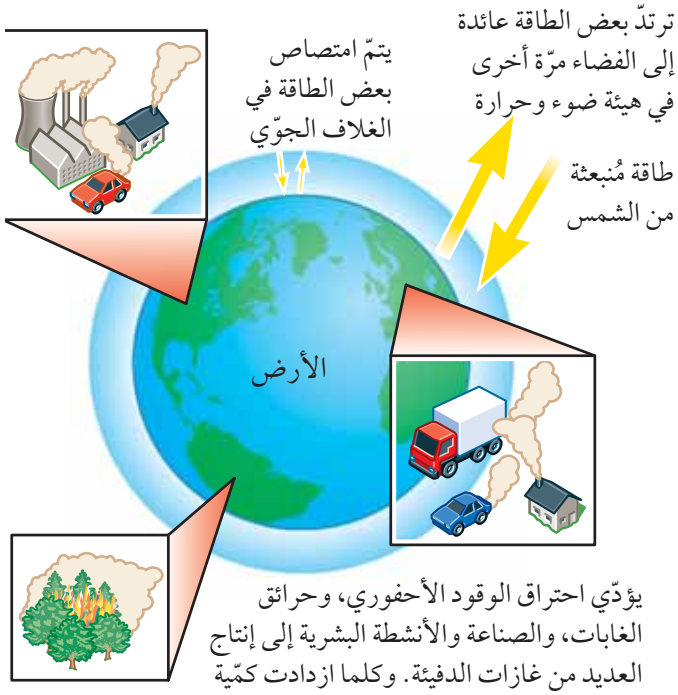
وقد بدأ ازدياد تراكيز غازات الدفيئة في الغلاف الجوّي مع بداية الثورة الصناعية منذ حوالي 250 عامًا. وقد بيَّنت قياسات مُتوسِّط درجات الحرارة العالمية خلال الأعوام 150 الماضية ارتفاعًا مُطَّردًا في درجات الحرارة. ويعتقد الكثير من العُلماء بأن هذه هي النتيجة المباشرة لازدياد انبعاثات غازات الدفيئة. ويُطلق على ارتفاع درجة حرارة كوكبنا تسمية **الاحتباس الحراري العالمي Global warming**، وهو يُسبِّب مُشكلات إضافية في البيئة، تتضمَّن **تغيُّر المناخ Climate change**. وقد أُدرِجت المشكلات التي يُسبِّبها الاحتباس الحراري العالمي أدناه.

- انصهار الأنهار الجليدية والجليد القطبي، مما يُؤدّي إلى ارتفاع مستوى سطح البحر، وغرق الأراضي المُنخفِضة.
- ارتفاع درجة حرارة سطح الأرض، وزيادة التصحُّر، وقد يُعاني ملايين الناس نقصًا في المياه.
- ارتفاع وتيرة الظواهر المُناخية القاسية، وقد تصبح الأعاصير والفيضانات أكثر شيوعًا.
- يُحتمَل أن تصبح زراعة المحاصيل في بعض المناطق أسهل، وصعبةً في مناطق أخرى، ممّا يؤدّي الى اختلال توازن الإنتاج الغذائي في العالم.

حلّ مشكلة الغازات المُلوِّثة

يُمثِّل حلّ المُشكلات الناجمة عن الغازات المُسبِّبة للتلوُّث تحدّيًا كبيرًا، فكيف يمكنك إزالة كمّيات كبيرة من غازات غير مرئيَّة تسرَّبت واختلطت بالهواء المُحيط بكامل كوكبنا؟ من الأفكار المُقترَحة لإيقاف انبعاث الغازات المُسبِّبة للتلوُّث إلى الهواء، فكرة حرق كمّية أقلّ من الوقود الأحفوري المُستخدَم لتلبية احتياجاتنا للطاقة (أو عدم حرقه إطلاقًا)، وهذا من شأنه الحدّ من انبعاثات الغازات المُلوِّثة. إلا أننا بحاجة إلى إيجاد طُرق أكثر موثوقية، وأكثر نظافة ووفرة لإنتاج الطاقة، وذلك لاستبدال اعتمادنا على الوقود الأحفوري.

تتوفَّر أيضًا طريقة لحل مُشكلة المطر الحمضي، وهي منع الغازات الحمضية من الانطلاق في المقام الأوَّل. وقد تمّ تركيب "أجهزة تنقية الغازات" على فوَّهات المداخن في أفران محطّات توليد الطاقة. ففي هذه الأجهزة، تمرّ الغازات الحمضية عبر مادة قاعدية (قلوية) مثل **الجير (أكسيد الكالسيوم) Lime (Calcium oxide)**.



