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



سلطنة عمان
وزارة التربية والتعليم

الكيمياء

كتاب الطالب

١٠

الفصل الدراسي الأول

الطبعة التجريبية ١٤٤٣هـ - ٢٠٢١م

CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS

CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS

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

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

© مطبعة جامعة كامبريدج ووزارة التربية والتعليم في سلطنة عُمان.

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

الطبعة التجريبية ٢٠٢١ م، طُبعت في سلطنة عُمان

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

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

تمت مواءمة الكتاب

بموجب القرار الوزاري رقم ٩٠ / ٢٠٢١ واللجان المنبثقة عنه



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–



حضـرة صـاحـب الجـلالـة
السلطان هيثم بن طارق المعظم
– حفظه اللّه ورعاه –

سلطنـــــة عُمـــــان





النَّشيدُ الْوَطَنِيُّ

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

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

تقديم

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

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

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

وقد أولت الوزارة مجال تدريس العلوم والرياضيات اهتمامًا كبيرًا يتلاءم مع مستجدات التطور العلمي والتكنولوجي والمعرفي. ومن هذا المنطلق اتَّجهت إلى الاستفادة من الخبرات الدولية؛ اتساقًا مع التطوُّر المُتسارع في هذا المجال، من خلال تبنّي مشروع السلاسل العالمية في تدريس هاتَين المادّتَين وفق المعايير الدولية؛ من أجل تنمية مهارات البحث والتقصّي والاستنتاج لدى 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 الأولى الفلزّات وخصائصها

١-١ الترابُط وخصائص الفلزّات ١٥

١-٢ العناصر الانتقالية ١٧

١-٣ الفلزّات القلوية ١٩

١-٤ نشاط الفلزّات ٢٣

الوحدة الثانية استخلاص الفلزّات واستخداماتها

٢-١ استخلاص الفلزّات ٣٥

٢-٢ إنتاج الحديد والفولاذ ٣٩

٢-٣ السبائك ٤٢

٢-٤ تآكُل الفلزّات وحمايتها ٤٥

الوحدة الثالثة الكيمياء الكمّية

٣-١ الكتل النسبية ٥٢

٣-٢ المول ٥٩

٣-٣ حسابات تتضمّن كُتلًا مُتفاعِلة ٦١

٣-٤ حسابات تتضمّن حجوم الغازات ٦٥

٣-٥ حسابات تتضمّن محاليل مُتفاعِلة ٦٩

الوحدة الرابعة مدخل إلى الكيمياء العضوية

٤-١ الألكانات ٨٠

٤-٢ الألكينات ٨٦

٤-٣ البترول (النفط الخام) وأنواع أخرى من الوقود الأحفوري ٩٠

مصطلحات علمية ١٠١

الجدول الدوري ١٠٤

المقدمة

سوف تتعلَّم من خلال هذا المُقرَّر الكثير من الحقائق والمعلومات، كما ستكتسب مهارات التفكير مثل العُلماء. وقد تمَّت مواءمة كتاب الطالب – الكيمياء للصف العاشر – 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

عبارة عن 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 الرابعة

مدخل إلى الكيمياء العضوية

Introduction to Organic Chemistry

تُغطّي هذه الوحدة:

- الخصائص الفريدة للكربون.
- الهيدروكربونات.
- طبيعة السلاسل المُتجانِسة.
- الألكانات وخصائصها.
- الألكينات.
- النشاط الكيميائي للرابطة الثنائية C=C الموجودة في الألكينات؛ وتفاعُلات الإضافة.
- الوقود الأحفوري والاحتراق.
- التقطير التجزيئي للبترول (النفط الخام).
- خصائص أجزاء الهيدروكربونات (نواتج التقطير التجزيئي) واستخداماتها.
- التكسير الحراري.

مصطلحات علمية

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

مصطلحات علمية

- **كتلة الصيغة النسبية Relative formula mass (M_r):** هي حاصل جمع الكتل الذرّية النسبية للعناصر الموجودة في الصيغة الكيميائية للمادة.
- **الكتلة الجُزيئية النسبية Relative molecular mass (M_r):** هي حاصل جمع الكتل الذرّية النسبية للعناصر الموجودة في جُزيء المادة، أو في وحدة الصيغة لمادة ما.

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

تذكَّر

- أن الفلزّات القلوية تمتلك خصائص فيزيائية مُتشابهة، إلّا أنها ليست نفسها. فهناك تغيُّر تدريجي في خصائصها كلما انتقلنا من الأعلى إلى الأسفل عبر المجموعة.
- قد يُطلب إليك توقُّع خصائص هذه العناصر عن طريق مقارنتها بعناصر أخرى في المجموعة، لذلك عليك التدرُّب على هذا النوع من الأسئلة.

نشاط

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

نشاط ١-٤

تفاعُلات إزاحة (إحلال) الفلزّات

المهارات:

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

تُستخدَم في هذا النشاط أطباق كومبو Comboplate® ذات المقياس المُصغّر (المجهري)، أو أطباق خزفية ذات مُربّعات بيضاء لاستقصاء التفاعُلات التي تحدث بين فلزّات مسحوقة ومحاليل فلزّات مُتنوِّعة. يسمح هذا التمرين القائم على الملاحظة العملية بترتيب الفلزّات في سلسلة وفقًا لنشاطها الكيميائي.

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

أسئلة

ترد في كل وحدة لتقييم معرفة الطلاب واستيعابهم.

أسئلة

١-٤ ما نوع الرابطة التي تشارك بها عادة ذرّات الكربون؟

٢-٤ ما العدد الأقصى للروابط الذي يمكن أن تكوّنه ذرّة كربون واحدة؟

٣-٣ سمّ **شكلَين** لصيَغ بنائية تحتوي على الكربون.

٤-٤ سمّ **جُزيئَين** مختلفَين يحتويان على الكربون، ولهما أهمّية كبيرة للكائنات الحية.

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

تتميّز **الرابطة التساهُمية Covalent bonding** بين ذرّات الكربون بثلاث ميزات هي أنّها:

- تربط بين ذرّات الكربون لتكوّن سلاسل طويلة قد ترتبط بها ذرّات عناصر أخرى.
- تربط بين ذرّات الكربون في السلسلة بروابط أحادية، أو ثنائية، أو ثلاثية.
- تمكّن ذرّات الكربون من ترتيب نفسها في هيئة حلقات.

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- تُقاس الكتل الذرّية (لذرّات العناصر) نسبة إلى ذرّة قياسية، هي ذرّة الكربون-12، والتي حُدِّدت لها كتلة مقدارها 12 بالضبط.
- الكتلة الذرّية النسبية هي متوسِّط كتلة ذرّة عنصر ما نسبة إلى ذرّة الكربون-12.
- تحسب كتلة الصيغة النسبية (أو الكتلة الجُزيئية النسبية) كحاصل جمع كل الكتل الذرّية النسبية الواردة في صيغة ما.
- أن العناصر تتفاعل دائمًا بنسب ثابتة من الكتلة، والتي تُحدّدها نسب الذرّات الواردة في صيغة المُركّب.
- أن المول هو الوحدة التي تحتوي على عدد ثابت يساوي 6.02×10^{23} (عدد أفوجادرو) من الجُسيمات المُكوِّنة لمادة، ويُستخدم للتعبير عن كمّية مادة تشارك في تفاعُل.
- تُستخدم المعادلة الكيميائية الموزونة للتفاعُل من أجل حساب الكتل المُتفاعِلة لمواد مشارِكة في التفاعُل وكمّية المواد الناتجة.
- أن المول الواحد من أي غاز يمتلك حجمًا يساوي 24 L عند درجة حرارة الغرفة والضغط القياسي.
- التعبير عن تركيز محلول ما سواء بوحدة الجرامات لكل لتر (g/L)، أو بوحدة المولات لكل لتر (mol/L)، وأن هذه القيَم مفيدة في حساب نتائج تجارب المُعايَرة.

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

أسئلة نهاية الوحدة

١ تُبيّن المعادلة أدناه كيف يُصنع سماد كبريتات الأمونيوم.

$$2NH_3(aq) + H_2SO_4(aq) \rightarrow (NH_4)_2SO_4(aq)$$

أ. اكتب المعادلة اللفظية لهذا التفاعُل.

ب. ما عدد ذرّات الهيدروجين في صيغة كبريتات الأمونيوم؟

ج. احسب كتلة الصيغة النسبية لحمض الكبريتيك. (الكتل الذرّية النسبية: H = 1، S = 32، O = 16)

د. في هذا التفاعُل، كل 17 g من الأمونيا تُنتج 66 g من كبريتات الأمونيوم.

ما الكتلة التي قد تُنتجها 3.4 g من الأمونيا؟

٢ يُستخدم الكربون كذرّة قياسية بالنسبة لمقياس الكتلة الذرّية النسبية.

أ. أي من نظائر الكربون الآتية هو مقياس الكتلة الذرّية النسبية الذي تتمّ عملية القياس نسبة إليه؟

١. الكربون–6.

٢. الكربون–12

٣. الكربون–13

٤. الكربون–14

ب. ١. احسب كتلة الصيغة النسبية للغاز CO_2؟ (الكتل الذرّية النسبية: O = 16، C = 12)

٢. ما عدد المولات في 8.8 g من CO_2؟

٣. ما عدد جُزيئات CO_2 في 8.8 g من CO_2؟ (كل 1 mol يحتوي على 6.02×10^{23} جُسيم)

٤. ما عدد ذرّات الأكسجين في 8.8 g من CO_2؟

٣ أ. المعادلة الكيميائية الموزونة للتفاعُل الذي يحدث بين أكسيد الكالسيوم والماء هي:

$$CaO(s) + H_2O(l) \rightarrow Ca(OH)_2(aq)$$

وتُبيّن هذه المعادلة أن 1 mol من أكسيد الكالسيوم يتفاعل مع 1 mol من الماء.

١. تحتوي عبوة معدنية على 168 g من أكسيد الكالسيوم. احسب عدد مولات أكسيد الكالسيوم في هذه العبوة. (الكتل الذرّية النسبية: O = 16، Ca = 40)

قائمة رموز المواد الإثرائية لمادّة الكيمياء

النوع	المصطلحات العلمية	أسئلة اختيار من متعدِّد	الأنشطة الإثرائية
QR Code			



الوحدة الأولى

الفلزّات وخصائصها

Metals and their Properties

تُغطّي هذه الوحدة:

- الترابُط وخصائص الفلزّات.
- الخصائص المميّزة للعناصر الانتقالية.
- التدرُّج في خصائص الفلزّات القلوية.
- سلسلة النشاط الكيميائي للفلزّات.
- تفاعُلات الفلزّات مع الماء والأحماض المُخفّفة.
- تفاعُلات إزاحة (إحلال) الفلزّات.

١-١ الترابُط وخصائص الفلزّات

درسنا سابقًا تصنيف العناصر في الجدول الدوري إلى عناصر فلزّية وعناصر لا فلزّية، ومعظم العناصر المعروفة هي فلزّية.

غالبًا ما يُلاحظ أن العناصر الفلزّية تكون على شكل مواد صلبة ولامعة عند درجة حرارة الغرفة، وتكون موصِّلة جيّدة للكهرباء.

تكوّن الفلزّات مُركّبات أيونية عندما تتفاعل مع اللافلزّات أو الأحماض، وذلك عندما تفقد ذرّاتها إلكتروناتها الخارجية لتكوين أيونات موجبة. وتُكوّن الفلزات في العادة أكاسيد قاعدية أو قلوية.

تحتوي هذه الوحدة على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للفلزّات التي تجعلها مُهمّة جدًّا في حياتنا اليومية.

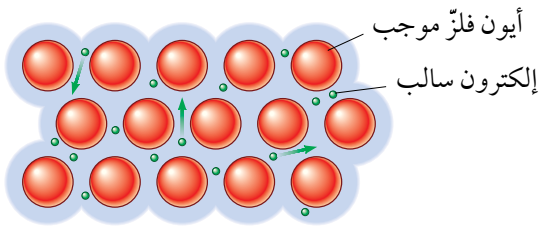
يسهل على ذرّات الفلزّ أن تفقد الإلكترونات من أن تكسبها. لذا تصبح **أيونات موجبة Positive ions**. وبسلوكها هذا، تحقّق تركيبًا إلكترونيًّا أكثر استقرارًا، يكون عادةً التركيب الإلكتروني للغاز النبيل الأقرب.

مصطلحات علمية

- **الأيون Ion:** جُسَيم ذو شحنة كهربائية، ينتج عند فقد ذرّة إلكترونًا واحدًا أو أكثر، فتكون شحنته موجبة، أو تكسب إلكترونًا واحدًا أو أكثر فتكون شحنته سالبة.

تمتلك ذرّات الفلزّات عددًا قليلاً نسبيًّا من الإلكترونات في مستوى طاقتها الخارجي. وعندما تتجمّع ذرّات الفلزّ معًا، تفقد كل ذرّة إلكتروناتها الخارجية مشكّلة بحرًا من الإلكترونات الحُرّة أو **الإلكترونات غير المُتمركزة electrons Delocalised** لتصبح غير مُتعادلة كهربائيًّا، وتتحوّل بالتالي إلى أيونات موجبة.

ويكون التركيب البنائي للفلزّ مُكوَّنًا من الكثير من الأيونات الموجبة المُرتَّبة في شكل مُنتظم يُسمّى **الشبكة Lattice**. وتكون الأيونات مُحاطة بإلكترونات يمكنها التحرُّك بحرّية عبر الشبكة. حيث يحدث تجاذُب بين الإلكترونات السالبة والأيونات الموجبة، وتتيح **قوة جذب كهروستاتيكية Electrostatic force of attraction** تماسُك التركيب البنائي (الشكل ١-١) وتُعرف هذه القوى التي تربط بين ذرّات العناصر الفلزّية **بالرابطة الفلزّية Metallic bonding**.



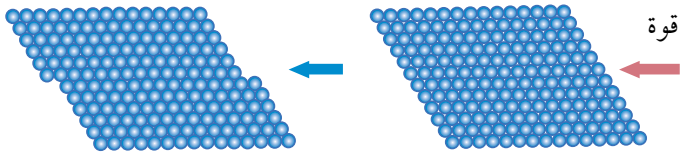
الشكل ١-١ الرابطة الفلزّية: تكون أيونات الفلزّ الموجبة الثابتة محاطة ببحر من الإلكترونات المُتحرِّكة

مصطلحات علمية

- **الرابطة الفلزّية Metallic bonding:** قوة كهروستاتيكية قوية بين الأيونات الموجبة وبحر الإلكترونات المُتحرّكة التي تحيط بها، وهي تؤمّن تماسك الشبكة الفلزّية.

تُساعد فكرة التركيب المُنتظم لأيونات الفلزّ في الشبكة على تفسير الكثير من الخصائص الفيزيائية للفلزّات. ففي معظم الفلزّات، تكون الذرّات مُتراصّة ومُتقاربة قدر الإمكان. وهذا ما يفسِّر عادة لماذا تمتلك الفلزّات كثافة مرتفعة وتكون متينة، وتكون قوى الجذب الكهروستاتيكية بين الأيونات والإلكترونات شديدة. ولهذا السبب يتطلّب تفكيك الرابطة الفلزّية قدرًا كبيرًا من الطاقة. وينتج عن ذلك ارتفاع درجات غليان ودرجات انصهار الفلزّات، وتكون الفلزّات جميعها تقريبًا صلبة عند درجة حرارة الغرفة والضغط القياسي. فالحديد مثلًا، فلزّ معروف بصلادته وقوته ومتانته.

ويمكن أن تتحرّك طبقات الأيونات المُتماثلة الموجودة في الفلزّ النقي بعضها فوق بعض دون أن يتفكّك تركيبه البنائي (الشكل ١-٢). وهذه المرونة في التركيب الطبقي تعني إمكانية طرق الفلزّات وتشكيلها في هيئة صفائح رقيقة فهي **قابلة للطرق Malleable**، وتكون الفلزّات قابلة للطرق بشكل أكبر عند تسخينها. فالحديد على سبيل المثال، يمكن لفّه عندما يكون ساخنًا. ويمكن أيضًا سحب الفلزّات في هيئة أسلاك. وتعني قوة الرابطة الفلزّية أن الفلزّ لا يتفكّك بسهولة تحت تأثير هذه القوى. ونتيجة لذلك، تكون الفلزّات بشكل عام مقاومة لعمليات الشدّ القوية.



الشكل ١-٢ انزلاق الطبقات المُكوّنة لشبكة الفلزّ بعضها فوق بعض

توصّل الفلزّات الكهرباء بشكل جيد، لأن الإلكترونات غير المتمركزة تكون قادرة على نقل الشحنات الكهربائية وهي تتحرّك بحرّية عبر التركيب البنائي للفلزّ، ناقلة معها التيار الكهربائي. وتسمح قابلية الإلكترونات للحركة أيضًا للفلزّات بتوصيل الحرارة بشكل جيّد.

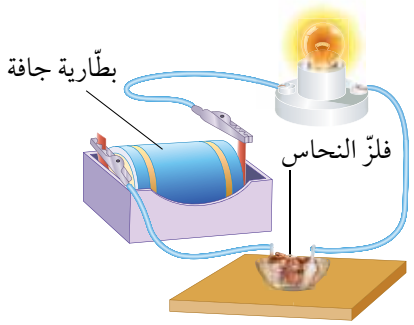
يُعدّ النحاس بشكل خاصّ موصّلًا جيّدًا للكهرباء والحرارة. فغالبًا ما تُصنع منه الأسلاك الكهربائية والقدور المستخدمة في الطبخ. وتُعدّ قابلية النحاس للطرق والسحب، ودرجة انصهاره المرتفعة، من الأسباب التي تجعل منه مادة جيدة لمثل هذه الاستخدامات.

أما بالنسبة لخطوط نقل الكهرباء الهوائية العالية، فيُستخدم الألومنيوم الذي يوصل الكهرباء بشكل جيد أيضًا، ولأنه يمتلك كثافة أقل بكثير من كثافة النحاس، مما يجعله مثاليًّا للتوصيلات بين أبراج الكهرباء.

تذكّر

درست في الصفوف السابقة كيف تُجري اختبارًا لمعرفة ما إذا كان عنصر ما فلزًّا أو غير فلزّ، فالاختبار الرئيسي هو **التوصيل الكهربائي Electrical conductivity** كما في (الشكل ١-٣).

والخصائص الأخرى الأكثر وضوحًا للفلزّات هي قابلية **الطرق والسحب Malleability**، ودرجة الانصهار المرتفعة.



الشكل ١-٣ اختبار التوصيل الكهربائي لفلزّ ما

أسئلة

١-١ ما المقصود بالرابطة الفلزّية؟

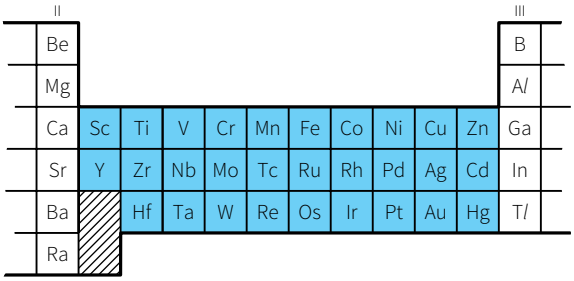
٢-١ فسّر ما يلي:

أ. تمتلك الفلزّات بشكل عام درجات انصهار مُرتفعة.

ب. تكون الفلزّات قابلة للطرق والسحب.

ج. قدرة توصيل الفلزّات للكهرباء.

١-٢ العناصر الانتقالية



عندما يتبادر إلى أذهاننا كلمة فلز، نميل إلى التفكير في مادة تكون متينة، وصلدة، وكثيفة، وتمتلك درجة انصهار مُرتفعة، وتكون موصِّلة جيدة للحرارة والكهرباء. ونبحث عن فلزّات تمتلك هذه الخصائص جميعها، بحيث تقع في تجمّع واحد ومُحدّد في الجدول الدوري للعناصر يتوسَّط المجموعتَين II و III. نسمّي هذا التجمُّع **العناصر الانتقالية Transition elements**. وهو يتضمن فلزّات شائعة مثل الحديد (Fe)، والنحاس (Cu)، والنيكل (Ni)، والبلاتين (Pt).

تمتلك العناصر الانتقالية خصائص عامة تجعل منها العناصر الفلزّية الأكثر فائدة وتوفُّرًا لنا. فالتيتانيوم (Ti) مثلًا فلزّ متين جدًّا، ويُستخدم في رؤوس معدّات الحفر ذات السرعات العالية.

ويمتلك الذهب (Au) قابلية عالية للتوصيل الكهربائي، وغالبًا ما يُستخدم في التوصيلات الكهربائية الداخلية للأجهزة الإلكترونية. كما أن النشاط الكيميائي لفلزّات العناصر الانتقالية أقلّ بكثير من النشاط الكيميائي لفلزّات المجموعتَين I و II. إذ يمتلك الكثير منها مقاومة ممتازة ضد التآكل، كالكروم (Cr) مثلاً. ويتميّز فلزّ التنغستن (W) بدرجة انصهار مُرتفعة جدًّا (بين 3414 °C و 3422 °C) تجعله يُستخدم في فتيل المصابيح الكهربائية.

وهنالك الكثير من المواد الشائعة المصنوعة من عناصر انتقالية. وتُبيّن الصورة (١-١) بعضًا من هذه المواد مثل المسامير الفولاذية، وسدادات العبوات المصنوعة من الكروم، ووصلات الأنابيب النحاسية، والمغناطيس الحديدي (في هيئة حدوة حصان)، والعملات المعدنية المصنوعة من مزيج النحاس-النيكل (75% نحاس و25% نيكل)، والعملات الفولاذية المطلية بالنحاس.



الصورة ١-١ بعض المواد المُستخدمة والمصنوعة من عناصر انتقالية

الخصائص المميزة للعناصر الانتقالية Transition elements:

- صلدة ومتينة.
- تمتلك درجات انصهار مُرتفعة.
- تمتلك كثافة مُرتفعة.
- موصّلة جيّدة للحرارة والكهرباء.
- قابلة للطرق والسحب.
- الكثير من مُركّباتها مُلوّن.
- غالبًا ما تُظهر هذه الفلزّات أكثر من حالة **تكافؤ Valency**، وتكوّن أكثر من نوع واحد من الأيونات. فعلى سبيل المثال، يكوّن الحديد مُركّبات تحتوي على أيونات الحديد (II) (Fe^{2+})، أو على أيونات الحديد (III) (Fe^{3+}).
- غالبًا ما تكون هذه الفلزّات أو مُركّباتها **عوامل حفّازة Catalysts** مفيدة.
- تمتلك بعض هذه الفلزّات خصائص مغناطيسية قوية مثل الحديد، والكوبالت، والنيكل.

تعني هذه الخصائص العامة أن العناصر الانتقالية مفيدة بطرق عديدة ومختلفة. إضافة إلى ذلك، تمتلك هذه الفلزّات خصائص مُحدّدة ومُميّزة، تجعلها مفيدة في استخدامات عديدة.

المُركّبات المُلوّنة للعناصر الانتقالية

بشكل عام، تكون أملاح فلزّات المجموعات I و II و III صلبة وذات لون أبيض، وتكوّن محاليل عديمة اللون عندما تذوب في الماء. وفي المقابل، غالبًا ما تكون أملاح العناصر الانتقالية مُلوّنة، وتكوّن محاليل مُلوّنة عند إذابتها في الماء (الصورة ١-٢). فعلى سبيل المثال، قد تكون مُركّبات الفناديوم (V) في محاليلها ذات لون أصفر، أو أزرق، أو أخضر، أو بنفسجي غامق. ويُبيّن الجدول (١-١) أمثلة أخرى على الألوان الناتجة عن أيونات بعض العناصر الانتقالية. ويُسهم وجود هذه الفلزّات في المجموعات الأيونية في زيادة شدّة اللون، مثل البرمنجنات (VII) (فوق المنجنات) والدايكرومات (VI) (ثنائي الكرومات).



تذوب أملاح العناصر الانتقالية المُلوّنة، في الماء، فتنتج محاليل مُلوّنة



الصورة ١-٢ مُركّبات ملوّنة لبعض العناصر الانتقالية ومحاليلها

أيون الفلزّ في محلوله المائي	الصيغة الكيميائية	اللون
النحاس (II)	Cu^{2+}	أزرق
الحديد (II)	Fe^{2+}	أخضر
الحديد (III)	Fe^{3+}	أصفر مُحمرّ
الكروم (III)	Cr^{3+}	أخضر
الكوبالت (II)	Co^{2+}	وردي
البرمنجنات (VII)	MnO_4^-	بنفسجي
الكرومات (VI)	CrO_4^{2-}	أصفر
الدايكرومات (VI)	$Cr_2O_7^{2-}$	برتقالي

الجدول ١-١ ألوان بعض أيونات العناصر الانتقالية في محاليلها المائية

وتُعدّ العناصر الانتقالية من المواد الرئيسية التي تسهم في تكوين الألوان في حياتنا. فالألوان الرائعة للنوافذ الزجاجية الملوّنة تنتج من وجود أيونات هذه الفلزّات في الزجاج (الصورة ١-٣).

تُساعد الألوان المُصاحِبة للعناصر الانتقالية في التحليل الكيميائي أيضًا. فعند اختبار محلول لملح بإضافة هيدروكسيد الصوديوم إليه، تُنتج العناصر الانتقالية رواسب لهيدروكسيدات ذات ألوان مميزة. فعلى سبيل المثال، يكون مُركَّب هيدروكسيد الحديد (II) ذا لون أخضر فاتح، في حين يكون مُركّب هيدروكسيد الحديد (III) ذا لون أصفر مُحمرّ.



الصورة ١-٣ نوافذ ذات زجاج ملوَّن في جامع السلطان قابوس الأكبر بولاية بوشر

أهمّية العوامل الحفّازة

العوامل الحفّازة Catalysts هي مواد تسرّع التفاعُلات الكيميائية، ولكنها لا تتعرّض لأي تغيير كيميائي عند انتهاء التفاعل. فالعديد من العوامل الحفّازة الصناعية المُهمّة هي إما عناصر انتقالية أو من مركّباتها. يبيّن الجدول (١-٢) عددًا من العمليات والصناعات الكيميائية المُهمّة التي يتم تحفيزها باستخدام عناصر انتقالية أو بعض مُركّباتها.

التفاعُل	العامل الحفّاز
طريقة هابر (تصنيع الأمونيا)	الحديد (Fe)
هدرجة الزيوت النباتية لصنع الزبدة	النيكل (Ni)
المُحوّلات الحفّازة في عوادم السيارات	البلاتين (Pt) والروديوم (Rh)
تصنيع البولي إيثلين	كلوريد التيتانيوم (IV) ($TiCl_4$)
طريقة التلامُس (تصنيع ثُلاثي أكسيد الكبريت لإنتاج حمض الكبريتيك)	أكسيد الفناديوم (V) (V_2O_5)

الجدول ١-٢ بعض التفاعُلات المُهمّة المُحفّزة باستخدام عناصر انتقالية أو بعض مُركّباتها

أسئلة

١-٣ اكتب ثلاث خصائص مميّزة للعناصر الانتقالية.

١-٤ ما الأيونان الشائعان للحديد في مُركّباته؟

١-٥ ما لون مُركّبات النحاس (II)؟

١-٦ سمّ عملية كيميائية صناعية مُهمّة يُستخدم فيها الحديد كعامل حفّاز؟

١-٣ الفلزّات القلوية

تُسمّى الفلزّات المُميّزة للمجموعة I **الفلزّات القلوية Alkali metals** ويكون موقعها في الجدول الدوري كما هو موضّح في الجدول الآتي:

							0
H							He
I	II	III	IV	V	VI	VII	
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg						
K	Ca						
Rb	Sr						
Cs	Ba						
Fr	Ra						

وعلى العكس من العناصر الانتقالية، فإن الفلزّات القلوية ليست مناسبة كثيرًا لمعظم الاستخدامات اليومية للفلزّات. فهي نشِطة جدًّا، وتفقد بريقها بسهولة فتصبح باهتة؛

لذا يجب تخزينها في داخل زيوت خاصة لمنعها من التفاعُل مع الأكسجين وبخار الماء الموجودَين في الهواء. وتكون هذه الفلزّات ليّنة نسبيًا ويسهل قطعها، وذات كثافة مُنخفضة (الصورة ١-٤).



الصورة ١-٤ عيّنة من الليثيوم

وعلى الرغم من أن الفلزّات القلوية مُتشابهة إلى حدّ كبير في مظهرها وسلوكها، إلا أن خصائصها الفيزيائية تتغيّر عندما ننتقل من الأعلى إلى الأسفل عبر المجموعة في الجدول الدوري للعناصر. فكثافة الفلزّات تميل إلى الازدياد كلما نزلنا عبر المجموعة، باستثناء البوتاسيوم لأن كثافته أقلّ قليلاً من كثافة الصوديوم.

غير أن درجات انصهار الفلزّات القلوية تقلّ تدريجيًا كلما انتقلنا من الأعلى إلى الأسفل عبر المجموعة. كما أن هناك تدرُّجًا مُشابِهًا في صلادة الفلزّات. فالليثيوم هو الأصلد، لكنه يظل سهل القطع. ويصبح قطع الفلزّات أكثر سهولة كلما انتقلنا من الأعلى إلى الأسفل عبر المجموعة؛ وذلك أنّ قوة الرابطة الفلزّية تتناقص، إذ تقلّ قوى التجاذُب الكهروستاتيكية في شبكة الأيونات الموجبة وبحر الإلكترونات.

الخصائص المُميّزة للفلزّات القلوية Alkali metals

- تُعرف بالفلزّات القلوية لأنها تتفاعل بشدّة مع الماء لإنتاج الهيدروجين ومحاليل قلوية.
- جميعها فلزّات نشطة، لذا يجب تخزينها في داخل الزيت لمنع تفاعُلها مع الأكسجين وبخار الماء الموجودَين في الهواء
- ليّنة وسهلة القطع.
- تكوّن أيونات تحمل شحنة أحادية موجبة (مثل Li^+ وNa^+ وK^+).
- تكوّن مُركّبات لها صيَغ كيميائية متشابهة؛ فعلى سبيل المثال، كربوناتها هي كربونات الليثيوم (Li_2CO_3)، وكربونات الصوديوم (Na_2CO_3)، وكربونات البوتاسيوم (K_2CO_3).
- تتفاعل بشدّة وبشكل مباشر مع اللافلزّات لتكوين أملاح. وهذه الأملاح ذات لون أبيض، وبلّورية، وهي مُركّبات أيونية صلبة تذوب في الماء.

تذكّر

- أن الفلزّات القلوية تمتلك خصائص مُتشابهة، إلّا أنها ليست نفسها. فهناك تغيُّر تدريجي في خصائصها كلما انتقلنا من الأعلى إلى الأسفل عبر المجموعة.
- قد يُطلب إليك توقُّع خصائص هذه العناصر عن طريق مقارنتها بعناصر أخرى في المجموعة، لذلك عليك التدرُّب على هذا النوع من الأسئلة.

تفاعُل الفلزّات القلوية مع الماء

تتفاعل الفلزّات القلوية مع الماء بشكل تلقائي لإنتاج غاز الهيدروجين وهيدروكسيد الفلز القابل للذوبان (الجدول ١-٣). ومن الجدير بالذكر أنّ هذه التفاعُلات طاردة للحرارة. والحرارة الناتجة تكون كافية لصهر الصوديوم والبوتاسيوم عندما يطفو كل منهما فوق سطح الماء. أما الليثيوم فإنه لا ينصهر عندما يتفاعل.

وهنا يبدأ ظهور الاختلافات التدريجية في النشاط الكيميائي بين الفلزّات عندما تنتقل من الأعلى إلى الأسفل عبر المجموعة. فالليثيوم (يقع أعلى المجموعة) يُعدّ الأقلّ نشاطًا، في حين أنّ السيزيوم (يقع باتّجاه أسفل المجموعة) يُعدّ الأكثر نشاطًا بين الفلزّات القلوية الشائعة. (الفرانسيوم هو آخر الفلزّات القلوية الموجودة في المجموعة، إلا أنّه مُشعّ وغير مُستقرّ للاستخدامات الشائعة). ويكون تفاعُل هذه الفلزّات مع الماء هو نفسه في كل حالة:

هيدروجين + هيدروكسيد الفلز ⟶ ماء + فلزّ

على سبيل المثال:

هيدروجين + هيدروكسيد الصوديوم ⟶ ماء + صوديوم

$$2Na(s) + 2H_2O(l) \rightarrow 2NaOH(aq) + H_2(g)$$

ويصبح التفاعُل أكثر شدّة عندما تنتقل من الأعلى إلى الأسفل عبر المجموعة. فتفاعُل الليثيوم مع الماء ثابت ومُنتظم: فالفلزّ لا ينصهر وغاز الهيدروجين لا يشتعل. ويتفاعل الصوديوم بشدّة أكبر، وينصهر الفلزّ. فإذا كان الصوديوم حُرّ الحركة، فإن الهيدروجين لا يشتعل عادة. ولكن تقييد حركة الصوديوم، بوضعه على قطعة ورق ترشيح على سطح الماء، يؤدّي إلى اشتعال غاز الهيدروجين، مُكوّنًا لهبًا أصفر (الصورة ١-٥). ويتفاعل البوتاسيوم بشدّة بالغة مع الماء، بحيث يشتعل غاز الهيدروجين تلقائيًا. وقد ينفجر البوتاسيوم بشكل خطير مُكوّنًا لهبًا بنفسجيًا (أرجوانيًا). وينفجر كلٌّ من الروبيديوم والسيزيوم مباشرة بمُجرّد وضعهما في الماء. أما هيدروكسيد الفلزّ الناتج في كل حالة فإنه يذوب في الماء مكوّنًا محلولاً قلويًا.



الصورة ١-٥ شدّة تفاعُل الصوديوم مع الماء

العنصر	النشاط الكيميائي	تدرّج تفاعُل الفلزّات القلوية مع الماء
الليثيوم	زيادة النشاط الكيميائي ↓	يطفو ويتحرّك على سطح الماء، ويتفاعل بشكل ثابت ومُنتظم $2Li(s) + 2H_2O(l) \rightarrow 2LiOH(aq) + H_2(g)$
الصوديوم		يطفو ويتحرّك على سطح الماء، وينصهر، ويتفاعل بشدّة $2Na(s) + 2H_2O(l) \rightarrow 2NaOH(aq) + H_2(g)$
البوتاسيوم		يطفو ويتحرّك على سطح الماء وينصهر، ويتفاعل مشتعلاً بشدّة مكوّنًا لهبًا بنفسجيّ اللون $2K(s) + 2H_2O(l) \rightarrow 2KOH(aq) + H_2(g)$

الجدول ١-٣ تفاعُل كل من الليثيوم والصوديوم والبوتاسيوم مع الماء

نشاط ١-١

تفاعُل بعض الفلزّات القلوية مع الماء

المهارات:

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

يوضّح هذا النشاط العملي التدرُّج في نشاط الفلزّات القلوية مع الماء.

المواد والأدوات والأجهزة

- عبوات تحتوي على ليثيوم وصوديوم وبوتاسيوم محفوظة في الزيت
- حوض زجاجي كبير
- محلول كاشف عام
- شاشات واقية (أو عازلة) للحماية
- ملاقط صغيرة
- ورق ترشيح
- مشرط
- قطعة من الخزف (السيراميك)

⚠ **ضع النظّارة الواقية لحماية عينَيك.**

- **ارتد معطف المُختبَر.**
- **البَس القُفّازَين الواقيَين عند الضرورة، أثناء إجراء هذه التجربة.**
- **اغسل يدَيك بعد انتهاء التجربة.**
- **احفظ الفلزّات القلوية ومحلول الكاشف العام بعيدًا عن اللهب.**

الطريقة

١ املأ الحوض الزجاجي الكبير بالماء إلى نصفه تقريبًا يمكن إضافة قطعة من ورق الترشيح لتحسين مراقبة توضيح الليثيوم والصوديوم.

٢ أضف محلول الكاشف العام إلى الماء في الحوض، واخلطه جيّدًا إلى أن يصبح اللون الأخضر مرئيًّا بشكل واضح.

٣ ضع شاشة حماية بين الحوض والطلبة.

٤ أخرج قطعة ليثيوم صغيرة من العبوة باستخدام ملقط، وضعها على ورقة ترشيح لتجفيفها من الزيت.

٥ ضع قطعة الليثيوم الجافّة على قطعة الخزف باستخدام الملقط، واقطعها مُستخدِمًا المشرط لتحصل على قطعة صغيرة بحيث لا تزيد سماكتها عن 5 mm.

٦ مُستخدِمًا الملقط، أسقط قطعة من الفلزّ على سطح الماء في الحوض الزجاجي.

٧ سجِّل الملاحظات في جدول النتائج.

٨ كرّر التجربة باستخدام حوض ماء نظيف مع الصوديوم ثم مع البوتاسيوم.

النتائج

سجّل نتائجك في جدول يشبه الجدول أدناه.

الفلزّ القلوي	الملاحظات	لون الماء عند انتهاء التجربة
الليثيوم		
الصوديوم		
البوتاسيوم		

أسئلة

١ رتِّب الفلزّات الثلاثة وفقًا لنشاطها، موضّحًا كيف تُثبت نتائجك هذا الترتيب.

٢ ما نوع وسط المحلول بعد إنتهاء التفاعل ؟ فسر إجابتك.

٣ اكتب معادلة كيميائية رمزية موزونة لكل تفاعُل.

أسئلة

١-٧ اذكر خاصيّتَين فيزيائيّتَين تتميّز بهما الفلزّات القلوية عن غيرها من الفلزات.

١-٨ صف كيف تتغيّر درجة انصهار الفلزّات القلوية عند الانتقال من الأعلى إلى الأسفل عبر المجموعة.

١-٩ لماذا يجب تخزين الفلزّات القلوية داخل زيوت خاصّة؟

١-١٠ السيزيوم، أحد الفلزّات القلوية، يقع تحت البوتاسيوم في المجموعة ١. وضّح نشاط السيزيوم مع الماء مُقارنة بالبوتاسيوم.

١-١١ اكتب معادلة لفظية لتفاعُل الليثيوم مع الماء.

١-١٢ اكتب معادلة كيميائية موزونة لتفاعُل البوتاسيوم مع الماء.

١-١٣ أُضيف الكاشف العام إلى المحلول المُتكوّن عند تفاعُل البوتاسيوم مع الماء. ما التغيُّر الذي سيحدث في لون المحلول؟ ولماذا؟

١-٤ نشاط الفلزّات

نعلم أنّ معظم العناصر في الجدول الدوري إنّما هي فلزّات. وكما رأينا سابقًا، فإن الكثير منها مفيد لاستخدامات عديدة ومتنوّعة؛ فبعضها، كالحديد مثلًا، له عدد هائل من الاستخدامات. قديمًا استخدم الإنسان الفلزّات في صنع المجوهرات والحلي والأدوات. واستخدمت الحضارات القديمة الفلزّات التي تم العثور عليها في هيئتها «الأصلية-النقية» (مثل الذهب) لأدوات الزينة، ثم استخدمت السبائك كالبرونز. ولاحقًا، استُخدم الحديد لصناعة الأدوات. وحتى بعد العصرَين البرونزي والحديدي، استُخدم قليل من الفلزّات بشكل واسع. أما الفلزّات الأخرى الأكثر نشاطًا، فلم يتمّ الحصول عليها إلا في القرن التاسع عشر. والفلزّات التي كانت متوفّرة آنذاك، كان بينها اختلافات واضحة في مقاومتها للتآكل. ويؤكد السيف المعروض في المتحف الوطني العماني بمسقط (الصورة ١-٦) والذي يعود إلى ما بين القرنين ٩ و١٣هـ/ ١٥ و١٩م على اختلاف النشاط الكيميائي للفولاذ والفضة اللذَين صُنع منهما مقبض السيف عن نشاط الحديد الذي صُنع منه النصل.



(ب) (أ)

الصورة ١-٦ (أ) قبل الترميم (ب) بعد الترميم

رأينا سابقًا كيف يتغيّر النشاط الكيميائي في مجموعة مُحدّدة. إلّا أن الفلزّات الأكثر أهمّية والتي نستخدمها تشكّل أكثر من مجموعة واحدة. فهل هنالك رؤية أوسع يمكننا من خلالها إجراء المُقارنة بين هذه الفلزّات؟

نظرة عامّة على النشاط الكيميائي

يمكننا الحصول على معلومات حول النشاط الكيميائي عن طريق استقصاء النواحي الآتية لكيمياء الفلزّات:

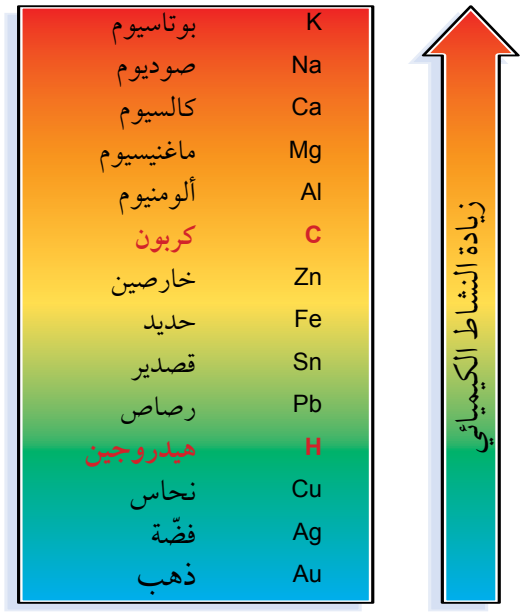
- التفاعُلات مع الماء
- التفاعُلات مع الأحماض المُخفّفة
- تفاعُلات إزاحة الفلزّات

وقد تمّ تلخيص الصورة العامة للنشاط الكيميائي للفلزّات من خلال الشكل (١-٤)، والمعروف باسم **سلسلة النشاط الكيميائي Reactivity series** للفلزّات.