يؤدّي احتراق الوقود الأحفوري، وحرائق الغابات، والصناعة والأنشطة البشرية إلى إنتاج العديد من غازات الدفيئة. وكلما ازدادت كمّية هذه الغازات، يتمّ احتجاز المزيد والمزيد من طاقة الشمس؛ وترتفع درجة حرارة الأرض

الشكل ١٠-٣ تأثير الدفيئة

فعلى سبيل المثال:

أكسيد الكالسيوم + ثنائي أكسيد الكبريت ← كبريتيت الكالسيوم

$$SO_2(g) + CaO(s) \rightarrow CaSO_3(s)$$

فهذه العملية التي تُسمّى **إزالة الكبريت من غاز المداخن Flue gas desulfurisation**، تزيل الغازات الحمضية، وتجعل الغازات المُنبعِثة أقلّ ضررًا بكثير. وفي كثير من الدول، لا تزال الغازات الحمضية المُنبعِثة من محطّات توليد الطاقة تُمثِّل مشكلة خطيرة.

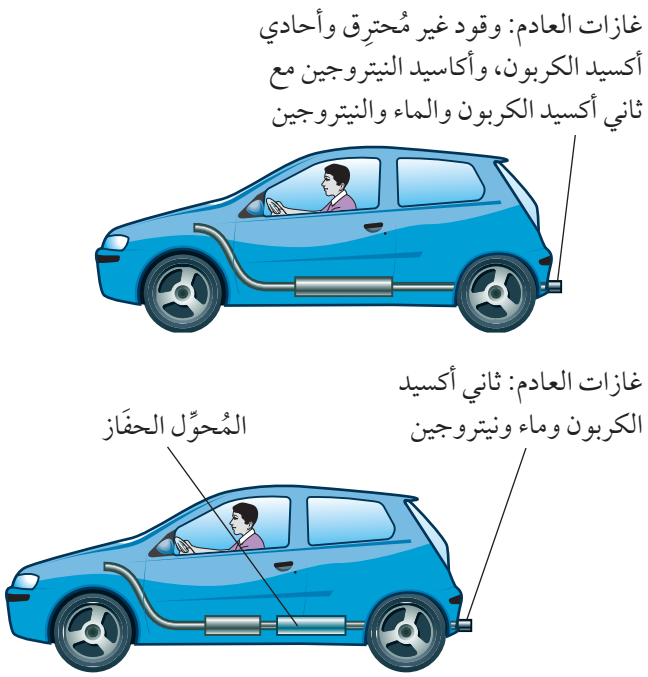
أما بنزين السيّارات (الجازولين) والديزل المُستخدَمان في وسائل النقل، فقد أُزيل معظم الكبريت منهما خلال عمليات التكرير، لإنتاج **وقود مُنخفِض الكبريت Low sulfur fuels**.

لذلك لم تعد عملية إنتاج ثُنائي أكسيد الكبريت مُشكلة خطيرة لمُحرِّكات السيّارات. لكن الغازات الأخرى المُلوِّثة التي توجد في أبخرة عوادم السيارات، مثل أحادي أكسيد الكربون، وأحادي أكسيد النيتروجين، والوقود الهيدروكربوني غير المُحترِق، لا تزال بحاجة للإزالة، (الصورة ١٠-٢).

الصورة ١٠-٢ الغازات المُنبعِثة من عادم السيّارة

وتتوفَّر طريقة واحدة للحدّ من التأثيرات المُلوِّثة لغازات عادم السيّارة، وهي تجهيز السيّارة **بمُحوّل حفّاز Catalytic converter** (الصورة ١٠-٣). وقد أصبحت هذه المُحوِلات في الكثير من الدول إلزامية قانونيًا. ويمكن توصيل المُحوِّلات الحفّازة بأنظمة عوادم السيّارات. فهي تُحوِّل أحادي أكسيد الكربون وأحادي أكسيد النيتروجين إلى غازات ذات ضرر أقلّ على البيئة وصحَّة الإنسان (الشكل ١٠-٤).

الصورة ١٠-٣ يمكن تركيب مُحوّل حفّاز في نظام عادم السيارة



الشكل ١٠-٤ يُحوِّل المُحوِّل الحفّاز غازات العادم الضارَّة إلى غازات أكثر أمانًا

ففي السيَّارة التي جُهِّزَت بمُحوِّل حفّاز، تمرّ غازات العادم عبر حشية ساخنة تشبه «خلية النحل»، تحتوي على عُنصرَي الروديوم والبلاتين (فلزَّين انتقاليَّين) كعاملَين حفّازَين، وتُشارِك المُلوِّثات المُحتمَلة في عدد من التفاعُلات المختلفة، التي تُحوِّلها إلى ثاني أكسيد الكربون ونيتروجين، وفقًا للمُعادلات الآتية:

$$2CO(g) + O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g)$$

$$2NO(g) + 2CO(g) \rightarrow N_2(g) + 2CO_2(g)$$

$$2NO(g) \rightarrow N_2(g) + O_2(g)$$

مصطلحات علمية

- **المُحوِّل الحفّاز Catalytic converter:** جهاز يتمّ تركيبه في نظام عادم السيّارة، للحدّ من التلوُّث الناتج منها؛ وذلك بتحويل المواد المُلوِّثة إلى مواد ناتجة أقلّ ضررًا.