يمكن فعليًا أن تكون سلسلة النشاط الكيميائي للفلزّات طويلة جدًا. لذلك يوضّح الشكل (١-٤) بعضًا من أكثر الفلزّات شيوعًا. وبشكل عام، يكون ترتيب النشاط الكيميائي للفلزّات على النحو الآتي:

- المجموعة I (الأكثر نشاطًا)
- المجموعة II
- المجموعة III
- العناصر الانتقالية والمجموعة IV (الأقلّ نشاطًا)

وغالبًا ما يكون العنصران: الكربون والهيدروجين، وهما من اللافلزّات، مدرجَين في سلسلة النشاط الكيميائي. وهما مُدرجان لأهمية معرفة ما إذا كان فلزّ ما أكثر نشاطًا من هذَين العنصرَين أم أقلّ نشاطًا منهما.



الشكل ١-٤ سلسلة النشاط الكيميائي للفلزّات

نشاط ١-٢

تفاعل الصوف الحديدي مع بخار الماء

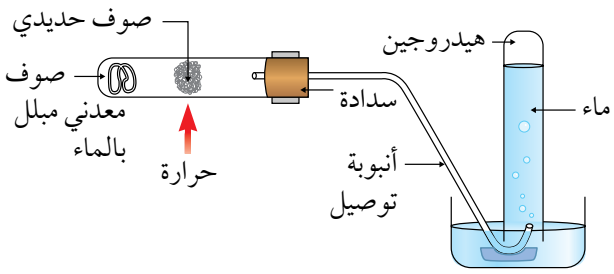
المهارات:

- ينجز التجربة ويسجِّل الملاحظات والقياسات والتقديرات.

في هذا النشاط العملي، يمر بخار الماء فوق الصوف الحديدي الأحمر الساخن. ويتمّ جمع الغاز الناتج من التفاعُل واختباره باستخدام عود ثقاب مُشتعل.

المواد والأدوات والأجهزة

- شاشات واقية (أو عازلة) للحماية
- أنبوبة تسخين
- سدادة بأنبوبة توصيل (زجاجية أو من مطّاط)
- موقد بنزن وأعواد خشبية
- حامل معوَجّ مع مشبك
- أنابيب اختبار وسدادات لتجميع الغاز
- حوض ماء
- صوف صلب من الحديد
- صوف معدني وماء
- ماصّة قطّارة وماء



- ضع النظّارة الواقية لحماية عينَيك.
- ارتدِ معطف المُختبَر.
- البَس القُفّازَين الواقيَين عند الضرورة، أثناء إجراء هذه التجربة.
- اغسل يدَيك بعد انتهاء التجربة.
- قم بإزالة أنبوبة التوصيل من حوض الماء قبل التوقف عن تسخين الحديد.

الطريقة

١ ضع شاشات واقية (أو عازلة) لحماية الطلبة.

٢ ضع الصوف المعدني في قاع أنبوبة التسخين وبلِّله كلّيًا بالماء مُستخدِمًا ماصّة القطّارة، ثم اربط الأنبوبة بشكل أفقي.

٣ ضع الصوف الحديدي داخل أنبوبة التسخين عند المنتصف تقريبًا.

٤ أدخل السدادة المُزوَّدة بأنبوبة التوصيل في أنبوبة التسخين.

٥ ضع أنبوبة التوصيل في حوض الماء.

٦ سخِّن أنبوبة التسخين باستخدام موقد بنزن مع وضع اللهب مباشرة أسفل الصوف الحديدي إلى أن يتوهّج.

٧ انقل موقد بنزن نحو الصوف المعدني المُبلَّل بالماء حتى يبدأ الماء بالتبخُّر.

٨ اجمع غاز الهيدروجين الناتج من هذا التفاعُل عن طريق وضع أنبوبة اختبار مقلوبة ومملوءة بالماء فوق أنبوبة التوصيل.

٩ بمجرد إزاحة الماء الموجود في أنبوبة الاختبار بسبب امتلائها بالغاز، يمكن إغلاق أنبوبة الاختبار بالسدادة، ويمكن أيضًا تجميع المزيد من الغاز من خلال استخدام أنابيب اختبار إضافية، وباتّباع الطريقة نفسها.

١٠ لإنهاء التجربة، أخرج أنبوبة التوصيل من الماء قبل التوقُّف عن تسخين أنبوبة التسخين.

١١ قم باختبار غاز الهيدروجين الذي تم تجميعه.

النتائج

اكتب ملاحظاتك عن هذا التفاعُل والتي يجب أن تشمل:

أ. ما حدث للصوف الحديدي.

ب. كيفية اختبار غاز الهيدروجين، ونتيجته.

أسئلة

١ تم تحضير مخلوط من أكاسيد الحديد – أكسيد الحديد (II) وأكسيد الحديد (III). اكتب المعادلات اللفظيّة بشكل منفصل لتفاعُل الحديد وبُخار الماء لإنتاج كل من:

أكسيد الحديد (II)

أكسيد الحديد (III)

٢ اكتب المعادلات الكيميائية الموزونة مع إضافة رموز الحالة الفيزيائية إلى كل من المعادلات اللفظيّة في السؤال رقم ١.

تفاعُلات الفلزّات مع الماء والأحماض

يُعدّ تفاعُل الفلزّات مع الماء والأحماض المخففة، دليلاً على موقع الفلزّ في سلسلة النشاط الكيميائي. وقد تمّ تلخيص تفاعُلات الفلزّات مع الماء وحمض الهيدروكلوريك المُخفَّف في الجدول (١-٤).

سلسلة النشاط الكيميائي	التفاعُل مع	
	الماء	HCl المُخفَّف
البوتاسيوم	تتفاعل مع الماء البارد لإنتاج غاز الهيدروجين	تتفاعل بشكل قوي جدًا لإنتاج غاز الهيدروجين
الصوديوم		
الكالسيوم		
الماغنيسيوم		
الألومنيوم [أ]	تتفاعل مع بخار الماء، عند تسخينها، لإنتاج غاز الهيدروجين	تتفاعل بشكل أقلّ قوة لإنتاج غاز الهيدروجين
الخارصين		
الحديد		
الرصاص	لا تتفاعل	لا تتفاعل
النحاس		
الفضّة		

[أ] تحدث هذه التفاعُلات فقط عند إزالة طبقة الحماية المُكوّنة من أكسيد الألومنيوم عن السطح الخارجي للفلزّ.

الجدول ١-٤ تفاعُل بعض الفلزّات مع الماء وحمض الهيدروكلوريك المُخفّف

درسنا سابقًا أن نشاط الفلزّات القلوية مع الماء يزداد عند الانتقال من الأعلى إلى الأسفل عبر المجموعة I، ولهذا نجد تلك الفلزّات بالمقارنة مع باقي مجموعات الجدول الدوري في قمّة سلسلة النشاط الكيميائي (البوتاسيوم والصوديوم). ويكون التفاعُل بين الفلزّات القلوية والأحماض المخفّفة شديدًا جدًا. لذا يُفضّل تجنُّب إجراء مثل هذه التفاعُلات.

أما عناصر المجموعة II فهي أقلّ نشاطًا من عناصر المجموعة I، ويمكن ملاحظة ذلك من خلال الطريقة التي تتفاعل بها مع الماء وحمض مُخفّف.

ويتفاعل الكالسيوم، شأنه شأن عناصر المجموعة I، بشدّة مع الماء البارد، لينتج غاز الهيدروجين بشكل سريع، وفق المعادلة الآتية:

هيدروجين + هيدروكسيد الكالسيوم ⟶ ماء + كالسيوم

$$Ca(s) + 2H_2O(l) \rightarrow Ca(OH)_2(aq) + H_2(g)$$

يذوب هيدروكسيد الكالسيوم في الماء، ويُنتِج محلولاً قلويًا (ماء الجير). ورغم الشبه بين هذا التفاعُل وتفاعُل الفلزّات القلوية مع الماء، إلا أنه ليس بذات الشدّة. ومع ذلك، فإن تفاعُل الكالسيوم مع حمض مُخفّف يكون عنيفًا جدًا، وبالتالي لن تكون تجربته آمنة في المختبر.

ويتفاعل الماغنيسيوم بشكل بطيء جدًا عند وضعه في الماء البارد لينتج هيدروكسيد الماغنيسيوم وغاز الهيدروجين.

ويمكن تسريع هذا التفاعُل باستخدام الماء الساخن، أو الحصول على تفاعُل أكثر شدّة بتمرير بخار الماء فوق الماغنيسيوم الساخن، فيتوهّج الماغنيسيوم لتكوين غاز الهيدروجين وأكسيد الماغنيسيوم وفقًا للآتي:

بخار الماء + ماغنيسيوم ⟶

هيدروجين + أكسيد الماغنيسيوم

$$Mg(s) + 2H_2O(g) \rightarrow MgO(s) + H_2(g)$$

ويصبح تفاعُل فلز الماغنيسيوم مع الأحماض المُخفّفة آمنًا بما يكفي وفقًا للآتي:

حمض الهيدروكلوريك + ماغنيسيوم ⟶

هيدروجين + كلوريد الماغنيسيوم

$$Mg(s) + 2HCl(aq) \rightarrow MgCl_2(aq) + H_2(g)$$

تُعدّ فلزّات الألومنيوم والخارصين والحديد مُعتدلة النشاط. فهي لا تتفاعل بشكل ملحوظ مع الماء البارد، وتُعطي فقط دلالات على حدوث تفاعُل وذلك خلال مدة زمنية طويلة. ومع ذلك، فهي كالماغنيسيوم، سوف تتفاعل عند تمرير بخار الماء فوقها. على سبيل المثال:

هيدروجين + أكسيد الخارصين ⟶ بخار الماء + خارصين

$$Zn(s) + H_2O(g) \rightarrow ZnO(s) + H_2(g)$$

أيضًا سوف تتفاعل مع حمض مُخفّف وفقًا للآتي:

$$2Al(s) + 6HCl(aq) \rightarrow 2AlCl_3(aq) + 3H_2(g)$$

ومع ذلك، تقلّ شدّة التفاعُلات عند الانتقال من الأعلى إلى الأسفل في سلسلة النشاط الكيميائي. فالفلزّات التي تقع تحت الهيدروجين في سلسلة النشاط الكيميائي، مثل النحاس، لا تتفاعل مع الماء أو بخار الماء أو مع الأحماض المخففة حتى عند تسخينها. والسبب أنها ليست نشِطة بشكل كافٍ **لإزاحة Displace** الهيدروجين من مُركّباته، كالماء والأحماض. أما الفلزّات التي تقع فوق الهيدروجين فهي قادرة على إزاحة الهيدروجين من مُركّباته فتكوّن أكاسيد أو هيدروكسيدات عندما تتفاعل مع الماء، وتكوّن أملاحًا عندما تتفاعل مع أحماض مُخفّفة.

نشاط ١-٣

تحديد ترتيب النشاط الكيميائي لبعض الفلزّات

المهارات:

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

يتوجّب عليك في هذا النشاط، التخطيط لاستقصاء من أجل تحديد ترتيب الفلزّات الآتية وفقًا لنشاطها الكيميائي: الماغنيسيوم والحديد والنحاس.

الطريقة

ضع خطّة لتحديد ترتيب النشاط الكيميائي لهذه الفلزّات الثلاثة.

ستحتاج إلى:

- توقُّع لترتيب هذه الفلزّات الثلاثة وفق نشاطها الكيميائي، وذكر مبرّراتك العلمية.
- اختيار الأجهزة والأدوات والمواد الكيميائية وتبرير ذلك لاستخدامها في إجراء استقصائك.
- كتابة طريقة يمكنك اتّباعها.
- شرح الإجراءات المخبرية التي قرّرت استخدامها.
- تحديد ما ستقوم بقياسه، والكمّيات التي تحتاج إليها للتحكّم بالتجربة وكيف ستقوم بذلك.
- تحديد المواد الخطرة وتقييم الأخطار المُحتمَلة في استقصائك، وشرح التدابير الوقائية المتّخذة لضمان السلامة.
- تصميم جدول لجمع ملاحظاتك ونتائجك.

بعد إطلاع معلّمك على خطّتك وإقراره لها، نفّذ استقصاءك.

أسئلة

١ رتب الفلزّات الثلاثة وفقًا لنشاطها، موضّحًا كيف تُثبت نتائجك هذا الترتيب.

٢ اكتب تعليقًا يتناول صعوبات قد حدثت عند إجراء استقصائك، وآليّة تحسين طريقتك.

تفاعُلات إزاحة (إحلال) الفلزّات

يُعدّ سلوك الفلزّات عندما تتفاعل مع الماء والحمض المُخفّف دليلاً على الموقع الذي يمكن وضع الفلزّ فيه ضمن سلسلة النشاط الكيميائي، إلا أن هذا لا يكون نهائيًا. فعلى سبيل المثال، يتفاعل الخارصين والحديد بطريقة متشابهة مع بخار الماء والحمض المُخفّف، في حين لا يُظهر النحاس والفضّة أي دليل على نشاط كيميائي، كيف إذًا يمكن أن نتأكّد أي فلزّ هو الأكثر نشاطًا؟

درسنا سابقًا أنّ إضافة فلزّ نشِط كيميائيًا إلى الماء والأحماض المخففة، تُسبّب إزاحة الهيدروجين من تلك المُركّبات. وبدلًا من الحمض أو الماء، يمكننا إضافة فلزّ إلى مُركّب يحتوي على أيون فلزّ مختلف والبحث عن دلالات على حدوث تفاعُل. مثل هذه التفاعُلات تُسمّى **تفاعُلات الإزاحة (الإحلال) Displacement reactions**؛ حيث يزيح الفلزُّ الأكثر نشاطًا الفلزَّ الأقل نشاطًا من مُركّبه ويحلّ محلّه. يُساعدنا هذا النوع من التفاعُلات على وضع فلزّات مُعيّنة بشكل أكثر دقّة في سلسلة النشاط الكيميائي؛ وذلك عن طريق مقارنة النشاط الكيميائي لفلزَّين.

فإذا تمّ، على سبيل المثال، تسخين أكسيد النحاس (II) مع الحديد، يمكننا توقُّع أن ينتقل الأكسجين من الفلزّ الأقلّ نشاطًا إلى الفلزّ الأكثر نشاطًا على النحو الآتي:

أكسيد النحاس (II) + حديد ⟶

نحاس + أكسيد الحديد (II)

$$Fe(s) + CuO(s) \rightarrow FeO(s) + Cu(s)$$

ويمكننا ملاحظة أن الأكسجين قد انتقل من النحاس إلى الحديد، وهذا يؤكّد على أن الحديد أكثر نشاطًا من النحاس. ونُسمّي التفاعُل الذي يتم فيه نزع للأكسجين من مُركّب ما تفاعُل **اختزال Reduction**.

ويمكن الحصول على المعادلة الأيونية لتفاعُل الحديد مع أكسيد النحاس (II) من المعادلة الكيميائية الرمزية الموزونة على النحو الآتي:

$$Fe(s) + (Cu^{2+}, O^{2-})(s) \rightarrow (Fe^{2+}, O^{2-})(s) + Cu(s)$$

ومن المعادلة الأيونية، يمكننا ملاحظة أن الحديد قد تغيّر من ذرّة إلى أيون موجب، وأن النحاس أيضًا قد تغيّر من أيون موجب إلى ذرّة.

لذا يمكننا أيضًا وصف النشاط الكيميائي لفلزّ من حيث سهولة وسرعة تكوينه لأيون موجب مُقارنة بفلزّ آخر.

عندما نسخّن النحاس مع أكسيد الحديد (II)، لا نلاحظ حدوث أي تفاعُل. فالنحاس أقلّ نشاطًا من الحديد، لذا لن يكون قادرًا على أخذ الأكسجين من أكسيد الحديد (II). إضافة إلى ذلك، يمكننا القول إنَّ هذا النقص في النشاط الكيميائي يرجع إلى كون النحاس أقلّ قابلية لتكوين أيون موجب مقارنة بالحديد.

يكون لدى الفلزّ الذي يشغل موقعًا أعلى من الحديد في سلسلة النشاط الكيميائي، مثل الألومنيوم أو الماغنيسيوم، القدرة على نزع الأكسجين من أكسيد الحديد (II) على النحو الآتي:

$$Mg(s) + FeO(s) \rightarrow MgO(s) + Fe(s)$$

وتوضِّح المعادلة «الأيونية» أنّ أيون الماغنيسيوم الموجب هو الناتج من هذا التفاعُل، إذ سيكوّن الماغنيسيوم أيونًا موجبًا بشكل أسرع وأسهل من الحديد على النحو الآتي:

$$Mg(s) + (Fe^{2+}, O^{2-})(s) \rightarrow (Mg^{2+}, O^{2-})(s) + Fe(s)$$

مصطلحات علمية

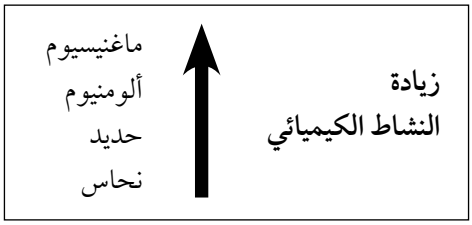
- **الإزاحة (الإحلال) Displacement**: تفاعُل تتمّ فيه إزاحة فلزّ من مركّبه ليحلّ محلّه فلزّ آخر أكثر نشاطًا.
- **الاختزال Reduction**: تفاعُل يتم فيه نزع الأكسجين من مُركّبه.

✓ = يحدث تفاعُل
✗ = لا يحدث تفاعُل

الفلزّات	أكاسيد الفلزّات			
	أكسيد النحاس (II)	أكسيد الحديد (II)	أكسيد الألومنيوم	أكسيد الماغنيسيوم
النحاس		✗	✗	✗
الحديد	✓		✗	✗
الألومنيوم	✓	✓		✗
الماغنيسيوم	✓	✓	✓	

الجدول ١-٥ نتائج تفاعُل الفلزّات مع أكاسيد فلزّات أخرى

يمكن استنتاج سلسلة نشاط كيميائي دقيقة للفلزّات من جدول نتائج بسيط. يوضّح الجدول (١-٥) نواتج التفاعُلات الممكنة جميعها بين الفلزّات وأكاسيد الفلزّات لكل من النحاس والحديد والألومنيوم والماغنيسيوم، حيث تشير علامة (✓) إلى حدوث تفاعل. وكلما ازداد عدد علامات (✓) مقابل الفلزّ، يكون نشاطه الكيميائي أكبر. ففي الجدول (١-٥) يمكننا ملاحظة أن الماغنيسيوم يقابله العدد الأكبر من علامات (✓)، يليه الألومنيوم ثمّ الحديد. أما النحاس فلا تُقابله أي علامة (✓) لأنه لم يتفاعُل مع أي من أكاسيد الفلزّات الأخرى. لذا، تشير هذه النتائج إلى أن ترتيب هذه الفلزّات الأربعة وفقًا لنشاطها الكيميائي يكون على النحو الآتي:



تُعدّ الفلزّات موارد قيّمة، لذا غالبًا ما يستخدم الكربون لإزالة الأكسجين من بعض أكاسيد الفلزّات للحصول على الفلزّات. وهذا يتم فقط مع الفلزّات التي تقع تحت الكربون في سلسلة النشاط الكيميائي، مثل الخارصين والحديد والنحاس. فعلى سبيل المثال:

كربون + أكسيد النحاس (II) ⟵

ثاني أكسيد الكربون + نحاس

$$2CuO(s) + C(s) \rightarrow 2Cu(s) + CO_2(g)$$

وسيُحدّد الاختلاف في النشاط الكيميائي بين الكربون والفلزّ مدى شدّة التفاعُل. فعلى سبيل المثال، يكون الاختلاف في النشاط الكيميائي بين الكربون والنحاس أكبر مما هو عليه بين الكربون والحديد. لذلك سيكون مُتوقَّعًا أن يكون التفاعُل بين الكربون وأحد أكاسيد النحاس أكثر شدّة من التفاعُل بين الكربون وأحد أكاسيد الحديد.

سوف تتناول الوحدة الثانية بشيء من التفصيل استخدام الكربون لاختزال بعض أكاسيد الفلزّات إلى فلزّات.

تتطلّب مُقارنة النشاط الكيميائي لفلزَّين مختلفَين عن طريق تسخين الفلزّ مع أكسيد فلزّ آخر، تسخينًا شديدًا. وغالبًا ما تحدث هذه التفاعُلات بشكل شديد جدًّا. تُبيّن الصورة (١-٧) عملية إصلاح خطّ سكة حديد باستخدام تفاعُل الألومنيوم مع أكسيد الحديد (III). وبما أنّ تفاعُل الإزاحة هذا طارد للحرارة بشدّة، فسوف ينتج عنه حديد مصهور لملء التشقُّقات والكسور في خطوط سكّة الحديد. ولتفادي هذه التفاعُلات الشديدة، تُجرى تفاعُلات الإزاحة عادة باستخدام فلزّات ومحاليل الأملاح.



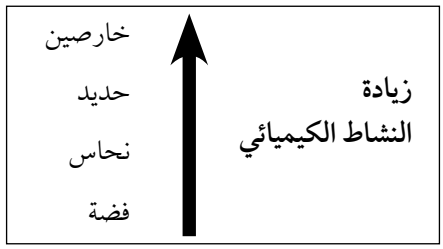
الصورة ١-٧ إصلاح خطّ سكة حديد باستخدام تفاعُل الألومنيوم مع أكسيد الحديد (III)

أما الجدول (١-٦) فهو جدول نتائج للملاحظات التي يمكن مشاهدتها عند إضافة فلزّات الخارصين أو الحديد أو النحاس أو الفضّة إلى محاليل مختلفة لأملاح هذه الفلزّات. ويمكن افتراض حدوث تفاعُل عند تغيُّر لون المحلول، أو تغيّر لون الفلزّ نفسه. وفي بعض الأحيان، يُلاحَظ أن كتلة الفلزّ تقل عندما يتفاعل، أو يُحتمَل تكوُّن فقّاعات عندما يكون التفاعُل أكثر شدّة. يمكننا ملاحظة أن الخارصين قد تفاعل مع محاليل أملاح الفلزّات جميعها، في حين تفاعل الحديد مع محلولَين، وتفاعل النحاس مع محلول واحد فقط. أما الفضّة فلم تتفاعل مع أي من هذه المحاليل.

		محاليل أملاح الفلزّات			
		كبريتات الخارصين	كبريتات الحديد (II)	كبريتات النحاس (II)	نترات الفضّة
الفلزّات	الخارصين		يتلاشى ثم يختفي لون المحلول الأخضر، ويتكوّن على الفلزّ راسب ذو لون رمادي داكن	يتلاشى ثم يختفي لون المحلول الأزرق، ويتكوّن على الفلزّ راسب ذو لون بُنّي مُحمرّ	يبقى المحلول عديم اللون، ولكن يتكوّن على الفلزّ راسب ذو لون رمادي-فضّي
	الحديد	لا يحدث تفاعُل		يتلاشى ثم يختفي لون المحلول الأزرق، ويتكوّن على الفلزّ راسب ذو لون بُنّي مُحمرّ	يصبح لون المحلول أخضر فاتحًا، ويتكوّن على الفلزّ راسب ذو لون رمادي-فضّي
	النحاس	لا يحدث تفاعُل	لا يحدث تفاعُل		يصبح لون المحلول أزرق، ويتكوّن على الفلزّ راسب ذو لون رمادي-فضّي
	الفضّة	لا يحدث تفاعُل	لا يحدث تفاعُل	لا يحدث تفاعُل	

الجدول ١-٦ نتائج تفاعُلات بعض الفلزّات مع محاليل أملاح فلزّات أخرى

وبالتالي، تشير هذه النتائج إلى أن ترتيب هذه الفلزّات الأربعة وفقًا لنشاطها الكيميائي يكون على النحو الآتي:



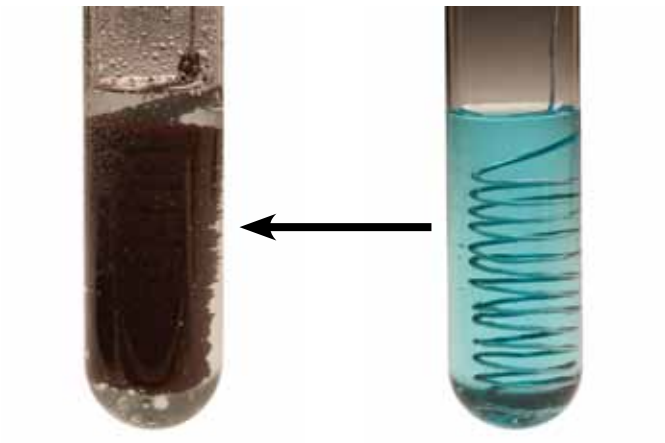
في هذا النوع من التفاعُلات، يكون الفلزّان في حالة تنافُس مباشر. فإذا تُركت قطعة من الخارصين في محلول كبريتات النحاس (II)، فسوف يحدث تفاعُل على النحو الآتي:

كبريتات النحاس (II) + خارصين ← نحاس + كبريتات الخارصين

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

صلب بُنّي محمر — محلول عديم اللون — محلول لونه أزرق — صلب رمادي

أما التأثير المُلاحظ مباشرة لهذا التفاعُل فهو أن فلزّ الخارصين يصبح مُغطًّى بطبقة ذات لون بُنّي مُحمرّ من النحاس. ويتلاشى اللون الأزرق للمحلول. ويصبح المحلول في النهاية عديم اللون، نتيجة تكوّن كبريتات الخارصين (الصورة ١-٨). يزيح الخارصين النحاس (ويحلّ محلّه) في المحلول، وبالتالي يكون الخارصين أكثر نشاطًا من النحاس.

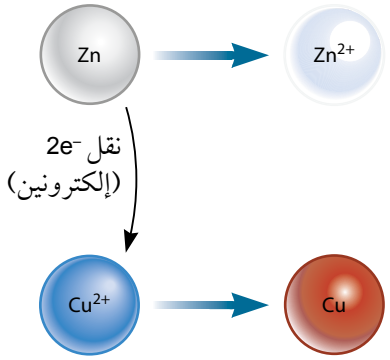


الصورة ١-٨ تفاعُل الخارصين مع كبريتات النحاس (II)

ويمكن تبسيط التفاعُل في هيئة معادلة أيونية على النحو الآتي:

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

وبما أنّ الخارصين أكثر نشاطًا من النحاس، فهو يمتلك قابلية لتكوين أيون موجب أكبر من قابلية النحاس. وبالتالي، يُمكننا في هذا التفاعُل القول إنّ الإلكترونات التي فقدتها ذرّة الخارصين عند تكوين أيون موجب قد انتقلت إلى أيون النحاس. تؤدّي إضافة الإلكترونات السالبة إلى أيون النحاس الموجب إلى معادلة شحنته ما يؤدّي إلى تكوّن ذرّة نحاس مُتعادِلة (الشكل ١-٥).



- يفقد Zn إلكترونين
- يصبح Zn أيونًا موجبًا Zn^{2+}
- يكسب Cu^{2+} إلكترونين
- يصبح Cu^{2+} ذرّة Cu

الشكل ١-٥ توضيح انتقال الإلكترونات في تفاعُل الإزاحة بين ذرّة الخارصين وأيون النحاس (II)

ولا يحدث التفاعُل العكسي. إذ لا تتفاعل قطعة نحاس مع محلول كبريتات الخارصين.

ويمكن تأكيد سلسلة النشاط الكيميائي باستخدام تفاعُلات إزاحة من هذا النوع. فعلى سبيل المثال، إذا وُضع فلزّ النحاس في محلول عديم اللون من نترات الفضّة، فسوف يصبح النحاس مغطّى بالفضّة، ويصبح لون المحلول أزرق بسبب تكوّن محلول نترات النحاس (II) وفقًا للمعادلة الآتية:

$$2AgNO_3(aq) + Cu(s) \rightarrow Cu(NO_3)_2(aq) + 2Ag(s)$$

يزيح النحاس الفضّة، ويحلّ محلّها المحلول، وبالتالي يكون النحاس أكثر نشاطًا من الفضّة.

وبما أنّ النحاس أكثر نشاطًا من الفضّة، فهو يمتلك قابلية لتكوين أيون موجب أكبر من قابلية الفضّة. ويمكن توضيح ذلك في المعادلة الأيونية الآتية:

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

تذكّر

- عندما تعمل على تفاعُلات الإزاحة (الإحلال)، ابحث بعناية عن علامات التغيير التي قد تشير إلى حدوث تفاعُل. سوف يشمل هذا التغيير لون المحلول أو الفلزّ، وربما يُحدث فورانًا.
- تأكّد من تسجيل ملاحظاتك فقط في جدول النتائج الخاصّ بك، بدلاً من التفكير في النواتج.
- تذكّر أن معظم المحاليل التي تحتوي على أيونات فلزّية تكون عديمة اللون، ولكن المحاليل المُخفّفة لبعض أيونات العناصر الانتقالية تكون مُلوّنة. فعلى سبيل المثال، سيكون Cu^{2+} أزرق، وFe^{2+} أخضر باهتًا، وFe^{3+} أصفر/بني. لذلك ستتمّ ملاحظة تغيير في لون المحلول إذا تمّت إزاحة هذه الأيونات أو تكوينها.
- تبدو معظم الفلزّات رمادية أو فضّية، ويكون النحاس مختلفًا، ذلك أنّ لونه بنّي-وردي (أو بنّي محمرّ إذا لم يكن نقيًا)، لذا ابحث عن ظهور أو اختفاء هذا اللون عندما يتضمّن التفاعُل هذا العنصر بالتحديد.

نشاط ١-٤

تفاعُلات إزاحة (إحلال) الفلزّات

المهارات:

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

تُستخدَم في هذا النشاط أطباق كومبو Comboplate® ذات المقياس المُصغّر (المجهري)، أو أطباق خزفية ذات مُربّعات بيضاء لاستقصاء التفاعُلات التي تحدث بين فلزّات مسحوقة ومحاليل فلزّات مُتنوّعة. يسمح هذا التمرين القائم على الملاحظة العملية بترتيب الفلزّات في سلسلة وفقًا لنشاطها الكيميائي.

نشاط ١-٤

المواد والأدوات والأجهزة

- طبق كومبو Comboplate®
- ماصّات (عدد 4)
- ملعقة كيماويات صغيرة
- منديل ورقي (لتنظيف ملعقة الكيماويات)
- محلول كبريتات النحاس (II) (0.5 mol/L)
- محلول كبريتات الماغنيسيوم (0.5 mol/L)
- محلول كبريتات الخارصين (0.5 mol/L)
- فلزّات مسحوقة مثل: نحاس، حديد، ماغنيسيوم، خارصين

⚠ **ضع النظّارة الواقية لحماية عينَيك.**
- **ارتد معطف المُختبَر.**
- **البس القُفّازَين الواقيَين عند الضرورة، أثناء إجراء هذه التجربة.**
- **اغسل يدَيك بعد انتهاء التجربة.**

- **مسحوق الماغنيسيوم، ومسحوق الخارصين، من المواد سريعة الاشتعال.**
- **محلول كبريتات النحاس (II) من المواد المهيّجة للجلد.**

الطريقة

١ أضف باستخدام ماصّة 10 نقاط من محلول كبريتات النحاس (II) إلى أربع من حفر أطباق كومبو الخاصّة بك.

٢ باستخدام الطرف المُدبّب لملعقة كيماويات صغيرة ونظيفة، أضف كمّية صغيرة من كل من مساحيق الفلزّات (النحاس–الحديد–الماغنيسيوم–الخارصين) على التوالي في الحفر من ١ إلى ٤.

٣ كرّر الخطوة (٢) على كل من محاليل كبريتات الحديد (II) وكبريتات الماغنيسيوم وكبريتات الخارصين.

٤ سجِّل ملاحظاتك في نسختك من جدول النتائج.

النتائج

الفلزّ المُضاف	محلول ملح الفلزّ المُضاف			
	كبريتات النحاس (II)	كبريتات الحديد (II)	كبريتات الماغنيسيوم	كبريتات الخارصين
النحاس				
الحديد				
الماغنيسيوم				
الخارصين				

الاستنتاجات

رتِّب الفلزّات وفقًا لنشاطها الكيميائي من الأقلّ نشاطًا إلى الأكثر نشاطًا. الفلزّ الأكثر نشاطًا سوف يزيح الفلزّ الآخر من محلول ملحه الفلزّي ويحلّ محلّه.



أسئلة

١ يُعدّ الكروم أكثر نشاطًا من النحاس، ولكنّه أقل نشاطًا من الماغنيسيوم. استخدم هذه المعلومات لإكمال المعادلات اللفظية الآتية:

أ. ..... ⟶ كبريتات الكروم (III) + نحاس

ب. ..... ⟶ كبريتات الكروم (III) + ماغنيسيوم

ج. ..... ⟶ كبريتات النحاس (II) + كروم

٢ كيف تُقارِن النشاط الكيميائي للكروم مع النشاط الكيميائي لكل من الحديد والخارصين؟

٣ أكتب المعادلات الأيونية لأربعة تفاعلات من نتائج الجدول السابق.

أسئلة

١-١٤ اكتب المعادلة الكيميائية الرمزية الموزونة، مع رموز الحالة الفيزيائية، لتفاعُل الماغنيسيوم مع الماء.

١-١٥ سمِّ المواد الناتجة من تفاعل الماغنيسيوم مع بخار الماء.

١-١٦ اكتب المعادلة الكيميائية الرمزية الموزونة، ورموز الحالة الفيزيائية، لتفاعُل الخارصين مع حمض الهيدروكلوريك المُخفّف.

١-١٧ اختر من بين الفلزّات الثلاثة أدناه، فلزًّا لا يتفاعل مع حمض الهيدروكلوريك المُخفّف لإنتاج غاز الهيدروجين: (الماغنيسيوم - الحديد - النحاس).

١-١٨ أراد أحد الطلاب استقصاء النشاط الكيميائي للفلزّات الآتية: النحاس والرصاص والقصدير. فوجد أن أكسيد الرصاص قد تفاعل مع القصدير عند تسخينهما، ولكنه لم يتفاعل مع النحاس في نفس الظروف. ما ترتيب هذه الفلزّات الثلاثة وفقًا لنشاطها الكيميائي؟

١-١٩ اذكر ملاحظتَين (عمليتَين) سوف تشاهدهما عند وضع قطعة من شريط ماغنيسيوم في محلول كبريتات النحاس (II).

١-٢٠ اكتب المعادلة الكيميائية الرمزية الموزونة، والمعادلة الأيونية، للتفاعُل الذي يحدث بين الماغنيسيوم ومحلول كبريتات النحاس (II).

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- في الرابطة الفلزّية تفقد ذرات الفلزّ المُتراصّة إلكتروناتها الخارجية في بحر من الإلكترونات المُتحرّكة وغير المُتمركزة.
- تُعطي الرابطة الفلزّية والتركيب البنائي للفلزّات خصائص فيزيائية نموذجية مثل:
  - درجات انصهار وغليان مُرتفعة
  - قابلية الطرق والسحب والتشكيل
  - توصيل جيّد للحرارة والكهرباء
- تُعدّ العناصر الانتقالية فلزّات نموذجية تمتلك كثافة مُرتفعة ودرجات انصهار مرتفعة، وهي أيضًا تكوّن مُركّبات مُلوّنة ويمكنها أن تتفاعل كعوامل حفّازة.
- تُعدّ الفلزّات القلوية (عناصر المجموعة I) فلزّات ليّنة، وهي تمتلك كثافة منخفضة ودرجات انصهار مُنخفضة. وهي أكثر مجموعات الفلزّات نشاطًا.
- تتغيّر الخصائص الفيزيائية لعناصر المجموعة I، ويزداد نشاطها الكيميائي عند الانتقال من الأعلى إلى الأسفل عبر المجموعة.
- يمكن ترتيب الفلزّات في هيئة سلاسل استنادًا إلى نشاطها الكيميائي، فيزداد النشاط الكيميائي لهذه الفلزّات عند الانتقال من الأعلى إلى الأسفل عبر المجموعات. ويتناقص هذا النشاط عند التحرُّك من اليسار إلى اليمين عبر الدورات.
- كيف تتفاعل فلزّات مختلفة في سلاسل النشاط الكيميائي مع كل من الماء والحمض المُخفّف.
- يزيح الفلزّ الأكثر نشاطًا الفلزّ الأقلّ نشاطًا من أكسيده أو من محلول يحتوي على أحد مُركّباته ويحلّ محلّه.
- قابلية الفلزّ لتكوين أيون موجب بشكل أكثر سهولة وسرعة هي التي تُحدّد نشاطه الكيميائي.

أسئلة نهاية الوحدة

١ **أ.** اشرح كيف يمكن اختبار عنصر ما لإثبات أنه فلزّ.

ب. صف الرابطة الموجودة في داخل الفلزّ.

ج. وضّح لماذا تمتلك الفلزّات بشكل عام درجات انصهار وغليان مُرتفعة.

د. تُعدّ الفلزات قابلة للطرق والسحب والتشكيل. فسّر ذلك.

٢ سجّلت إحدى الطالبات ملاحظاتها على تفاعُلات فلزّات مُتنوّعة مع الماء البارد والبخار. وأدرجت نتائجها في الجدول أدناه.

الفلزّ	التفاعُل مع الماء البارد	التفاعُل مع بخار الماء
الكالسيوم	يتفاعل بسرعة	يتفاعل بشدّة ويشكّل خطرًا كبيرًا
النحاس	لا يتفاعل	لا يتفاعل
الماغنيسيوم	يتفاعل بشكل بطيء جدًّا	يتفاعل بسرعة
الخارصين	لا يتفاعل	يتفاعل

أ. ١. رتِّب هذه الفلزّات وفقًا لنشاطها الكيميائي من الأقل نشاطًا إلى الأكثر نشاطًا.

٢. يقع الحديد بين الخارصين والنحاس في سلسلة النشاط الكيميائي. توقّع النشاط الكيميائي للحديد مع الماء البارد ومع بخار الماء.

ب. اكتب المعادلة الكيميائية الرمزية الموزونة، مع رموز الحالة الفيزيائية، لتفاعُل الكالسيوم مع الماء.

ج. وضعت الطالبة جدولًا لتوقُّع ما إذا كان سيحدث تفاعُل بين كل من الفلزّات الأربعة وأكسيد كل من الفلزّات الأخرى. انسخ الجدول، وأكمله باستخدام العلامة (✓) للدلالة على حدوث تفاعُل، والعلامة (✗) للدلالة على عدم حدوث تفاعُل بين كل فلزّ وكل أكسيد فلزّ.

		أكاسيد الفلزّات			
		أكسيد الكالسيوم	أكسيد النحاس (II)	أكسيد الماغنيسيوم	أكسيد الخارصين
الفلزّات	الكالسيوم				
	النحاس				
	الماغنيسيوم				
	الخارصين				

٣ تقع الفلزّات الآتية: الليثيوم والصوديوم والبوتاسيوم في المجموعة I من الجدول الدوري.

أ. تُكتب معادلة تفاعُل الليثيوم مع الماء على النحو الآتي:

$$2Li + 2H_2O \rightarrow 2LiOH + H_2$$

١. اكتب المعادلة اللفظية لهذا التفاعُل.

٢. يتفاعل الصوديوم مع الماء بطريقة مشابهة لتفاعُل الليثيوم.
اكتب المعادلة الكيميائية الرمزية لتفاعُل الصوديوم مع الماء.

ب. صف تفاعُلات الليثيوم والصوديوم والبوتاسيوم مع الماء، موضّحًا في إجابتك ما يلي:

١. الاختلاف في النشاط الكيميائي لهذه الفلزّات.

٢. الملاحظات التي سوف تُسجّلها عندما تتفاعل هذه الفلزّات مع الماء.

ج. تم إدراج خصائص فلزّات المجموعة I في الجدول أدناه.

الفلزّ	درجة الانصهار (°C)	الصلادة
الليثيوم	181	صلد نوعًا ما
الصوديوم	98	طري نوعًا ما
البوتاسيوم	63	طري
الروبيديوم	39	طري جدًّا
السيزيوم		طري للغاية

١. قدّر درجة انصهار السيزيوم.

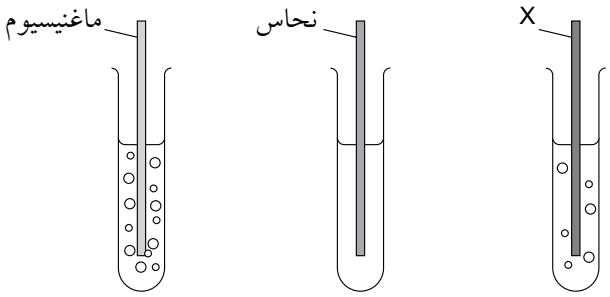
٢. صف تغيّر صلادة هذه الفلزّات عند الانتقال من الأعلى إلى الأسفل عبر المجموعة.

٣. اذكر خاصّية فيزيائية مُميّزة أخرى لفلزّات المجموعة I ولا تتميّز بها الفلزّات الأخرى.

٤ أ. اذكر ثلاث خصائص مُميّزة للعناصر الانتقالية ولا تتميّز بها معظم الفلزّات الأخرى.

ب. حدّد استخدامًا للعنصر الانتقالي النحاس، واذكر الأسباب التي تجعله مناسبًا لهذا الاستخدام.

٥ يحاول أحد الطلاب تحديد النشاط الكيميائي لفلزّ غير معروف X، بالمقارنة مع فلزَّي النحاس والماغنيسيوم. يُبيّن الشكل المُقابل تجربة لمُقارنة كيفية تفاعُل الفلزات الثلاثة: X، والنحاس، والماغنيسيوم مع حمض الهيدروكلوريك المُخفّف بتركيز وحجم ثابتَين.



أ. نتجت فقّاعات من غاز الهيدروجين في أنبوبتَين من أنابيب الاختبار الثلاث.

١. انسخ وأكمل المعادلة الكيميائية الرمزية للتفاعُل الذي يحدث بين الماغنيسيوم وحمض الهيدروكلوريك المُخفّف.

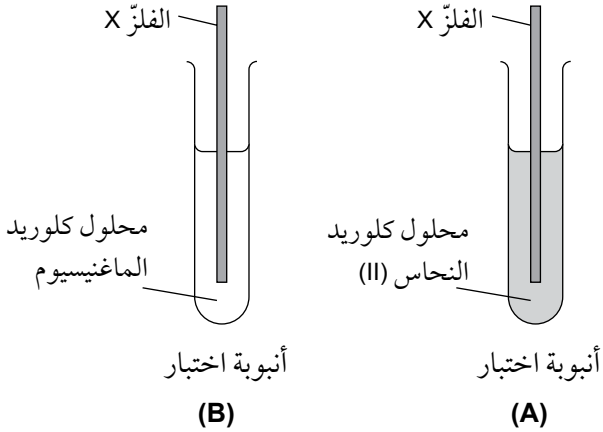
..... + ... → $MgCl_2$ + ...

٢. رتّب الفلزّات الثلاثة: X والنحاس والماغنيسيوم وفقًا لنشاطها الكيميائي من الأكثر نشاطًا إلى الأقلّ نشاطًا.

ب. يُبيّن الرسم المقابل تجربة تمّ فيها وضع الفلزّ X (لونه رمادي) في محلول النحاس (II) (محلول لونه أزرق مخضرّ) وفي محلول كلوريد الماغنيسيوم (عديم اللون).

١. صف كيف سيتغيّر مظهر محتويات أنبوبة الاختبار **(A)** بعد مضي ساعة واحدة.

٢. وضّح لماذا لا تتوقّع حدوث تغيُّر كيميائي في محتويات أنبوبة الاختبار **(B)**.



ج. كيف تتوقّع تفاعُل الفلزّ X مع الماء البارد ومع بخار الماء؟ دعِّم إجابتك بكتابة المعادلات الكيميائية الرمزية الموزونة مع رموز الحالة الفيزيائية، علمًا أن تكافؤ الفلز X يساوي تكافؤ النحاس الموضّح أعلاه: X (II).



الوحدة الثانية

استخلاص الفلزّات واستخداماتها

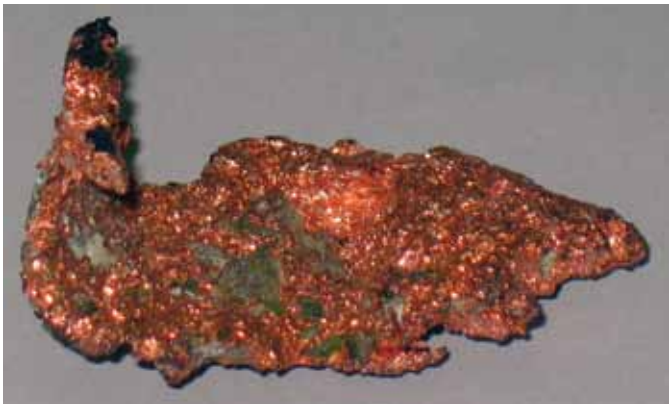
The Extraction and Uses of Metals

تُغطّي هذه الوحدة:

- طرائق استخلاص الفلزّات من خاماتها.
- أهمّية إعادة تدوير الفلزّات.
- إنتاج الحديد في الفرن العالي.
- صناعة الفولاذ.
- طبقة أكسيد الألومنيوم الواقية.
- خصائص السبائك واستخداماتها.
- صدأ الحديد وطرائق حماية الحديد منه.
- طرائق الحماية من الصدأ كالحماية المهبطية بالتضحية (sacrificial cathodic protection) والجلفنة (galvanisation).

٢-١ استخلاص الفلزّات

تكون بعض الفلزّات غير نشطة كيميائيًّا إلى درجة أننا نجدها في الطبيعة كعناصر منفردة (حُرّة). ومن هذه الفلزّات: الذهب والفضّة وأحيانًا النحاس (الصورة ٢-١). فهي توجد في القشرة الأرضية كعناصر **فلزّية طبيعية نقية Native** غير مرتبطة بعناصر أخرى.



الصورة ٢-١ قطعة من النحاس في صورتها الطبيعية

تكون معظم الفلزّات شديدة النشاط، لذلك لا يمكن أن توجد كعناصر مُنفردة في الأرض، بل متَّحدة مع عناصر أخرى في هيئة مُركّبات. ويُطلق على الفلزّات والعناصر والمُركّبات الموجودة في الطبيعة تسمية **المعادن Minerals**. فالمعدن لا يوجد عادة كمادة نقية في القشرة الأرضية، بل كترسُّبات ضمن الصخور أو مع معادن أخرى. وتُعرف الصخور المُستخرجة التي تحتوي على معادن غير نقية بالمادّة **الخام Ore**. وفيما يلي بعض المواد الخام المُستخدمة لاستخلاص الفلزّات (الجدول ٢-١).

الفلزّ	اسم الخام	المُركّب الذي يوجد فيه
الألومنيوم	البوكسيت	أكسيد الألومنيوم Al_2O_3
النحاس	بيريت النحاس	كبريتيد الحديد والنحاس $CuFeS_2$
الحديد	الهيماتيت	أكسيد الحديد (III) Fe_2O_3
الصوديوم	الملح الصخري	كلوريد الصوديوم NaCl
القصدير	حجر القصدير	أكسيد القصدير (IV) SnO_2
الخارصين	بلند الخارصين	كبريتيد الخارصين ZnS
الرصاص	الجالينا	كبريتيد الرصاص PbS

الجدول ٢-١ بعض الفلزّات وخاماتها

توجد الفلزّات مُعتدلة النشاط كالخارصين والحديد، على شكل أكاسيد أو كبريتيدات في خاماتها (الصورة ٢-٢).



الماجناتيت الهيماتيت الليمونيت

الصورة ٢-٢ الخامات الرئيسية للحديد

ويمكن بسهولة تحويل كبريتيد الفلزّ الموجود في الخامات إلى أكسيد الفلزّ عن طريق تسخينه في الهواء. على سبيل المثال:

أكسجين + كبريتيد الخارصين ⟵

ثُنائي أكسيد الكبريت + أكسيد الخارصين

$$2ZnS(s) + 3O_2(g) \rightarrow 2ZnO(s) + 2SO_2(g)$$

وللحصول على الفلزّ من أكسيده، يجب إزالة الأكسجين. هذه العملية تسمى **الاختزال Reduction**. ويمكن تحقيق ذلك عن طريق إزاحة الفلزّ من أكسيده بفلزّ أو عنصر آخر أكثر نشاطًا منه، كما درسنا في الوحدة الأولى. فاستخلاص الفلزّات النشطة بهذه الآلية، يتطلّب المزيد من الطاقة والتكاليف. وبدلًا عنها يُستخدم الكربون لاستخلاص الفلزّات معتدلة النشاط من أكاسيدها، لأنّه متوفّر نسبيًا، وقليل التكلفة كفحم الكوك coke (وهو شكل من أشكال الكربون المصنوع من الفحم). علاوة على ذلك فإنّ تفاعله يُنتِج ثاني أكسيد الكربون، الذي يسهل فصله عن الفلزّ لأنه غاز. فعند درجات الحرارة المرتفعة، سوف يختزل الكربون أكاسيد الفلزّات ويحوّلها إلى فلزّاتها وثاني أكسيد الكربون. على سبيل المثال:

كربون + أكسيد الخارصين ⟵

ثاني أكسيد الكربون + خارصين

$$2ZnO(s) + C(s) \rightarrow 2Zn(s) + CO_2(g)$$

وغالبًا ما تؤدّي درجات الحرارة المرتفعة إلى تفاعُل الكربون مع أكسجين الهواء أوّلًا، ممّا يؤدّي إلى تحويله لغاز أحادي أكسيد الكربون الفعّال أيضًا في عمليات اختزال أكاسيد الفلزّات:

أول أكسيد الكربون + أكسيد الخارصين ⟵

ثاني أكسيد الكربون + خارصين

$$ZnO(s) + CO(g) \rightarrow Zn(s) + CO_2(g)$$

ومع ذلك، فإن بعض الفلزّات تكون نشطة جدًّا ولا يمكن اختزالها بالكربون. ذلك أنّ الفلزّات النشطة، الموجودة في مُركّباتها كأكاسيد أو كلوريدات، تحتاج إلى الكثير من الطاقة لاستخلاصها، وهذه الطاقة يتم توفيرها بالكهرباء. وبناء على ذلك لابد من استخلاص الفلزّات الأكثر نشاطًا، كالألومنيوم والماغنيسيوم والصوديوم، بالتحليل الكهربائي لمُركّباتها المصهورة. وقد تم تلخيص طرق الاستخراج الرئيسية للفلزّات في الجدول (٢-٢) .

الفلزّ	طريقة الاستخلاص	
البوتاسيوم	التحليل الكهربائي للمركّب المصهور	تناقُص النشاط الكيميائي ↓
الصوديوم		
الكالسيوم		
الماغنيسيوم		
الألومنيوم		
الخارصين	اختزال الأكاسيد بالكربون (تُسخّن خامات الكبريتيد لإنتاج الأكسيد أولًا)	
الحديد		
القصدير		
الرصاص		
النحاس	خام الكبريتيد مسخن في الهواء	
الفضة	توجد بصورة طبيعية نقية (غير مندمجة) في الأرض	
الذهب		

الجدول ٢-٢ طرائق استخلاص بعض الفلزات الشائعة وفقًا لنشاطها الكيميائي

إعادة تدوير الفلزّات

تُعدّ خامات الفلزّات موارد محدودة غير قابلة للتجدّد بعد تعدينها واستخلاص الفلزّات منها. لذلك نحتاج إلى التعامُل بحكمة مع استخدام الأشياء المصنوعة من الفلزّات، وعند التخلُّص منها أيضًا.

وتُعتبر إعادة تدوير الفلزّات المُتّبعة عملية جيدة للأسباب الآتية:

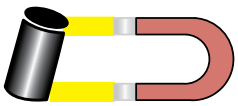
- تحافظ على المواد الخام التي صُنعت هذه الأدوات منها.
- تستهلك طاقة أقلّ من الطاقة اللازمة لاستخلاص هذه الفلزّات من المواد الخام.
- تُقلّل من دفن المواد في مردم النفايات، فلا يعود هناك تلوُّث.

تخضع الكثير من الفلزّات لإعادة التدوير. ويُعدّ تدوير الألومنيوم والفولاذ من العمليات الأكثر شيوعًا.

يعدّ فلزّ الألومنيوم الاكثر شيوعًا في عملية إعادة التدوير، لأن تكلفة استخلاصه من الخام كبيرة جدًّا. وفي المُقابل يتيح استخدام الألومنيوم المُعاد تدويره توفير 95% من الطاقة اللازمة لصنع ألومنيوم جديد.

(رمز إعادة تدوير الألومنيوم)

تكفي عملية إعادة تدوير علبة ألومنيوم واحدة لتوفير طاقة تُشغِّل جهاز تلفاز لمدة 3 ساعات. ومن الجدير بالذكر أنّ حوالي 50% من الألومنيوم المستخدَم في جميع أنحاء العالم يُعاد تدويره. ومُقابل كل طن من الألومنيوم الذي يُعاد تدويره، يتمّ توفير وحفظ 8 أطنان من الألومنيوم الخام.



(الفولاذ)

أضف إلى ذلك أنّ عملية إعادة تدوير الفولاذ هي أيضًا أقلّ تكلفة من صناعته من خاماته، غير أن الفرق في التكلفة ليس كبيرًا كما هو الحال مع الألومنيوم.

ومع ذلك يمكن إعادة تدوير الفولاذ بسهولة لأنه مغناطيسي، وبالتالي يمكن فصله بسهولة عن النفايات الأخرى. ولهذا السبب، يتوفّر الكثير من الفولاذ الذي يُعاد تدويره. فحوالي 40% من المواد المُستخدمة في إنتاج الفولاذ تأتي من مصادر تعيد تدوير الحديد. ومعلوم أنّ الطاقة التي يتم توفيرها من إعادة التدوير تُعادِل ثُلُثَي الطاقة المطلوبة لإنتاج الحديد من خاماته، وأنّ كل طن من الفولاذ المُعاد تدويره، يتمّ في مُقابله توفير وحفظ حوالي 1.1 طن من الحديد الخام.

نشاط ٢-١

استخلاص فلزّ من الأكسيد باستخدام الفحم

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، يُستخلص النحاس من أكسيده باستخدام مسحوق أحد أنواع الفحم.

نشاط ٢-١

المواد والأدوات والأجهزة

- أنابيب اختبار زجاجية صغيرة
- (أو أنابيب تسخين)
- حامل أنابيب اختبار
- رف أنابيب اختبار
- ملعقة كيماويات
- حصيرة عازلة للحرارة
- موقد بنزن
- مسحوق الفحم
- أكسيد النحاس (II)
- طبق وزن
- ماء الجير
- ماصة

⚠
- **ضع النظّارة الواقية لحماية عينَيك.**
- **ارتد معطف المُختبَر.**
- **البس القُفّازَين الواقيَين عند الضرورة، أثناء إجراء هذه التجربة.**
- **اغسل يدَيك بعد انتهاء التجربة.**
- **كن حذرًا مع الأدوات الساخنة ، ودعها تبرد قبل التعامُل معها.**
- **يُعدّ أكسيد النحاس (II) من المواد التي تُسبِّب تهيُّجًا للجلد عند استخدامها.**

الطريقة

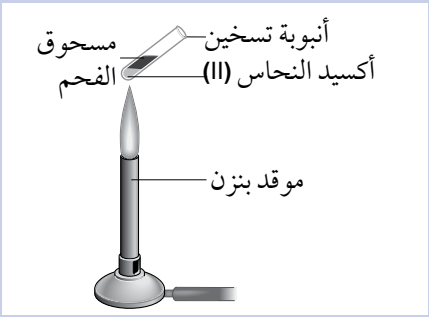
١ ضع مقدار ملعقة كيماويات واحدة من مسحوق أكسيد النحاس (II) في أنبوبة تسخين.

٢ أضف بعناية ملعقة كيماويات واحدة من مسحوق الفحم إلى أكسيد النحاس (II) دون أي خلط.

٣ سخّن هاتَين الطبقتَين بقوة مدة 5 دقائق في لهب بنزن.

٤ دع الأنبوبة تبرد، ثم انظر عن قرب إلى حيث يلتقي المسحوقان في أنبوبة الاختبار.

٥ استخدم ماصّة قطّارة لامتصاص بعض الغاز من داخل أنبوبة الاشتعال فوق الفحم. وانفخ هذا الغاز بشكل فقّاعات عبر حوالي 2 mL من ماء الجير في أنبوبة اختبار ثانية.



النتائج

سجّل ملاحظاتك حول أي تغيير يحدث في المسحوقَين، وتحديدًا حيث يلتقيان.

سجّل أي تغيير يُحدثه مرور الغاز في ماء الجير.

الاستنتاج

باستخدام ملاحظاتك أعلاه، حدّد النواتج التي تكوّنت.

أسئلة

١ ما الاسم الكيميائي لمسحوق الفحم؟

٢ اكتب المعادلة اللفظية لتفاعُل مسحوق الفحم مع أكسيد النحاس (II).

٣ اكتب المعادلة الكيميائية الرمزية الموزونة، مع رموز الحالة الفيزيائية، للمعادلة اللفظية الواردة في السؤال ٢.

٤ ماذا تستنتج حول النشاط الكيميائي للنحاس مقارنة بالكربون؟

٥ اقترح أكسيدَين لفلزَّين آخرَين يمكن اختزالهما بالفحم.

٦ اقترح اسمًا لأكسيد فلزّ لا يمكن اختزاله بالفحم.

أسئلة

٢-١ ما المقصود بمصطلح طبيعي (native) أو نقي؟

٢-٢ ما العنصر المُستخدم لاستخلاص الفلزّات المُعتدلة النشاط من خاماتها؟

٢-٣ اكتب سببَين يفسّران استخدام العنصر الذي سمّيته في السؤال ٢-٢ لاستخلاص الفلزّات المُعتدلة النشاط.

٢-٤ الجالينا هو الخام الذي يُستخلص منه الرصاص، ويحتوي على كبريتيد الرصاص (II) (PbS)، الذي يُحوّل في البداية إلى أكسيد الرصاص (II) وبعد ذلك يُختزل إلى رصاص.

أ. اكتب المعادلة الكيميائية الرمزية الموزونة لعملية تحويل كبريتيد الرصاص (II) إلى أكسيد الرصاص (II).

ب. اكتب المعادلة الكيميائية الرمزية الموزونة لاختزال أكسيد الرصاص (II) إلى رصاص.

٢-٥ كيف يتم استخلاص فلزّ شديد النشاط، مثل الصوديوم، من مُركّباته؟

٢-٦ لماذا تكون عملية إعادة تدوير الألومنيوم مُجدية اقتصاديًّا بشكل خاص؟

٢-٧ ما الخاصّية التي يمتلكها الفولاذ وتجعله مادة تسهل إعادة تدويرها؟

٢-٨ ما المقصود بمصطلح الاختزال؟

٢-٢ إنتاج الحديد والفولاذ

تشغل صناعة الحديد موقعًا مركزيًّا في الصناعات الثقيلة. وقد مثّل الجسر الشهير المُشيَّد في مقاطعة شروبشاير في إنجلترا (الصورة ٢-٣) ثورة صناعية تاريخية في أوروبا. فهو مصنوع من الحديد الصُّب (الحديد الزُهر cast iron) وتم افتتاحه في سنة 1781م. وكان أوَّل جسر حديدي يتمّ تشييده في العالم.



الصورة ٢-٣ الجسر المُشيّد في مقاطعة شروبشاير في إنجلترا كان أول جسر يتمّ تشييده من الحديد

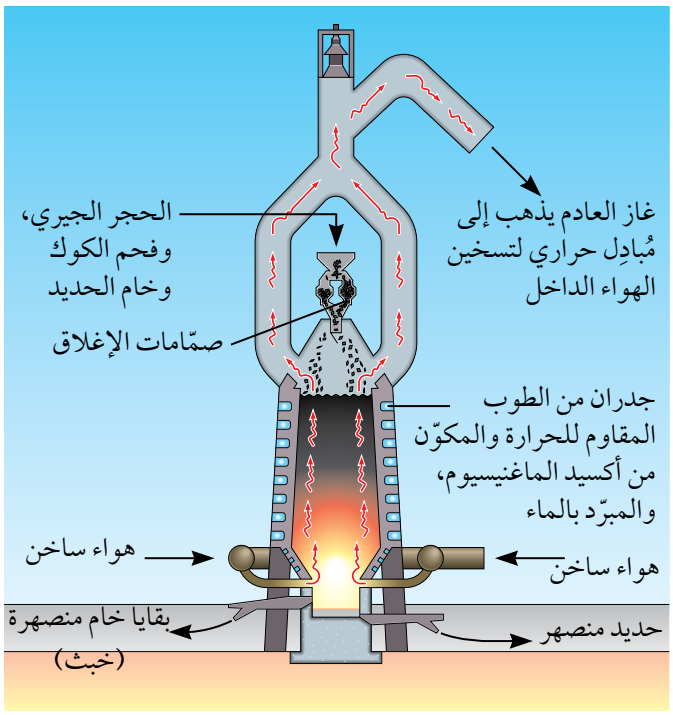
وتبلغ نسبة استخدام الحديد حوالي 90% مقارنة باستخدامات الفلزات الأخرى مجتمعة. وتُصنع الجسور الحديثة الآن من **الفولاذ Steel**، وهو مخلوط من الحديد وعناصر أخرى، ويُعدّ مادة أمتن بكثير من الحديد. ويُعرف المخلوط الذي يتكوّن من فلزّ وعناصر أخرى **بالسبيكة Alloy**.

ولمّا كان الحديد فلزًّا معتدل النشاط، فإنه يُستخلص من خاماته باستخدام الكربون. ويُعرف الخام الرئيسي للحديد **بالهيماتيت (Fe_2O_3)**، الذي يتمّ اختزاله بالكربون في **الفرن العالي Blast furnace** (الشكل ٢-١)، من أجل الحصول على الحديد. والفرن العالي هو برج فولاذي يبلغ ارتفاعه حوالي 30 مترًا، مُبطَّن بطوب مُقاوِم للحرارة، مُكوّن من أكسيد الماغنيسيوم، يتمّ تبريده بالماء. وتتم تعبئة الفرن بـ «الحمولة»، التي تتكوَّن من خام الحديد، وفحم الكوك والحجر الجيري (كربونات الكالسيوم) والتي يتم تسخينها. كما يتمّ خلطها مع المزيد من فحم الكوك. ويجري بعد ذلك ضخّ تيّارات قوية من الهواء الساخن عبر ثقوب تقع في أسفل الفرن. حيث يحترق الكربون في تيّارات الهواء ويصبح الفرن ساخنًا جدًّا.

ونتيجة لذلك، يحدث تفاعُلان مُهمّان، هما:

$$C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$$

$$C(s) + CO_2(g) \rightarrow 2CO(g)$$



الشكل ٢-١ عملية اختزال خام الحديد في الفرن العالي لإنتاج الحديد

مصطلحات علمية

- **السبيكة Alloy:** مخلوط يتكوَّن على الأقلّ من فلزَين أو من فلز ولافلز، وذلك لتحسين الخصائص الفيزيائية.

وتحدث سلسلة من التفاعُلات الكيميائية لإنتاج الحديد المُنصهر (الشكل ٢-٢). ويُعتقد أن أحادي أكسيد الكربون هو العامل المُختزل الرئيسي، وهو ينتج من التفاعُلات بين الكربون والهواء الساخن. وأهمّ تفاعُل يحدث هو اختزال الخام بأحادي أكسيد الكربون:

$$Fe_2O_3(s) + 3CO(g) \rightarrow 2Fe(l) + 3CO_2(g)$$

يتدفّق الحديد الناتج إلى قاع الفرن بسبب كثافته العالية. وهناك يتمّ «جمعه» في هيئة سائل مُنصهر، لأن درجة الحرارة في أسفل الفرن تكون أعلى من درجة انصهار الحديد.

يحتوي الحديد الخام على شوائب رئيسية أحدها الرمل (SiO_2 السيليكا)، الذي تُسهم في إزالته إضافة الحجر الجيري إلى الفرن. ويتعرّض الحجر الجيري للتفكك الحراري إلى جير حي في الفرن. والجير الحي (أكسيد الكالسيوم) قاعدة تتفاعل مع الأكاسيد الحمضية غير الفلزّية كالسيليكا (ثُنائي أكسيد السيليكون):

كربونات الكالسيوم $\xrightarrow{\text{حرارة}}$

ثاني أكسيد الكربون + أكسيد الكالسيوم

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

ثنائي أكسيد السيلكون + أكسيد الكالسيوم ⟵

سيليكات الكالسيوم

$$CaO(s) + SiO_2(s) \rightarrow CaSiO_3(l)$$

وتكون سيليكات الكالسيوم المتكوِّنة أيضًا في هيئة سائل مُنصهر. فتتدفق نحو قاع الفرن وتُشكِّل طبقة منصهرة فوق الحديد. ولكنها لا تختلط معه، لأن كثافتها أقلّ منه. و"تُجمع" بقايا الخام المُنصهرة (الخبث) بشكل منفصل.

أما الغازات العادمة الساخنة فتتسرّب من أعلى الفرن، وتُستخدم كمُحوّلات (مُبادِلات) حرارية لتسخين الهواء الداخل إلى الفرن العالي. وهذا يساعد على تقليل تكاليف الطاقة المستخدَمة في هذه العملية. ويكون استخلاص الحديد عملية مُتواصلة (الصورة ٢-٤).



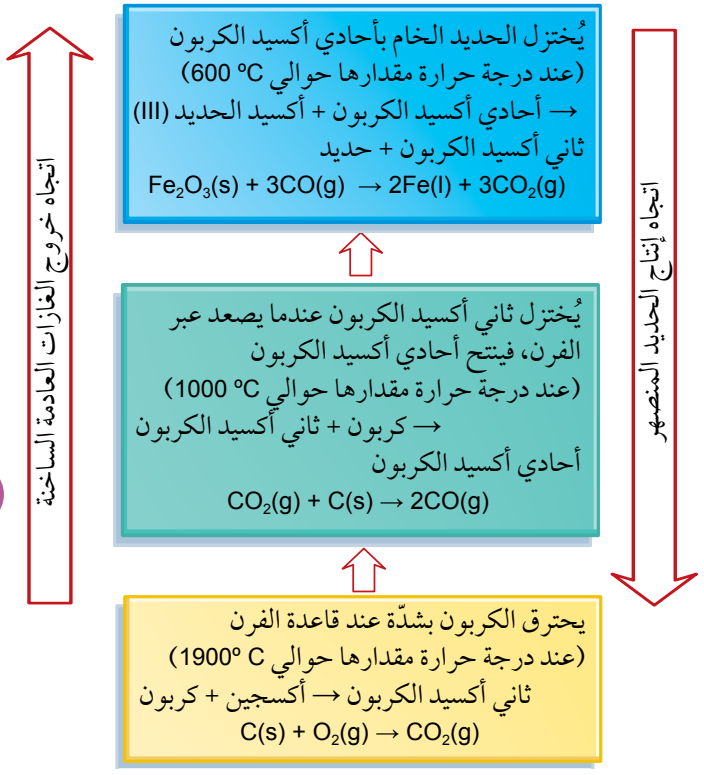
الصورة ٢-٤ أحد العاملين يرتدي ملابس واقية ويأخذ عيّنة من فرن الصهر في مصنع للصلب

الفرن العالي Blast furnace لاستخلاص الحديد:

- يُسمّى الفرن العالي في بعض المراجع بفرن الصهر أوالفرن اللافح.
- يستخدم هذا الفرن خام الحديد وفحم الكوك والحجر الجيري والهواء الساخن.
- تحدث فيه عملية اختزال أكسيد الحديد (III) بأحادي أكسيد الكربون.
- يُستخدم الحجر الجيري لإزالة الشوائب الرئيسية (الرمل) في هيئة بقايا مُنصهرة (سيليكات الكالسيوم، خبث).

تذكّر

- من المُهمّ أن تكون على دراية بالجوانب المختلفة لآليّة عمل الفرن العالي. ويجب أن تكون قادرًا على كتابة بيانات أجزاء الفرن ومعرفة ما وُضع فيه.
- ويتوجّب عليك تحديدًا معرفة التفاعُلات الرئيسية التي تحدث في الفرن، بما في ذلك تكوّن البقايا المنصهرة.



الشكل ٢-٢ سلسلة التفاعُلات التي تحدث في الفرن العالي

صناعة الفولاذ

يُعرف الحديد الناتج من الفرن العالي باسم «الحديد الصُّب Pig Iron» وهو ليس نقيًّا. فهو يحتوي على 4% من الكربون تقريبًا، بالإضافة إلى شوائب أخرى. وهذه الكمّية من الكربون تجعل الحديد هشًّا.

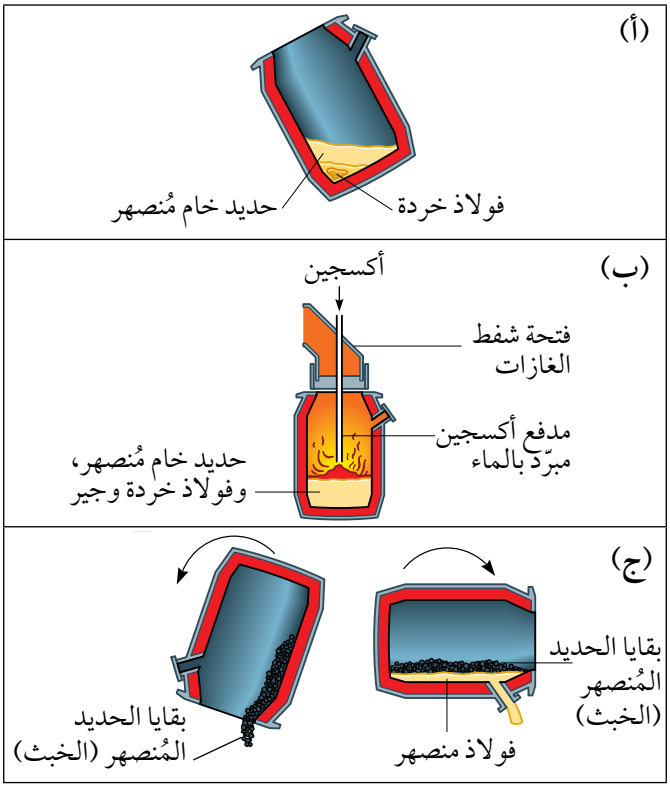
يتمّ استخدام معظم الصلب الخام الناتج في صناعة الفولاذ. حيث تتمّ أكسدة ما يحتوي عليه من الكربون خلال **عملية الأكسجين الأساسية Basic oxygen process** التي تتم باستخدام خزانة أبخرة قابلة للإزالة وخرطوم مبرّد بالماء يوفّر الأكسجين. وتتمّ هذه العملية وفقًا للمراحل الآتية:

المرحلة (أ) الشكل (٢-٣ أ): تتمّ أوّلاً تعبئة الفرن المائل بالحديد الخام المنصهر من الفرن العالي. ثمّ تُضاف مخلّفات (خردة) الفولاذ إلى الصلب المُنصهر لإعادة تدويرها، حيث تذوب وتمتزج بالحديد غير النقي.

المرحلة (ب) الشكل (٢-٣ ب): يضاف الجير الحي (أكسيد الكالسيوم) إلى المخلوط وتُوضع خزانة جمع الأبخرة فوق الفرن. ثم يضخّ الأكسجين بسرعة عالية في الوعاء عبر خرطوم مبرَّد بالماء، لحرق الشوائب في الحديد الصلب الخام يتم تحويل بعض الشوائب، مثل الكربون والكبريت، إلى أكاسيدها التي تكون غازية فتنفصل عن المخلوط المنصهر وتخرج من الفرن كغازات، يُحرق الكربون على شكل غازَي أحادي أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكربون، اللذَين يخرجان عبر خزانة جمع الأبخرة، ويبقى الفولاذ المُنصهر غير النقي.

المرحلة (ج) الشكل (٢-٣ ج): توجد أيضًا شوائب أخرى بكمّيات صغيرة، مثل السيليكون والفوسفور وهي تحترق أيضًا لإنتاج أكاسيد. لا تكون تلك الأكاسيد اللافلزّية غازية، بل حمضية، حيث تتمّ معادلتها بإضافة الجير. تشكِّل هذه الشوائب خبثًا يطفو فوق الفولاذ المنصهر، الذي يُسكب بإمالة الفرن في اتّجاه واحد، فيتدفّق من صنبور في جانب الفرن. وعند الانتهاء من سكب الفولاذ المنصهر، تتمّ إمالة الفرن في الاتّجاه الآخر لسكب الخبث. عندئذ يُصبح الفرن بعدها جاهزًا للشحنة التالية.

يمكن تصنيع أنواع مختلفة من الفولاذ أثناء العملية بإضافة كمّيات مُحدّدة من عناصر انتقالية أخرى مثل الكروم، والنيكل، والتنغستن، إلى الفولاذ وهو لا يزال منصهرًا.



الشكل ٢-٣ المراحل المختلفة لصناعة الفولاذ (عملية الأكسجين الأساسية)

مصطلحات علمية

- **عملية الأكسجين الأساسية Basic oxygen process:** هي عملية تصنيع الفولاذ من الحديد غير النقي باستخدام ضخّ عالي السرعة من الأكسجين لحرق الكربون وشوائب أخرى.

أسئلة

٩-٢ ما اسم الخام الرئيسي للحديد؟

١٠-٢ اذكر الغازَين المُتكوِّنَين عند تفاعُل فحم الكوك مع الهواء الساخن.

١١-٢ اكتب المعادلة الرمزية الموزونة لاختزال أكسيد الحديد (III).

١٢-٢ لماذا يُضاف الحجر الجيري إلى الفرن العالي؟

١٣-٢ ما المادة التي تُستخدم لإزالة الكربون من الحديد الصلب؟

١٤-٢ حدِّد طريقتَين تتم فيهما إعادة تدوير للطاقة وللمواد أثناء صناعة الحديد والفولاذ.

٢-٣ السبائك

شهد عالمنا الحديث، اختراع وتشكيل العديد من الآلات والأجهزة الذكية. وهي غالبًا ما تكون مصنوعة من الفولاذ، الأكثر استخدامًا. فالمتانة وقوة المقاومة للشد والتكلفة المنخفضة تجعل من الفولاذ القاعدة والأساس لصناعات لا حصر لها، تتدرّج من بناء السفن إلى صناعة الساعات. ويُعدّ الفولاذ سبيكة مصنوعة بشكل رئيسي من الحديد مع ما نسبته من 0.2 إلى 1.5% كربون. والكربون يجعل الحديد أكثر صلادة ومتانة. ويبيّن الجدول (٢-٣) هذه الأنواع من **الفولاذ الكربوني Carbon steels**، التي تتضمّن **الفولاذ الليّن Mild steel**، المُستخدم في هياكل السيارات.

ومع ذلك، يميل الفولاذ الكربوني إلى التآكُل ما لم تتم حمايته. لذا تُضاف إليه فلزّات أخرى كالكروم والنيكل. ولا تقتصر وظيفة هذه الفلزّات على منع التآكُل، بل تقوّي السبيكة التي تُسمّى **الفولاذ المقاوم للصدأ (المقاوم للأكسدة) Stainless Steel**. تتمّ أيضًا إضافة كمّيات ضئيلة من عناصر انتقالية أخرى لصنع **سبائك فولاذية Alloy steels** خاصّة. فعلى سبيل المثال، تجعل إضافة التنغستن الفولاذ أكثر صلادة وقوة وأكثر متانة عند درجات الحرارة المرتفعة، ليستخدم غالبًا في أدوات الحفر وفي أدوات قطع أخرى ذات سرعات عالية. وقد تم إدراج بعض سبائك الفولاذ في (الجدول ٢-٤).

السبيكة	نسبة الكربون فيه (%)	الخصائص	الاستخدامات
الحديد الصلب	4.5 - 2.5	أرخص من الفولاذ؛ سهل الصبّ في قوالب	صناديق ناقل الحركة (التروس)، قطع المُحرّكات، أقراص المكابح
الفولاذ الليّن	< 0.25	سهل التشكيل؛ ليس هشًّا	هياكل السيارات، الآلات، السلاسل، أبراج الكهرباء (الأعمدة)
الفولاذ المتوسِّط (الصلادة)	0.45 - 0.25	أكثر صلادة من الفولاذ الليّن	نوابض ومحاور السيّارات، الجسور
الفولاذ عالي الكربون	1.5 - 0.45	صلد وهش	الأزاميل*، آلات القصّ، شفرات الحلاقة

* الادوات التي يستخدمها النجار لنحت الخشب

الجدول ٢-٣ الحديد الصلب والفولاذ الكربوني

الفولاذ *	التركيب النموذجي		الخصائص	الاستخدامات
	العنصر	النسبة		
الفولاذ المقاوم للصدأ (المقاوم للأكسدة)	الحديد الكروم النيكل	74% 18% 8%	متين؛ لا يتآكل	أدوات المائدة، الأدوات الجراحية، أحواض المطابخ، مصانع المواد الكيميائية
فولاذ التنغستن	الحديد التنغستن	95% 5%	متين؛ صلد حتى عند درجات الحرارة المرتفعة	حواف أدوات القص ذات السرعات العالية
فولاذ المنغنيز	الحديد المنغنيز	87% 13%	متين؛ مرن	رؤوس المثاقب، النوابض

* جميع هذه السبائك تحتوي على نسبة منخفضة من الكربون (0.45% >)

الجدول ٢-٤ بعض السبائك الفولاذية

وغالبًا ما ينتج عن صناعة السبائك مواد تكون أقوى من الفلزّات الأصلية المفردة. يتمّ أيضًا تعديل خصائص فلزّات أخرى، إلى جانب الحديد، عن طريق خلط فلزّات مُنصهرة معًا بشكل تام، ثم تركها لتبرد وتُشكِّل مادة صلبة.

ويُعدّ الألومنيوم فلزًا ذا كثافة منخفضة بشكل غير اعتيادي ويمتلك قوة معقولة، وهو يُستخدم في تصنيع قطع الطائرات. ومع ذلك، إذا تم خلطه مع فلزّات أخرى يمكن تحسين قوته. فعند خلطه مع 4% من النحاس وكمّيات أقلّ من عناصر أخرى، سيُنتج الألومنيوم سبيكة فلزّية (الألومين الصلد، الدورالومين duralumin) تجمع ما بين القوة وخفّة الوزن، وتُعدّ مثالية لبناء الطائرات (الصورة ٢-٥).

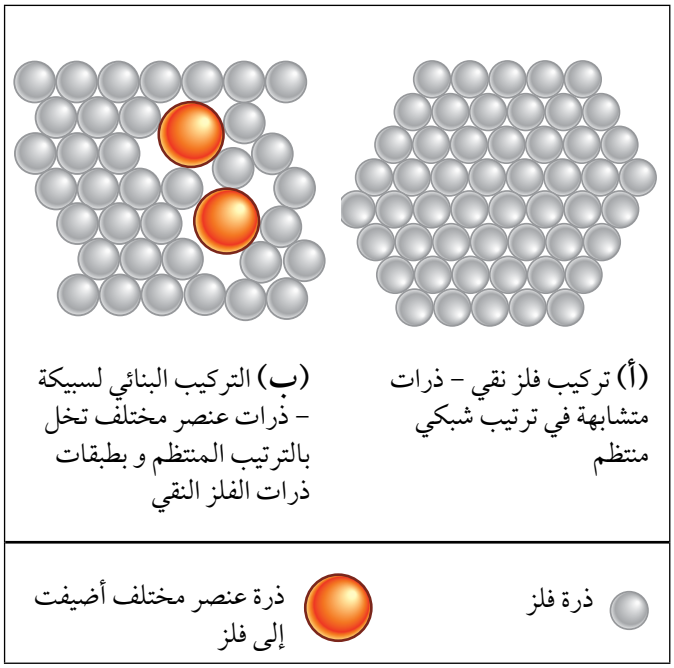


الصورة ٢-٥ طائرة الركاب الأسرع من الصوت (الكونكورد)

تركيب السبيكة وخصائصها

يُعدّ البرونز مثالاً آخر على السبائك، فهو سبيكة مصنوعة من النحاس والقصدير، أكثر صلادة بكثير من النحاس النقي. وبسبب متانته يُستخدم البرونز في المُجسّمات والميداليات.

كما درسنا في الوحدة الأولى، تكون الفلزّات ليّنة وسبب ذلك أنّها لدى تطبيق قوّة عليها، يمكن دفع طبقات من ذرّاتها وجعلها تنزلق فوق بعضها البعض. يؤدّي هذا إلى اتّخاذ الفلزّ شكلاً مختلفًا (الشكل ١-١). ورغم أن هذه الخاصّية قد تكون مفيدة، إلا أنها غير مرغوبة في التطبيقات التي يجب أن تكون المادة فيها قادرة على مقاومة ضغط مستمر وتحمل أوزانًا ثقيلة، مثل جسر أو مبنى. تكون طبقات الذرّات في فلزّ نقي قادرة على الانزلاق فوق بعضها البعض عند تطبيق قوة، لأنّ الذرّات تمتلك الحجم نفسه ويكون لها ترتيب شبكي مُنتظم. أمّا السبيكة فليست فلزًا نقيًا، بسبب إضافة كمّية صغيرة من عنصر مختلف كشوائب. تتم مقارنة الفرق في التركيب بين فلزّ نقي وسبيكة في الشكل (٢-٤). ففي السبيكة، يؤدّي وجود ذرّات عنصر مختلف داخل شبكة الفلزّ إلى خلل في الترتيب المنتظم للذرّات. ونتيجة لذلك لا يعود ممكنًا لطبقات الذرّات الفلزّية أن تنزلق بسهولة فوق بعضها البعض، عند تطبيق قوة عليها. وهذا يُقلّل من مرونة الفلزّ، ويزيد مقاومته بحيث لا يمكن تغيير شكله عند تطبيق قوة كبيرة.



الشكل ٢-٤ مقارنة بين التركيب البنائي لفلزّ نقي (أ) وسبيكة (ب)

لا تمثّل القوة الخاصّية الوحيدة التي يجب التفكير فيها عند تصميم سبيكة. وهنالك أمثلة أخرى على سبائك وخصائصها تمّ إدراجها في الجدول (٢-٥). **النحاس الأصفر (الصَّفَر Brass)** مثلًا، هو سبيكة مصنوعة من فلزَّي النحاس والخارصين. فإضافة الخارصين إلى النحاس تنتج مادة جديدة أكثر صلادة من النحاس ولكن أكثر مرونة من الخارصين.

وهذا ما يسمح بأن يكون تشكيل الصَّفَر أكثر سهولة ويجعله متينًا للغاية. وهو يمتلك أيضًا مظهرًا ذهبي اللون مقارنة بالفلزّات المُنفردة المُكوّنة له. هذه الخصائص جميعها تجعل استخدامه مثاليًّا في الآلات الموسيقية وعمليات الزخرفة، كما في مقابض الأبواب والحلي. وهنالك سبيكة أخرى تُعرف **بسبيكة اللِّحام Soldering alloy**، وهي مخلوط من القصدير والرصاص، يفيد في صناعة الوصلات الكهربائية، لأنّ هذه السبيكة موصّلة للكهرباء ولأنّ درجة انصهارها أدنى من درجة انصهار كل من الفلزَّين المُنفردَين، وهذا ما يُمكّنها من جمع وصلتَين بسهولة.

تذكَّر

- من المهم أن تتعرّف على العناصر المُكوّنة لسبائك مُعيّنة، مثل الصَّفَر، والفولاذ الليّن، والفولاذ المقاوم للصدأ (المقاوم للأكسدة). ومُهمّ أن تعرف بعض الاستخدامات الرئيسية لكل نوع من السبائك.
- يوضّح المنهج الدراسي بعض استخدامات كل من: الفولاذ اللين مثل هياكل السيارات والآلات، والفولاذ المقاوم للصدأ مثل مصانع المواد الكيميائية وأدوات المائدة.