أسئلة

٥-١٠ ما الغازات التي تُسهم بشكل كبير في تكوُّن المطر الحمضي؟

٦-١٠ كيف تدخل الغازات المسؤولة عن تكوُّن المطر الحمضي إلى الغلاف الجوّي؟

٧-١٠ ما المُشكلات التي يُسبّبها المطر الحمضي؟

٨-١٠ كيف يتكوَّن أحادي أكسيد الكربون؟

٩-١٠ كيف يمنع أحادي أكسيد الكربون الدم من نقل الأكسجين؟

١٠-١٠ ما المقصود بتأثير الدفيئة؟

١١-١٠ ما الذي يجعل غازًا ما من غازات الدفيئة؟

١٢-١٠ ما الذي يقوم به المُحوّل الحفّاز للغازات المُنبعِثة من عادم السيّارة؟

١٠-٢ مُنتَجات من الأرض: الحجر الجيري

تُزوِّدنا الأرض بكل ما نحتاج إليه للعيش عليها من هواء وماء وغذاء ومواد أخرى نستخدمها في حياتنا اليومية.

ونحصل على هذه المواد من الطبقة العليا للأرض، المُسمّاة بالقشرة الأرضية. فمن هذه الطبقة الرقيقة نحصل على التربة التي نحتاج إليها لزراعة المحاصيل، وعلى الخامات التي نستخلص منها الفلزّات، وعلى الوقود الأحفوري الذي نستخدمه لتوليد الطاقة، والصخور التي تلزمنا للبناء. ويُعدّ **الحجر الجيري Limestone** الأكثر استخدامًا من بين هذه الصخور، وهو نوع من الصخور شديد التحمُّل، ولا يذوب في الماء. يتكوَّن الحجر الجيري بشكل رئيسي من كربونات الكالسيوم. وهو يُستخرج بكمّيات كبيرة في جميع أنحاء العالم (الصورة ١٠-٤). ويُستخدم على نطاق واسع. وتكون بعض استخداماته مُباشرة، أو يُستخدم كمادة أوَّلية لصُنع مُركَّبات أخرى.

الصورة ١٠-٤ مقلع حجر جيري في ولاية عبري بمحافظة الظاهرة

استخدامات الحجر الجيري

غالبًا ما يُستخدَم مسحوق الحجر الجيري لمُعادلة التربة الحمضية والبُحَيرات التي تعرَّضت للمطر الحمضي أو لنفايات مياه الصرف الصناعية الحمضية، كما درست في الموضوع ١٠-١.

حمض الكبريتيك + كربونات الكالسيوم ⟶
(المطر الحمضي) (الحجر الجيري)

ماء + ثاني أكسيد الكربون + كبريتات الكالسيوم

$$CaCO_3(s) + H_2SO_4(aq) \rightarrow CaSO_4(s) + CO_2(g) + H_2O(l)$$

وفي الفرن العالي المُستخدَم لاستخلاص الحديد، يضاف الحجر الجيري لإزالة الشوائب الموجودة في خامات الحديد كبقايا انصهار الخام (سيليكات الكالسيوم).

تصنيع الجير الحي (أكسيد الكالسيوم)

يتمّ تحويل معظم الحجر الجيري إلى **الجير** (أكسيد الكالسيوم) **Lime**، والذي يمتلك الكثير من الاستخدامات. يُستخدم الجير لإزالة ثُنائي أكسيد الكبريت من انبعاثات الغاز في المصانع. ويُصنع الزجاج بتسخين الجير مع الرمل وكربونات الصوديوم. ويُصنع الإسمنت بتسخين مسحوق الجير مع الطين. أما الخرسانة فهي مخلوط من الإسمنت والرمل والماء وشظايا الحجارة والحصى. يُسمّى أكسيد الكالسيوم بالجير الحي (أو الجير النشط)، وهو ينتج عن تحميص الحجر الجيري في فرن الجير. وكذلك تُفكِّك الحرارة الحجر الجيري إلى أكسيد الكالسيوم وثاني أكسيد الكربون، وفقًا للمُعادلة الآتية:

كربونات الكالسيوم (الحجر الجيري) $\xrightarrow{\text{حرارة}}$ ثاني أكسيد الكربون + أكسيد الكالسيوم (الجير الحيّ)

$$CaCO_3(s) \xrightarrow{\text{حرارة}} CaO(s) + CO_2(g)$$

ويُعرف هذا التفاعُل باسم **التفكُّك الحراري Thermal decomposition** لكربونات الكالسيوم، ويمكن إجراء المزيد من التفاعُلات في المُختَبر، (الشكل ١٠-٥). إذ يجب تسخين قطعة من كربونات الكالسيوم بشدَّة مُدَّة من الزمن لإنتاج الجير الحيّ، ثم تُترك لتبرد. وبعد ذلك تُضاف إليها بضع قطرات من الماء. عندئذ تنتفخ المادة الصلبة وتتمدّد، ثم تتفتَّت إلى «جير مُطفأ» (هيدروكسيد الكالسيوم). ويُعدّ هذا التفاعُل تفاعُلًا طاردًا للحرارة بشدَّة (يُطلِق حرارة). وإذا أُضيف المزيد من الماء، يتكوّن محلول قاعدي (قلوي) من ماء الجير (محلول هيدروكسيد الكالسيوم). وعند تمرير فقّاعات غاز ثاني أكسيد الكربون عبر ماء الجير، يتحوَّل المحلول إلى مخلوط عكر، لأن كربونات الكالسيوم، غير الذائبة تتكوَّن من جديد. ويُوفِّر النشاط (١٠-١) معلومات إضافية عن تفكُّك الحجر الجيري.

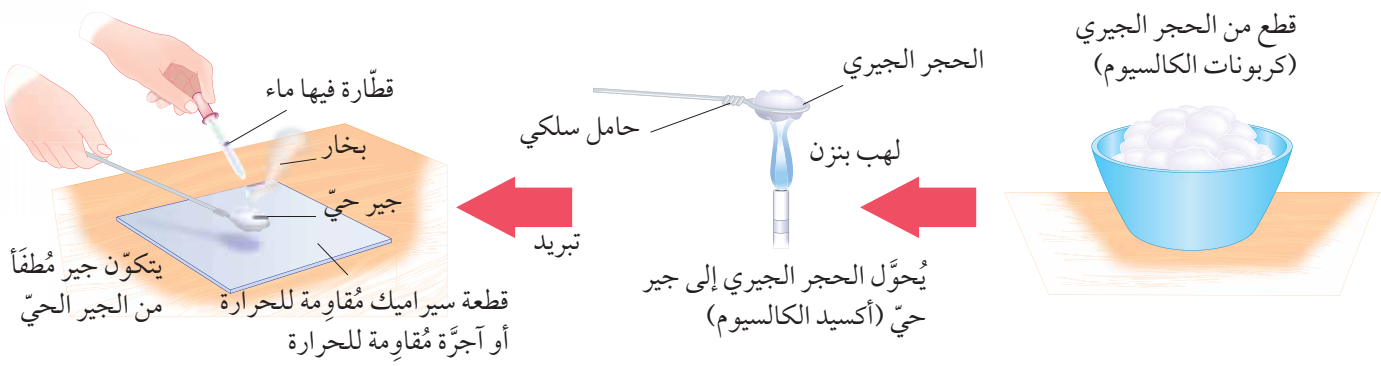
نشاط ١٠-١

التفكُّك الحراري للحجر الجيري، واستقصاء المواد الناتجة

المهارات:

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

في هذا النشاط، سوف تستقصي التفكُّك الحراري للحجر الجيري (كربونات الكالسيوم). تؤدّي درجات الحرارة المُرتفعة إلى تفكيك الحجر الجيري إلى مادة صلبة بيضاء قاعديَّة وغاز حمضي.



الشكل ١٠-٥ تكوُّن الجير الحيّ (النشط) والجير المُطفأ في المُختبر

تذكَّر بأن التفاعُل المُنتِج للجير الحيّ هو مثال على **التفكُّك الحراري Thermal decomposition**. فكربونات الكالسيوم لم تتفاعل مع أي شيء آخر، بل تفكَّكت إلى مواد أبسط بسبب درجة الحرارة المُرتفعة. وعندما تكتب مُعادلة التفاعُل. لا تُحاوِل تضمين طرَفها الأيسر أي شيء آخر.

التحكُّم بحموضة التربة

يُستخدم الحجر الجيري والجير الحيّ في الزراعة، لمُعادلة التربة الحمضية، لأنهما من **القواعد Bases**. فنموّ النباتات يتأثَّر بحمضية وقاعدية التربة. والتربة ذات المحتوى العالي من الجفت (مواد عضوية)، أو تحتوي على معادن مثل مُركَّبات الحديد، أو تحتوي على نباتات في حالة تحلُّل وتُعاني نقصًا في الأكسجين، تميل إلى أن تكون حمضية. ويمكن للرقم الهيدروجيني لهذه التربة أن ينخفض إلى pH = 4. أما تربة المناطق الجيرية أو الطبشورية فتكون قاعدية (قلوية)، مع رقم هيدروجيني pH يمكن أن يبلغ 8.3. ويتأثَّر الرقم الهيدروجيني pH للتربة باستخدام الأسمدة وبحمضية المطر المُتساقِط.

تعتمد الظروف المناسبة لنمو النباتات على مدى من الرقم الهيدروجيني pH (الجدول ١٠-٣). ويمكن للمُزارعين أن يفحصوا الرقم الهيدروجيني للتربة لمعرفة إن كانت تُناسِب احتياجات نباتات مُعيَّنة.

الخضراوات	مدى الرقم الهيدروجيني pH المناسب
البطاطس	6.0 - 4.5
الهندباء، والبقدونس	6.5 - 5.0
الجزر، والبطاطا الحلوة	6.5 - 5.5
القرنبيط، والثوم، والطماطم	7.5 - 5.5
الفول، والبصل، والملفوف، وغيرها الكثير	7.5 - 6.0

الجدول ١٠-٣ ظروف pH المناسبة للتربة لأنواع مختلفة من الخضراوات

عندما تكون التربة حمضية جدًّا، تُعالج عادة بإضافة الجير. «والجير» هنا مصطلح فضفاض قد يعني أكسيد الكالسيوم، أو هيدروكسيد الكالسيوم، أو مسحوق الطبشور، أو الحجر الجيري (كربونات الكالسيوم). وتأثير هذه المُركَّبات جميعها هو مُعادَلة حموضة التربة. ويُعدّ الحجر الجيري والطبشور أرخص الخيارات، إلا أن كربونات الكالسيوم لا تذوب، لذلك سنحتاج إلى كمّية أكبر لنشرها في التربة. أما الجير الحيّ (أكسيد الكالسيوم) فميزته أنه يذوب، لذلك يمكن نشره على مساحة أكبر، ويكون بالتالي قادرًا على مُعادَلة كتلة أكبر من التربة الحمضية. وعندما تكون التربة شديدة القلوية، يسهل دفن الجفت أو تحلُّل المواد العضوية (السماد الطبيعي).

أسئلة

١٠-١٣ لماذا تتمّ إضافة الحجر الجيري إلى البُحَيرات في بعض الأحيان؟

١٠-١٤ اكتب المُعادَلة الرمزية للتفكُّك الحراري للحجر الجيري.

١٠-١٥ ما الفرق بين الجير الحيّ، والجير المُطفأ؟

١٠-١٦ اذكر استخدامَين مُهمَّين للجير.

من المُهِمّ أن تكون قادرًا على كتابة المُعادلات اللفظية والرمزية الموزونة للتفاعُلات الواردة في هذه الوحدة.

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- يتكوَّن الهواء أساسًا من النيتروجين والأكسجين، ولكنه يحتوي على غازات أخرى أيضًا مثل ثاني أكسيد الكربون، والأرغون وغازات نبيلة أخرى.
- الغازات النبيلة غير نشطة، وأُحادية الذرّات، وهي توفِّر جوًّا خاملاً كيميائيًّا في العديد من التطبيقات.
- مشكلات تلوُّث الغلاف الجوّي الرئيسيَّة التي تُسبِّب الاحتباس الحراري، وتغيُّر المُناخ العالمي، والمطر الحمضي.
- الاحتباس الحراري العالمي ناتج عن ازدياد كمّيات بعض غازات الدفيئة في الغلاف الجوّي، كثاني أكسيد الكربون والميثان.
- مصادر مُلوِّثات الغلاف الجوّي الأخرى، (أحادي أكسيد الكربون، وثُنائي أكسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين) ووسائل الحدّ من انبعاثات هذه الغازات.
- تتفكَّك كربونات الكالسيوم (الحجر الجيري) عند تسخينها، فينتج عن ذلك أكسيد الكالسيوم (الجير الحيّ) وثاني أكسيد الكربون.
- استخدام الحجر الجيري والجير الحي في مُعالجة التربة الحمضية.

أسئلة نهاية الوحدة

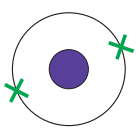
١ اكتب الجُمل الآتية، حول تركيب الغلاف الجوّي للأرض، ثم أكملها مُستخدِمًا الكلمات الواردة في القائمة أدناه:

ثاني أكسيد الكربون	**النيتروجين**	**الماء**	**الأكسجين**
الهواء	**الغاز**	**المجموعة الثامنة**	

الغلاف الجوّي هو غلاف من ..... يحيط بكوكبنا. والغلاف الجوّي للأرض هو مخلوط من الغازات التي تُعرف باسم .....