السبيكة	التركيب النموذجي		الخصائص المميّزة	الاستخدامات
	العنصر	النسبة		
الصفر (النحاس الأصفر)	نحاس خارصين	70% 30%	أكثر صلادة من النحاس النقي؛ ذهبي اللون	الحلي، والآلات الموسيقية
البرونز	نحاس قصدير	90% 10%	أكثر صلادة من النحاس النقي	المُجسّمات، والميداليات
الدورالومين	ألومنيوم نحاس ماغنيسيوم منغنيز	93% 4% 2% 1%	خفيف الوزن، قوي	الطائرات، القطارات فائقة السرعة
اللحام	قصدير رصاص	50% 50%	درجة انصهاره أدنى من كل من القصدير، أو الرصاص	الموصّلات الكهربائية في الدوائر الكهربائية.

الجدول ٢-٥ بعض السبائك المُهمّة

نشاط ٢-٢

سبائك مثيرة للاهتمام!

المهارات:

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

يوضّح هذا العرض العملي كيف أن الاندماج بين عناصر فلزّية وتحوُّلها إلى سبيكة يجعلانها تمتلك خصائص مفيدة وجديدة. فالخاصّية الفيزيائية الرئيسية التي طرأ عليها تعديل في ما رأيناه من سبائك هي درجة انصهار الفلزّ. لاحظ أن أكثر أشكال سبائك اللِّحام شيوعًا هي سبيكة القصدير والنحاس، الذي حل محل استخدام الرصاص في السبيكة.

أما النيتينول Nitinol فهو سبيكة مكوّنة من النيكل والتيتانيوم. يمكن تغيير شكل سلك نيتينول عند درجة حرارة مرتفعة ثم يعود إلى هذا الشكل بعد تغير شكله.

أسئلة

٢-١٥ ما المقصود بالسبيكة؟

٢-١٦ قارن بين التركيب البنائي لسبيكة والتركيب البنائي لفلزّ نقي.

٢-١٧ ما تأثير ازدياد كمّية الكربون على خصائص الفولاذ؟

٢-١٨ لماذا يُضاف الكروم في بعض الأحيان إلى الفولاذ؟

٢-١٩ اكتب مثالَين على سبائك (غير الفولاذ) تكون أكثر فائدة من فلزّاتها النقية.

٢-٤ تآكُل الفلزّات وحمايتها

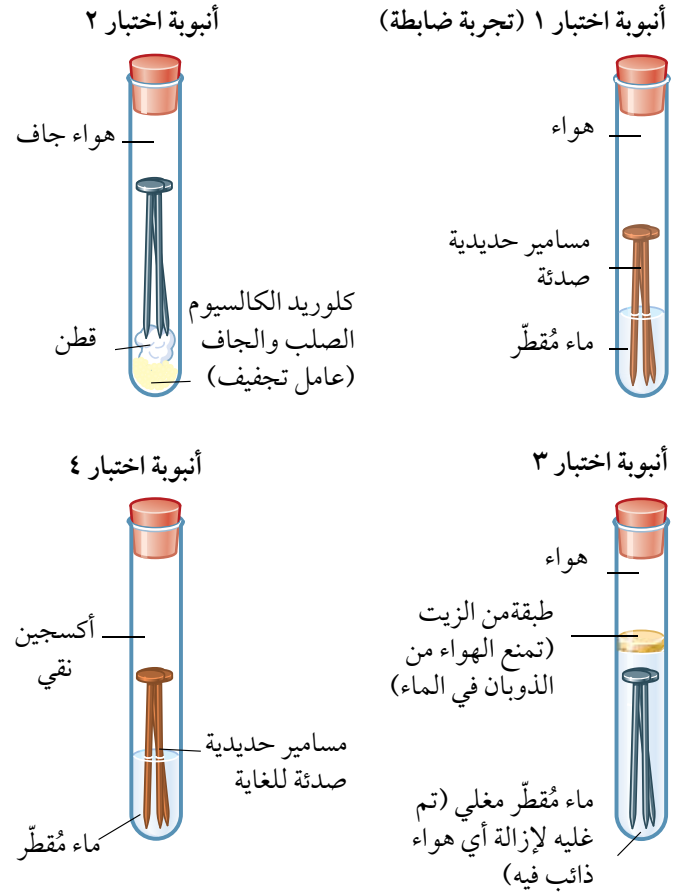
صدأ الحديد

قد تتلف وتتهالك بعض الفلزّات نتيجة تفاعلها مع الماء أو الهواء أو الحمض المحيط بها، ويقال إنها **تآكلت Corrode**. وتُعرف هذه العملية في حالة فلزّي الحديد وسبيكة الفولاذ **بالصدأ Rusting**، الذي يعد مشكلة أقتصادية مكلفة. حيث تنفق مبالغ طائلة من المال سنويًا سواء في استبدال هياكل حديدية وفولاذية تالفة أو في حمايتها من التلف. **والصدأ Rust** مادة ذات لون بني محمرّ تتكوَّن بشكل أساسي من أكسيد الحديد (III) المائي ($Fe_2O_3.xH_2O$).

فحين يكون فلزّ الحديد على تماسّ مباشر مع الماء والأكسجين الموجودَين في محيطه سيتكوّن الصدأ. ففي (الشكل ٢-٥) الأنبوبة ٢، يكون الهواء جافًا، لذا لا تصدأ المسامير. والأنبوبة ٣، لا يتوفّر أكسجين في الماء، لذا لا تصدأ المسامير. لكنّ الأنبوبة ٤، يتوفّر فيها الأكسجين النقي والماء، لذا تكون المسامير صدئة جدًا.

يحدث الصدأ بأن يتأكسد الحديد في البداية ليكوّن أيون الحديد (II) Fe^{2+}، الذي يتأكسد بشكل أكبر ليكوّن أيون الحديد (III) Fe^{3+}، الموجود في الصيغة الكيميائية $Fe_2O_3.xH_2O$.

وتتفاقم المشكلة وتصبح أسوأ بوجود الملح؛ حيث يزيد ماء البحر من معدَّل سرعة التآكُل. وتُظهِر الصور المُلتقطة



الشكل ٢-٥ تجربة لاستقصاء العوامل التي تؤدّي إلى تكوّن الصدأ

من قاع البحر لحطام سفينة التايتانيك أنها تحتوي على كمّية ضخمة من الصدأ (الصورة ٢-٦). كذلك يزيد المطر الحمضي من مُعدّل سرعة صدأ الأجسام الحديدية.



الصورة ٢-٦ صورة تم التقاطها من غوّاصة لمُقدّمة سفينة التايتانيك الصدئة للغاية

منع الصدأ

لقد أدّت الحاجة إلى حماية الحديد والفولاذ من الصدأ إلى ابتكار الكثير من الطرائق. وفيما يأتي نعرض بعضًا منها:

- **الحاجز العازل Barrier method:** يُستخدم الطلاء كطريقة حاجز عازل لمنع وصول الأكسجين أو الماء إلى الحديد أو الفولاذ الذي يوجد تحت الطلاء. وتُستخدم هذه الطريقة للأشياء التي تتفاوت في حجومها: من السفن والجسور إلى أبواب الحدائق. فالطلاء يحمي الفلزّ ما دامت طبقة الطلاء غير مخدوشة، وغالبًا ما تكون إعادة الطلاء المنتظمة ضرورية للحفاظ على هذه الحماية بشكل سليم.
- **التزييت والتشحيم:** هذه طريقة أخرى للحماية من الصدأ كحاجز عازل، وهي تُستخدم على نطاق واسع. فتزييت وتشحيم أجزاء الآلات المُتحرّكة يكوّن طبقة واقية لمنع الصدأ. ومرّة أخرى، يجب تكرار عملية المعالجة لتأمين استمرار الحماية.
- **التغليف بالبلاستيك:** طريقة تُستخدم لتشكيل طبقة واقية على أشياء مثل الثلاجات وكراسي الحدائق. وغالبًا ما تُستخدم مادة بولي كلوريد الفينيل، (PVC)، البلاستيكية كحاجز عازل.
- **التصفيح بالقصدير:** يمكن تصفيح جسم حديدي أو فولاذي بطبقة من القصدير لحمايته من الصدأ. تُصنع علب القصدير من الفولاذ المُصفّح على الجهتَين بطبقة رقيقة من القصدير. ويُستخدم القصدير لأن نشاطه الكيميائي أقلّ بكثير من الحديد وهو غير سام. ومع ذلك، فإن استخدامه يثير مشكلة. فإذا تشقّقت الطبقة الواقية، سوف يبدأ الفولاذ الموجود تحت هذه الطبقة بالصدأ.
- **الجلفنة:** يمكن لجسم مصنوع من الحديد أو الفولاذ أن يُغلَّف بطبقة من الخارصين؛ وهو فلزّ أكثر نشاطًا كيميائيًّا من الحديد. يتمّ ذلك بغمس الجسم في حوض من الخارصين (المُنصهر)، ثم يُزال ويُترك ليبرد، فتتشكّل على سطحه طبقة واقية. يُطلق على هذه الطريقة تسمية **الجلفنة Galvanizing**. وهي تتميّز عن الطرق الأخرى التي تتضمّن التغطية أو الطلاء، بأن الخارصين فلزّ أكثر نشاطًا من الحديد، وسيتفاعل ببطء مع الأكسجين أو الماء بدلًا منه، وذلك وفقًا للمعادلة الآتية:

$$2Zn(s) + O_2(g) \rightarrow 2ZnO(s)$$

ويؤدّي تكوّن أكسيد الخارصين إلى تقوية طبقة الحماية المُكوّنة من الخارصين حول الجسم الفولاذي. وتستمر الحماية بعملها حتى وإن كانت طبقة الخارصين مخدوشة. وذلك لأنّ الخارصين لديه قابلية أكبر لتشكيل أيونات موجبة من قابلية الحديد. وعندما يصدأ الحديد، فإنه يكوّن الأيون Fe^{3+}. فإذا كان الخارصين لا يزال على تماس مع الحديد فسوف يمنع تكوُّن أيون الحديد الموجب وبالتالي سيمنع عملية الصدأ، وذلك وفقًا للمعادلة الآتية:

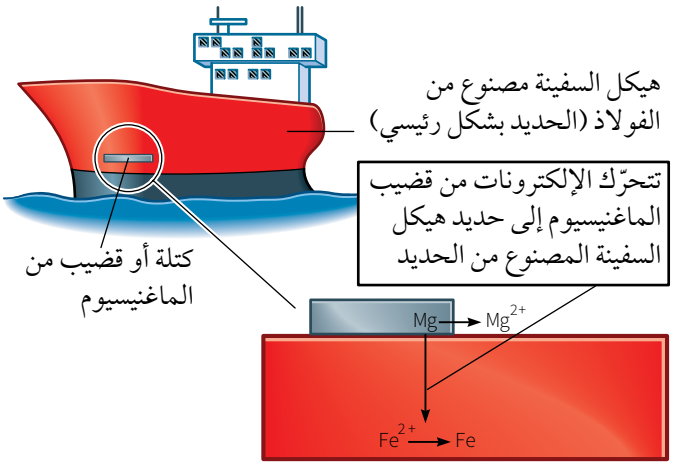
$$3Zn(s) + 2Fe^{3+} \rightarrow 3Zn^{2+} + 2Fe(s)$$

وغالبًا ما يُستخدم الفولاذ المُجلفن لصنع بعض الأدوات مثل صناديق القمامة وسقوف الحظائر الحديدية المموَّجة.

- **الحماية المهبطية بالتضحية Sacrificial (cathodic) protection:** وهي طريقة تُستخدم لمنع الصدأ تكون فيها كُتل من فلزّ نشط متَّصلة بسطح جسم مصنوع من الفولاذ أو الحديد. وعلى العكس من عمليات الجلفنة أو الطلاء بالقصدير، فإن الجسم المصنوع من الفولاذ أو الحديد لا يحتاج لأن يكون مغطًّى كلّيًّا بالفلزّ الواقي، بل يحتاج فقط أن يكون على تماسّ مع كمّية ضئيلة منه. فعلى سبيل المثال، تُربط من كتل الخارصين أو الماغنيسيوم بمنصّات النفط وهياكل السفن لتوفير حماية بالتضحية (الشكل ٢-٦).

مصطلحات علمية

- **الجلفنة Galvanising:** طريقة كيميائية لمنع صدأ جسمٍ مُكوّن من الحديد أو الفولاذ، بتغطيته بفلزّ أكثر نشاطًا، كالخارصين، ليتفاعل عوضًا عنه.
- **الحماية المهبطية بالتضحية Sacrificial (cathodic) protection:** طريقة كيميائية لحماية الأجسام المصنوعة من الحديد أو الفولاذ من تكوُّن الصدأ، وذلك من خلال وضع قطعة صغيرة من فلزّ أكثر نشاطًا كالماغنيسيوم أو الخارصين.



الشكل ٢-٦ الحماية المهبطية بالتضحية لهياكل السفن

وكذلك فإنّ أنابيب الغاز وأنابيب المياه الموجودة تحت الأرض تحتاج فقط إلى أن تكون موصولة بوساطة أسلاك إلى كُتل من الماغنيسيوم لحمايتها من التآكُل. فهذه الفلزّات أكثر نشاطًا من الحديد لذا سوف يكون لها الأولوية في التآكُل.

ففي عملية الحماية بالتضحية، تمنح كتل أو قضبان فلزّ الماغنيسيوم أو الخارصين إلكترونات للحديد. وهذا ما يمنع الحديد من فقدان الإلكترونات لتكوين أيونات موجبة؛ فالماغنيسيوم نفسه هو الذي يتحوّل إلى أيونات موجبة في هذه العملية، وذلك وفقًا للمعادلة الآتية:

$$Mg + Fe^{2+} \rightarrow Mg^{2+} + Fe$$

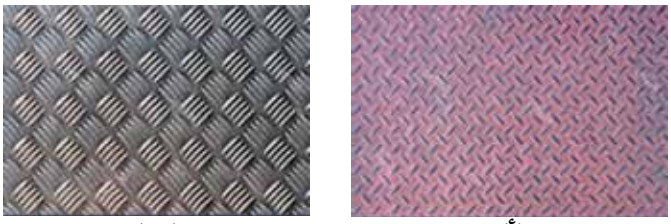
وبما أنّ الماغنيسيوم غالبًا ما يكون على تماسّ مباشر مع الماء، فإن الأيونات التي يكوّنها يتم التخلص منها. أي تتمّ «التضحية» بفلز الماغنيسيوم بهدف حماية الفولاذ أو الحديد من الصدأ. ومع ذلك، فإن الحماية بالتضحية تكون طريقة فعالة لمنع الصدأ ما دام الماغنيسيوم أو الخارصين متّصلًا بالحديد أو الفولاذ.

وعند استهلاك الفلزّ (المُضحّى به)، يجب استبدال كتلته بشكل مُنتظم. ويُشار إلى كتلة الفلزّ النشط بأنها **قطب التضحية الأنودية Sacrificial anode** لأنّ الفلزّ يمنح إلكتروناته للحديد بهدف حمايته من التآكُل، وهو يُستهلك في هذه العملية. ويُطلق على الجسم الحديدي المحمي تسمية **المهبط** (الكاثود Cathode) لأنه يكسب الإلكترونات من **المصعد** (الأنود Anode) (ستتمّ دراسة الكاثود والأنود لاحقًا).

طبقة أكسيد الألومنيوم

عندما يتآكل الحديد، يتشكّل الصدأ في هيئة رقائق. ثم يتفتّت وينفصل عن الحديد، ممّا يعرّض المزيد من الفلزّ للهواء. ويمكن أن يستمر تآكُل الفلزّ بمرور الوقت مع تساقُط المزيد من رقائق الصدأ. وفي الواقع، يمكن أن تتآكل صفيحة من الحديد بكاملها بالصدأ.

يُعدّ الألومنيوم فلزًّا أكثر نشاطًا من الحديد، لكنه يظهر وكأنه غير نشط كيميائيًّا؛ وسبب ذلك أنّه لا يتآكل وبالتالي لا يتعرّض للضرر نفسه الذي يتعرّض له الحديد. ومثل الحديد، يتفاعل الألومنيوم مع الهواء. ولكن في هذه الحالة، تتكوَّن طبقة واحدة رقيقة جدًّا من أكسيد الألومنيوم، وهي تلتصق بقوة بسطح الفلزّ. تقوم هذه الطبقة من أكسيد الألومنيوم بعد ذلك بوقف تفاعُل الألومنيوم الموجود تحتها، وبالتالي تتم حماية الفلزّ من التعرُّض للمزيد من التآكُل. توضّح الصورة (٢-٧) الاختلافات في المظهر بين صفيحتَين من الحديد والألومنيوم تعرّضتا للهواء مدة من الزمن.



(أ) (ب)

الصورة ٢-٧ (أ) صفيحة الحديد أو الفولاذ عندما تتعرّض للهواء. (ب) صفيحة الألومنيوم لامعة رغم تعرُّضها للهواء

وهذه الطبقة الواقية تجعل من الألومنيوم مادة مثالية لاستخدامها في حالات حيث يتآكل فيها فلزّ آخر. فغالبًا ما تُصنع أواني الطعام من رقائق الألومنيوم لأنها مادة خفيفة الوزن وقابلة للتشكيل، ولأن طبقة الأكسيد الخارجية توفِّر لها الحماية. أضف إلى ذلك أنها تُقاوم التآكُل الذي يُسبّبه الهواء والماء، وتمنع الألومنيوم من التفاعُل مع الأحماض الطبيعية الضعيفة التي قد تكون موجودة في الطعام. وغالبًا ما تحتوي أجزاء الطائرات وإطارات النوافذ على الألومنيوم بسبب كثافته المنخفضة وقوته، ولأن طبقة الأكسيد توفّر حماية مفيدة من الأكسجين أو بخار الماء أو المطر الحمضي، الموجودة في الغلاف الجوّي والتي من شأنها أن تؤدّي إلى تآكُل هذه المواد.

تذكَّر

الصدأ هو تآكُل الحديد والفولاذ. ومن الخطأ الإشارة إلى تآكُل الفلزّات الأخرى بالصدأ، لأن الصدأ هو أكسيد الحديد (III) المائي وهو ذو لون بني محمرّ.

نشاط ٢-٣

منع الصدأ

المهارات:

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

في هذا النشاط، تتم حماية مسامير حديدية من الصدأ باستخدام مجموعة متنوّعة من الطرائق، بما في ذلك الطلاء والتشحيم والحماية بالتضحية. توضع المسامير في أنابيب اختبار ويضاف إليها الماء. ومن خلال مقارنة كمّية الصدأ بعد أسبوع على كل مسمار، يمكن تقييم فاعليّة الأنواع المختلفة من الحماية.

المواد والأدوات والأجهزة

- أنابيب اختبار (عدد 8)
- مسامير حديدية (عدد 6)
- مسمار أو برغي من الفولاذ المقاوم للصدأ
- محلول تنظيف: محلول حمض الهيدروكلوريك المخفف (1 mol/L)، حوالي 10 mL
- شريط ماغنيسيوم، طوله حوالي 2 cm
- رقائق نحاس، قطعة صغيرة
- زيت
- قلم تخطيط أو ملصقات لأنابيب الاختبار
- حامل أنابيب اختبار
- مسماران مجلفنان (مطليان بالخارصين)
- دهان وفرشاة صغيرة، أو سائل تصحيح
- رقائق خارصين، قطعة صغيرة
- هلام بترولي (فازلين)
- ورق تغليف رقيق، أو غشاء بلاستيكي مشابه

⚠ **ضع النظّارة الواقية لحماية عينَيك.**

- **ارتدِ معطف المُختبَر.**
- **البس القُفّازَين الواقيَين عند الضرورة، أثناء إجراء هذه التجربة.**
- **اغسل يدَيك بعد انتهاء التجربة.**
- **الحمض المُخفّف مادة مُهيّجة، اغسل يدَيك والأسطُح في حال التعرُّض له.**
- **يعدُّ محلول حمض الهيدروكلوريك المُخفّف من المواد التي تُسبِّب تهيُّجًا للجلد عند استخدامها.**
- **شريط الماغنيسيوم سريع الاشتعال.**

الطريقة

١ اختر بعض المسامير التي لا تظهر عليها أي علامات صدأ. نظّفها جيدًا بمحلول التنظيف وجفّفها.

٢ ضع مسمارًا في أنبوبة اختبار (أنبوبة ضابطة للتجربة). عنون هذه الأنبوبة بالرقم 1.

٣ عالج المسامير الأخرى وفقًا لما هو مقترح أدناه. عنون أنابيب الاختبار من 2 إلى 6. وفي كل أنبوبة اختبار ضع مسمارًا واحدًا تمت معالجته بإحدى الطرق الآتية:

- غلّف أحد المسامير بورق تغليف بلاستيكي رقيق.
- اطلِ أحد المسامير واتركه ليجف.
- اطلِ أحد المسامير بهلام بترولي (فازلين)، أو بنوع آخر من الشحم أو بالزيت.

نشاط ٢-٣

- غلّف جزءًا من أحد المسامير بقطعة من شريط الماغنيسيوم أو من رقائق الخارصين.
- غلّف جزءًا من أحد المسامير بقطعة من رقائق النحاس.

٤ ضع المسامير الآتية في أنبوبتَي اختبار منفصلتَين، وعنونهما بالرقمَين 7 و 8:

- ضع مسمارًا أو برغيًّا من الفولاذ المقاوِم للصدأ في أنبوبة اختبار.
- ضع مسمارَين مُجلفنَين (مطليين بالخارصين)، أحدهما تم خدشه لإزالة جزء من طبقة الخارصين في أنبوبة اختبار.

٥ أضف الماء بعناية، إلى كل أنبوبة اختبار، بحيث يغطي نصفها. ثم اتركها في مكان ثابت لمدة أسبوع.

٦ بعد أسبوع، تفحّص المسمار في كل أنبوبة اختبار بحثًا عن علامات الصدأ.

النتائج

سجّل مظهر المسامير والكمّيات النسبية لأي عملية صدأ تحدث في أنابيب الاختبار التي حضّرتها. صمّم جدول النتائج الخاصّ بك مع العناوين المناسبة.

أسئلة

١ ما المواد الثلاث المُتفاعلة التي تشارك في عملية الصدأ؟

٢ ادرس جدول النتائج الخاصّ بك، لتُرتّب أنابيب الاختبار التي تزداد فيها كمّيات الصدأ مقارنة بأنبوبة الاختبار رقم 1 (الأنبوبة الضابطة للتجربة). ما الظروف التي تزيد كمّية الصدأ؟

٣ مستعينًا بجدول نتائجك، رتّب أنابيب الاختبار التي تقلّ فيها كمّيات الصدأ، أو لم يحدث فيها صدأ مقارنة بأنبوبة الاختبار رقم 1 (الأنبوبة الضابطة للتجربة). ما أفضل الظروف لمنع تكوُّن الصدأ؟

٤ الصدأ مصطلح يتم تطبيقه على الحديد والفولاذ فقط. فما المصطلح الأكثر تعميمًا والذي يمكن استخدامه لهذا النوع من التفاعُل مع الفلزّات جميعها؟

أسئلة

٢-٢٠ ما المادتان الضروريتان لحدوث صدأ الحديد؟

٢-٢١ ما الصيغة الكيميائية لصدأ الحديد؟

٢-٢٢ اكتب مثالَين على طرائق الحاجز العازل، يمكن استخدامهما لحماية الحديد من الصدأ.

٢-٢٣ اشرح طريقة واحدة فقط يمكن فيها استخدام الخارصين لمنع صدأ الحديد.

٢-٢٤ لماذا لا يتآكل الألومنيوم مثل الحديد؟

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- تكون عملية استخلاص الفلزّات الأخرى مرتبطة بنشاطها الكيميائي.
- يُستخدم الكربون لاستخلاص الفلزّات المُعتدلة النشاط من خاماتها.
- ميزات إعادة تدوير الفلزّات.
- التفاعُلات الكيميائية التي تشارك في إنتاج الحديد والفولاذ:
  - إنتاج أحادي أكسيد الكربون من فحم الكوك في الفرن العالي.
  - اختزال الحديد الخام (الهيماتيت) إلى حديد.
  - استخدام الحجر الجيري لإنتاج الجير الحي من أجل إزالة الشوائب.
  - إنتاج الفولاذ عن طريق عملية الأكسجين الأساسية.
- التركيب والخصائص واستخدامات الأنواع المختلفة من السبائك بما فيها الفولاذ اللين، والفولاذ المقاوم للصدأ، والنحاس الأصفر.
- الظروف التي تؤدّي إلى حدوث عملية صدأ الهياكل الحديدية والفولاذية.
- طرائق الحاجز العازل لمنع صدأ الحديد والفولاذ.
- استخدام عملية الجلفنة والحماية بالتضحية لمنع حدوث الصدأ.
- خصائص واستخدامات الألومنيوم وطبقة الأكسيد الحامية التي تمنع تآكُله.

أسئلة نهاية الوحدة

١ ما أهمّية إعادة تدوير أكبر عدد ممكن من المواد؟

٢ يُعدّ استخدام الفرن العالي طريقة صناعية لاستخلاص الحديد من الخامات التي تحتوي على أكسيد الحديد (III).

أ. في عملية الاستخلاص هذه، تتم إزالة الأكسجين من أكسيد الحديد (III) لإنتاج الفلزّ.

١. ما اسم هذا النوع من التفاعُلات والذي يزيل الأكسجين؟

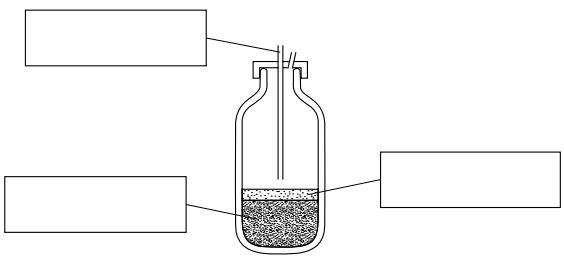
٢. ما المادة الغازيّة التي تحوّل أكسيد الحديد (III) إلى حديد في الفرن؟

٣. ما المواد الأوّلية المُستخدمة في الفرن لإنتاج (CO)؟

ب. يمكن أن تصل درجة الحرارة في مركز الفرن العالي إلى 1300°C. يتم استخلاص النحاس من أكسيد النحاس (II) في المختبر عند درجات حرارة أدنى من درجة الحرارة هذه.
اشرح لماذا تحتاج عملية استخلاص النحاس من أكسيد النحاس (II) إلى طاقة أقلّ من الطاقة اللازمة لعملية استخلاص الحديد من أكسيد الحديد (III).

ج. يحتوي الحديد المُنصهر الذي يتجمّع عند قاعدة الفرن على ثُنائي أكسيد السيليكون كنوع من الشوائب.
اشرح كيف تتم إزالته من الحديد المُنصهر في الفرن العالي.

٣ يُبيّن الرسم التخطيطي المقابل محوّل الأكسجين الأساسي، الذي يُستخدم لتحويل الحديد غير النقي الناتج في الفرن العالي إلى فولاذ. وفي أثناء هذه العملية، تتحوّل بعض الشوائب الموجودة في الحديد إلى ما يُسمّى بقايا الحديد المنصهر (الخبث).



أ. ضع العناوين الآتية في المكان المناسب على نسخة من الرسم التخطيطي:

١. مكان دخول الأكسجين.

٢. بقايا الحديد المنصهر (الخبث).

٣. الفولاذ المصهور.

ب. في المحوّل، يُؤكسِد الأكسجين الكبريت والكربون والفوسفور. يتم فصل ثنائي أكسيد الكبريت وثاني أكسيد الكربون بسهولة عن الفولاذ المصهور، ولكن لا بُدّ أوّلًا من إضافة أكسيد الكالسيوم إلى أكسيد الفوسفور (V) لتتم إزالته.

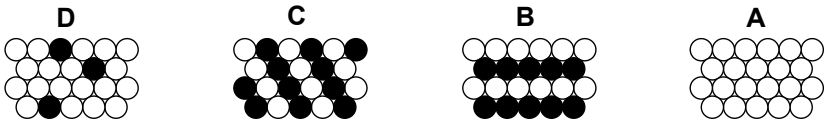
١. فسِّر سهولة فصل ثنائي أكسيد الكبريت وثاني أكسيد الكربون عن الفولاذ المصهور.

٢. اشرح كيف تتم إزالة أكسيد الفوسفور (V) من المحوّل باستخدام أكسيد الكالسيوم.

ج. تُضاف أحيانًا مواد أخرى إلى الفولاذ المُنصهِر. سمِّ مادة واحدة أخرى وسبب إضافتها.

٤ أ. الفولاذ المقاوم للصدأ هو سبيكة.

١. أيّ الرسوم التخطيطية الآتية: **A** أو **B** أو **C** أو **D** يُمثّل سبيكة بالشكل الأفضل؟



٢. الحديد هو المكوّن الرئيسي للفولاذ. سمّ عنصرَين آخرَين موجودَين في الفولاذ المقاوِم للصدأ.

٣. حدّد سببَين يبرّران لماذا يُعدّ الفولاذ المقاوم للصدأ فلزًا أفضل من الحديد النقي لاستخدامه في أدوات المائدة.

ب. سمّ السبيكة التي تتكوّن من مخلوط من النحاس والخارصين.

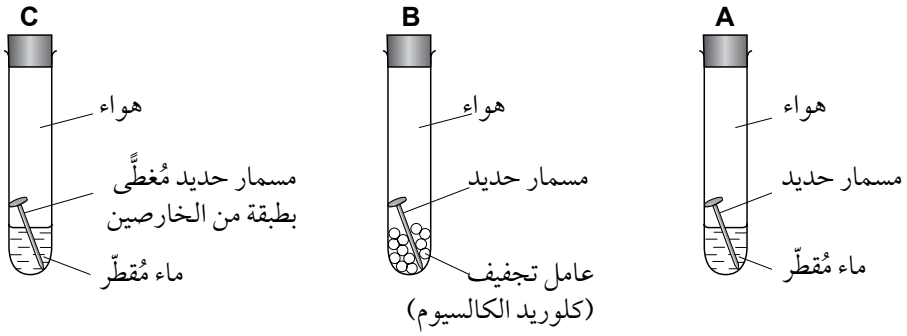
ج. الدورالومين سبيكة مكوّنة من الألومنيوم والنحاس. فإضافة النحاس إلى الألومنيوم تنتج مادة أكثر قوة.

١. ما الخاصّية الرئيسية التي يعطيها الألومنيوم للسبيكة؟

٢. اكتب استخدامًا واحدًا لسبيكة الدورالومين.

٣. وجود النحاس في سبيكة الدورالومين يجعلها أكثر قوة من الألومنيوم النقي. فسِّر ذلك.

٥ يوضّح الرسم التخطيطي الآتي تجربة لاستقصاء صدأ بعض مسامير الحديد.



أ. لكل أنبوبة اختبار، **A** و **B** و **C**، توقّع أي المسامير سوف تصدأ.

ب. يمكن حماية السفن المصنوعة من الحديد من عملية الصدأ عن طريق الحماية المهبطية بالتضحية. صف كيف تُستخدم هذه الطريقة.

ج. لا يحتاج الألومنيوم إلى الحماية من التآكُل.

١. فسّر ذلك.

٢. اذكر استخدامًا واحدًا للألومنيوم يرتبط بخاصّية عدم التآكل.



الوحدة الثالثة

الكيمياء الكمّية

Quantitative Chemistry

تُغطّي هذه الوحدة:

- الكتلة النسبية للعناصر والمركّبات.
- تفاعُل المواد بنسب كتلية ثابتة.
- المول كوحدة أساسية في الحسابات الكيميائية.
- حسابات المول.
- حسابات الكتل المُتفاعِلة.
- حسابات حجوم الغازات.
- تراكيز المحاليل.
- مُعايرة المحاليل الحمضية والقلوية.

٣-١ الكتل النسبية

عند إجراء تفاعُل كيميائي لا بدَّ من معرفة نواتجه وكمّياتها. وهذا سوف يحدد طرق التعامل معها وإجراءات الأمن والسلامة التي ينبغي اتّباعها وتحديد الكمّيات المراد الحصول عليها.

لذا كثيرًا ما تلاحظ، كتابة بيانات ونسب مكونات منتج ما عليه، فعلى سبيل المثال غالبًا ما تحمل أكياس السماد ثلاثة أرقام (الصورة ٣-١)؛ تُعرّف المُزارعَ على كمّيات العناصر الثلاثة الأساسية الموجودة في هذا السماد، وهي النسب المئوية لكل من: النيتروجين (N)، والفوسفور (P)، والبوتاسيوم (K).

وتنطبق الفكرة نفسها على القواعد التي تتحكّم بالصناعات الغذائية. فعلى سبيل المثال، يُكتب على مُلصقات جميع عبوات حبوب المُنتجات الزراعية كمّيات المواد الكيميائية المتنوّعة التي تتضمّنها (مثل البروتينات والدهون والفيتامينات).

وتُطبّق القواعد نفسها على الكثير من مجالات الكيمياء، حيث يحتاج علماء الكيمياء البيئيون مثلًا، إلى التحقُّق من مستويات المُلوّثات الموجودة في الهواء، والناجمة عن حرق نوع مُحدَّد من الوقود.



الصورة ٣-١ يحتوي السماد NPK على مُغذّيات النباتات: النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم. والأرقام 5-10-5 المطبوعة على الكيس تشير إلى النسب المئوية لتلك المُغذّيات في السماد: 5% نيتروجين، و10% فوسفور، و5% بوتاسيوم

كما يحتاج علماء كيمياء البوليمرات إلى تقدير كمّية النواتج في تفاعُل كيميائي يحدث بطريقة جديدة ومختلفة. ويحتاجون أيضًا إلى التحقُّق من الخسائر الممكنة خلال عملية التنقية. ويجب على الباحثين الطبّيين إيجاد جرعة آمنة لدواء تجريبي، والأخذ في الحسبان الآثار الجانبية المحتملة لهذا الدواء، عن طريق قياس كمّيات نواتج عمليات الأيض التي يتعرّض لها في الخلايا. فالصيغة الكيميائية أو المعادلة الكيميائية لا تشير إلى ما يحدث فحسب، بل تُحدِّد لنا كمّيات المواد فيها أيضًا. ويُعدّ هذا الأمر حيويًّا في الكيمياء الحديثة.

لذلك، نحتاج إلى توقُّع كمّيات المواد الداخلة في التفاعُلات الكيميائية. وللقيام بذلك، يجب أن يتشكّل لدينا فهم جيد لمفهوم الذرّة.

الكتلة الذرّية النسبية

تبلغ كتلة الذرّة الواحدة من الصغر، ما يجعل تحديد كتلتها صعبًا بالأجهزة التقليدية.

فعلى سبيل المثال، تساوي كتلة ذرّة هيدروجين واحدة:

1.67×10^{-24} g أو 0.000 000 000 000 000 000 000 001 67 g

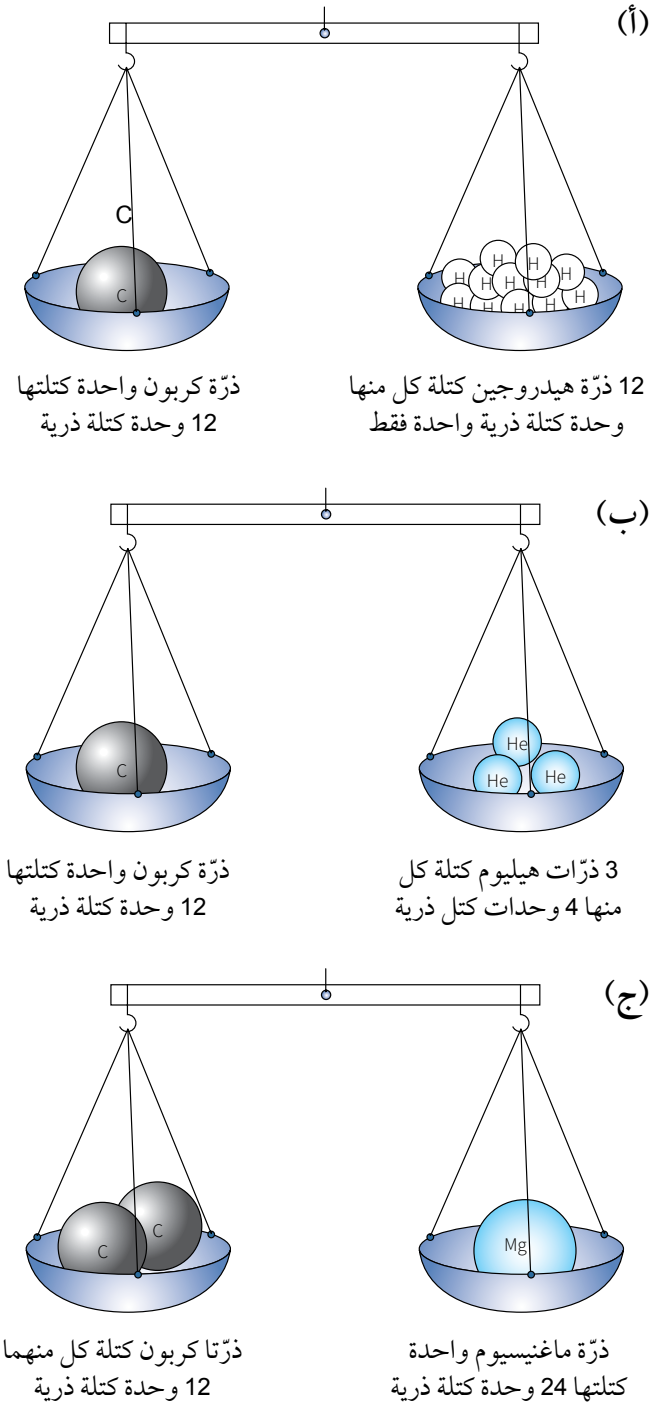
وبما أنّ استخدام مثل تلك الأرقام ليس عمليًّا، فقد طوّر الكيميائيون طريقة أبسط للقياس. فبدلًا من وزن الذرّات فيزيائيًّا، تُقاس كتل الذرّات بمقارنة بعضها مع بعض.

وقد اختار الكيميائيون ذرّة نظير الكربون-12 كذرّة قياسية، وأعطوها كتلة تساوي 12 وحدة كتلة ذرّية (و.ك.ذ). واعتمدوا هذا الاختيار لأنّ ذرّة الكربون-12 تمتلك 6 بروتونات و 6 نيوترونات، مما يعطيها عددًا كتليًّا يساوي 12. (ونظرًا لأن الإلكترونات ذات كتلة بالغة الصغر مقارنة بكتلة البروتونات والنيوترونات، فقد تم تجاهلها). ومع تحديد كتلة ذرّة الكربون-12 بـ 12 وحدة كتلة ذرية، بات ممكنًا مقارنة جميع الذرّات الأخرى بها.

فإذا تمّت مثلًا مقارنة كتلة ذرّة الهيدروجين نسبةً إلى كتلة ذرة الكربون-12، نجد أن كتلة ذرّة الكربون-12 أثقل باثنَي عشر ضعفًا من كتلة ذرّة الهيدروجين. فإذا كانت كتلة ذرّة الكربون-12 تساوي 12 وحدة كتلة ذرّية، فإن كتلة ذرّة الهيدروجين تساوي وحدة ذرّية واحدة فقط. ويمكن إثبات ذلك أيضًا بمقارنة الكتلة الفعلية لذرّة كربون-12 التي تبلغ 1.99×10^{-23} g مع الكتلة الفعلية لذرّة الهيدروجين التي تبلغ 1.67×10^{-24} g، حيث 1.99×10^{-23} g ÷ 1.67×10^{-24} g = 11.9 ممّا يدلّ على أن ذرّة الكربون-12 أثقل بحوالي 12 ضعفًا من ذرّة الهيدروجين. يعرض الشكل (٣-١) عدد ذرّات بعض العناصر الأخرى التي تمتلك كتلة مُكافئة لذرّة الكربون-12.

الذرّة	الكتلة (g)	النسبة في هيئة عدد صحيح
الهيدروجين	1.67×10^{-24}	1
الكربون-12	1.99×10^{-23}	12
الفلور	3.16×10^{-23}	19
الأكسجين	2.66×10^{-23}	16

الجدول ٣-١ الكتل الذرّية النسبية لبعض الذرّات



الشكل ٣-١ الكتلة الذرّية النسبية للذرّات

رغم هذه المقارنة بين كتل العناصر، يجب تذكُّر أن العناصر تمتلك نظائر أيضًا. **فالنظائر Isotopes** هي ذرّات للعنصر نفسه تمتلك كتلاً مختلفة، لأنّ لها أعدادًا مختلفة من النيوترونات في نواياتها. وبالتالي، سيؤثّر وجود النظائر المختلفة على متوسّط الكتلة النسبية لذرّة عنصر.

فعلى سبيل المثال، يمتلك الكلور نظيرَين، هما: الكلور-35 والكلور-37. تحتوي عيّنة نموذجية من غاز الكلور على 75% من الكلور-35 و 25% من الكلور-37. ونظرًا لوجود الكلور-35 بكمّية أكبر، فإن متوسّط الكتلة النسبية لذرّة الكلور بالمقارنة مع ذرّة الكربون-12، يساوي 35.5 وحدة كتلة ذرية.

الكتلة الذرّية النسبية Relative atomic mass (A_r) لعنصر ما، هي متوسّط كتلة ذرّات نظائر العنصر الطبيعية المختلفة، مقارنة مع الكربون-12 (الجدول ٣-٢). ونظرًا لأن غالبية العناصر تمتلك نظائر، فإن معظم الكتل الذرّية النسبية لا تكون أرقامًا صحيحة. وباستثناء الكلور والنحاس، فقد تم تقريب قيَم الكتل الذرّية النسبية للعناصر إلى أقرب عدد صحيح، لجعل حساباتنا أكثر سهولة. ويمكن إيجاد الكتلة الذرّية النسبية لأي عنصر، في الجدول الدوري، إلى جانب رمز العنصر.