يحتوي الهواء على كمّية مُتغيِّرة من بُخار ....., لذلك تُقاس نسب مُكوِّنات الهواء عادة في الهواء الجاف. ويتكوَّن الهواء الجافّ بشكل رئيسي من ..... بنسبة 78%، و..... بنسبة 21%، بالإضافة إلى كمّيات قليلة جدًّا من غازات أخرى مثل ..... وعناصر ..... والمعروفة باسم الغازات النبيلة.

٢ يُبيّن الشكل الآتي التركيب الإلكتروني لذرَّة الهيليوم.



أ. ما اسم المجموعة التي ينتمي إليها هذا العنصر؟

ب. الهيليوم غاز أحادي الذرّات. اشرح المقصود بذلك.

ج. اكتب الرمز الكيميائي ورمز الحالة الفيزيائية لعيِّنة من الهيليوم عند درجة حرارة الغرفة.

د. لماذا يُعدّ الهيليوم عُنصرًا غير نشط؟

هـ. اذكر استخدامًا واحدًا للهيليوم، وبرِّر استخدام هذا العُنصر مُستنِدًا إلى خصائصه.

٣ ثاني أكسيد الكربون غاز متوفِّر بشكل طبيعي في غلافنا الجوّي.

أ. اذكر عملية طبيعية واحدة تُطلق ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوّي.

ب. يؤدّي احتراق الوقود الأحفوري إلى تغيُّر المناخ. اشرح هذه العبارة.

٤ المطر الحمضي هو مطر مُتساقِط يكون رقمه الهيدروجيني pH أقلّ من pH المطر الطبيعي (pH = 5.5).

أ. كيف يتكوَّن المطر الحمضي من احتراق الوقود الأحفوري؟

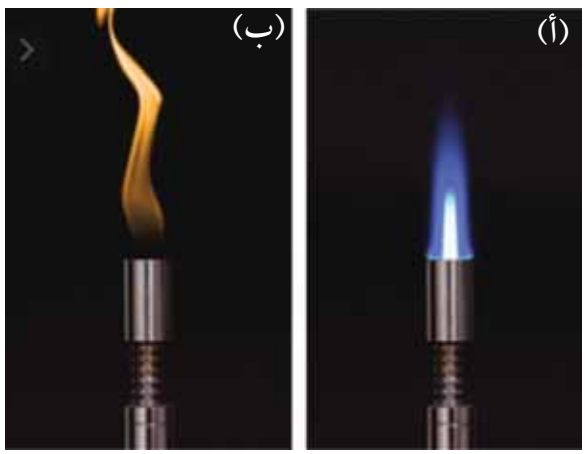
ب. صف بعض المشاكل التي تُسبِّبها الأمطار الحمضية.

ج. تُستخدَم طريقة إزالة الكبريت من غاز المداخن لتقليل انبعاثات الغازات الحمضية من هذه المداخن. وضِّح ذلك مُضمِّنًا إجابتك مُعادلة رمزية موزونة.

د. كيف يُمكن أن تسهم مُحرِّكات السيّارات في تكوين أكاسيد النيتروجين (NO_x) التي تُطلقها في الهواء؟

هـ. اشرح، باستخدام المُعادَلات الرمزية الموزونة، كيف يساعد المُحوِّل الحفّاز في الحدّ من تكوين أكاسيد النيتروجين (NO_x).

٥ تُظهِر الصورة أدناه لهبَين مختلفَين لموقدَي بنزن.



أ. تُظهِر الصورة أ احتراقًا كاملاً، اذكر معنى ذلك.

ب. يُعدّ الميثان (CH_4) أحد أنواع الوقود المُستخدَم في لهب بنزن. اكتب المُعادلة الرمزية الموزونة، التي تتضمَّن رموز الحالة الفيزيائية للتفاعُل المُبيَّن في الصورة أ.

ج. ما نوع التلوُّث الجوّي المُرتبِط بالميثان؟

د. تُظهِر الصورة ب احتراقًا غير كامل. يؤدّي البقاء في غرفة تحتوي على موقد بنزن بشعلة بُرتقالية طوال اليوم إلى مشكلات صحّية. فسِّر ذلك.

٦ يستخدم أحد المُزارعين الجير الحيّ (CaO) في حقوله، بناءً عليه أجب عمّا يأتي:

أ. ما نوع التربة التي يمكن للمُزارع أن يستخدم الجير الحيّ فيها؟

ب. ما التفاعُل الذي يمكن أن يحدث بين الجير الحيّ وموادّ التربة؟

ج. يُصنَع الجير الحيّ من الحجر الجيري عن طريق تسخينه بشدّة. ما الاسم الذي يُطلَق على هذا التفاعُل؟

د. اكتب المُعادلة الرمزية الموزونة للتفاعُل الذي يُحوّل الحجر الجيري إلى جير حيّ، مع ذكر رموز الحالة الفيزيائية للمواد.

مصطلحات علمية

الاحتباس الحراري العالمي Global warming: ارتفاع في درجة حرارة الأرض نتيجة لازدياد كمِّيات غازات الدفيئة في الغلاف الجوّي. (ص ٧٤)

الاحتراق Combustion: تفاعُل مادَّة مع الأكسجين يُؤدّي إلى انبعاث طاقة حرارية. (ص ٧١)

الاحتراق غير الكامل Incomplete combustion: عملية احتراق المادة في كمّية محدودة من الأكسجين، وتأكسُدها الجُزئي. (ص ٧٢)

الاحتراق الكامل Complete combustion: عملية احتراق المادة في وفرة من الأكسجين، وتأكسُدها الكامل. (ص ٧٢)

اختبار اللهب Flame test: اختبار نوعي لتحديد ماهية كاتيون من لون اللهب الذي ينتجه. (ص ٥٨)

إزالة الكبريت من غاز المداخن Flue gas desulfurisation: عملية تتمّ في مداخن المصانع، وتَستخدم مادة قاعدية لإزالة غاز ثنائي أكسيد الكبريت الحمضي المُنبعِث خلال عمليّات احتراق الوقود الأحفوري. (ص ٧٥)

أكاسيد النيتروجين Nitrogen oxides: مُركَّبات غازية من النيتروجين والأكسجين (صيغتها العامة NO_x)، تتكوَّن نتيجة تفاعُل النيتروجين والأكسجين الموجودَيْن في الهواء عند درجات الحرارة المُرتفعة كما يحدث في مُحرِّكات السيّارات. (ص ٧٢)

أكسيد الفلزّ المُتذبذِب (المُتردِّد) Amphoteric metal oxide: أكسيد فلزّ يتفاعل مع حمض أو مادة قلوية لإنتاج ملح وماء. (ص ٢٩)

تأثير الدفيئة Greenhouse effect: الارتفاع المُطَّرد في درجة حرارة الأرض، نتيجة لازدياد كمِّيات غازات الدفيئة في الغلاف الجوّي. (ص ٧٤)

التحليل النوعي Qualitative analysis: اختبار كيميائي لتحديد ماهية مادّة ما، أو أحد مُكوِّناتها. (ص ٥٤)

الترسيب Precipitation: تكوُّن لمادة صلبة عند خلط محلولَيْن معًا، أو عند ضخّ غاز داخل محلول. (ص ٣٨)

تفاعُل التعادُل Neutralisation: تفاعُل يحدث بين حمض وقاعدة، وينتج عنه ملح وماء. (ص ١٧)

التفكُّك الحراري Thermal decomposition: تفاعُل كيميائي يسبِّبه تسخين مُركَّب، ويتضمَّن تفكُّك المُركَّب إلى مواد أبسط. (ص ٧٧)

الجير الحي Lime: مادَّة ناتجة عن التفكُّك الحراري للحجر الجيري، وهو يحمل الاسم الكيميائي أكسيد الكالسيوم. (ص ٧٤)

الحجر الجيري Limestone: صخر طبيعي يحتوي على كربونات الكالسيوم. (ص ٧٦)

الحمض Acid: جُزيء أو أيون قادر على منح أيون H^+ (بروتون) لقاعدة. (ص ٢٥)

غازات الدفيئة Greenhouse gases: غازات موجودة في الغلاف الجوّي وهي تمتصُّ الحرارة المُنبعِثة من الأرض، وتمنعها من التسرُّب إلى الفضاء. (ص ٧٣)

الغازات النبيلة Noble gases: غازات خاملة، وأُحادية الذرّات، وهي عناصر المجموعة VIII من الجدول الدوري. (ص ٧٠)

القاعدة Base: جُزيء أو أيون قادر على قبول أيون H^+ (بروتون) من حمض. (ص ٢٥)

الكاشف Indicator: مادة يتغيَّر لونها عند إضافتها إلى محلول حمضي أو محلول قلوي. (ص ١٩)

المادة القلوية Alkali: قاعدة تذوب في الماء، وتُشكِّل أيونات OH^- في محلولها المائي. (ص ٢٥)

المُحوِّل الحفّاز Catalytic converter: جهاز يتمّ تركيبه في نظام عادم السيّارة، للحدّ من التلوُّث الناتج منها؛ وذلك بتحويل المواد المُلوِّثة إلى مواد ناتجة أقلّ ضررًا. (ص ٧٦)

المطر الحمضي Acid rain: مطر يحتوي على مُلوِّثات حمضية تكوَّنت نتيجة حرق الوقود الأحفوري، وتُسبِّب أضرارًا في البيئة. (ص ٧٣)