مصطلحات علمية

- **الكتلة الذرّية النسبية Relative atomic mass (A_r):** هي متوسّط كتل ذرّات العنصر التي توجد في الطبيعة وفقًا لمقياس تكون فيه كتلة ذرّة الكربون-12 مساوية تمامًا لـ 12 وحدةً كتلة ذرّية (و.ك.ذ).
- **النظائر Isotopes:** ذرّات للعنصر نفسه، تمتلك نفس عدد البروتونات، لكنّها تختلف في عدد النيوترونات.

العنصر	الرمز	الكتلة الذرّية النسبية، A_r
الهيدروجين	H	1
الكربون	C	12
النيتروجين	N	14
الأكسجين	O	16
الفلور	F	19
الصوديوم	Na	23
الماغنيسيوم	Mg	24
الألومنيوم	Al	27
الكبريت	S	32
الكلور	Cl	35.5
الحديد	Fe	56
النحاس	Cu	63.5

الجدول ٣-٢ الكتل الذرّية النسبية لبعض العناصر

كتلة الصيغة النسبية والكتلة الجُزيئية النسبية

تندمج الذرّات معًا لتكوين جُزيئات أو مجموعات أيونية. وتُزوّدنا الكتلة الكلّية لهذه الجُزيئات أو المجموعات الأيونية بمعلومات مفيدة عن الطريقة التي اندمجت بها العناصر معًا. وتؤخذ **صيغة Formula** العنصر أو المُركَّب كوحدة أساسية (وحدة الصيغة). وتُجمع كتل الذرّات أو الأيونات الموجودة في الصيغة معًا. ويُطلق على كتلة المادة الموجودة في هذه الحالة تسمية **كتلة الصيغة النسبية** (M_r) **Relative formula mass**. أما العناصر أو المُركّبات التساهُميّة التي تتكوّن المادة فيها من جُزيئات، فيطلق على كتلتها تسمية **الكتلة الجُزيئية النسبية** (M_r) **Relative molecular mass**. وهنا سوف نوضِّح هذا المفهوم عن طريق حساب كتل الصيغة النسبية (أو الكتل الجُزيئية النسبية) لثلاث مواد بسيطة.

- **الهيدروجين:** غاز يتكوَّن من جُزيئات H_2. يحتوي كل جُزيء على ذرَّتَي هيدروجين (H-H). لذا، فإن كتلته الجُزيئية النسبية تساوي ضعف كتلته الذرّية النسبية:

$$M_r(H_2) = 2 \times 1 = 2$$

- **الماء:** مادة سائلة تتكوّن من جُزيئات H_2O. يحتوي كل جُزيء على ذرّتَي هيدروجين وذرّة أكسجين واحدة (H-O-H). لذا، تكون كتلته الجُزيئية النسبية حاصل جمع ضعف الكتلة الذرّية النسبية للهيدروجين والكتلة الذرّية النسبية للأكسجين:

$$M_r(H_2O) = (2 \times 1) + 16 = 18$$

- **كلوريد الصوديوم:** مُركّب أيوني صلب، وهو يحتوي على أيون كلوريد واحد مقابل كل أيون صوديوم. فتكون وحدة الصيغة لكلوريد الصوديوم هي Na^+Cl^-. وتكون كتلة صيغته النسبية حاصل جمع الكتلة الذرّية النسبية للصوديوم والكتلة الذرّية النسبية للكلور:

$$M_r(NaCl) = 23 + 35.5 = 58.5$$

مصطلحات علمية

- **كتلة الصيغة النسبية** (M_r) **Relative formula mass**: هي حاصل جمع الكتل الذرّية النسبية للعناصر الموجودة في الصيغة الكيميائية للمادة.
- **الكتلة الجُزيئية النسبية Relative molecular mass** (M_r): هي حاصل جمع الكتل الذرّية النسبية للعناصر الموجودة في جُزيء المادة، أو في وحدة الصيغة لمادة ما.

يبيّن الجدول (٣-٣) أمثلة إضافية على كيفية حساب كتل الصيغة النسبية (أو الكتل الجُزيئية النسبية) للمُركّبات.

المادة	الصيغة	الذرّات الموجودة في الصيغة	الكتل الذرّية النسبية	كتلة الصيغة النسبية، M_r
ثاني أكسيد الكربون	CO_2	1C	C = 12	12 × 1 = 12
		2O	O = 16	16 × 2 = 32
				المجموع = **44**
كربونات الكالسيوم	$CaCO_3$ (أيون واحد Ca^{2+}، وأيون واحد CO_3^{2-})	1Ca	Ca = 40	40 × 1 = 40
		1C	C = 12	12 × 1 = 12
		3O	O = 16	16 × 3 = 48
				المجموع = **100**
كبريتات الأمونيوم	$(NH_4)_2SO_4$ (أيونان NH_4^+، وأيون واحد SO_4^{2-})	2N	N = 14	14 × 2 = 28
		8H	H = 1	8 × 1 = 8
		1S	S = 32	32 × 1 = 32
		4O	O = 16	16 × 4 = 64
				المجموع = **132**
كبريتات الماغنيسيوم المميهة	$MgSO_4.7H_2O$ (أيون واحد Mg^{2+}، وأيون واحد SO_4^{2-}، وسبعة جُزيئات H_2O)	1Mg	Mg = 24	24 × 1 = 24
		1S	S = 32	32 × 1 = 32
		4O	O = 16	16 × 4 = 64
		14H	H = 1	1 × 14 = 14
		7O	O = 16	16 × 7 = 112
				المجموع = **246**

الجدول ٣-٣ كتل الصيغة النسبية لبعض المُركّبات

تذكّر

من خلال دراستك للمثالين الواردين في الجدول (٣-٢): كبريتات الأمونيوم وكبريتات الماغنيسيوم المميهة، يعد كبريتات الأمونيوم مثالًا على صيغة تحتوي على قوسَين. والعدد 2 الذي يقع خارج القوسَين يضاعِف مرّتَين كل ما يقع بينهما؛ حيث يقع أيونان من الأمونيوم (NH_4^+) في هذه الصيغة، وبالتالي يوجد N × 2 و 4H × 2، من الذرّات.

وتذكّر أيضًا أنّ كبريتات الماغنيسيوم المميهة مثال على صيغة تحتوي على مُركّبَين مندمجَين معًا، وتظهر الصيغتان مفصولتَين بنقطة. فالعدد 7 قبل H_2O يعني أنّ هناك سبعة جُزيئات H_2O لكل صيغة واحدة من المُركّب $MgSO_4$، وبالتالي يوجد 2H × 7 و O × 7، من الذرّات.

- تكون هذه العناصر موجودة دائمًا بالنسب الكتلية نفسها (من حيث الكتلة).
- لا يمكن لهذه النسب أن تتغيّر وبالتالي يُمثَّل المُركَّب دائمًا بالصيغة نفسها.

نشاط ٣-١

إيجاد التركيب الكتلي للعناصر المُكوِّنة لأكسيد الماغنيسيوم

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.

صُمِّمت هذه التجربة لإيجاد النسب المئوية بالكتلة للعناصر المُكوّنة لأكسيد الماغنيسيوم، المُتكوّن عند تسخين الماغنيسيوم في بوتقة خزفية. وباستخدام مجموعة من النتائج، يمكن إنشاء تمثيل بياني لكتلة الأكسجين المُستهلَك مقابل كتلة الماغنيسيوم المُستخدم.

تذكّر

كيف تستنتج صيغة مُركّب بسيط من نموذج أو مُخطّط.

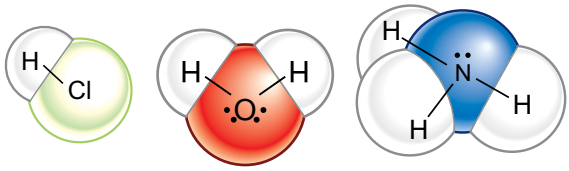
تتوفّر طرق مختلفة لتمثيل المُركّبات التي يمكننا من خلالها تحديد الصيغة:

١. من النماذج الجُزيئية

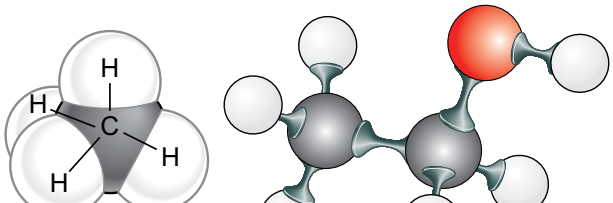
يمكن أحيانًا تمثيل الجُزيئات التساهُمية البسيطة في هيئة نماذج مُكوّنة من عصي وكرات.

فتُمثل كل كرة مُلوّنة عنصرًا لافلزيًّا مُحدّدًا. ففي هذه المخطّطات، الكرة السوداء = ذرّة كربون، والزرقاء = ذرّة نيتروجين، والخضراء = ذرّة كلور، والحمراء = ذرّة أكسجين، والبيضاء = ذرّة هيدروجين.

ومن خلال عدّ كل الكرات المُلوّنة، يمكننا كتابة الصيغة الجُزيئية للمُركّب.



HCl H_2O NH_3



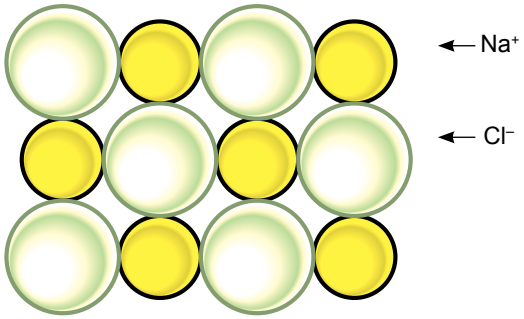
CH_4 C_2H_6O

٢. من تمثيل الصيغة البنائية

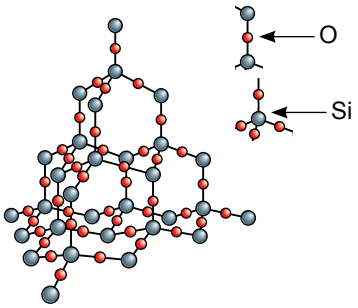
قد تكون عملية تحديد الصيغة البنائية الأيونية أو الجُزيئية الضخمة عملية صعبة، انطلاقًا من نموذج أو مُخطّط، لأن هذه المُركّبات غالبًا ما ستكون مُمثّلة بذرّات أو أيونات كثيرة.

وبخصوص الصيَغ البنائية الضخمة، نحصي بكل بساطة عدد الذرّات أو الأيونات المُرتبطة بكل عنصر، ونضعها في هيئة نسبة، ونستنتج الصيغة البسيطة للمُركّب.

كلوريد الصوديوم: يمكننا في المُخطّط أدناه، رؤية أربعة أيونات صوديوم حول أيون الكلوريد، وأربعة أيونات كلوريد حول أيون الصوديوم. وهو ما يمكن تبسيطه إلى النسبة 1 : 1 وبالتالي تكون صيغة كلوريد الصوديوم NaCl.



ثنائي أكسيد السيليكون: يمكننا أن نرى في المُخطّط أدناه ذرّتَين من السيليكون مرتبطتَين بذرّة أكسجين، وأربع ذرّات أكسجين مرتبطة بذرّة سيليكون (أي أن النسبة بين Si : O تساوي 4 : 2). وهو ما يمكن تبسيطه إلى النسبة 2 : 1، والتي تعطي الصيغة SiO_2.



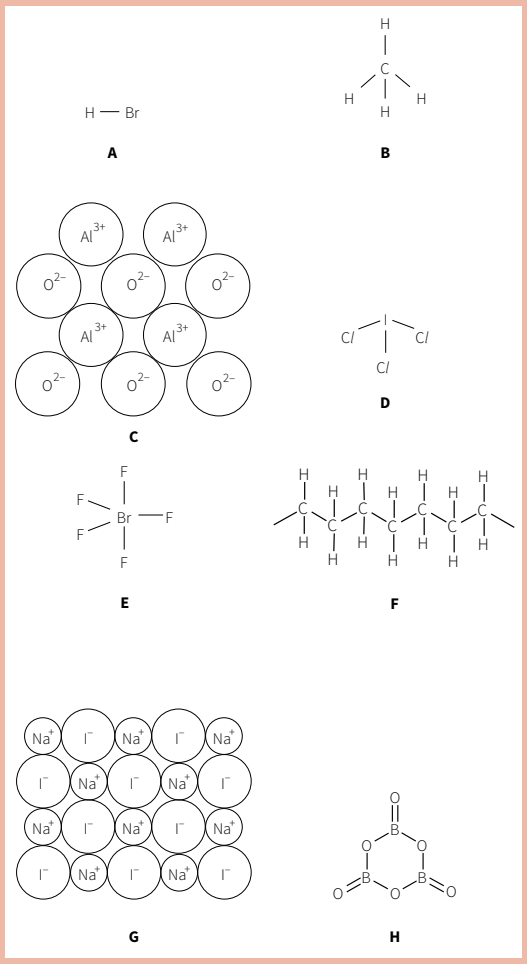
أسئلة

٣-١ تُمثِّل المُخطّطات أدناه من **A** إلى **H** الصيَغ البنائية لثمانية مُركّبات مختلفة.

أ. ما نوع الصيغة البنائية الموجودة في المُركّبَين **C** و **G**؟

ب. ما الاسم المُعطى **لنوع** الجُسيمات المُبيّنة في المُركّبات **A** و **B** و **D** و **E** و **F** و **H**؟

ج. اكتب الصيغة الأبسط لكل مُركّب من **A** إلى **H**؟



٣-٢ يبلغ متوسِّط كتلة ذرّة الهيدروجين 1.67×10^{-24} g. كم مرّة تكون الذرّات الآتية أثقل قياسًا على ذرّة الهيدروجين؟

قرّب إجابتك إلى أقرب عدد صحيح.

أ. ذرّة الهيليوم (6.68×10^{-24} g)

ب. ذرّة الكربون (1.99×10^{-23} g)

ج. ذرّة الأكسجين (2.66×10^{-23} g)

د. ذرّة اليورانيوم (3.97×10^{-22} g)

٣-٣ احسب كتل الصيغة النسبية (M_r) للمواد الآتية (الكتل الذرّية النسبية: H = 1، C = 12، N = 14، O = 16، Al = 27، S = 32، Cl = 35.5، K = 39، Cu = 63.5، Br = 80):

أ. الأكسجين O_2

ب. الأمونيا NH_3

ج. ثنائي أكسيد الكبريت SO_2

د. الأوكتان C_8H_{18}

هـ. حمض الكبريتيك H_2SO_4

و. بروميد البوتاسيوم KBr

ز. نترات النحاس (II) $Cu(NO_3)_2$

ح. كلوريد الألومنيوم $AlCl_3$

٣-٤ أجرى طلاب أحد الصفوف تجربة حرق ماغنيسيوم في بوتقة خزفية. يوضّح الجدول أدناه نتائج التجربة من مجموعات مختلفة في الصف.

التجربة	الكتلة (g)		
	الماغنيسيوم	الأكسجين	أكسيد الماغنيسيوم
1	0.06	0.04	0.10
2	0.15	0.10	0.25
3	0.22	0.16	0.38
4	0.24	0.16	0.40
5	0.30		0.50
6	0.28		0.46
7	0.10		0.18
8	0.20		0.32

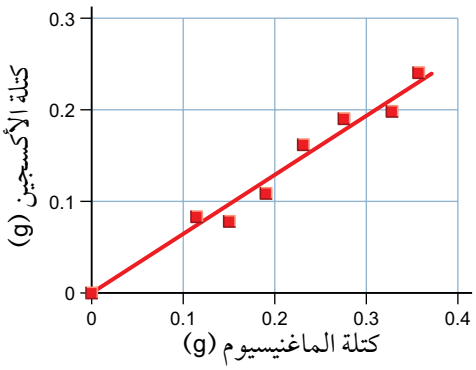
أ. احسب كتلة الأكسجين التي تتفاعل مع الماغنيسيوم في التجارب الأربع الأخيرة.

ب. ارسم تمثيلًا بيانيًا لكتلة الأكسجين التي تفاعلت مقابل كتلة الماغنيسيوم التي استُخدمت. ثم ارسم الخط الأنسب لهذه النقاط.

ج. اكتب تعليقًا على ما يُظهره خط التمثيل البياني حول تكوين أكسيد الماغنيسيوم.

٣-٢ المول

يحتوي كل مُركّب كيميائي على العناصر نفسها دائمًا. وتكون هذه العناصر موجودة دائمًا بنسب كتلية (بالكتلة) ثابتة. فعلى سبيل المثال، تُظهر الصيغة MgO أن هذا المُركّب يتكوّن من ذرّة ماغنيسيوم Mg واحدة وذرّة أكسجين O واحدة. ولمّا كان Mg يمتلك كتلة ذرّية نسبية تساوي 24 وO يمتلك كتلة ذرّية نسبية تساوي 16، فإن النسبة الكتلية (بالكتلة) (بالجرامات g) لذرّات Mg و O اللازمة لتتفاعل هي 24 : 16 أو 3 : 2. ويمكن رؤية ذلك في الشكل (٣-٢)، الذي يبيِّن النتائج العملية المُمثَّلة بتمثيل بياني لكتل الماغنيسيوم والأكسجين الموجودة في كمّيات مختلفة من مُركّبهما، وهو أكسيد الماغنيسيوم. فالتمثيل البياني يُمثّل خطًّا مستقيمًا يتناسب طرديًّا ويمر عبر النقطة (0،0)، لأن كتل العنصرَين تتفاعل دائمًا بنسبة مقدارها 3 : 2 بالضبط.



الشكل ٣-٢ تمثيل بياني يمثِّل النتائج التي تم الحصول عليها من تسخين الماغنيسيوم في الهواء

كيف نوضّح أن نسبة كتل العناصر في المُركّب MgO تساوي 3 : 2، في حين تبيّن صيغته الكيميائية أنّ نسبة الذرّات فيه تساوي 1 : 1؟ وكيف يمكننا تكوين رابط بين نِسَب الكتل والصيغة الكيميائية لمُركّب ما؟ للقيام بذلك، نحتاج إلى استخدام فكرة **المول Mole**.

المول - وحدة الحساب الكيميائية

عند تنفيذ تجربة ما، لا يمكن للكيميائي أن يزن ذرّة مُفرَدة أو جُزيئًا مُفردًا، ثم يجعله يتفاعل مع ذرّة أخرى أو جُزيء آخر. فالذرّات والجُزيئات، بكل بساطة، جُسيمات مُتناهية في الصغر. لذا يجب البحث عن "وحدة حساب" تكون مفيدة في الكيمياء العملية. وهذه الفكرة مألوفة عند التعامُل مع أعداد كبيرة من أشياء صغيرة. فعلى سبيل المثال، يزن العاملون في المصارف العملات المعدنية عوضًا عن عدّها؛ فهم يعلمون أن عددًا ثابتًا من عملة معدنية معيّنة ستكون له الكتلة نفسها. يمكن أيضًا تقدير عدد قطع الحلوى الموضوعة في وعاء من خلال كتلتها الكلّية. وبافتراض أنك تعرف كتلة قطعة حلوى واحدة، يمكنك حساب عدد قطع الحلوى الموجودة في الوعاء من كتلتها الكلّية. ولكن كيف نقدِّر عدد ذرّات الحديد في كتلة من الحديد؟ يمكننا ذلك من محاولة ربط الكتلة بعدد الجُسيمات الموجودة.

يحصي الكيميائيون الذرّات والجُزيئات بوزنها. و«الوحدة» المعيارية لـ «كمّية» مادة ما، تؤخذ في هيئة كتلة الصيغة النسبية للمادة بالجرامات g (أو الكتلة الذرّية النسبية بالجرامات g عند الإشارة إلى ذرّة عنصر). وتُسمّى هذه «الوحدة» **مولاً واحدًا** (1 mol) **Mole** من المادة (mol: هو الرمز أو الشكل المختصر لـ mole أو moles). وتُستخدم وحدة «المول» لقياس كمّيات العناصر والمُركّبات.

وتصبح الفكرة أكثر وضوحًا عندما ندرس بعض الأمثلة (الجدول ٣-٤). فالمول الواحد من كل مادة مبيّنة في الجدول يحتوي على العدد نفسه من الذرّات أو الجُزيئات أو وحدات الصيغة. وقد تمّ الحصول على هذا العدد المُميّز باستخدام طرق تجريبية مختلفة ومُتعدّدة. وتمّت تسميته نسبة إلى الكيميائي الإيطالي أميديو أفوجادرو من القرن التاسع عشر، وهو يساوي 6.02×10^{23} للمول الواحد (ويُسمّى **ثابت أفوجادرو Avogadro constant**، وقد أُعطي الرمز L أو N_A؛ وتُبيّن القيمة الهائلة لهذا الثابت كم أن الذرّات مُتناهية في الصغر! فعلى سبيل المثال، تمّ تقدير أن 6.02×10^{23} من علب المشروبات الغازية المُكدّسة معًا سوف تغطّي سطح الكرة الأرضية بكامله بارتفاع يصل إلى 200 ميل.

مصطلحات علمية

- **المول Mole**: كمّية من مادة تحتوي على 6.02×10^{23} ذرّة أو جُزيء أو وحدة صيغة (وفقًا لطبيعتها).
- **ثابت أفوجادرو Avogadro constant**: عدد الجُسيمات في مول واحد ويُساوي 6.02×10^{23} (1 mol).

المادة	الصيغة	الكتلة الذرّية / كتلة الصيغة النسبية، M_r	كتلة مول واحد (الكتلة المولية)	تحتوي هذه الكتلة (مول واحد) على
الكربون	C	12	12 g	6.02×10^{23} ذرّة كربون
الحديد	Fe	56	56 g	6.02×10^{23} ذرّة حديد
الهيدروجين	H_2	$2 \times 1 = 2$	2 g	6.02×10^{23} جُزيء H_2
الأكسجين	O_2	$2 \times 16 = 32$	32 g	6.02×10^{23} جُزيء O_2
الماء	H_2O	$(2 \times 1) + 16 = 18$	18 g	6.02×10^{23} جُزيء H_2O
أكسيد الماغنيسيوم	MgO	$24 + 16 = 40$	40 g	6.02×10^{23} جُزيء MgO
كربونات الكالسيوم	$CaCO_3$	$40 + 12 + (3 \times 16) = 100$	100 g	6.02×10^{23} جُزيء $CaCO_3$
ثنائي أكسيد السيليكون	SiO_2	$28 + (2 \times 16) = 60$	60 g	6.02×10^{23} جُزيء SiO_2

الجدول ٣-٤ حساب كتلة مول واحد من مواد مختلفة

يعطي تعريف ثابت أفوجادرو للكيميائيين العدد الدقيق للجُسيمات في مول واحد.

المول الواحد من مادة ما:

- يمتلك كتلة تساوي كتلة صيغته النسبية (أو كتلته الذرّية النسبية) بوحدة الجرامات.
- يحتوي على 6.02×10^{23} (**ثابت أفوجادرو Avogadro constant**) ذرّة أو جُزيء أو وحدة صيغة، وفقًا لنوع المادة المدروسة.
- يساوي ثابت أفوجادرو عدد الذرّات في 12 جرامًا من الكربون-12.

حسابات المول

يمكنك إيجاد **الكتلة المولية Molar mass** (كتلة مول واحد بوحدة قياس g/mol) لأي مادة باتِّباع الخطوات الآتية:

١. اكتب صيغة المادة (الإيثانول C_2H_5OH مثلًا).

٢. احسب كتلة صيغته النسبية. ففي المثال أعلاه يحتوي الإيثانول على ذرّتَي كربون ($A_r = 12$)، وستّ ذرّات هيدروجين ($A_r = 1$)، وذرّة أكسجين واحدة ($A_r = 16$). وبخصوص الإيثانول إذن:

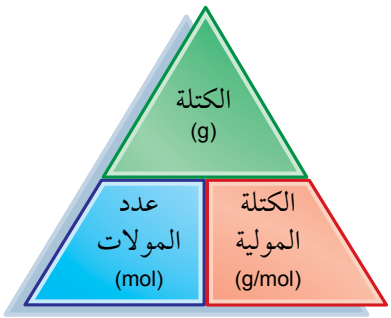
$$M_r = (2 \times 12) + (6 \times 1) + 16 = 46$$

٣. عبِّر عن هذه القيمة بالجرامات لكل مول؛ فالكتلة المولية للإيثانول تساوي 46 g/mol.

ولأيّ كتلة معطاة لمادة ما، فإنّ:

$$\text{عدد المولات (mol)} = \frac{\text{الكتلة (g)}}{\text{الكتلةالمولية (g/mol)}}$$

حيث تقاس الكتلة بالجرامات، والكتلة المولية بالجرام لكل مول. ويمكن للمثلّث الموضّح أدناه أن يكون وسيلة تذكُّر مفيدة: غطِّ بيدك الكمّية المراد إيجادها، ويبقى عليك تحديد كيفية حسابها.



يُبيّن ذلك الأمر الآتي: عندما نحتاج إلى حساب كتلة مول واحد من مادة ما، فالطريقة المباشرة هي ببساطة حساب كتلة الصيغة النسبية للمادة، وكتابة كلمة «جرام» بعدها. وباستخدام المعادلة أعلاه، سيكون ممكنًا تحويل أي كتلة لمادة معيّنة إلى مولات، والعكس صحيح. وفيما يلي سننظر في مثالَين.

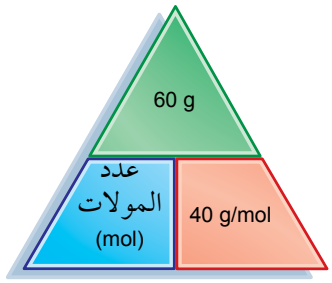
مثال ٣-١

١. **كم عدد المولات في 60 g من هيدروكسيد الصوديوم؟**

كتلة الصيغة النسبية لهيدروكسيد الصوديوم تساوي:

$$M_r(NaOH) = 23 + 16 + 1 = 40$$

وبالتالي، فإنّ الكتلة المولية لـ NaOH تساوي 40 g/mol



$$\text{عدد المولات (mol)} = \frac{\text{الكتلة (g)}}{\text{الكتلة المولية (g/mol)}}$$

$$= \frac{60\ g}{40\ g/mol}$$

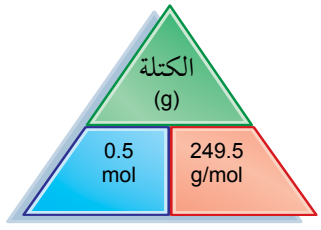
عدد المولات = 1.5 mol

٢. **ما كتلة 0.5 mol من كبريتات النحاس (II) المائية؟**

كتلة الصيغة النسبية لكبريتات النحاس (II) المائية تساوي:

$$M_r(CuSO_4.5H_2O) = 63.5 + 32 + (4 \times 16) + (5 \times 18)$$
$$= 249.5$$

وبالتالي، فإنّ الكتلة المولية لـ $CuSO_4.5H_2O$ = 249.5 g/mol



$$\text{عدد المولات (mol)} = \frac{\text{الكتلة (g)}}{\text{الكتلة المولية (g/mol)}}$$

$$\frac{\text{الكتلة (g)}}{249.5\ g/mol} = 0.5\ mol$$

الكتلة = 249.5 g/mol x 0.5 mol

= 124.75 g

أسئلة

مستخدمًا الكتل الذرّية النسبية الآتية: Na = 23، Cu = 63.5، O = 16، C = 12، H = 1، S = 32، N = 14، Al = 27، Cl = 35.5، P = 31، أجب عن السؤالين ٣-٥ و ٣-٦

٣-٥ احسب الكتلة بالجرامات لكل من:

أ. 2 mol من Na

ب. 0.5 mol من $CuCO_3$

ج. 4 mol من $Al(NO_3)_3$

د. 0.02 mol من $CuSO_4.5H_2O$

٣-٦ احسب عدد المولات في كل من:

أ. 7.75 g من P

ب. 292 g من HCl

ج. 2.94 g من H_2SO_4

د. 0.126 g من $C_6H_{12}O_6$

٣-٧ يحتوي المول الواحد من أي مادة على 6.02×10^{23} من الجُسيمات.

احسب عدد الجُسيمات في كل من إجاباتك عن السؤال ٣-٦.

٣-٣ حسابات تتضمّن كُتلًا مُتفاعِلة

استنباط الصيَغ الكيميائية

تعني فكرة المول أن بإمكاننا الآن استنباط الصيَغ الكيميائية من البيانات التجريبية لاندماج كتل عناصر مختلفة. ذلك أنّها تُزوّدنا بالرابط بين كتلة عنصر موجود في المُركّب وعدد ذرّات هذا العنصر.

ففي تجربة تكوين أكسيد الماغنيسيوم (انظر النشاط ٣-١، والشكل ٣-٢)، تمّ إيجاد نسبة ثابتة بين الكمّيات المُتفاعلة من الماغنيسيوم والأكسجين. فإذا احترق 0.24 g من الماغنيسيوم، فسوف يتكوّن 0.40 g من أكسيد الماغنيسيوم. هذا يعني أن 0.24 g من الماغنيسيوم تندمج مع 0.16 g من الأكسجين (0.40 – 0.24 = 0.16). ويمكننا استخدام هذه النتائج الآن لإثبات صيغة أكسيد الماغنيسيوم (الشكل ٣-٣ أ).

تُشير صيغة أكسيد الماغنيسيوم إلى أنّ مولًا واحدًا من ذرّات الماغنيسيوم يندمج مع مول واحد من ذرّات الأكسجين، وأن الذرّات تتفاعل بنسبة 1 : 1 لتكوين **تركيب أيوني ضخم Giant ionic structure** (شبكة) من أيونات Mg^{2+} وأيونات O^{2-}. وبخصوص التراكيب الضخمة، فإن صيغة المُركّب هي الصيغة ذات الأعداد الصحيحة الأبسط، وهي MgO في هذا المثال.

أما ثنائي أكسيد السيليكون فهو **تركيب جُزيئي ضخم Giant molecular structure**. وقد وجدنا أن عيّنة كتلتها 10.0 g من ثنائي أكسيد السيليكون تحتوي على 4.7 g من السيليكون. كيف نستخدم هذه المعلومات لإيجاد صيغة ثنائي أكسيد السيليكون؟ لقد تمّ توضيح ذلك في الشكل (٣-٣ ب).



(أ)

	Mg	O
الكتلة المُندمِجة	0.24 g	0.16 g
الكتلة المولية	24 g/mol	16 g/mol
عدد المولات	0.01 mol	0.01 mol
أبسط نسبة	1	1
الصيغة	MgO	

(ب)

	Si	O
الكتلة المندمجة	4.7 g	10.0 – 4.7 = 5.3 g
الكتلة المولية	28 g/mol	16 g/mol
عدد المولات	0.168 mol	0.331 mol
أبسط نسبة	1	2
الصيغة	SiO_2	

الشكل ٣-٣ (أ) استنتاج صيغة أكسيد الماغنيسيوم من البيانات التجريبية لكتل الماغنيسيوم والأكسجين التي تتفاعل معًا (ب) استنتاج صيغة ثنائي أكسيد السيليكون من بيانات الكتلة

يتمثّل ثنائي أكسيد السيليكون في الصيغة SiO_2. وهو يتكوّن من شبكة جُزيئية ضخمة تترابط فيها ذرّات السيليكون والأكسجين تساهُميًّا بنسبة 1 : 2. وبما أنه تركيب ضخم، فإن الصيغة التي نستخدمها لهذا المُركّب هي SiO_2.

استنباط كتل المواد المشاركة في تفاعُل

إذا نظرنا إلى تفاعُل كيميائي، يمكننا أن نعرف بسهولة ما الذي تفاعل وما الذي نتج. وبالإضافة إلى أن التفاعُل يدلّنا على المواد المتفاعلة والمواد الناتجة، فإنّه يُشير إلى كمّية المادة الناتجة التي يمكننا توقُّعها من تفاعُل كمّيات معيّنة من المواد المُتفاعِلة. فعندما يتفاعل الحديد مع الكبريت مثلًا، تكون معادلة التفاعُل:

$$Fe + S \longrightarrow FeS$$

عندما نكتب معادلة كيميائية، فإننا نشير إلى **عدد مولات Number of moles** المُتفاعلات والنواتج الداخلة في التفاعُل.

تُشير هذه المعادلة إلى أننا نحتاج إلى أعداد متساوية من ذرّات الحديد و ذرّات الكبريت للتفاعُل. فنحن نعرف أن مولًا واحدًا من الحديد (56 g) ومولًا واحدًا من الكبريت (32 g) يحتويان على العدد نفسه من الذرّات. ولا بُدّ لتفاعُل هذه الكمّيات معًا أن يعطينا مولًا واحدًا من كبريتيد الحديد (II) (88 g). لذا، تُبيّن لنا هذه المعادلة ما يلي:

Fe	+	S	⟶	FeS
1 mol		1 mol		1 mol
56 g		32 g		88 g

ولا بدّ لكتلة المادة الناتجة أن تساوي دائمًا حاصل جمع كتل المواد المُتفاعِلة. فرُغم أنّ الذرّات قد أعادت ترتيب نفسها، إلا أن كتلتها الكلّية تبقى هي نفسها. ونحن، عمليًّا، قد لا نرغب في إجراء تفاعُل مع الكمّيات المبيّنة في المثال أعلاه. وبالتالي يمكننا تقليل كمّيات المواد المُتفاعِلة (وهذا يعني، استخدام كمّيات **أقلّ**). ومع ذلك، فإن كتلتَي الحديد والكبريت يجب أن تكونا دائمًا بحسب النسبة 32:56 المُحدّدة وفقًا لكتلهما المولية.

يمكننا استخدام:

$$Fe + S \longrightarrow FeS$$
$$5.6\ g \quad 3.2\ g \quad 8.8\ g$$

فإذا حاولنا إجراء تفاعُل بين 5 g من الكبريت و 5.6 g من الحديد، فسيبقى بعض من الكبريت لا يتفاعل. يمكن أن يتفاعل 3.2 g من الكبريت تحديدًا مع 5.6 g من الحديد، وسيبقى (5.0 – 3.2 = 1.8 g) 1.8 g من الكبريت دون تفاعُل. عند إجراء تفاعُل، قد تكون إحدى المواد المُتفاعِلة زائدة عن المطلوب. وبالتالي يبقى **فائض Excess** منها في نهاية التفاعُل. تكون **المادة المُتفاعِلة المحدِّدة للتفاعُل Limiting reactant** هي المادة المُتفاعِلة غير الفائضة، أي سيكون هنالك عدد أقلّ من مولات هذه المادة المُتفاعِلة في مخلوط التفاعُل، عند الأخذ بالحسبان نسبة المُتفاعِل من المعادلة.

مصطلحات علمية

- **الفائض Excess**: وجود كمّية من مادة متفاعلة أكثر مما هو مطلوب في التفاعُل ، وبالتالي يبقى بعضها دون تفاعُل.
- **المادة المُتفاعِلة المحدِّدة للتفاعُل Limiting reactant**: هي المادة المتفاعلة بكمّية أقلّ والتي تحدّد كمّية النواتج وتنتهي أوّلًا عند إجراء التفاعُل.

يمكننا أيضًا زيادة كمّيات المواد المُتفاعِلة المعطاة في معادلة كيميائية (وهذا يعني: استخدام كمّيات أكبر). ففي الصناعة، يمكن استخدام كيلوجرامات أو أطنان من المواد المُتفاعِلة الكيميائية (كل 1 kg يساوي 1000 g، وكل 1 طن يساوي 1000000 g)، ولكن النِّسَب المعطاة في المعادلة تبقى سارية. فعلى سبيل المثال، يُعدّ تصنيع الجير (أكسيد الكالسيوم) ضروريًّا على نطاق واسع لتنوُّع استخداماته، بما في ذلك صناعة الفولاذ. ويمكن إنتاجه عن طريق التفكيك الحراري للحجر الجيري (كربونات الكالسيوم):

كربونات الكالسيوم ⟶ ثاني أكسيد الكربون + أكسيد الكالسيوم

$CaCO_3$	⟶	CaO	+	CO_2
1 mol		1 mol		1 mol
40 + 12 + (3 × 16)		40 + 16		12 + (2 × 16)
= 100 g		= 56 g		= 44 g

ويمكن زيادة الكمّيات حيث نتعامل بالأطنان

44 طنًّا	56 طنًّا	100 طن

وبشكل مماثل، ينبغي توقع إنتاج 5.6 أطنان من أكسيد الكالسيوم عند تسخين 10 أطنان من كربونات الكالسيوم. ويمكننا أيضًا استخدام فكرة المول لإيجاد كتل المواد المُتفاعِلة أو النواتج انطلاقًا من معادلة التفاعُل.

وفيما يلي سننظر في مثالَين.

مثال ٣-٢

كم تبلغ كتلة أكسيد الألومنيوم الناتجة عندما يتفاعل 9.2 g من فلزّ الألومنيوم بشكل كامل مع غاز الأكسجين؟ (الكتلة الذرّية النسبية: Al = 27، O = 16)

للإجابة عن هذا السؤال، نكتب في البداية المعادلة الكيميائية الموزونة، ثم نتَّبع خطوات الحساب.

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

	Al	:	Al_2O_3
نسبة	4 mol	:	2 mol
الكتلة = ؟	9.2 g		

الحساب:

الخطوة ١: حوّل 9.2 g من Al إلى مولات:

$$\text{عدد المولات} = \frac{9.2\ g}{27\ g/mol}$$
$$= 0.34\ mol$$

الخطوة ٢: استخدم النسبة من المعادلة لحساب عدد مولات Al_2O_3 الناتجة:

كل 4 mol من Al تُنتج 2 mol من Al_2O_3

لذا:

فإن 0.34 mol من Al تُنتج 0.17 mol من Al_2O_3

الخطوة ٣: احسب كتلة هذه الكمّية من أكسيد الألومنيوم. كتلة الصيغة النسبية لـ Al_2O_3 تساوي:

$$(2 \times 27) + (16 \times 3) = 102\ g/mol$$

$$\frac{\text{الكتلة (g)}}{102\ g/mol} = 0.17\ mol$$

لذا:

فإن كتلة Al_2O_3 الناتجة =

$$0.17 \times 102 = 17.3\ g$$

مثال ٣-٣

يمكن اختزال أكسيد الحديد (III) بأحادي أكسيد الكربون لإنتاج الحديد.

ما كتلة أكسيد الحديد (III) اللازمة لإنتاج 0.5 kg من الحديد؟ (الكتل الذرّية النسبية : Fe = 56، O = 16)

لحلّ هذا المثال، نكتب في البداية المعادلة الكيميائية الموزونة، ثم ننفّذ خطوات الحسابات.

$$Fe_2O_3(s) + 3CO(g) \rightarrow 2Fe(s) + 3CO_2(g)$$

نسبة Fe_2O_3 : Fe

1 mol : 2 mol

الكتلة = ؟ 0.5 kg

الحساب:

الخطوة ١: حوّل 0.5 kg إلى مولات:

يجب تحويل وحدات الكتل الكبيرة إلى وحدة الجرامات، فإذا كان كل 1 kg = 1000 g، فإن

0.5 kg = 500 g

$$\text{عدد المولات} = \frac{500\ g}{56\ g/mol}$$

$$= 8.93\ mol$$

الخطوة ٢: استخدم النسبة من المعادلة لحساب عدد مولات Fe_2O_3 اللازمة:

كل 1 mol من Fe_2O_3 تُنتج 2 mol من Fe

لذا:

لإنتاج 8.93 mol من Fe، سنحتاج 4.47 mol من Fe_2O_3

الخطوة ٣: احسب كتلة هذه الكمّية من أكسيد الحديد (III) (الكتلة المولية لمُركّب Fe_2O_3 تساوي

$(56 \times 2) + (16 \times 3) = 160\ g/mol$

$$\frac{\text{الكتلة (g)}}{160\ g/mol} = 4.47\ mol$$

لذا:

فإن كتلة Fe_2O_3 اللازمة = $4.47\ mol \times 160\ g/mol$

= 715 g (أو 0.715 kg)

تذكّر

- أن تقرأ بإمعان الأسئلة المتعلّقة بالكتل المُتفاعلة. وإذا أنجزت حساباتك بدقّة، مستخدمًا الطريقة التي بيّنّاها هنا، فسوف تتجنّب الأخطاء في هذه الحسابات.
- أن تأخذ دائمًا بالحسبان الأعداد الموزونة في المعادلة الرمزية (أو التكافؤ الكيميائي).

نشاط ٣-٢

استقصاء العلاقة بين كتلتَي المادة المُتفاعلة والمادة الناتجة

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.

عندما تتفاعل كربونات فلزّ ما مع حمض، سينطلق غاز ثاني أكسيد الكربون. وتُوضّح المعادلة الكيميائية الرمزية الموزونة للتفاعُل الآتي:

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

أن كل 1 mol من الكربونات سوف يُطلق 1 mol من CO_2. ويتمثّل الهدف من هذا النشاط في إثبات نسبة التكافؤ الكيميائي بين المادة المُتفاعلة والمادة الناتجة

أسئلة

مستخدمًا الكتل الذرّية النسبية الآتية: Na = 23، C = 12، O = 16، H = 1، S = 32، N = 14، Al = 27، Cl = 35.5، Fe = 56، Ca = 40، أجب عن الأسئلة الآتية:

٨-٣ يكوّن الألومنيوم طبقة من أكسيد الألومنيوم عندما يتعرض للهواء، وفقًا للمعادلة أدناه.

$$4Al(s) + 3O_2(g) \rightarrow 2Al_2O_3(s)$$

استخدم الخطوات الآتية، لتحسب كتلة أكسيد الألومنيوم التي يمكن أن تتكوّن عند تفاعُل 2.0 g من الألومنيوم بشكل كامل.

أ. احسب عدد مولات الألومنيوم (Al).