المُعادلة الأيونية الصافية Net ionic equation: تمثيل لتفاعُل كيميائي يُظهِر فقط الأيونات التي تتفاعَل، والمواد الناتجة المُتكوِّنة من تلك الأيونات (أو المواد المُتفاعلة والأيونات الناتجة من تلك المواد). (ص ٣٨)

المُعادلة الكيميائية الرمزية الموزونة Balanced symbol chemical equation: تعبير يستخدم رموز العناصر والصيَغ الكيميائية للمُركَّبات، لتمثيل التفاعُل الكيميائي تكون فيه أعداد الذرّات وأنواعها متماثلة على كلا طرفَي المُعادلة، وتكون مُرتَّبة بشكل مختلف في المواد الناتجة مقارنة بالمواد المتفاعلة. (ص ٣٥)

المُعادلة الكيميائية اللفظية Word equation: تعبير عن التفاعُل الكيميائي بأسماء العناصر والمُركَّبات الكيميائية الداخلة والناتجة من التفاعُل. (ص ٣٣)

مقياس الرقم الهيدروجيني pH scale: نظام يُستخدَم لقياس حموضة مادة (تركيز أيون H^+)؛ حيث تتدرّج قيمه من 0 إلى 14. (ص ٢١)

الملح Salt: مُركَّب يتكوَّن عندما يحلّ فلزّ محلّ الهيدروجين في الحمض. (ص ٤١)

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 ألومينيوم 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
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
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
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 –

27 Co Cobalt كوبالت 59	28 Ni Nickel نيكل 59	29 Cu Copper نحاس 64	30 Zn Zinc خارصين 65					
45 Rh Rhodium روديوم 103	46 Pd Palladium بالاديوم 106	47 Ag Silver فضة 108	48 Cd Cadmium كادميوم 112					
77 Ir Iridium إريديوم 192	78 Pt Platinum بلاتين 195	79 Au Gold ذهب 197	80 Hg Mercury زئبق 201					

63 Eu Europium أوروبيوم 152	64 Gd Gadolinium غادولينيوم 157	65 Tb Terbium تيربيوم 159	66 Dy Dysprosium ديسبروسيوم 163	67 Ho Holmium هوليميوم 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 أنشتاينيوم –	100 Fm Fermium فيرميوم –	101 Md Mendelevium ماندليفيوم –	102 No Nobelium نوبيليوم –	103 Lr Lawrencium لاورنسيوم –

المفتاح

a
X
الاسم
b

a = العدد الذري

X = الرمز

b = الكتلة الذريّة النسبية

	المجموعة I	المجموعة II
الدورة 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
الدورة 5	37 Rb Rubidium روبيديوم 86	38 Sr Strontium سترونشيوم 88
الدورة 6	55 Cs Caesium سيزيوم 133	56 Ba Barium باريوم 137
الدورة 7	87 Fr Francium فرانسيوم –	88 Ra Radium راديوم –

1 H Hydrogen هيدروجين 1

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
39 Y Yttrium إيتريوم 89	40 Zr Zirconium زيركونيوم 91	41 Nb Niobium نيوبيوم 93	42 Mo Molybdenum موليبدنيوم 96	43 Tc Technetium تكنيشيوم –	44 Ru Ruthenium روثينيوم 101
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
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.

Bjoern Wylezich/Shutterstock; DAVID MUNNS/SPL; Peter Dazeley/Getty Images; Jeremy Pardoe/Alamy Stock Photo; chromatos/Getty Images (x2); Teevit Lertchaturaporn/Shutterstock; Deyan Georgiev/Shutterstock; EUROPEAN SPACE AGENCY/AEOS MEDIALAB/SPL; ©Leslie Garland Picture Library; ANDREW LAMBERT PHOTOGRAPHY/SPL; CHARLES D. WINTERS/SPL; ANDREW LAMBERT PHOTOGRAPHY/SPL; TREVOR CLIFFORD PHOTOGRAPHY/SPL (x2); ANDREW LAMBERT PHOTOGRAPHY/SPL; Nneirda/Shutterstock; ARNOLD FISHER/SPL; MARTYN F. CHILLMAID/SPL; CHARLES D. WINTERS/SPL; MARTYN F. CHILLMAID/SPL; ANDREW LAMBERT PHOTOGRAPHY/SPL; DEA / G. CIGOLINI/DeAgostini/Getty Images; ANDREW LAMBERT PHOTOGRAPHY/SPL (x4); ESA/KEVIN A HORGAN/SPL; ©Leslie Garland Picture Library; joebelanger/iStock/Getty Images Plus/Getty Images; ASTRID & HANNS-FRIEDER MICHLER/SPL; Oman Ministry of Education
SPL = Science Photo Library

تم بحمد الله

الكيمياء

كتاب الطالب ٩

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 موضّحة 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 التاسع من هذه السلسلة أيضًا:

- كتاب النشاط
- دليل المُعلّم

www.moe.gov.om