أسئلة

ب. ما نسبة Al : Al_2O_3 بالاستناد إلى المعادلة الموزونة؟

ج. احسب عدد مولات أكسيد الألومنيوم (Al_2O_3) الناتجة بالاستناد إلى القيمة التي حصلت عليها في الجزئية أ.

د. احسب كتلة الصيغة النسبية لـ Al_2O_3

هـ. احسب كتلة Al_2O_3 الناتجة.

٣-٩ يُختزل أكسيد الحديد (III) بأحادي أكسيد الكربون لإنتاج فلزّ الحديد، وفقًا للمعادلة أدناه:

$$Fe_2O_3(s) + 3CO(g) \rightarrow 2Fe(s) + 3CO_2(g)$$

احسب كتلة أكسيد الحديد (III) اللازمة لإنتاج 2 طن من الحديد.

٣-١٠ يتفاعل هيدروكسيد الكالسيوم وكلوريد الأمونيوم عند تسخينهما معًا، لإنتاج كلوريد الكالسيوم والماء وغاز الأمونيا، وفقًا للمعادلة أدناه:

$$Ca(OH)_2(s) + 2NH_4Cl(s) \rightarrow CaCl_2(s) + 2H_2O(l) + 2NH_3(g)$$

احسب كتلة كلوريد الأمونيوم اللازمة للتفاعُل مع 12 g من هيدروكسيد الكالسيوم.

٣-١١ يتفاعل أكسيد النحاس (II) والكربون عند تسخينهما معًا لإنتاج النحاس، وفقًا للمعادلة أدناه.

$$2CuO(s) + C(s) \rightarrow 2Cu(s) + CO_2(g)$$

تم خلال تجربة استخدام 0.75 g من الكربون، و5.2 g من أكسيد النحاس

أ. احسب عدد مولات الكربون في 0.75 g.

ب. احسب عدد مولات أكسيد النحاس (II) في 5.2 g.

ج. أي المادتَين المُتفاعلتَين هي المادة المُحدِّدة للتفاعُل؟ اشرح أسبابك.

٣-٤ حسابات تتضمّن حجوم الغازات

حجم مول واحد من الغاز

تحتوي الكثير من التفاعُلات على الغازات، بما فيها بعض التفاعُلات التي تعرّفنا عليها. ويُعدّ تحديد وزن مادة غازية مقارنة بحجمها عملية معقّدة وصعبة سيّما إذا ما قورنت بتحديد وزن المواد الصلبة والسائلة.

ويمكن معرفة وزن المادة الغازية عن طريق الإجابة عن السؤال الآتي:

هل توجد علاقة بين حجم المادة الغازية وعدد ذرّاتها أو جُزيئاتها؟

لقد بيّنت التجارب العملية أن حجومًا متساوية من غازات مختلفة تحتوي على العدد نفسه من الجُسيمات (الجدول ٣-٥)؛ وهذا هو **قانون أفوجادرو Avogadro's law**، الذي يقود إلى قاعدة بسيطة عن حجم المول الواحد من مادة غازية. تنصّ القاعدة على أن كتلة المول الواحد من غازات مختلفة سوف تكون مختلفة، إلا أن حجم المول الواحد لأي غاز سيكون هو نفسه، عند الظروف نفسها من درجة الحرارة والضغط.

المادة	الكتلة المولية (g/mol)	الحجم المولي (L/mol)	عدد الجُسيمات
الهيدروجين (H_2)	2	24	6.02×10^{23} جُزيء هيدروجين
الأكسجين (O_2)	32	24	6.02×10^{23} جُزيء أكسجين
ثاني أكسيد الكربون (CO_2)	44	24	6.02×10^{23} جُزيء ثاني أكسيد كربون
الإيثان (C_2H_6)	30	24	6.02×10^{23} جُزيء إيثان

الجدول ٣-٥ الكتلة المولية والحجم المولي لغازات متنوّعة

- يشغل المول الواحد من أي غاز حجمًا يساوي 24 L تقريبًا عند درجة حرارة الغرفة والضغط القياسي.
- تُساوي قيمة **الحجم المولي** لأي غاز 24 mol/L عند درجة حرارة الغرفة والضغط القياسي.
- تذكّر أن: 1 L = 1000 mL

مصطلحات علمية

- **قانون أفوجادرو Avogadro's law**: ينصّ على أنّ أي غاز يحتوي على العدد نفسه من الجسيمات عند درجة حرارة وضغط ثابتَين.
- **الحجم المولي Molar volume**: الحجم الذي يشغله مول واحد من غاز؛ وهو يساوي 24 L عند درجة حرارة الغرفة والضغط القياسي.

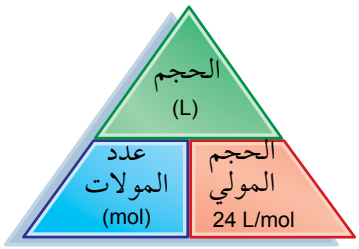
تذكّر

على سبيل المثال أنّ المول الواحد من ذرّات He أو من جُزيئات CO_2 يساوي حجمه 24 L عند درجة حرارة الغرفة والضغط القياسي، في حين أن كتلة He تساوي 4 g وكتلة CO_2 تساوي 44 g.

تُطبّق هذه القاعدة على الغازات جميعها. مما يسهّل عملية تحويل حجم أي غاز إلى مولات، أو المولات إلى حجم:

$$\text{عدد المولات} = \frac{\text{الحجم (L)}}{\text{الحجم المولي (L/mol)}}$$

حيث يقاس الحجم بوحدة اللتر (L)، أما الحجم المولي فيساوي 24 L/mol، عند درجة حرارة الغرفة والضغط القياسي.



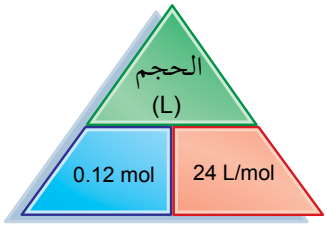
وفيما يلي بعض الامثلة التي توضّح العلاقة بين الحجم المولي وعدد المولات.

مثال ٣-٤

١. **ما حجم 0.12 mol من غاز النيتروجين عند درجة حرارة الغرفة والضغط القياسي؟**

يمكن استخدام طريقة المُثلّث لحل هذا المثال.

تذكر أن 1 mol من أي غاز، عند درجة حرارة الغرفة والضغط القياسي، سوف يشغل حجمًا يساوي 24 L.



الحجم = 0.12 mol x 24 L/ mol = 2.88 L

مثال ٣-٤

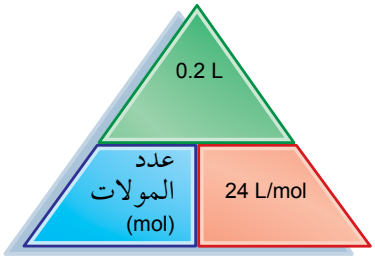
٢. **ما عدد المولات في 200 mL من غاز الميثان عند درجة حرارة الغرفة والضغط القياسي؟**

الحجم معطى بوحدة mL، لذا، يجب أوّلًا تحويله إلى وحدة L:

$$\text{الحجم} = \frac{200}{1000}$$

$$= 0.2\ \text{L}$$

يمكننا مُجدّدًا استخدام طريقة المُثلّث لحل هذا المثال:



$$\text{عدد المولات} = \frac{0.2\ \text{L}}{24\ \text{L/mol}}$$

$$= 0.0083\ \text{mol}$$

تفاعُلات تتضمّن كتلة مُتفاعلة وحجمًا غازيًا

بخصوص التفاعُلات التي تنتج فيها غازات، يتمّ حساب حجم المادة الناتجة بطريقة مُماثِلة لتلك التي رأيناها بالفعل في المثال المحلول ٣-٤.

مثال ٣-٥

إذا احترق 8 g من الكبريت، فما حجم غاز SO_2 الناتج عند درجة حرارة الغرفة والضغط القياسي؟ (الكتلة الذرّية النسبية لـ S = 32)

لحل هذا المثال، نكتب في البداية المعادلة الكيميائية الموزونة:

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

نسبة $S : SO_2$

1 mol : 1 mol

8 g — الحجم = ؟

ثم نتّبع خطوات الحساب

الخطوة ١: حوِّل 8 g من S إلى مولات:

$$\text{عدد المولات} = \frac{8\ g}{32\ g/mol}$$

$$= 0.25\ mol$$

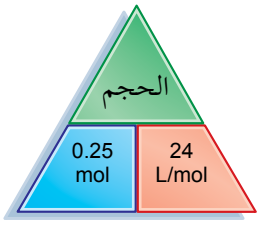
الخطوة ٢: استخدم النسبة من المعادلة لحساب عدد مولات SO_2 الناتجة:

كل 1 mol من S يُنتج 1 mol من SO_2 وبالتالي،

0.25 mol من S تُنتج 0.25 mol من SO_2

الخطوة ٣: احسب حجم الغاز لهذه الكمّية من ثنائي أكسيد الكبريت.

$$\text{عدد المولات} = \frac{\text{الحجم}}{\text{الحجم المولي}}$$



$$\frac{\text{الحجم}}{24\ L/mol} = 0.25\ mol$$

حجم ثنائي أكسيد الكبريت =

$$24\ L/mol \times 0.25\ mol = 6\ L$$

عند درجة حرارة الغرفة والضغط القياسي.

مثال ٣-٦

عند تسخين نترات الماغنيسيوم، تتفكّك إلى أكسيد الماغنيسيوم وغازَي الأكسجين وثنائي أكسيد النيتروجين.

ما كتلة نترات الماغنيسيوم التي سوف تنتج 50 mL من ثنائي أكسيد النيتروجين (عند درجة حرارة الغرفة والضغط القياسي)؟ (الكتل الذرّية النسبية: N، 14 = O، 16 = Mg، 24)

لحل هذا المثال، نكتب في البداية المعادلة الكيميائية الموزونة:

$$2Mg(NO_3)_2(s) \rightarrow 2MgO(s) + O_2(g) + 4NO_2(g)$$

نسبة $Mg(NO_3)_2 : NO_2$

2 mol : 4 mol

50 mL — الكتلة = ؟

الحجم مُعطى بالـ mL، لذا يجب تحويله إلى L:

$$\text{الحجم} = \frac{50}{1000}$$

$$= 0.05\ L$$

ثم نتّبع خطوات الحساب

الخطوة ١: حوّل 0.05 L من NO_2 إلى مولات:

$$\text{عدد المولات} = \frac{0.05\ L}{24\ L/mol}$$

$$= 0.00208\ mol$$

الخطوة ٢: استخدم النسبة من المعادلة لحساب عدد مولات نترات الماغنيسيوم التي تفكّكت:

2 mol من $Mg(NO_3)_2$ تُنتج 4 mol من NO_2

وبالتالي، يجب تفكيك 0.00104 mol من $Mg(NO_3)_2$ لإنتاج 0.00208 mol من NO_2

الخطوة ٣: احسب الكتلة لهذه الكمّية من نترات الماغنيسيوم

الكتلة المولية لـ $Mg(NO_3)_2$ تساوي:

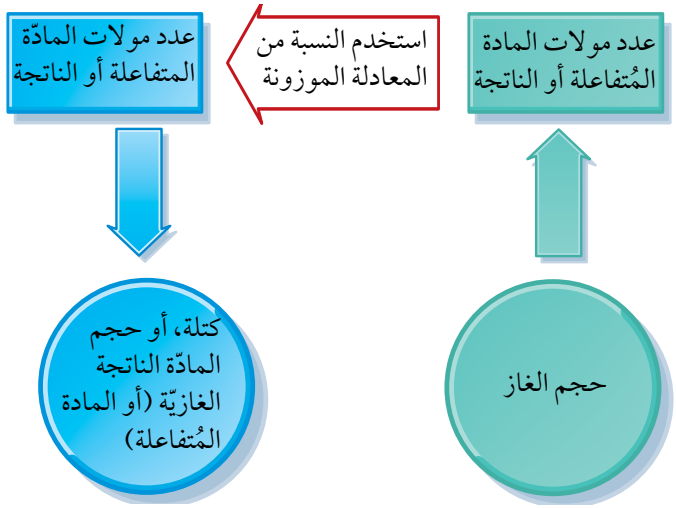
$$24 + (14 \times 2) + (16 \times 6) = 148\ g/mol$$

$$\frac{\text{الكتلة}}{148\ g/mol} = 0.00104\ mol$$

وبالتالي، فإن كتلة $Mg(NO_3)_2$ اللازمة =

$$0.00104 \times 148 = 0.154\ g$$

وقد تمّ تلخيص طريقة هذا النوع من الحسابات في الشكل (٣-٤).



الشكل ٣-٤ مُخطَّط لطريقة إجراء حسابات تتضمّن غازات

تفاعُلات تحتوي على غازات فقط

تحتوي بعض التفاعُلات المُهمّة على غازات فقط. وبخصوص تفاعُلات كهذه، يتمّ تبسيط حسابات الكمّيات المُتوقّعة بالاستناد إلى حقيقة أن قيمة الحجم المولي تنطبق على أي غاز.

فعلى سبيل المثال، تكون حجوم الغازات الداخلة في التفاعُل بنسبة المولات المبيّنة في المعادلة:

كلوريد الهيدروجين ⟵ كلور + هيدروجين

$$H_2(g) + Cl_2(g) \longrightarrow 2HCl(g)$$

1 mol	1 mol	2 mol
24 L	24 L	2 × 24 = 48 L

لذلك عندما تتفاعل 20 mL من الهيدروجين مع كمّية كافية من الكلور، سوف ينتج 40 mL من غاز كلوريد الهيدروجين عند الظروف نفسها من درجة الحرارة والضغط.

وتجدر الإشارة هنا إلى أن الحجم الكلّي للغاز يمكن أن يزداد أو ينقص أيضًا خلال التفاعُل. ففي تفاعُل أحادي أكسيد الكربون مع الأكسجين، مثلًا:

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

2 mol	1 mol	2 mol
48 L	24 L	48 L

نرى أن حجم الغازات في بداية التفاعُل يساوي 72 L (48 + 24)، ولكنه ينخفض عند نهاية التفاعُل إلى 48 L. وسبب ذلك أنّ التفاعُل قد بدأ بـ 3 mol من الغاز وانتهى بـ 2 mol فقط من الغاز عند نهاية التفاعُل.

تذكَّر

تُستخدم العلاقة: 1 mol = 24 L فقط عند درجة حرارة الغرفة والضغط القياسي للغازات. ولا تُستخدم لحساب عدد المولات لمادة صلبة أو سائلة.

وتكون العلاقة صحيحة فقط للغازات عند درجة حرارة الغرفة والضغط القياسي. لكن إذا ارتفعت درجة الحرارة (أو انخفضت) فسوف يزداد الحجم المولي للغاز (أو ينقص).

نشاط ٣-٣

استقصاء العلاقة بين كتلة مادة مُتفاعلة وحجم غاز ناتج

المهارات:

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

يُستخدَم في هذا الاستقصاء التفاعُل بين الماغنيسيوم وحمض الكبريتيك المُخفّف لدراسة تأثير تغيُّر كمّيات إحدى المواد المُتفاعلة على كمّية المادة الناتجة.

أسئلة

٣-١٢ احسب الحجم بالـ mL للمواد الغازيّة التالية عند درجة حرارة الغرفة والضغط القياسي:

أ. 1.5 mol من النيتروجين

ب. 0.06 mol من الأمونيا

ج. 0.5 mol من الكلور

٣-١٣ احسب عدد مولات الغاز في كل من التالي:

أ. 480 mL من الأرغون

ب. 48 L من ثاني أكسيد الكربون

ج. 1689 mL من الأكسجين

٣-١٤ احسب حجوم الغازات اللازمة أو الناتجة في كل من التفاعُلات التالية:

أ.

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

2 L ? ?

ب.

$$C_5H_{12}(g) + 8O_2(g) \longrightarrow 5CO_2(g) + 6H_2O(g)$$

10 mL ? ? ?

ج.

$$2C_2H_6(g) + 7O_2(g) \longrightarrow 4CO_2(g) + 6H_2O(g)$$

? 15 mL ? ?

٣-١٥ عند إضافة الصوديوم إلى الماء، ينتج محلول هيدروكسيد الصوديوم وغاز الهيدروجين.

$$2Na(s) + 2H_2O(l) \longrightarrow 2NaOH(aq) + H_2(g)$$

إذا أضيف 0.5 g من فلزّ الصوديوم إلى فائض من الماء عند درجة حرارة الغرفة والضغط القياسي، فكم يبلغ حجم غاز الهيدروجين الناتج بالـ mL؟ (الكتلة الذرّية النسبية: Na = 23؛ 1 mol من أي غاز عند درجة حرارة الغرفة والضغط القياسي يشغل حجمًا يساوي 24 L).

٣-٥ حسابات تتضمّن محاليل مُتفاعِلة

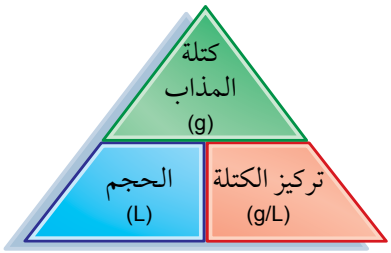
يمكن تنفيذ خدع مُلوّنة باستخدام مواد كيميائية. إذ يمكن أن يُنتج تفاعُل بسيط تغيُّرًا في اللون، كأن تشهد بعض التفاعُلات محلولَين عديمَي اللون يُخلطان معًا، فينتج مخلوط ملوّن. تحدث هذه التفاعُلات جميعها، وكذلك تفاعُلات كثيرة سواها في المحاليل؛ حيث يكون الماء هو المُذيب الشائع فيها. وعندما نُعِدّ مثل هذه التفاعُلات، نقيس عادة حجوم المحاليل ونعرف **تراكيزها Concentrations**، لتحديد كمّية المواد المُتفاعِلة اللازمة فعليًّا.

تركيز المحاليل

عند إذابة مادة كيميائية (**المذاب Solute**) في حجم من مادة كيميائية أخرى (**المذيب Solvent**)، يمكننا قياس «كمّية» المذاب بطريقتَين، إما بقياس كتلته بالجرام (g) أو كمّيته بالمول (mol). عادة يُقاس الحجم النهائي للمحلول بوحدة اللتر (L). وعند قياس كتلة المذاب بالجرام، نحصل على تركيز الكتلة بالجرام في لتر من المحلول (g/L).

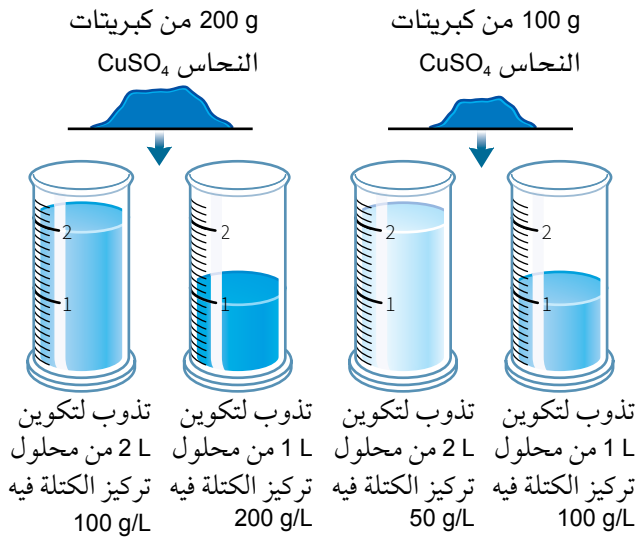
وتكون معادلة حساب تركيز الكتلة على النحو الآتي:

$$\text{تركيز الكتلة (g/L)} = \frac{\text{كتلة المذاب (g)}}{\text{حجم المحلول (L)}}$$



فمحلول كلوريد الصوديوم، مثلًا، تركيزه 58.5 g/L، يحتوي على 58.5 g من NaCl ذائبة في لتر من الماء. يوضّح الشكل (٣-٥) كيفية تحضير محاليل لها تراكيز مختلفة من كتلة المادة الذائبة نفسها.

- يقاس تركيز الكتلة لمحلول بالجرام لكل لتر (g/L).
- يقاس التركيز المولي لمحلول بالمول لكل لتر (mol/L).
- عند إذابة 1 mol من مادة ما في الماء بحيث يكون الحجم النهائي للمحلول 1 L (1000 mL)، ينتج محلول تركيزه 1 mol/L.



الشكل ٣-٥ تكوين محاليل من كبريتات النحاس (II) بتراكيز مختلفة

مثال ٣-٧

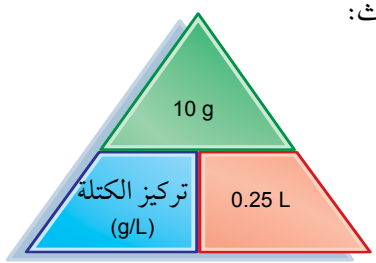
احسب تركيز الكتلة بالـ (g/L) لمحلول من هيدروكسيد الصوديوم NaOH، يحتوي على 10 g من NaOH في حجم نهائي مقداره 250 mL

يجب علينا أوّلًا تحويل الحجم من mL إلى L:

$$\text{الحجم} = \frac{250\ \text{mL}}{1000\ \text{mL}}$$

$$= 0.25\ \text{L}$$

وبعد ذلك، نستبدل الكتلة والحجم بقيَمهما مستخدمين طريقة المُثلّث:



$$\text{تركيز الكتلة (g/L)} = \frac{10\ \text{g}}{0.25\ \text{L}}$$

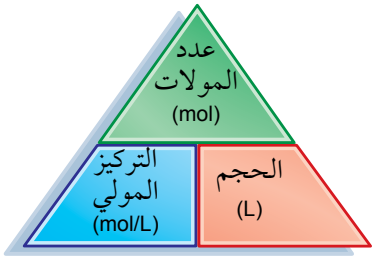
$$= 40\ \text{(g/L)}$$

حسابات تستخدم تراكيز المحاليل

يُفضّل في الحسابات الكيميائية التعامُل مع عدد المولات الموجودة في المحلول بدلًا من الكتلة. وفي هذه الحالة نحصل على التركيز المولي بالمولات لكل لتر من المحلول (mol/L):

$$\text{التركيز المولي (mol/L)} = \frac{\text{عدد المولات (mol)}}{\text{الحجم (L)}}$$

ويمكن تمثيل هذه المعادلة باستخدام المُثلّث أدناه:



من المعلوم أنّنا نتعامل عادة مع حجوم المحاليل بالمِلّيلتر (mL)، لذا يجب أن نكون قادرين على التحويل بين وحدتَي L و mL، باستخدام العلاقة:

الحجم (بوحدة L) × 1000 = الحجم (بوحدة mL).

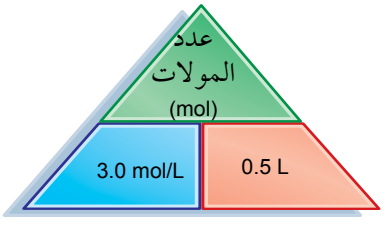
ويمكن استخدام معادلة التركيز المولي لحساب عدد المولات الموجودة في محلول. مثلًا: كم يبلغ عدد مولات السكّر في محلول حجمه 500 mL وتركيزه المولي 3.0 mol/L؟

يجب علينا أوّلًا تحويل وحدة الحجم من mL إلى L:

$$\text{الحجم} = \frac{500\ \text{mL}}{1000\ \text{L}}$$

$$= 0.5\ \text{L}$$

وبعد ذلك، نستبدل الحجم والتركيز المولي بقيَمهما مستخدمين طريقة المُثلّث:



عدد المولات = التركيز المولي (mol/L) × الحجم (L)

عدد المولات = 3.0 mol/L × 0.5 L

$$= 1.5\ \text{mol}$$

وعمليًّا، لا يزال على الكيميائي أن يزن المادة بوحدة الجرامات. ويُحتمَل أيضًا أن تتضمّن الأسئلة والتجارب عمليات تحويل بين الـ mol والـ g ، وكذلك بين الـ mL والـ L.

مثال ٣-٨

احسب التركيز المولي بالـ (mol/L) لمحلول من هيدروكسيد الصوديوم NaOH، يحتوي على 100 g من NaOH في حجم نهائي يساوي 2500 mL.
(الكتل الذرّية النسبية: H = 1، O = 16، Na = 23)

يجب علينا أوّلًا تحويل الحجم من mL إلى L:

$$\text{الحجم} = \frac{2500}{1000}$$

$$= 2.5\ \text{L}$$

يجب أيضًا أن نُحوّل الكتلة إلى عدد مولات:

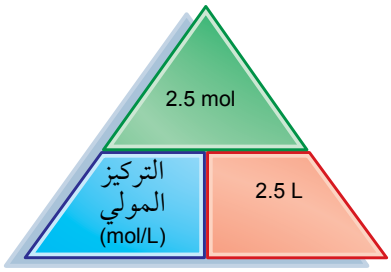
كتلة الصيغة النسبية لـ NaOH = 23 + 16 + 1

$$= 40$$

$$\text{عدد المولات} = \frac{100\ \text{g}}{40\ (\text{g/mol})}$$

$$= 2.5\ \text{mol}$$

وبعد ذلك، نستبدل عدد المولات والحجم بقيَمهما. مستخدمين طريقة المُثلّث.

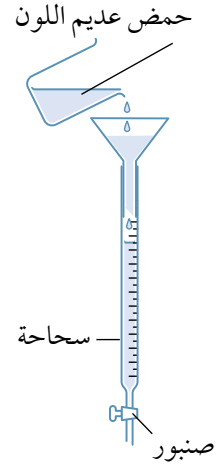


$$\text{التركيز المولي (mol/L)} = \frac{2.5\ \text{mol}}{2.5\ \text{L}}$$

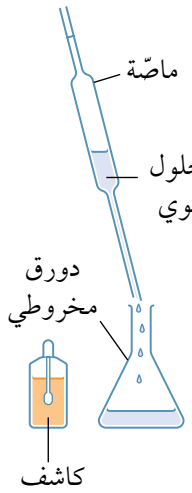
$$= 1\ (\text{mol/L})$$

عمليات مُعايرة الحمض والقاعدة

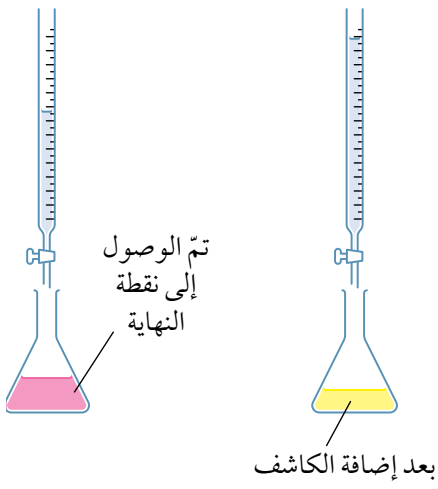
يمكن إيجاد تركيز محلول حمض غير معروف إذا تفاعل مع **محلول قياسي standard solution** لمادة قلوية. فالمحلول القياسي هو محلول يتمّ تحضيره بعناية بحيث يكون تركيزه معروفًا بدقّة. ويُنفّذ التفاعُل بطريقة مضبوطة بعناية. وتُقاس الحجوم بدقّة باستخدام ماصّة وسحاحة. وتضاف كمّية حمض كافية لمعادلة المادة القلوية. ويتمّ تحديد نقطة النهاية باستخدام كاشف (الشكل ٣-٦).



الخطوة ١: تُملأ السحاحة بالحمض



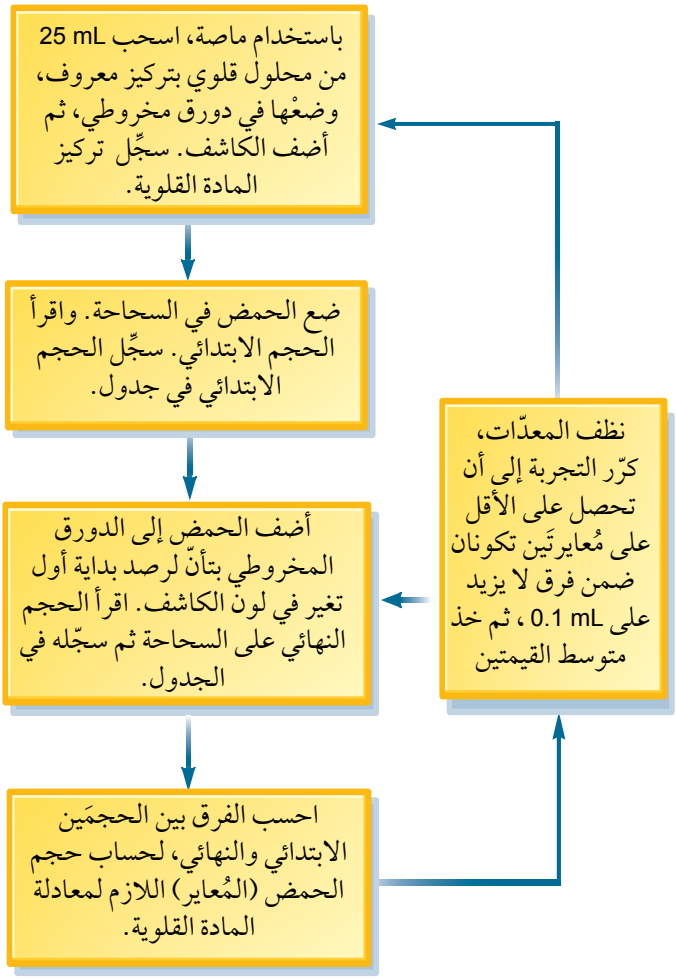
الخطوة ٢: تُستخدم ماصّة لقياس حجم معروف من المحلول القلوي الذي يُضاف إلى الدورق المخروطي، ثم تضاف بضع قطرات من الكاشف



الخطوة ٣: تُجرى عملية المُعايرة حيث يُضاف الحمض من السحاحة إلى المحلول القلوي حتى الوصول إلى نقطة النهاية

الشكل ٣-٦ خطوات مُعايرة حمض و قاعدة

وتُسمّى هذه الطريقة **المُعايرة Titration**، التي يمكن تكييفها لتحضير ملح ذائب. وقد تمّ تلخيصها في الشكل (٣-٧).



الشكل ٣-٧ مُلخّص طريقة المُعايَرة

مثال ٣-٩

تمّت مُعايرة محلول من حمض الهيدروكلوريك باستخدام محلول قياسي من هيدروكسيد الصوديوم. فوُجد أن 20 mL من الحمض تُعادل 25 mL من محلول NaOH، تركيزه المولي 0.10 mol/L. ما التركيز المولي لمحلول حمض الهيدروكلوريك؟

الخطوة ١: يجب علينا أوّلاً إيجاد عدد مولات المادة القلوية انطلاقًا من حجم محلول NaOH وتركيزه المولي.

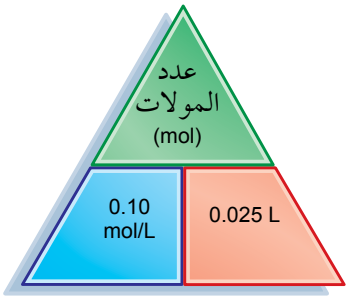
يجب أن نبدأ بتحويل حجم NaOH من mL إلى L:

$$\text{الحجم} = \frac{25\ \text{mL}}{1000\ \text{mL}}$$

$$= 0.025\ \text{L}$$

(تأكّد بأنّك قد اخترت الحجم الصحيح من المعلومات الواردة في السؤال)

وبعد ذلك، نستبدل الحجم والتركيز المولي بقيَمهما



عدد مولات NaOH:

$$0.10 \times 0.025 = 0.0025\ \text{mol}$$

الخطوة ٢: يجب علينا الآن إيجاد عدد مولات الحمض من عدد مولات المادة القلوية والمعادلة الرمزية الموزونة. والمعادلة هي:

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

1 mol 1 mol

كل 1 mol من NaOH يُعادل 1 mol من HCl، وبالتالي، فإن 0.0025 mol من NaOH تُعادل 0.0025 mol من HCl.

الخطوة ٣: أخيرًا نحسب التركيز المولي لحمض الهيدروكلوريك من خلال حجمه وعدد مولاته.

مثال ٣-١٠

تمّت معايرة 16.7 mL من محلول من حمض الكبريتيك، تركيزه المولي 0.015 mol/L، بمحلول من هيدروكسيد البوتاسيوم القياسي، تركيزه 0.05 mol/L.

ما حجم محلول KOH الذي عادله حمض الكبريتيك؟

الخطوة ١: يجب علينا أوّلًا إيجاد عدد مولات حمض الكبريتيك من حجمه وتركيزه المولي. ويجب أن نبدأ بتحويل حجم حمض الكبريتيك من mL إلى L:

الحجم = 16.7 mL = 0.0167 L

وبعد ذلك، نستبدل الحجم والتركيز المولي لمحلول H_2SO_4 بقيَمهما مستخدمين طريقة المُثلّث:

عدد مولات H_2SO_4 = 0.015 × 0.0167

2.51×10^{-4} mol = 0.000251 mol

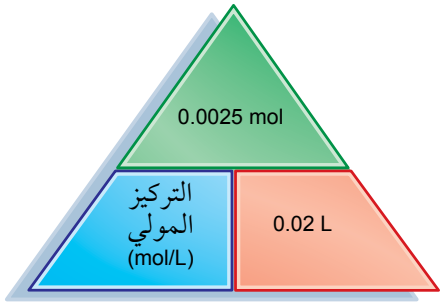
ويجب علينا، مرّة أخرى، تحويل الحجم من mL إلى L:

$$\text{الحجم} = \frac{20\ \text{mL}}{1000\ \text{mL}}$$

$$= 0.02\ \text{L}$$

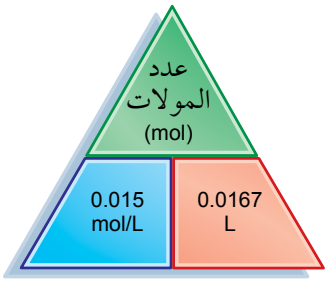
(مرّة أخرى، تأكّد أنه قد تمّ اختيار حجم الحمض من المعلومات)

وبعد ذلك، نستبدل عدد مولات الحمض (من الخطوة ٢) وحجم الحمض بقيَمهما مستخدمين طريقة المُثلّث:



$$\text{التركيز المولي (mol/L)} = \frac{0.0025\ \text{mol}}{0.02\ \text{L}}$$

$$= 0.125\ \text{(mol/L)}$$



الخطوة ٢: يجب علينا الآن إيجاد عدد مولات المادة القلوية من عدد مولات الحمض والمعادلة الرمزية الموزونة. والمعادلة هي:

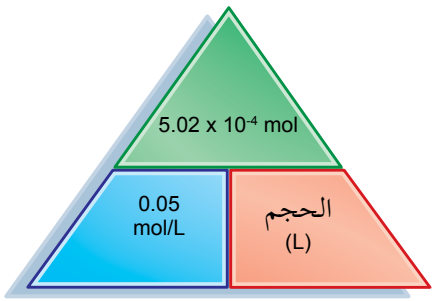
$$H_2SO_4(aq) + 2KOH(aq) \rightarrow K_2SO_4(aq) + H_2O(l)$$

1 mol 2 mol

كل 1 mol من H_2SO_4 يُعادل 2 mol من KOH، وبالتالي، 2.51×10^{-4} mol من H_2SO_4 تُعادل 5.02×10^{-4} mol من KOH.

الخطوة ٣: أخيرًا، نحسب حجم محلول KOH من تركيزه المولي وعدد مولاته.

وبعد ذلك، نستبدل عدد مولات KOH (من الخطوة ٢)، وتركيزه المولي بقيَمهما مستخدمين طريقة المُثلّث:



(تأكّد من أنك قد اخترت التركيز المولي لمحلول هيدروكسيد البوتاسيوم من المعلومات الواردة في السؤال).

$$\text{حجم KOH} = \frac{5.02 \times 10^{-4}\ \text{mol}}{0.05\ \text{mol/L}}$$

$$= 0.01\ \text{L}$$

ملحوظة: يمكن تحويل هذه النتيجة إلى mL:

(0.01 L = 10 mL)

نشاط ٣-٤

تحديد تركيز محلول من حمض الهيدروكلوريك

المهارات:

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

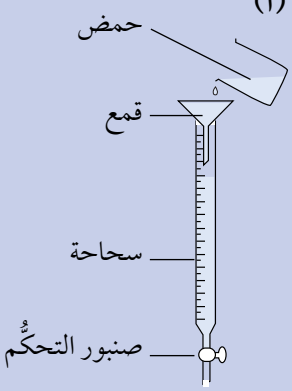
تتمّ في هذا النشاط مُعايَرة قياسية لمحلول من حمض الهيدروكلوريك، تركيزه مجهول، بمحلول من هيدروكسيد الصوديوم تركيزه معلوم. ويتمّ ذلك باستخدام طريقة المُعايَرة.

المواد والأدوات والأجهزة

- سحاحة (50 mL)
- ماصّة (25 mL)
- قمع ترشيح صغير
- دوارق مخروطية (250 mL)
- لوحة خزفية بيضاء
- حامل سحاحة معدني وملقط
- عبوة غسيل تحتوي على ماء مُقطَّر
- ماصّة قطّارة
- حمض هيدروكلوريك مُخفَّف (بتركيز 0.1 mol/L)
- محلول هيدروكسيد الصوديوم (بتركيز 0.1 mol/L)
- كاشف الميثيل البرتقالي

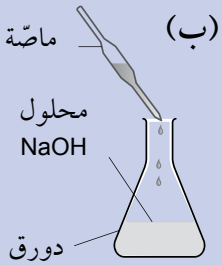
⚠
- **ضع النظّارة الواقية لحماية عينَيك.**
- **ارتدِ معطف المُختبَر.**
- **البسِ القُفّازَين الواقيَين عند الضرورة، أثناء إجراء هذه التجربة.**
- **اغسل يدَيك بعد انتهاء التجربة.**
- **يعدُّ محلول حمض الهيدروكلوريك المُخفّف ومحلول هيدروكسيد الصوديوم من المواد التي تُسبِّب تهيُّجًا للجلد عند استخدامها.**
- **امسح أي انسكابات عند انتهاء التجربة.**

(أ)



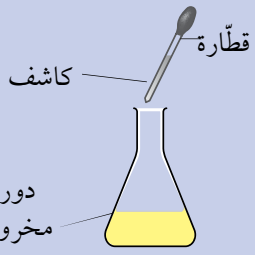
إضافة حمض الهيدروكلوريك إلى السحاحة

(ب)



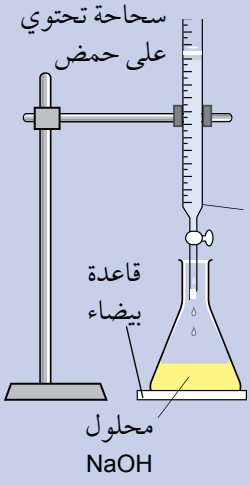
إضافة الكمّية المُحدّدة من محلول هيدروكسيد الصوديوم إلى الدورق المخروطي باستخدام ماصّة

(ج)



إضافة بضع قطرات من الكاشف إلى محلول هيدروكسيد الصوديوم

(د)



إضافة الحمض إلى المادة القلوية في الدورق المخروطي حتى يتغيّر لون المحلول

نشاط ٣-٤

الطريقة

١ اغسل السحاحة بقليل من الحمض.

٢ املأ السحاحة بالحمض مستخدمًا القمع الصغير كما هو موضّح في الرسم التخطيطي (أ)، وتأكّد من إزالة القمع بعد التعبئة.

٣ أزل فقّاعات الهواء من نافث السحاحة عن طريق فتح الصنبور، للسماح للقليل من الحمض بالنفاذ إلى وعاء المخلّفات.

٤ سجّل القراءة الابتدائية للسحاحة، وأنشئ جدول نتائج مناسبًا لنتائج المعايرة، التي تُظهر الكمّيات الابتدائية والنهائية المضافة من الحمض، مع ترك خانات للتكرار.

٥ اغسل الماصّة بكمّية قليلة من محلول هيدروكسيد الصوديوم.

٦ استخدم الماصّة القطّارة، لسحب 25.0 mL من هيدروكسيد الصوديوم وضعها في الدورق المخروطي، كما يظهر في الرسم (ب).

٧ أضف خمس قطرات من كاشف الميثيل البرتقالي إلى المحلول الموجود في الدورق المخروطي، كما هو مبيّن في الرسم (ج). لاحظ لون المحلول.

٨ حضّر الجهاز كما هو موضّح في الرسم التخطيطي (د)، وتأكّد من أن طرف السحاحة موضوع داخل عنق الدورق المخروطي. ثم أضف الحمض من السحاحة. ينبغي أن تتمّ إضافة الحمض بكمّيات تتناقص تدريجيًّا.

٩ حرّك دائريًّا وبانتظام، دون تطايُر رذاذ (رش)، محتويات الدورق المخروطي خلال إضافة الحمض. إذا علقت بعض قطرات من المحلول على جوانب الدورق المخروطي، ادفعها نحو داخل الدورق بقليل من الماء المُقطّر من عبوة الغسيل.

١٠ تابع إضافة الحمض إلى أن يتغيّر لون المحلول بشكل واضح وحادّ من الأصفر إلى الوردي، وبشكل مثالي. يحدث هذا التغيُّر في اللون بإضافة **قطرة واحدة** فقط.

١١ سجّل القراءة النهائية للسحاحة وحجم الحمض المستخدَم.

١٢ كرِّر الخطوات السابقة باستخدام عيّنات جديدة من 25.0 mL من محلول هيدروكسيد الصوديوم حتى تحصل على حجمَين متطابقَين من الحمض، بفرق لا يتجاوز 0.10 mL.

١٣ سجّل بياناتك مباشرة في جدولك مع تقدُّمك تدريجيًّا في تنفيذ التجربة.

١٤ استخدم على الأقلّ **قيمتَين** متناسقتَين لحساب متوسّط حجم الحمض اللازم للمعايرة. لا تستخدم قيمة المُعايَرة الابتدائية العشوائية.

أسئلة

١ اكتب المعادلة اللفظية والمعادلة الكيميائية الرمزية الموزونة للتفاعُل.

٢ احسب القيمة الدقيقة للتركيز المولي بالـ mol/L للحمض الذي استخدمته.

أسئلة

٣-١٦ احسب تركيز الكتلة بالـ (g/L) لكل من المحاليل الآتية:

أ. 5 g من ملح في محلول حجمه 2 L.

ب. 5 g من السكَّر الذائب في محلول حجمه 100 mL.

ج. 0.1 g من كربونات الصوديوم الذائبة في محلول حجمه 5000 mL.

٣-١٧ احسب التركيز المولي بالـ (mol/L) لكل من المحاليل الآتية (الكتل الذرّية النسبية: H = 1، O = 16، Na = 23، N = 14، Cl = 35.5):

أ. 1 mol من هيدروكسيد الصوديوم الذائب في ماء مُقطَّر لتحضير 500 mL من المحلول.

ب. 0.2 mol من كلوريد الصوديوم الذائب في ماء مُقطَّر لتحضير 1000 mL من المحلول.

ج. 0.1 mol من نترات الصوديوم الذائبة في ماء مُقطَّر لتحضير 100 mL من المحلول.

د. 0.8 g من هيدروكسيد الصوديوم الصلب الذائب في ماء مُقطَّر ليصبح حجم المحلول النهائي 1 L.

٣-١٨ في عملية مُعايَرة، تفاعل 20 mL من محلول هيدروكسيد الصوديوم تركيزه 0.1 mol/L مع 22.7 mL من حمض الكبريتيك.

$$2NaOH(aq) + H_2SO_4(aq) \rightarrow Na_2SO_4(aq) + 2H_2O(l)$$

استخدم الخطوات الآتية، لتحسب تركيز حمض الكبريتيك المُستخدَم في المُعايَرة.

أ. احسب عدد مولات هيدروكسيد الصوديوم في 20 mL من محلوله.

ب. ما نسبة NaOH : H_2SO_4 من المعادلة الموزونة السابقة.

ج. اكتب عدد مولات H_2SO_4 التي تتفاعل مع القيمة التي حصلت عليها في الجزئية (أ).

د. احسب التركيز المولي لحمض الكبريتيك.

٣-١٩ تمّت معايرة 25 mL من محلول هيدروكسيد الصوديوم تركيزه 0.1 mol/L مع محلول من حمض الهيدروكلوريك تركيزه 0.2 mol/L.

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

احسب بالـ mL حجم حمض الهيدروكلوريك الذي استُخدم في المُعايَرة.

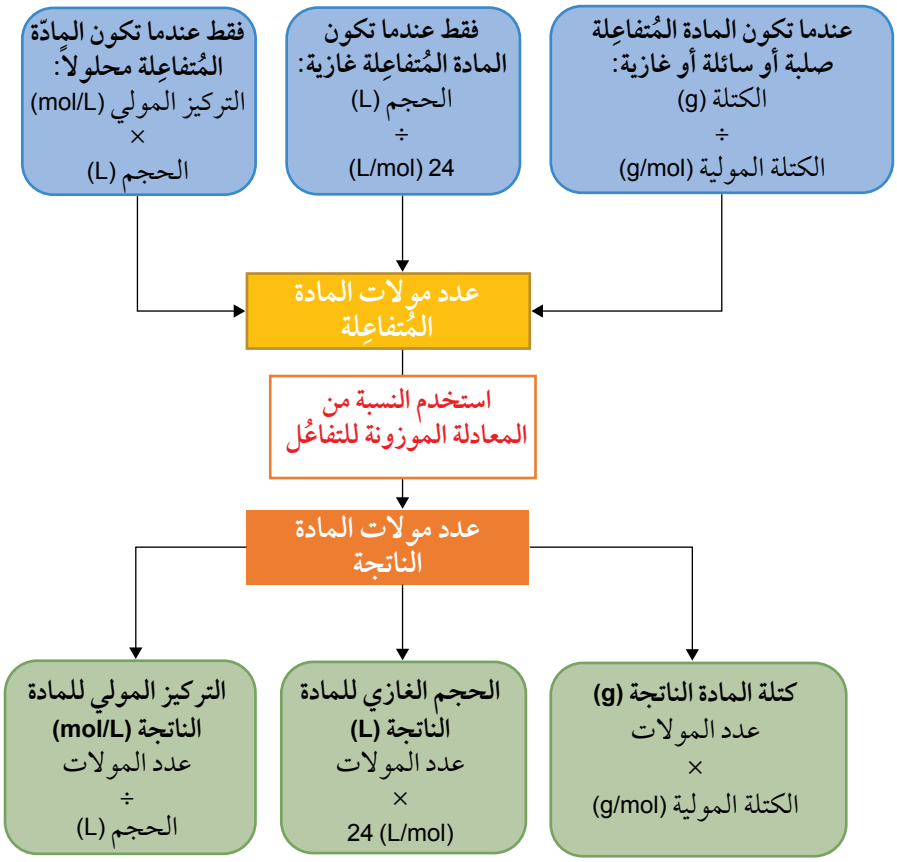
٣-٢٠ أذاب طالب 10.0 g من كربونات الكالسيوم في 250 mL من حمض الهيدروكلوريك. (الكتل الذرية النسبية: C = 12، O = 16، Ca = 40).

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

احسب التركيز المولي (mol/L) لحمض الهيدروكلوريك المُستخدَم في التفاعُل.

ملخّص الطرائق المُستخدَمة في الكيمياء الكمّية

سيكون مفيدًا التعبير عن كمّية مادة ناتجة من تفاعُل وحسابها، مع الأخذ بالاعتبار الحالة الفيزيائية التي ستكون فيها هذه المادة. إذ يُفضّل استخدام الكتلة للمواد الصلبة، والتركيز المولي للمحاليل، في حين يكون استخدام الحجم غالبًا أفضل للغازات. وفي هذه الطرائق جميعها، يكون عدد المولات التي تتفاعل واستخدام المعادلات الرمزية الموزونة خطوات مهمّة في الحسابات. ويلخِّص الشكل (٣-٨) الطرائق الرئيسية لحساب كمّيات المواد المُتفاعلة أو الناتجة التي يحتمل أن تصادفها، وربطها باستخدام طريقة ما لحساب كمّية مادة مُتفاعِلة، ثم الانتقال لاستخدام طريقة مختلفة من أجل حساب كمّية مادة ناتجة.



الشكل ٣-٨ ملخّص يوضّح طرائق حساب كمّيات مواد التفاعُل بواسطة المولات والمعادلة الموزونة لتحديد كمّيات مواد مختلفة في تفاعُل

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- تُقاس الكتل الذرّية (لذرّات العناصر) نسبة إلى ذرّة قياسية، هي ذرّة الكربون-12، والتي حُدِّدت لها كتلة مقدارها 12 بالضبط.
- الكتلة الذرّية النسبية هي متوسِّط كتلة ذرّة عنصر ما نسبة إلى ذرّة الكربون-12.
- تحسب كتلة الصيغة النسبية (أو الكتلة الجُزيئية النسبية) كحاصل جمع كل الكتل الذرّية النسبية الواردة في صيغة ما.
- أن العناصر تتفاعل دائمًا بنسب ثابتة من الكتلة، والتي تُحدّدها نسب الذرّات الواردة في صيغة المُركّب.
- أن المول هو الوحدة التي تحتوي على عدد ثابت يساوي 6.02×10^{23} (عدد أفوجادرو) من الجُسيمات المُكوِّنة لمادة، ويُستخدم للتعبير عن كمّية مادة تشارك في تفاعُل.
- تُستخدم المعادلة الكيميائية الموزونة للتفاعُل من أجل حساب الكتل المُتفاعِلة لمواد مشارِكة في التفاعُل وكمّية المواد الناتجة.
- أن المول الواحد من أي غاز يمتلك حجمًا يساوي 24 L عند درجة حرارة الغرفة والضغط القياسي.
- التعبير عن تركيز محلول ما سواء بوحدة الجرامات لكل لتر (g/L)، أو بوحدة المولات لكل لتر (mol/L)، وأن هذه القيَم مفيدة في حساب نتائج تجارب المُعايَرة.

أسئلة نهاية الوحدة

١ تُبيّن المعادلة أدناه كيف يُصنع سماد كبريتات الأمونيوم.

$$2NH_3(aq) + H_2SO_4(aq) \rightarrow (NH_4)_2SO_4(aq)$$

أ. اكتب المعادلة اللفظية لهذا التفاعُل.

ب. ما عدد ذرّات الهيدروجين في صيغة كبريتات الأمونيوم؟

ج. احسب كتلة الصيغة النسبية لحمض الكبريتيك. (الكتل الذرّية النسبية: H = 1، S = 32، O = 16)

د. في هذا التفاعُل، كل 17 g من الأمونيا تُنتج 66 g من كبريتات الأمونيوم.
ما الكتلة التي قد تُنتجها 3.4 g من الأمونيا؟

٢ يُستخدم الكربون كذرّة قياسية بالنسبة لمقياس الكتلة الذرّية النسبية.

أ. أي من نظائر الكربون الآتية هو مقياس الكتلة الذرّية النسبية الذي تتمّ عملية القياس نسبة إليه؟

١. الكربون–6.
٢. الكربون–12
٣. الكربون–13
٤. الكربون–14

ب. ١. احسب كتلة الصيغة النسبية للغاز CO_2؟ (الكتل الذرّية النسبية: O = 16، C = 12)
٢. ما عدد المولات في 8.8 g من CO_2؟
٣. ما عدد جُزيئات CO_2 في 8.8 g من CO_2؟ (كل 1 mol يحتوي على 6.02×10^{23} جُسيم)
٤. ما عدد ذرّات الأكسجين في 8.8 g من CO_2؟

٣ **أ.** المعادلة الكيميائية الموزونة للتفاعُل الذي يحدث بين أكسيد الكالسيوم والماء هي:

$$CaO(s) + H_2O(l) \rightarrow Ca(OH)_2(aq)$$

وتُبيّن هذه المعادلة أن 1 mol من أكسيد الكالسيوم يتفاعل مع 1 mol من الماء.

١. تحتوي عبوة معدنية على 168 g من أكسيد الكالسيوم. احسب عدد مولات أكسيد الكالسيوم في هذه العبوة.
(الكتل الذرّية النسبية: O = 16، Ca = 40)
٢. احسب كتلة الماء اللازمة للتفاعُل مع 168 g من أكسيد الكالسيوم.

ب. المعادلة الموزونة للتفكُّك الحراري لكربونات الصوديوم الهيدروجينية هي:

$$2NaHCO_3(s) \rightarrow Na_2CO_3(s) + H_2O(l) + CO_2(g)$$

١. تمّ تفكيك 4.2 g من كربونات الصوديوم الهيدروجينية. ما عدد مولات كربونات الصوديوم الهيدروجينية التي تفكّكت؟
٢. احسب كتلة Na_2CO_3 التي نتجت من تفكيك 4.2 g من كربونات الصوديوم الهيدروجينية.

ج. يزيح النحاس الفضّة ويحلّ محلّها في مُركّباتها.

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

تمّت إضافة 6.35 g من فلزّ النحاس إلى محلول يحتوي على 0.1 mol من أيونات الفضّة:

١. احسب عدد مولات النحاس التي أضيفت إلى المحلول. (الكتلة الذرّية النسبية: Cu = 63.5)
٢. اذكر المادّة المُحدّدة في هذا التفاعُل: أهي فلزّ النحاس أم أيونات الفضّة؟ وبيّن السبب.

٤ تتفكّك نترات الماغنيسيوم عند تسخينها لتكوّن أكسيد الماغنيسيوم وثنائي أكسيد النيتروجين والأكسجين وفقًا للمعادلة الآتية:

$$2Mg(NO_3)_2(s) \rightarrow 2MgO(s) + 4NO_2(g) + O_2(g)$$

أ. في تجربة، تفكّكت عيّنة من نترات الماغنيسيوم كتلتها 2.96 g.

١. احسب عدد مولات $Mg(NO_3)_2$ في 2.96 g. (الكتلة الذرّية النسبية: Mg = 24، N = 14، O = 16)

٢. احسب حجم غاز ثنائي أكسيد النيتروجين الناتج عند درجة حرارة الغرفة والضغط القياسي.

٣. احسب حجم غاز الأكسجين الناتج عند درجة حرارة الغرفة والضغط القياسي.

ب. يُعدّ ثنائي أكسيد النيتروجين غازًا سامًّا. ويمكن تحويله إلى غازات أخرى غير ضارّة، بجعله يتفاعل مع الهيدروجين بواسطة عامل حفّاز ساخن. والمعادلة الكلّية لهذه العملية هي:

$$2NO_2(g) + 4H_2(g) \rightarrow N_2(g) + 4H_2O(g)$$

إذا تمّ تحويل 24 L من NO_2 عند درجة حرارة الغرفة والضغط القياسي:

١. فما حجم غاز الهيدروجين اللازم للتفاعُل؟

٢. ما حجم غاز النيتروجين الناتج؟

٥ **أ.** تمّت إذابة 2 g من هيدروكسيد الصوديوم في الماء لتحضير محلول بحجم نهائي يساوي 250 mL.

١. احسب تركيز محلول هيدروكسيد الصوديوم بالـ g/L.

٢. احسب تركيز محلول هيدروكسيد الصوديوم بالـ mol/L. (الكتلة الذرّية النسبية: O = 16، H = 1، Na = 23)

ب. حُدّد تركيز مادة قلوية أخرى، هي محلول هيدروكسيد البوتاسيوم، باستخدام المُعايَرة.

١. تمّ وضع 25 mL من محلول هيدروكسيد البوتاسيوم في دورق مخروطيّ، ثم أُضيف إليه كاشف. سمِّ الأداة المُستخدمة لقياس هذا الحجم المُحدّد بدقّة.

٢. الحمض الذي استُخدم لمعايرة محلول هيدروكسيد البوتاسيوم هو حمض الكبريتيك. سمِّ الأداة المُستخدَمة لإضافة حمض الكبريتيك بشكل دقيق إلى محلول هيدروكسيد البوتاسيوم.

٣. تمّت معادلة 25 mL من هيدروكسيد البوتاسيوم بـ 23.6 mL من محلول من حمض الكبريتيك تركيزه 0.1 mol/L. احسب تركيز محلول هيدروكسيد البوتاسيوم بوحدة mol/L.



الوحدة الرابعة

مدخل إلى الكيمياء العضوية

Introduction to Organic Chemistry

تُغطّي هذه الوحدة:

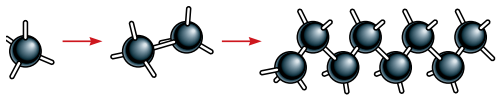
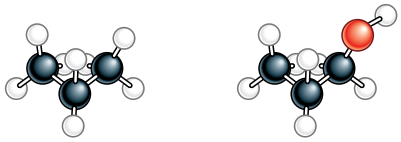
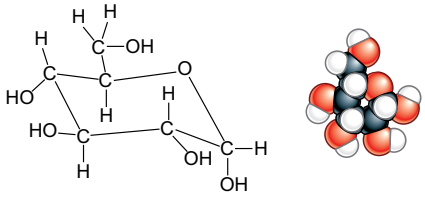
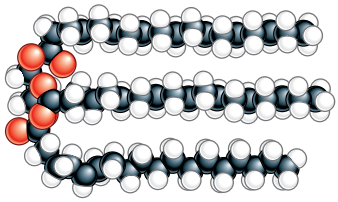
- الخصائص الفريدة للكربون.
- الهيدروكربونات.
- طبيعة السلاسل المُتجانِسة.
- الألكانات وخصائصها.
- الألكينات.
- النشاط الكيميائي للرابطة الثنائية C=C الموجودة في الألكينات؛ وتفاعُلات الإضافة.
- الوقود الأحفوري والاحتراق.
- التقطير التجزيئي للبترول (النفط الخام).
- خصائص أجزاء الهيدروكربونات (نواتج التقطير التجزيئي) واستخداماتها.
- التكسير الحراري.

٤-١ الألكانات

الخصائص الفريدة للكربون

يُعدّ الكربون من اللافلزّات التي تنتمي إلى المجموعة IV في الجدول الدوري للعناصر، حيث يستطيع تكوين أربع روابط تساهمية. ويكمن تفرُّده وتميُّزه في الطرق المختلفة التي يكوّن بها تلك الروابط، وحتى على مستوى العنصر نفسه، لوجوده بأشكال مختلفة كما درسنا في الصف التاسع (الماس والجرافيت).

يُبيِّن الجدول (٤-١) كيف تنتج أنواع مختلفة من الجُزيئات باختلاف ترتيب الترابُط بين ذرّات الكربون. وحده الكربون يُحقِّق جميع هذه الترتيبات المختلفة في الترابُط.

أنواع الترابُط والصيَغ البنائية لدى الكربون	النموذج الجُزيئي (والصيغة البنائية) لبعض المركّبات العضوية
(أ) يستطيع الكربون أن يُكوِّن أربع روابط، ويمكن أن تترابط ذرّاته لتكوِّن سلاسل طويلة.	
(ب) يمكن أن تحلّ ذرّات أخرى محل ذرّات الهيدروجين على السلاسل، مكوّنة بذلك عائلات أخرى من المُركّبات العضوية.	
(ج) قد تتكوّن الروابط الثنائية في الجُزيئات البسيطة وفي السلاسل الطويلة أيضًا.	
(د) قد ترتبط ذرّات الكربون لتكوين جُزيئات حلقية.	
(هـ) قد تتكوّن جُزيئات مُتعدّدة السلاسل الطويلة، والكثير من الجُزيئات الأخرى.	
مفتاح الرموز: كربون ● هيدروجين ○ أكسجين ●	

الجدول ٤-١ يظهر تنوّع الترابط لدى الكربون

وواقع الأمر أنّ للكربون ملايين المركّبات التي يفوق عددها عددالمُركّبات التي تكوّنها العناصر الأخرى مُجتمعة. وتُشكّل كيمياء هذه المُركّبات فرعًا مُستقلًا من فروع الكيمياء يُعرف **بالكيمياء العضوية Organic chemistry**، وهو الفرع الذي يدرس بنية وخصائص وتفاعُلات المُركّبات التي تحتوي على عنصر الكربون.

وهناك الكثير من المُركّبات العضوية الضرورية لحياة الكائنات الحية مثل:

- الكربوهيدرات (مثل السكّريات)
- الدهون والأحماض الدهنية
- البروتينات والأحماض الأمينية
- الحمض الريبوزي النووي منقوص الأكسجين **DNA** وهو الجُزيء الضخم الذي يحمل المعلومات الوراثية لدى الكائنات الحية وينقلها، ممّا يجعل استمرار الحياة وتطوُّرها ممكنًا.

وتتنوّع استخدامات المُركّبات العضوية في عدّة مجالات منها:

- وقود للحرارة والطاقة.
- صناعة البلاستيك.
- صناعة الأدوية والأصباغ ومواد كيميائية أخرى.

تتميّز **الرابطة التساهُمية Covalent bonding** بين ذرّات الكربون بثلاث ميزات هي أنّها:

- تربط بين ذرّات الكربون لتكوّن سلاسل طويلة قد ترتبط بها ذرّات عناصر أخرى.
- تربط بين ذرّات الكربون في السلسلة بروابط أحادية، أو ثنائية، أو ثلاثية.
- تمكّن ذرّات الكربون من ترتيب نفسها في هيئة حلقات.

أسئلة

٤-١ ما نوع الرابطة التي تشارك بها عادة ذرّات الكربون؟

٤-٢ ما العدد الأقصى للروابط الذي يمكن أن تكوّنه ذرّة كربون واحدة؟

٣-٣ سمّ **شكلَين** لصيَغ بنائية تحتوي على الكربون.

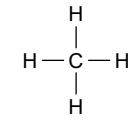
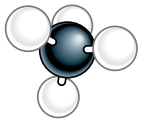
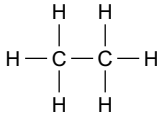
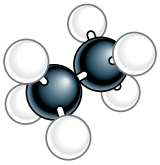
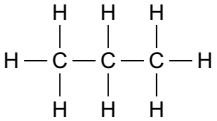
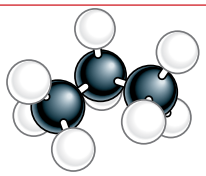
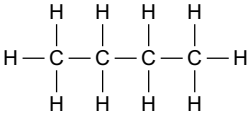
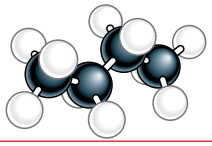
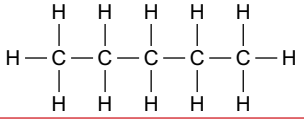
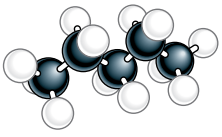
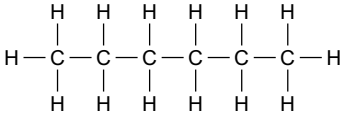
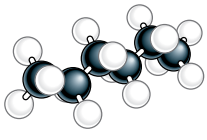
٤-٤ سمّ **جُزيئَين** مختلفَين يحتويان على الكربون، ولهما أهمّية كبيرة للكائنات الحية.

ما المركّب الهيدروكربوني؟

تمَّت حتى الآن معرفة الملايين من مُركَّبات الكربون، ويتمّ سنويًّا اكتشاف أو تصنيع الكثير منها.

وبالنظر إلى وجود هذا العدد الكبير جدًّا، سيكون مفيدًا اختيار المُركّبات التي تمتلك صيَغًا بنائية مُتشابهة (وترتيبها في مجموعات وفقًا لصيَغها). ويتمثّل أحد أبسط أنواع هذه المُركّبات العضوية في **الهيدروكربونات Hydrocarbons**، وهي مُركّبات تحتوي فقط على الكربون والهيدروجين.

يمكن تقسيم الهيدروكربونات التي ندرسها في هذا المستوى إلى نوعَين: **الهيدروكربونات المُشبَعة Saturated hydrocarbons** و**الهيدروكربونات غير المُشبَعة Unsaturated hydrocarbons**. تتكوّن الهيدروكربونات المُشبَعة من جُزيئات تحتوي فقط على روابط تساهمية أحادية بين ذرّات الكربون، في حين أن الهيدروكربونات غير المُشبَعة تتكوّن من جُزيئات تحتوي على روابط تساهُمية أحادية بين ذرّات الكربون إضافة إلى روابط ثنائية أو ثلاثية. وبما أن الكربون يمتلك تكافؤًا يساوي 4، فإنّ كل رابطة من الروابط الأربع غير المستخدمة في تكوين السلسلة تكون مُرتبطة بذرّة هيدروجين (الجدول ٤-٢).

الاسم	الصيَغ البنائية	الشكل الفراغي
ميثان		
إيثان		
بروبان		
بيوتان		
بنتان		
هكسان		

الجدول ٤-٢ الصيَغ البنائية والأشكال الفراغية لأوّل ستة ألكانات

مصطلحات علمية

- **الهيدروكربون Hydrocarbon:** مُركّب يحتوي فقط على الكربون والهيدروجين.
- **الهيدروكربون المُشبَع Saturated hydrocarbon:** مُركّب تكون فيه جميع الروابط بين ذرّات الكربون أحادية.
- **الهيدروكربون غير المُشبَع Unsaturated hydrocarbon:** مُركّب لا تكون فيه جميع الروابط بين ذرّات الكربون أحادية، بل تتخلّلها رابطة (أو روابط) ثنائية أو ثلاثية.

فعندما يكون الهيدروكربون مُشبَعًا، لا يمكن إضافة ذرّات أخرى إلى سلسلة الجُزيء، بينما تستطيع الهيدروكربونات غير المُشبَعة أن تكسر روابطها الثنائية أو الثلاثية، ما يسمح بإضافة المزيد من الذرّات إلى السلسلة. وتُعرف العائلة الرئيسية للهيدروكربونات المُشبَعة باسم **الألكانات Alkanes**.

يُقدّم الجدول (٤-٣) أسماء وصيَغ أوّل ستّة مركّبات في سلسلة الألكانات. والألكان الأبسط يحتوي على ذرّة كربون واحدة، ويُسمّى **الميثان Methane**.

لاحظ أن الأسماء في هذه السلسلة من الهيدروكربونات تنتهي جميعها باللاحقة (the suffix) – ان: ane – . يعني ذلك أنّ ورود هذه اللاحقة في نهاية اسم مُركَّب ما سوف يُشير إلى أنه ألكان. أما الجزء الأول من الاسم البادئة (the prefix) فيشير إلى عدد ذرّات الكربون الموجودة في السلسلة، والتي تُستخدم بشكل منتظم في تسمية المُركّبات العضوية، كما سنرى أيضًا في الموضوع ٤-٣.

يُقدّم الجدول (٤-٣) **الصيَغ الجُزيئية Molecular formulae** لبعض الألكانات. حيث يزداد كل جُزيء عن سابقه بمجموعة $-CH_2-$، فتصبح السلسلة أطول (الجدول ٤-٢). تتوافق صيَغ هذه الجُزيئات جميعها مع **الصيغة العامّة General formula** C_nH_{2n+2} (حيث يُمثّل n عدد ذرّات الكربون الموجودة في صيغة المُركّب).

وفي الكيمياء العضوية، تُعدّ الصيغة البنائية للجُزيء مُهمّة للغاية. ويبيّن الجدول (٤-٢) الصيَغ البنائية للألكانات الستّة الأولى الموجودة في السلسلة. وتبيّن **الصيغة البنائية Structural formula** الروابط بين ذرّات الجُزيء.

وكلما ازداد طول سلسلة الهيدروكربون، تزداد قوى التجاذُب الموجودة بين الجُزيئات (**القوى بين الجُزيئية Intermolecular forces**). ونتيجة لذلك ترتفع درجات الانصهار والغليان تدريجيًّا كما هو موضّح في الجدول (٤-٣). ففي الظروف العادية (درجة حرارة الغرفة والضغط القياسي)، يكون أوّل أربعة عناصر من العائلة في هيئة غازات، في حين أنّ الألكانات من C_5H_{12} إلى $C_{16}H_{34}$ (والتي يُشار إليها بالألكانات من C_5 إلى C_{16}) تكون في هيئة سوائل. أما الألكانات التي تمتلك جُزيئاتها 17 ذرّة كربون أو أكثر، فتكون مواد صلبة شمعية.

مصطلحات علمية

- **الألكانات Alkanes:** مُركّبات هيدروكربونية مُشبَعة. تحتوي جُزيئاتها على روابط أحادية فقط بين ذرّات الكربون في السلسلة، وتمتلك الصيغة العامة C_nH_{2n+2} مع اسم ينتهي بـ «آن».

الألكان	الصيغة الجُزيئية C_2H_{2n+2}	عدد ذرّات الكربون	درجة الغليان (° C)		الحالة الفيزيائية عند درجة حرارة الغرفة
الميثان	CH_4	1	-164	↓	غاز
الإيثان	C_2H_6	2	-87		غاز
البروبان	C_3H_8	3	-42		غاز
البيوتان	C_4H_{10}	4	0		غاز
البنتان	C_5H_{12}	5	36	ارتفاع درجة الغليان	سائل
الهكسان	C_6H_{14}	6	69		سائل

الجدول ٤-٣ بعض خصائص أوّل ستّة مُركّبات في سلسلة الألكانات

يمتلك كل مُركّب عضوي **صيغتَين** مختلفتَين:

- **الصيغة الجُزيئية:** تبيّن العدد الفعلي للذرّات الموجودة في الجُزيء؛ لذلك تكون الصيغة الجُزيئية للميثان هي CH_4، وللإيثان هي C_2H_6، وهكذا.
- **الصيغة البنائية:** هي الصيغة التي تصف كيفية ترتيب الذرات وإرتباطها داخل الجزيء.

تذكّر

- حدد ما إذا كان المطلوب الصيغة الجُزيئية أم الصيغة البنائية، ثم أعط الصيغة المطلوبة. يجب أن تكون قادرًا على تسمية الألكانات الأربعة الأولى ورسم صيَغها البنائية.
- أظهر جميع الذرّات والروابط عند كتابة الصيغة البنائية لمُركّب ما.
- عُد الروابط الموجودة حول كل ذرّة كربون ترسمها؛ يجب أن تكون هناك أربع روابط فقط. تدرَّب على رسم بعض الجُزيئات العادية التي طُلبت منك.

احتراق الألكانات

تتّصف الألكانات عمومًا بأنّها غير نشِطة كيميائيًا. وبما أنّها هيدروكربونات مُشبعة، فهي غير قابلة لإضافة المزيد من الذرّات إلى سلسلتها الكربونية، وبالتالي لا تميل إلى التفاعُل مع معظم المواد الشائعة. أضف إلى ذلك أن الروابط التساهُمية الأحادية الموجودة بين ذرّات الكربون تكون قوية جدًّا أيضًا، وتحتاج إلى الكثير من الطاقة لكي تتكسر وتتفاعل.

ويُعدّ تفاعل **الاحتراق Combustion** أحد التفاعُلات التي تخضع لها الألكانات جميعها بسهولة. فبوجود الأكسجين ومصدر إشعال، تحترق الألكانات بفاعلية وتُطلق حرارة أكثر من تلك اللازمة للبدء بتفاعُل الاحتراق. هذا التفاعُل الطارد للحرارة يعطي الألكانات قيمة كبيرة كوقود.

عندما تحترق الألكانات بوجود وفرة من الأكسجين، تكون النواتج ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء وفقًا للمعادلتَين التاليتَين:

ماء + ثاني أكسيد الكربون ⟶ أكسجين + ميثان

$$CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$$

ماء + ثاني أكسيد الكربون ⟶ أكسجين + إيثان

$$2C_2H_6(g) + 7O_2(g) \rightarrow 4CO_2(g) + 6H_2O(g)$$

ويتم الحصول على النواتج نفسها مهما كان نوع الألكان المحترق، ما دامت هناك إمدادات كافية من الأكسجين. يُشكّل الميثان الجزء الرئيسي من الغاز الطبيعي. ويحترق البروبان والبيوتان مع إطلاق لهب ساخن جدًّا. ويباع هذان الغازان في هيئة غاز بترول مُسال (Liquefied Petroleum Gas–LPG). ويتم تخزينهما في هيئة سوائل تحت الضغط، لكنهما يتبخّران بسهولة عند إزالة الضغط عنهما. وفي المناطق التي لا يتوفّر فيها مصدر رئيسي للغاز الطبيعي، قد تشاهد خزّانات غاز البروبان خارج المنازل، وهي تؤمّن الوقود لأنظمة التدفئة. وتُستخدم أسطوانات غاز البيوتان في مواقد الغاز المحمولة. كما يُستخدم البيوتان أيضًا في مواقد التخييم المحمولة ومواقد (مشاعل) اللِّحام وقدّاحات الغاز (الصورة ٤-١).



الصورة ٤-١ موقد محمول يعمل على غاز البيوتان

السلسلة المُتجانسة

تُعرف عائلة المُركّبات العضوية التي تمتلك الصيغة العامّة نفسها، فضلًا عن خصائص كيميائية مُتماثلة، باسم **السلسلة المُتجانسة Homologous series**. ويختلف كل مُركّب لاحق عن المُركّب السابق في سلسلة مُتجانسة بوحدة صيغة من $-CH_2-$ (الجدول ٤-٢). وهذا الاختلاف يُنتج تغيُّرًا تدريجيًا في الخصائص الفيزيائية.

تُعدّ الألكانات سلسلة مُتجانسة، ذلك أنها:

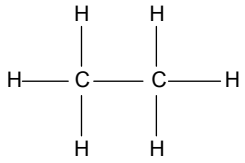
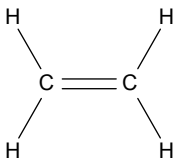
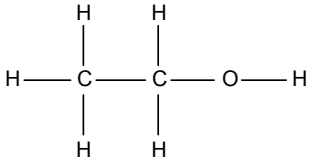
- تتشارك بالصيغة العامة نفسها C_2H_{2n+2}
- تمتلك صيَغًا جُزيئية تختلف فيما بينها بوحدة صيغة $-CH_2-$ على امتداد السلسلة، مثل CH_4 و C_2H_6
- تمتلك خصائص كيميائية مُتماثلة فهي غير نشِطة كيميائيًا بشكل عام، ولكنها تحترق جيّدًا.
- ترتفع درجات الانصهار والغليان تدريجيًا كلما ازداد طول السلسلة.

إذا نظرنا إلى عائلة تمتلك نهاية اسم سلسلة مُتجانسة، سوف نجد بادئات تُشير إلى عدد ذرّات الكربون الموجودة في السلسلة (الجدول ٤-٤). فالمُركّب الذي ينتمي إلى أي سلسلة مُتجانسة ويمتلك ذرّة كربون واحدة سيكون له اسم يبدأ بالبادئة (ميث -)، والمُركّب الذي يحتوي على ذرّتَي كربون سيبدأ اسمه بالبادئة (إيث -) وهكذا. وقد تم توضيح ذلك سابقًا للألكانات في الجدول (٤-٢).

يمكن تحديد عناصر سلسلة مُتجانسة عبر صيَغها البنائية وأسمائها (غالبًا ما تكون بوساطة اللاحقة أو نهاية الاسم). فمكوّنات السلسلة المُتجانسة، **الكحولات Alcohols** مثلًا، سوف تحتوي بصورة دائمة على مجموعة O-H- مُرتبطة بالسلسلة الكربونية. وستمتلك دائمًا اسمًا ينتهي باللاحقة ـول ol-. يبيّن الجدول (٤-٥) ثلاثة أمثلة شائعة على سلاسل متجانسة.

عدد ذرّات الكربون	بداية الاسم (البادئة)
1	ميث_ (meth_)
2	إيث_ (eth_)
3	بروب_ (prop_)
4	بيوت_ (but_)
5	بنت_ (pent_)
6	هكس_ (hex_)

الجدول ٤-٤ حُدّدت التسمية وفقًا لعدد ذرّات الكربون الموجودة في سلسلة جُزيئات عضوية

السلسلة المُتجانِسة	الصيغة الجُزيئية العامة	نهاية الاسم (اللاحقة)	الاسم	الصيغة البنائية
الألكانات/الألكان (alkanes)	C_nH_{2n+2}	ـان (-ane)	إيثان	
الألكينات/الألكين (alkenes)	C_nH_{2n}	ـين (-ene)	إيثين	
الكحولات/الكحول (alcohols)	$C_nH_{2n+1}OH$	ـول (-ol)	إيثانول	

الجدول ٤-٥ تسمية ثلاث سلاسل مُتجانِسة شائعة للمُركّبات العضوية

مصطلحات علمية

- **السلسلة المُتجانِسة Homologous series:** هي عائلة من المُركّبات العضوية:

تمتلك الصيغة العامة نفسها، وتختلف بوحدة صيغة $-CH_2-$ بين الصيغة الجُزيئية لمركّب لاحق والصيغة الجُزيئية لمركّب سابق. وتتشابه في الخصائص الكيميائية. وتُظهِر تغيُّرًا تدريجيًّا في الخصائص الفيزيائية مثل درجة الانصهار ودرجة الغليان، عند زيادة كتلتها المولية.

أسئلة

٤-٥ اكتب أسماء أوّل أربعة ألكانات وصيَغها الجُزيئية.

٤-٦ ارسم الصيغة البنائية لكل من: الميثان والبيوتان.

٤-٧ ارسم تمثيلا بيانيًّا لدرجات غليان أوّل ستّة ألكانات مُقابِل عدد ذرّات الكربون في الجُزيئات مُستخدِمًا بيانات الجدول ٤-٣. علِّق على الشكل والنمط المُوضّحَين في التمثيل البياني.

٤-٨ ما المصدر الطبيعي الرئيسي للميثان؟

٤-٩ يحترق البروبان في فائض من الأكسجين، اكتب:

أ. المعادلة اللفظية.

ب. المعادلة الكيميائية الرمزية الموزونة.

٤-١٠ ارسم مُخطّطًا لترتيب الإلكترونات في روابط الميثان يوضّح الإلكترونات الخارجية فقط.

٤-٢ الألكينات

الهيدروكربونات غير المُشبَعة

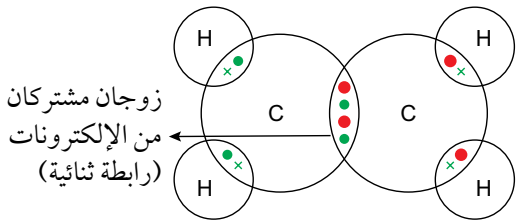
تؤدّي قابلية ذرّات الكربون لتشكيل روابط ثنائية إلى تكوُّن السلسلة المُتجانِسة المعروفة باسم **الألكينات Alkenes**. فالألكينات هي عائلة أخرى من الهيدروكربونات.

تمتلك الألكينات الصيغة العامة C_nH_{2n} (حيث يُمثّل n عدد ذرّات الكربون). وتُعدّ هذه الجُزيئات غير مُشبَعة لأن سلاسلها تحتوي على رابطة ثنائية يمكن أن تتكسر، ما يسمح بضمّ ذرّات إضافية إلى الجُزيء.

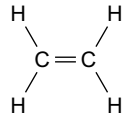
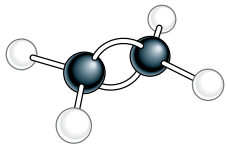
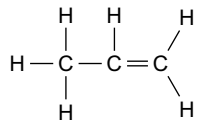
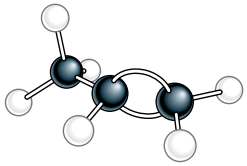
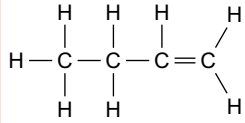
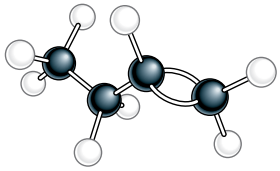
والألكين الأبسط يجب أن يحتوي على ذرَّتَي كربون لأنهما ضروريتان لتكوين رابطة ثنائية C=C واحدة. ويُسمّى هذا المُركّب **الإيثين Ethene** (الشكل ٤-١أ). ويوضّح الشكل (٤-١ب) أيضًا الصيَغ البنائية لأوّل ثلاثة ألكينات.

كذلك يبيّن الجدول (٤-٦) الصيَغ الجُزيئية لأوائل الألكينات. ومرّة أخرى، نُلاحظ ارتفاعًا تدريجيًّا في قيَم درجات غليان هذه المُركّبات كلّما أصبحت الجُزيئات أكبر.

(أ)



(ب)

الاسم	الصيغة	الشكل
إيثين		
بروبين		
بيوتين		

الشكل ٤-١ (أ) الترابُط في الإيثين، (ب) الصيَغ البنائية والنماذج الجُزيئية لأوّل ثلاثة ألكينات

مصطلحات علمية

- **الألكينات Alkenes:** مُركّبات هيدروكربونية غير مُشبَعة الجزئية، تحتوي جُزيئاتها على رابطة ثنائية C=C واحدة على الأقل في مكان ما في السلسلة، وتمتلك الصيغة العامة C_nH_{2n}. مع اسم ينتهي بـ «ين».

الألكين	الصيغة الجُزيئية C_2H_{2n}	عدد ذرّات الكربون	درجة الغليان (° C)		الحالة الفيزيائية عند درجة حرارة الغرفة
الإيثين	C_2H_4	2	-104	↓ ارتفاع درجة الغليان	غاز
البروبين	C_3H_6	3	-47		غاز
البيوتين	C_4H_8	4	-6		غاز
البنتين	C_5H_{10}	5	30		سائل

الجدول ٤-٦ بعض خصائص أوّل أربعة ألكينات

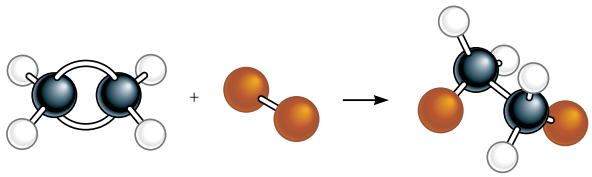
التفاعُلات الكيميائية للألكينات

تتشابه الألكينات والألكانات وهيدروكربونات أخرى عندما تحترق. فهي تطلق حرارة وثاني أكسيد الكربون وبخار الماء عند توفُّر كمّية كافية من الأكسجين، ومثال على ذلك تفاعُل احتراق الإيثين، كما في المعادلة الآتية:

ماء + ثاني أكسيد الكربون ⟶ أكسجين + إيثين

$$C_2H_4(g) + 3O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g) + 2H_2O(g)$$

ومع ذلك، تخضع الألكينات أيضًا لمدًى واسع من تفاعُلات كيميائية أخرى بسبب وجود الرابطة الثنائية C=C. وهذا ما يجعلها أكبر قيمة لاستخدامات أخرى بدلًا من حرقها كوقود. فوجود الرابطة الثنائية هو الذي يجعل الألكينات أكثر نشاطًا من الألكانات. وهذا ما يسمح بإضافة ذرّات أخرى إلى جُزيئات الهيدروكربون عن طريق كسر الرابطة الثنائية لتكوين رابطتَين أحاديتَين جديدتَين. ويطلَق على هذا النوع من التفاعُل، الذي تكسر فيه الرابطة الثنائية بإضافة ذرّتَين جديدتَين، اسم **تفاعُل الإضافة Addition reaction**. ففيه يتمّ تفاعل مادتَين معًا لتكوين مادة ناتجة واحدة فقط (الشكل ٤-٢).



الشكل ٤-٢ تفاعُل الإضافة

مصطلحات علمية

- **تفاعُل الإضافة Addition reaction:** تفاعُل يتم فيه دمج مادّتَين معًا لتكوين مادة ناتجة واحدة فقط، مثل التفاعُل بين الألكينات والبروم.

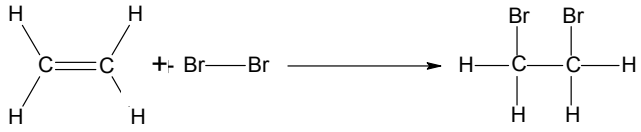
وفي ظروف مناسبة، يمكن إضافة جُزيئات مثل البروم والهيدروجين والماء (البخار) إلى الرابطة الثنائية C=C.

إضافة البروم

تتفاعل الألكينات بسهولة مع البروم عند درجة حرارة الغرفة والضغط القياسي. حيث تنكسر الرابطة الثنائية الموجودة في الألكين كالإيثين، وتكوّن رابطتين أحاديتَين جديدتَين مع ذرّتَي بروم. ويمكننا تمثيل هذا التفاعُل في هيئة معادلة لفظية ومعادلة رمزية موزونة، أو باستخدام الصيَغ الجُزيئية أو الصيَغ البنائية.

1،2- ثنائي بروميد إيثان ⟶ بروم + إيثين

$$C_2H_4(g) + Br_2(aq) \rightarrow C_2H_4Br_2(l)$$



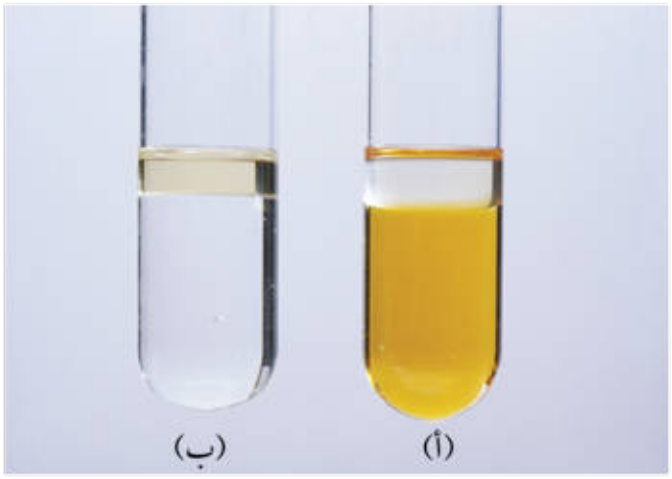
يُستخدم هذا التفاعُل الخاص كاختبار كيميائي للتمييز بين الهيدروكربونات غير المُشبَعة و الهيدروكربونات المُشبَعة.

فعند خلط أيّ مُركّب غير مشبع، مثل الإيثين، مع البروم الذائب في الماء أو في مُذيب عُضوي، ورجّه، يفقد محلول البروم لونه البرتقالي المائل إلى البنّي. وذلك بسبب أنّ البروم يتفاعل مع المُركّب غير المُشبَع، فتتمّ إزاحته من المحلول، وينتج عن ذلك مُركّب عديم اللون:

1،2- ثنائي بروميد إيثان ⟶ بروم + إيثين

عديم اللون — محلول برتقالي مائل إلى البني

في المقابل، لن يُظهِر مُركّب مُشبَع، مثل الألكان، أي تفاعُل مع محلول ماء البروم، وبالتالي سيبقى لون المحلول برتقاليًّا مائلًا إلى البنّي (الصورة ٤-٢).



الصورة ٤-٢ اختبار تحديد الهيدروكربونات غير المُشبَعة بماء البروم: (أ) لن يحدث تفاعُل مع الألكان
(ب) يحدث تفاعُل مع الألكين وينتج محلول عديم اللون

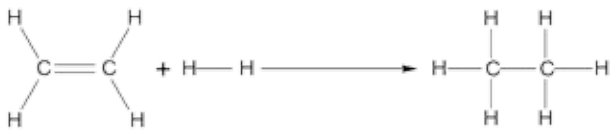
إضافة الهيدروجين

يُطلق على تفاعُل إضافة الهيدروجين إلى الرابطة الثنائية C=C تسمية **الهدرجة Hydrogenation**. فالإيثين، مثلًا، يتفاعل مع الهيدروجين عند تمرير هذَين الغازَين الساخنَين معًا فوق عامل حفّاز ساخن.

وينتج عن هذا التفاعُل الهيدروكربون المُشبَع، الإيثان، وفقًا للمعادلات الآتية:

$$\text{إيثان} \xrightarrow[\text{العامل الحفّاز، النيكل، } 150\text{–}300\ ^\circ\text{C}]{} \text{هيدروجين} + \text{إيثين}$$

$$C_2H_4(g) + H_2(g) \xrightarrow[\text{العامل الحفّاز، النيكل، } 150\text{–}300\ ^\circ\text{C}]{} C_2H_6(g)$$



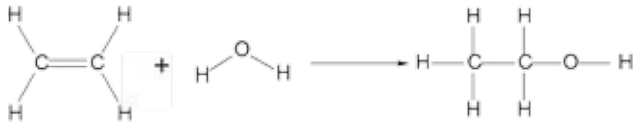
تُستخدم تفاعُلات الهدرجة المُماثلة للتفاعُل الذي يحدث مع الإيثين في تصنيع السمن من الزيوت النباتية غير المُشبَعة.

إضافة بخار الماء

تُستخدم عملية إضافة بخار الماء إلى الإيثين أو **تفاعُل تميُّه** الإيثين (الإماهة **Hydration**) في تصنيع الإيثانول. ويُعدّ الإيثانول مادة كيميائية صناعية مُهمّة ومذيبًا مُهمًّا أيضًا. ويتكوّن الإيثانول عند تمرير مخلوط من بخار الماء والإيثين عبر عامل حفّاز من حمض الفوسفوريك المُثبّت على حامل صلب (يتمّ التصاق جُزيئات الحمض على سطح حُبيبات سيليكا) عند درجة حرارة تساوي 300 °C وضغط مقداره 60 وحدة ضغط جوي:

$$\text{إيثانول} \xrightarrow[\text{60 وحدة ضغط جوي، } 300\ ^\circ\text{C}]{\text{العامل الحفّاز، حمض الفوسفوريك،}} \text{بخار الماء} + \text{إيثين}$$

$$C_2H_4(g) + H_2O(g) \xrightarrow[\text{60 وحدة ضغط جوي، } 300\ ^\circ\text{C}]{\text{العامل الحفّاز، حمض الفوسفوريك،}} C_2H_5OH(g)$$



وينتج عن هذا التفاعُل إيثانول ذو نقاوة عالية يُستخدم في الكيمياء العضوية الصناعية. وعلى الرغم من أن الإيثين والماء لا يتفاعلان معًا بشكل جيد، إلا أن الظروف المُستخدمة في التفاعُل من درجة حرارة وضغط مرتفعين وعامل حفّاز، هي عوامل بالغة الأهمّية للحصول على عائد مقبول من الإيثانول بوساطة هذا التفاعُل.

تذكَّر

عند إضافة جُزيء إلى ألكين، تذكَّر بأن ذرّات الجُزيء يجب أن تُضاف إلى ذرّتَي الكربون المشاركتَين في الرابطة الثنائية.

فخلال تفاعُل إضافة البروم إلى البروبين، مثلًا، يجب إضافة ذرّتَي البروم إلى ذرّتَي الكربون المشاركتَين في الرابطة الثنائية C=C **وليس** إلى أي من طرفَي السلسلة الكربونية للبروبين.



نشاط ٤-١

اختبار تحديد الهيدروكربونات غير المُشبَعة

المهارات:

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

يقارن هذا النشاط تفاعُل عدة ألكانات وألكينات سائلة مع ماء البروم. ويتمّ إثبات اختبار تحديد الهيدروكربونات غير المُشبَعة (اختبار اللاتشبُّع للهيدروكربونات).

المواد والأدوات والأجهزة

- أنابيب اختبار وحامل أنابيب اختبار
- سدادات مطاطية تناسب أنابيب الاختبار
- هكسان حلقي
- هكسين حلقي
- هكسان
- هكسين
- محلول ماء البروم (0.002 mol/L)

⚠
- **ضع النظّارة الواقية لحماية عينَيك.**
- **ارتد معطف المُختبر.**
- **البس القفّازَين الواقيَين عند الضرورة، أثناء إجراء هذه التجربة.**
- **اغسل يدَيك جيدًا عند انتهاء التجربة.**
- **الهيدروكربونات قابلة للاشتعال، تجنَّب اللهب المكشوف.**
- **ماء البروم مادة ضارة ومُهيّجة. لذا، تجنّب ملامسته للجلد ولا تتنشّق البخار. وإذا انسكب منه على يدَيك، اغسلهما على الفور.**
- **الهكسان الحلقي، الهكسين الحلقي، الهكسان، الهكسين، كلّها مواد سريعة الاشتعال.**

الطريقة

١ أنشئ جدول بيانات مناسبًا لتسجِّل فيه ملاحظاتك بدقّة.

٢ ضع عنوانًا لكل عيّنة من عيّنات الهيدروكربونات السائلة الأربع على النحو الآتي: A، B، C، D.

٣ ضع حوالي 4 mL من ماء البروم في أنبوبة اختبار، وأضف إليه 1 mL من أحد الهيدروكربونات السائلة. أغلق أنبوبة الاختبار بسدادة مطاطية، ورجّها بلطف لمدة دقيقة تقريبًا. لاحظ أي تغيير يحدث وسجّل ملاحظاتك في جدولك.

أسئلة

١ استخلص النتائج من جدول بياناتك واشرح الاختلافات التي لاحظتها في النشاط الكيميائي.

٢ حدِّد السلسلتَين المُتجانستَين المختلفتَين اللتَين ينتمي إليهما كلا الهكسان والهكسين.

٣ يحتوي كل من الهكسان والهكسين على ستّ ذرّات من الكربون. توقَّع الصيغة الجُزيئية لكلا الهيدروكربونين.

٤ بالنسبة لتفاعُل الهكسين مع البروم:

أ. اكتب المعادلة اللفظية.

ب. اكتب المعادلة الرمزية الموزونة، مستخدمًا الصيَغ الجُزيئية.

ج. ارسم الصيغة البنائية للمادة الناتجة.

أسئلة

٤-١١ اكتب أسماء أوّل ثلاثة ألكينات وصيَغها الجُزيئية.

٤-١٢ ارسم الصيَغ البنائية لكل من الإيثين والبيوتين.

٤-١٣ ماذا ينتج عند ضخ غاز الإيثين في ماء البروم؟

٤-١٤ اكتب المعادلة الرمزية الموزونة، مع رموز الحالة الفيزيائية، للتفاعُل بين البروبين وماء البروم.

٤-١٥ ارسم مُخطّطًا يبيّن ترتيب الإلكترونات في روابط الإيثين. بيّن الإلكترونات الخارجية فقط.

٤-١٦ اكتب المعادلة اللفظية والمعادلة الرمزية الموزونة لتفاعُل هدرجة الإيثين.

٤-١٧ ما العامل الحفّاز ومدى (نطاق) درجات الحرارة المستخدمان في تفاعُلات الهدرجة؟

٤-١٨ اكتب المعادلة اللفظية والمعادلة الرمزية الموزونة لتفاعُل تميُّه الإيثين.

٤-١٩ ما العامل الحفّاز ودرجة الحرارة والضغط المستخدمة في تفاعُل تميُّه الإيثين؟

٤-٢٠ تشارك الهيدروكربونات غير المُشبَعة في تفاعُلات الإضافة.

أ. باستخدام الصيَغ البنائية، اكتب معادلة للتفاعُل الذي يحدث بين البروبين وبخار الماء.

ب. باستخدام الصيَغ البنائية، اكتب معادلة للتفاعُل الذي يحدث بين البيوتين والبروم.

٤-٣ البترول (النفط الخام) وأنواع أخرى من الوقود الأحفوري

الوقود الأحفوري

يُعدّ البترول (النفط الخام) والفحم والغاز الطبيعي أمثلة على أنواع الوقود الأحفوري. لقد تكوّن الوقود الأحفوري في القشرة الأرضية من مواد عضوية كانت حيّة ذات يوم. حيث تكوّنت هذه الأنواع من الوقود عبر أطوار (أزمنة) جيولوجية (عدّة ملايين من السنين)، كنتيجة لموت الكائنات العضوية الحية وطمرها تحت الرواسب والصخور. وفي غياب الهواء، سبّبت البكتيريا تحلُّل تلك المواد وتفكُّكها. وقد أسهم طمر هذه المواد عميقًا داخل القشرة الأرضية، في تعرُّضها لدرجة حرارة وضغط مرتفعَين، فتحوّلت إلى أحد الأشكال الثلاثة للوقود الأحفوري. لذا، يُعدّ الوقود الأحفوري من الموارد غير المُتجدّدة والمحدودة.

توجد ثلاثة أنواع رئيسية من **الوقود الأحفوري Fossil fuel**، هي:

- **الفحم Coal**
- **النفط (البترول، الزيت الخام) Petroleum (crude oil)**
- **الغاز الطبيعي Natural gas**

يوجد النفط والغاز الطبيعي معًا في العادة، لأنهما تكوّنا من أجسام كائنات بحرية دقيقة. وتميل مكامن هذَين النوعَين من الوقود الأحفوري إلى الانتشار عبر صخور مسامّية مثل الحجر الرملي والحجر الجيري، ولكنّها تكون مُحتجَزة تحت طبقة من الصخور غير المسامّية.

تُبنى منصّات النفط فوق المكامن لاستخراج النفط والغاز الطبيعي من الحقل النفطي (الصورة ٤-٣).



الصورة ٤-٣ منصّة بترول (نفط خام) في الخليج العربي

وقد تكوّنت حقول النفط التي يحتوي عليها الخليج العربي وشمال أفريقيا وخليج المكسيك جميعها في العصر الطباشيري، المُمتدّ من 120 مليون سنة خلت إلى 75 مليون سنة. وتحتوي هذه الحقول على نصف احتياطيّات العالم المعروفة من النفط.

يتمّ حرق الوقود الأحفوري بشكل أساسي كوقود لإنتاج الحرارة وتزويد المَركَبات بالطاقة. وتُعدّ الهيدروكربونات النوع الرئيسي من مُركّبات الوقود الأحفوري. لذا، عندما يتعرّض الوقود الأحفوري للاحتراق الكامل في الهواء، سينتج عنه ثاني أكسيد الكربون والماء، إضافة إلى إطلاق الطاقة.

ويمكننا كتابة معادلة لفظية عامّة لوصف عملية احتراق وقود أحفوري على النحو الآتي:

ماء + ثاني أكسيد الكربون ⟶ أكسجين + هيدروكربون

فعلى سبيل المثال، تُكتب المعادلة اللفظية والمعادلة الرمزية الموزونة لاحتراق الهيدروكربون، البيوتان، وفقًا للآتي:

ماء + ثاني أكسيد الكربون ⟶ أكسجين + بيوتان

$$2C_4H_{10}(g) + 13O_2(g) \rightarrow 8CO_2(g) + 10H_2O(g)$$

مصطلحات علمية

- **الوقود الأحفوري Fossil fuel:** وقود كربوني تكوَّن تحت الأرض نتيجة تحلُّل مواد عضوية لبقايا كائنات حية، بتأثير درجة الحرارة والضغط المرتفعين، وبغياب الأكسجين على مدى أطوار (أزمنة) جيولوجية.

التقطير التجزيئي

يتكوّن النفط من مخلوط يحتوي على الكثير من الجُزيئات الهيدروكربونية المختلفة. ويتمّ استخدام معظم النفط المُستخرَج من الأرض لإنتاج الوقود، علمًا أنّ حوالي 10% منه يُستخدم كمواد خام، أو مواد أوّلية، للصناعات الكيميائية. ويتمّ قبل استخدامه فصل الجُزيئات الهيدروكربونية المُتنوّعة بالتكرير.

تتمّ عملية فصل الهيدروكربونات بوساطة **التقطير التجزيئي Fractional distillation** وذلك باستخدام عمود التجزئة (برج التجزئة) الموجود في مصفاة تكرير النفط. والتقطير التجزيئي هو عملية فصل للمُركّبات عن طريق تبخيرها ثم تكثيفها، حيث تُجمع المواد المُقطّرة في هيئة **مشتقّات Derivatives**.

ويحتوي كل مشتق مُستخرَج من النفط على مجموعات من الهيدروكربونات التي تمتلك درجات غليان تقع ضمن نطاق مُحدّد. حيث تختلف نطاقات درجات الحرارة باختلاف الأجزاء، وترتبط بعدد ذرّات الكربون الموجودة في الهيدروكربونات.

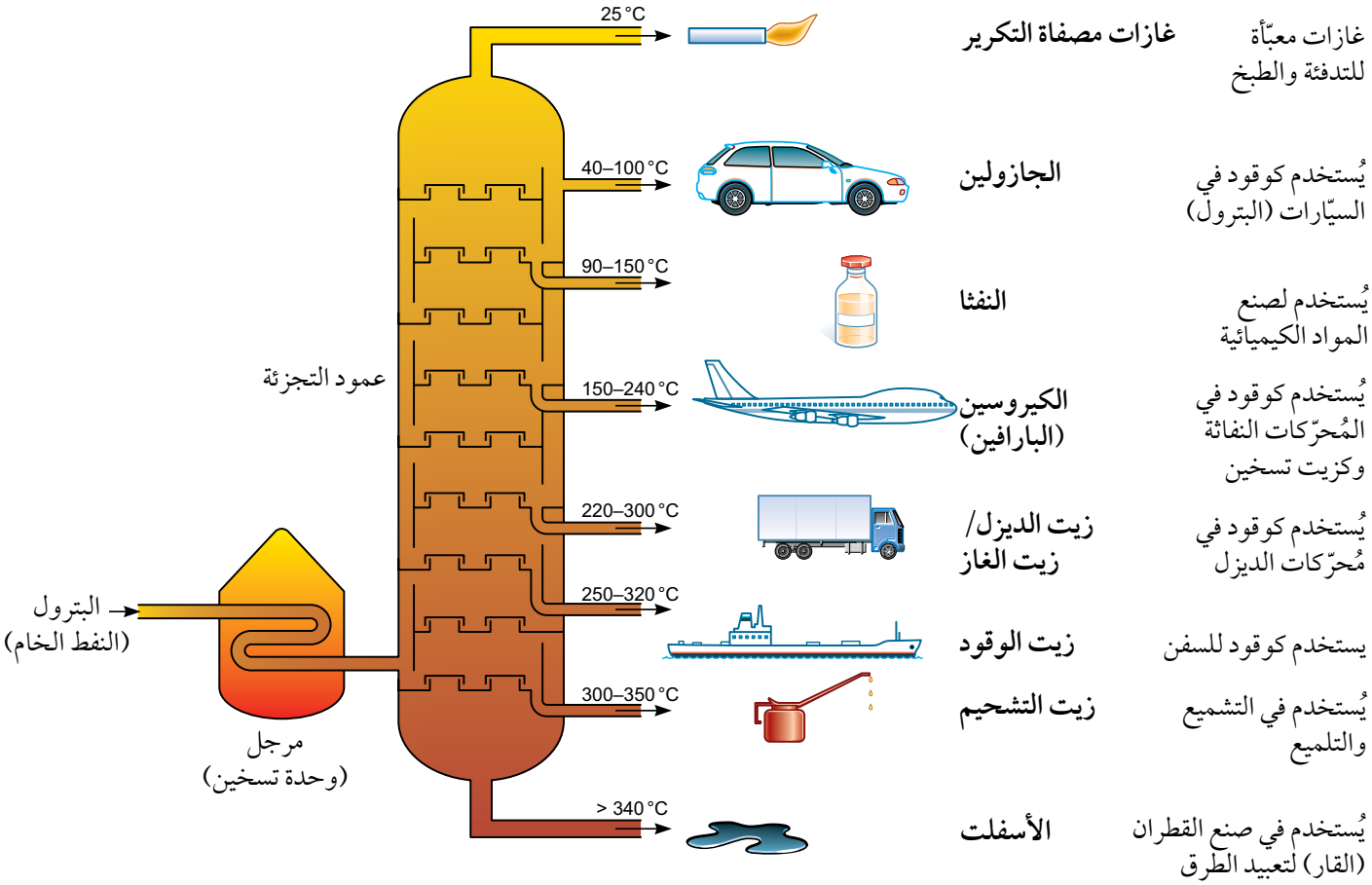
ففي بداية عملية التقطير التجزيئي، يُسخّن النفط إلى درجات حرارة تتراوح ما بين 350 °C و 400 °C، ثم يُضخ إلى قاعدة عمود التقطير. وبما أن النفط يغلي، فإنّ البخار يتصاعد عبر عمود التجزئة. فيمر عبر سلسلة من كبسولات التبخير «قبّعات الفقّاعات»، حيث يبرد البخار تدريجيًا كلما ارتفع أكثر نحو أعلى العمود. تبرد المشتقّات المختلفة وتتكثّف عند درجات حرارة مختلفة، على ارتفاعات مختلفة من عمود التجزئة. ثم تُجمع تلك المشتقّات المُتكثّفة في أوعية.

تُسمّى المشتقّات التي تخرج من قمّة العمود «بالخفيفة» وتلك التي تخرج من قاعدته تُسمّى «بالثقيلة». ويحتوي كل مشتق على عدد من الهيدروكربونات المختلفة. ويمكن بعد ذلك الحصول على هيدروكربونات مُنفردة بإجراء تقطير إضافي. يوضّح الشكل (٤-٣) عمليات الفصل إلى مشتقّات مختلفة وبعضًا من استخدامات تلك المشتقّات.

يبيّن الجدول (٤-٧) كل مشتق تمّ الحصول عليه من عملية التقطير التجزيئي للنفط والعدد التقريبي لذرّات الكربون في جُزيئاته، مع نطاق محدّد لدرجات الغليان (فمثلًا، يحتوي مشتقّ الجازولين، بنزين السيارات، على هيدروكربونات تتكوّن من 4 إلى 12 ذرّة كربون في الجُزيء). ويزداد متوسّط عدد ذرّات الكربون، أو طول السلسلة الكربونية، ضمن المشتقّات كلما نزلنا نحو أسفل عمود التجزئة، ويتوافق هذا الأمر مع ازدياد مدى درجات الغليان. فالمشتقّات التي تخرج من قمّة العمود تمتلك نطاقات درجات غليان مُنخفضة، مثل غازات مصافي التكرير والجازولين (بنزين السيارات)، فتتبخّر بسهولة نسبيًا، ويقال بأنها **قابلة للتطاير Volatility**. وهذا يعني أن قابلية تطايُر المشتقّات تقلّ كلما ازداد مدى درجات غليانها ونزلنا نحو أسفل عمود التجزئة.

تذكّر

ترتيب المشتقّات وفقًا لإنتاجها في عمود التجزئة، واستخدامات كل منها.



الشكل ٤–٣ التقطير التجزيئي في مصفاة تكرير النفط (عمود التجزئة)

المشتقّات	العدد التقريبي لذرّات الكربون في جُزيئات الهيدروكربونات		المدى التقريبي لدرجات الغليان (° C)
غازات مصفاة التكرير	1–4	C_1–C_4	أقل من 25
الجازولين (بنزين السيارات)	4–12	C_4–C_{12}	40–100
النفثا	7–14	C_7–C_{14}	90–150
الكيروسين (البارافين)	12–16	C_{12}–C_{16}	150–240
زيت الديزل/زيت الغاز	14–18	C_{14}–C_{18}	220–300
زيت الوقود	19–25	C_{19}–C_{25}	250–320
زيت التشحيم	20–40	C_{20}–C_{40}	300–350
الأسفلت	أكثر من 70	> C_{70}	أعلى من 350

ارتفاع درجة الغليان وازدياد اللزوجة وانخفاض قابلية التطايُر وقابلية الاشتعال

الجدول ٤–٧ مشتقّات نفطية مُتنوّعة

درسنا في الموضوع ٤-٢، أنّه عندما يزداد عدد ذرّات الكربون في جُزيء المُركّب، تزداد قوة التجاذُب بين جُزيئاته. وهذا يعني أن هناك حاجة إلى طاقة أكبر لفصل الجُزيئات. وبالتالي، فإن درجة غليان الهيدروكربون ترتفع دائمًا مع ازدياد طول السلسلة الكربونية. وفي حالة مشتقّات النفط، لن تكون لدينا درجات غليان مُحدّدة بل مدًى من درجات الغليان. وسبب ذلك أنّ المشتق الناتج من التقطير التجزيئي هو مخلوط من الهيدروكربونات وليس مادة نقية.

ويؤثّر طول السلسلة الكربونية أيضًا على الخصائص الأخرى. فكلما أصبحت السلاسل أطول، تصبح مشتقّات النفط أكثر **لزوجة Viscous** (أقلّ ميوعة). فعلى سبيل المثال، يتدفّق الجازولين (بنزين السيّارات) بسهولة كبيرة من المضخّة في محطة تعبئة الوقود إلى خزّان السيارة، في حين أن الأسفلت يكون كالقطران، وهو يتدفّق ببطء شديد. ويمكن تفسير ازدياد اللزوجة بازدياد حجم جُزيئات مُكوّنات مشتق التقطير، وبازدياد القوى بين-الجُزيئية الموجودة بين الجُزيئات الكبيرة. أضف إلى ذلك أن ازدياد طول السلسلة الكربونية، يجعل الجُزيئات أكثر تشابُكًا فتمنع بعضها البعض من التحرُّك بحرّية.

أخيرًا، وبسبب الانخفاض في قابلية التطايُر الناتج عن ازدياد طول السلسلة الكربونية، تصبح مشتقّات النفط أقلّ **قابلية للاشتعال Flammable** كلما نزلنا نحو أسفل عمود التجزئة. فكلّما ازداد عدد ذرّات الكربون في السلسلة الكربونية، يقل تبخُّر الجُزيئات الموجودة في المشتقّ، وبالتالي يقلّ البخار الهيدروكربوني الذي سيختلط بأكسجين الهواء. فالجازولين (بنزين السيّارات) مثلًا، يكوّن بخارًا سريع الاحتراق. ولهذا السبب تُمنَع جميع أنواع اللهب المكشوف في محطّات الوقود؛ أضف إلى ذلك أنّ غازات مصفاة التكرير تكون أكثر قابلية للاشتعال، لأن هذا المشتق هو فعلًا في الحالة الغازية. أما الأسفلت فهو غير مُتطايِر ومن الصعب جدًّا أن يشتعل. لكنه عندما يحترق، فإنه يشتعل مع تكوّن لهب دخاني كثيف جدًّا، لأن هذا النوع من الهيدروكربونات لا يحترق بسهولة أو بشكل كامل.

ويكون لجميع هذه الخصائص الفيزيائية دور تؤدّيه في تحديد استخدام مشتقّات النفط. فالجازولين (بنزين السيارات) مثلًا سائل يمكن تخزينه أو صبّه بسهولة، ويمكن أيضًا إشعاله بسرعة وسهولة. لذلك يُعدّ مثاليًّا كوقود للسيارات. أما الأسفلت فهو لزج جدًّا ومن الصعب إشعاله، ممّا يجعله خيارًا جيدًا لتعبيد الطرق (الشكل ٤-٣).

نشاط ٤-٢

تقطير تجزيئي للبترول (النفط الخام)

المهارات:

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

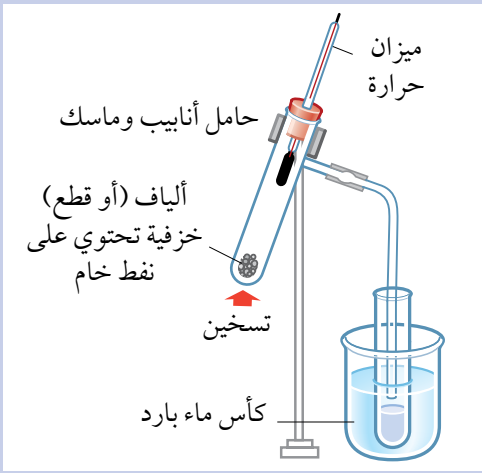
يحاكي هذا النشاط العملي في المختبر التقطير التجزيئي الصناعي للبترول.

المواد والأدوات والأجهزة

- شاشة واقية
- موقد بنزن
- حصيرة مُقاومة للحرارة
- أنبوبة اختبار ذات ذراع جانبي
- حامل أنابيب وماسك
- أنبوبة توصيل معوجّة مع رباط مطاطي
- أنبوبة عيّنات صغيرة (عدد 4، قياس 20 mm × 5 mm كحدّ أدنى أو أنبوبة اختبار صغيرة)
- ميزان حرارة (ثرمومتر) 0 – 360 °C ، مع سدادة من الفلين لأنبوبة اختبار ذات ذراع جانبي
- ماصّة قطّارة
- كأس زجاجية سعة 100 mL
- زجاج ساعة صلد (borosilicat)
- ألياف (أو قطع) خزفية أو معدنية
- أعواد ثقاب
- (بديل) البترول (النفط الخام)

نشاط ٤-٢

- ⚠ **ضع النظّارة الواقية لحماية عينَيك.**
- **ارتدِ معطف المُختبر.**
- **البس القفّازَين الواقيَين عند الضرورة، أثناء إجراء هذه التجربة.**
- **اغسل يدَيك جيدًا عند انتهاء التجربة.**
- **البترول و(بديل البترول) النفط الخام مواد ضارّة وقابلة للاشتعال بشدّة. لذا تجنّب ملامستها للجلد ولا تتنشّق أبخرتها.**
- **نفّذ هذا النشاط العملي في قاعة جيدة التهوئة.**



الطريقة

١ ضع حوالي 4-5 mL من الألياف الخزفية في قاع أنبوبة اختبار ذات ذراع جانبي. ثم أضف إليها حوالي 6 mL من البترول مُستخدِمًا ماصّة قطّارة.

٢ حضّر الجهاز كما هو مبيّن في المُخطّط. وضع شاشة واقية بينه وبين الطلاب. ينبغي أن يكون خزّان ميزان الحرارة (الثرمومتر) على مستوى الذراع الجانبي لأنبوبة الاختبار أو أدنى منه بقليل. سخّن أسفل أنبوبة الاختبار بلطف، مُستخدمًا أخف لهب لموقد بنزن. راقب ميزان الحرارة بعنايَة.

٣ عندما تبلغ درجة الحرارة 100 °C، استبدل أنبوبة الجمع بأخرى فارغة، وهنا لا تعود كأس الماء ضرورية ويمكن استبعادها.

٤ اجمع ثلاثة مشتقّات أخرى، لتحصل على المشتقّات على النحو الآتي:

أ. من درجة حرارة الغرفة إلى 100 °C

ب. من 100 °C إلى 150 °C

ج. من 150 °C إلى 200 °C

د. من 200 °C إلى 250 °C

٥ ستبقى فضلات سوداء اللون في أنبوبة الاختبار ذات الذراع الجانبي. اختبر المشتقّات الأربعة من حيث اللون واللّزوجة (لاحظ مدى سهولة صبّها) وقابلية اشتعالها.

لاختبار قابلية الاشتعال، اسكب كمّية قليلة من السائل على زجاجة ساعة (من الزجاج الصلد) وأشعلها بوساطة عود ثقاب مشتعل.

٦ احتفظ بمجموعة من المشتقّات، ولاحظ أنها تندمج معًا لتكوين مخلوط يشبه إلى حدّ بعيد العيّنة الأصلية.

النتائج

صمِّم جدولًا لتسجيل النتائج. ينبغي أن يحتوي الجدول على مدى درجات حرارة الغليان لكل مشتق ولونه ولزوجته وقابليته للاشتعال.

أسئلة

١ وضّح الهدف من استخدام كل من الأدوات الآتية في التجربة:

أ. الألياف (أو القطع) الخزفية .

ب. ميزان الحرارة وموقعه في أنبوبة الاختبار.

ج. استخدام كأس الماء البارد لجمع المشتقّ الأول.

٢ حدّد المخاطر، ووضّح احتياطات الأمن والسلامة الواجب اتّخاذها خلال إجراء هذا النشاط العملي.

٣ أجر بحثًا واقترح جهازًا بديلًا يمكن استخدامه لإجراء عملية التقطير التجزيئي في هذا النشاط العملي.

٤ ما النمط الذي تلاحظه في ألوان المشتقّات التي جُمعت؟

٥ ما الاختلافات التي لاحظتها في لزوجة المشتقّات؟ وما الخاصّية الجُزيئية التي تقترحها كسبب يؤدّي إلى هذه الاختلافات؟

٦ ما الاختلافات التي لاحظتها في قابلية الاشتعال بين هذه المشتقّات؟

٧ ما الاستنتاجات التي يمكنك التوصُّل إليها حول اللّزوجة وقابلية الاشتعال ودرجة الغليان المحتملة للبقايا السوداء التي بقيت في أنبوبة الاختبار ذات الذراع الجانبي؟

٨ أجر بحثًا عن نطاقات درجات الغليان لمشتقّات النفط الفعلية وعدد ذرّات الكربون التي تحتوي عليها جُزيئاتها. أي مشتقّات نفطية فعلية تتطابق بشكل وثيق مع المشتقّات الناتجة في هذا النشاط العملي؟



الصورة ٤-٤ يختلف الطلب الاقتصادي على مختلف المشتقّات النفطية وفقًا لاستخداماتها

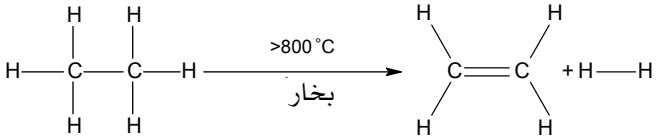
التكسير الحراري

لا يتطابق الطلب على مشتقّات مُحدّدة من مصفاة تكرير النفط بالضرورة مع ما تُوفّره عملية التقطير التجزيئي للنفط (الصورة ٤-٤). ذلك أنّ المشتقّات الخفيفة مثل الجازولين (بنزين السيّارات)، يكون الطلب عليها أكبر من العرض (من الكمّية المتوفرة). والعكس صحيح بخصوص المشتقّات الثقيلة، مثل الديزل والكيروسين (البارافين). ويمكن تكسير الجُزيئات الكبيرة الموجودة في هذه المشتقّات الثقيلة إلى جُزيئات أصغر، وأكبر قيمة. تُسمّى هذه العملية **التكسير الحراري Thermal cracking**.

تتمّ عملية التكسير الحراري عند درجات حرارة مرتفعة، لأن الطاقة ضرورية لتكسير الروابط، ويصبح ممكنًا تكسير جُزيئات كبيرة إلى جُزيئات أصغر. يمكن مثلًا تكسير الإيثان (وهو من غازات مصافي التكرير) إلى إيثين وهيدروجين. ويتمّ توفيرالحرارة اللازمة لهذا التفاعُل عن طريق البخار عند درجة حرارة تزيد على 800 °C. ويمكن توضيح ذلك عن طريق المعادلة اللفظية والمعادلة الرمزية الموزونة على النحو الآتي:

$$\text{إيثان} \xrightarrow{\text{بخار، } > 800\ ^\circ\text{C}} \text{إيثين} + \text{هيدروجين}$$

$$C_2H_6(g) \xrightarrow{\text{بخار، } > 800\ ^\circ\text{C}} C_2H_4(g) + H_2(g)$$



يمكننا من هذا المثال، ملاحظة أن رابطتَين أحاديّتَين C-H في جُزيء الإيثان قد كُسِرتا، وتكوّنت بدلاً منهما رابطة ثنائية بين ذرّتَي الكربون، ونتج ألكين هو (الإيثين في هذا المثال). أما ذرّتا الهيدروجين اللتان فقدهما الإيثان، فقد اتّحدتا لتكوين جُزيء هيدروجين.

ويمكن خفض درجة الحرارة اللازمة لعملية التكسير الحراري باستخدام عامل حفّاز. ففي المُفاعِل الضخم، تدخل مشتقّات الهيدروكربونات وتُخلط مع مسحوق العامل الحفّاز الذي يتكوّن عادة من معادن مثل السيليكا والألومينا والزيولايت عند درجة حرارة أدنى، حوالي 500 °C (الصورة ٤-٥). أمّا الأبخرة الخارجة من المُفاعل فتحتوي على الجُزيئات الصغيرة الناتجة عن عملية التكسير الحراري.



الصورة ٤-٥ وحدة تكسير حراري في مصفاة ميناء الفحل لتكرير النفط في سلطنة عُمان

ويمكن توضيح مثال على ذلك في تفاعُل التكسير الحراري الآتي، والذي يتضمّن الديكان ($C_{10}H_{22}$)، وهو هيدروكربون موجود في مشتق النفثا:

ديكان $\xrightarrow[\text{عامل حفّاز: الزيولايت}]{\text{تقريبًا 500 °C}}$ إيثين + بروبين + بنتان

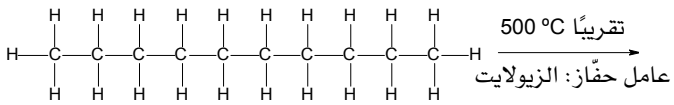
$$C_{10}H_{22}(g) \xrightarrow[\text{عامل حفّاز: الزيولايت}]{\text{تقريبًا 500 °C}} C_5H_{12}(g) + C_3H_6(g) + C_2H_4(g)$$

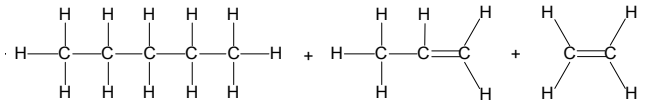
نرى في هذه المعادلة، أن التفاعُل قد أنتج ألكانًا أصغر، هو البنتان. وهذا الهيدروكربون مطلوب أكثر بكثير من الديكان، ويوجد عادة في مشتق الجازولين. ويمكن بالتالي خلطه مع مشتق الجازولين لإثراء وقود السيّارات. أما المُركّبان الصغيران الآخران اللذان نتجا فهما من الألكينات: الإيثين والبروبين. وكلاهما مفيدان كمواد أوّلية لصنع العديد من المُنتجات المُهمّة. فعلى سبيل المثال، يُستخدم الإيثين الناتج لصنع الإيثانول، وكلا الألكينَين يُستخدمان لصُنع المواد البلاستيكية: البولي (إيثين) والبولي (بروبين).

وتوضّح المعادلات أعلاه تفاعُلاً واحدًا فحسب من التفاعُلات التي يمكن أن تحدث عند تكسير الديكان حراريًا. فجُزيء الديكان لا ينكسر دائمًا في الموقع نفسه من سلسلته الكربونية. وبالتالي لا يكون مشتق الألكين الناتج دائمًا الإيثين أو البروبين، ويمكن أن ينتج عن تكسير الديكان هيدروكربونات أخرى مثل الهكسان والبيوتين بدلًا من البنتان والبروبين والإيثين، وفقًا لما هو موضّح أدناه:

ديكان $\xrightarrow[\text{عامل حفّاز: الزيولايت}]{\text{تقريبًا 500 °C}}$ بيوتين + هكسان

$$C_{10}H_{22}(g) \xrightarrow[\text{عامل حفّاز: الزيولايت}]{\text{تقريبًا 500 °C}} C_6H_{14}(g) + C_4H_8(g)$$





ينتج عن تفاعُلات التكسير الحراري جميعها:

- **ألكان** له سلسلة أقصر من سلسلة الألكان الأصلي، و**ألكين** له سلسلة قصيرة.
- أو **ألكين** واحد أو أكثر و**هيدروجين**.

مثال ٤-١

اكتب المعادلة الرمزية الموزونة لتكسير الهيدروكربون، الأوكتان (C_8H_{18})، حيث يتكوّن فقط ألكين واحد ومادة ناتجة أخرى واحدة.

للإجابة عن هذا السؤال نحتاج أوّلًا إلى فهم أن تكسير الألكان C_8H_{18} سينتج عنه ألكين وألكان أصغر.

يمكننا اقتراح أن الألكين الناتج هو الإيثين الذي يحمل الصيغة C_2H_4. وهذا يعني أننا عندما نفقد ذرّتَي كربون و 4 ذرّات هيدروجين من الصيغة C_8H_{18}، سوف يبقى لدينا 6 ذرّات كربون و 14 ذرّة هيدروجين تعطينا الصيغة الجُزيئية C_6H_{14}. لذا، يمكن أن تُكتب المعادلة الرمزية الموزونة على النحو الآتي:

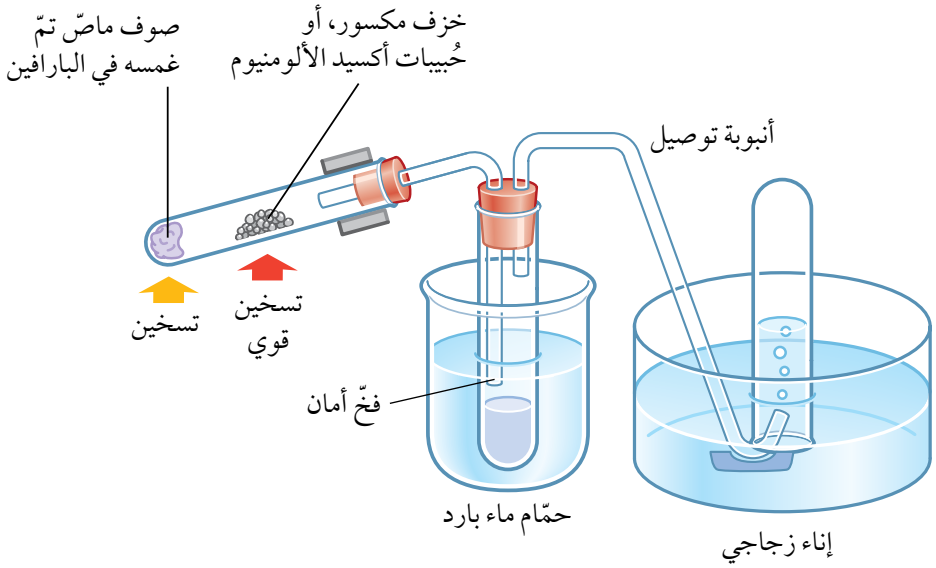
$$C_8H_{18}(g) \rightarrow C_2H_4(g) + C_6H_{14}(g)$$

وكحل بديل، يمكننا اقتراح أن الألكين الناتج هو البروبين، وصيغته C_3H_6. وهذا يعني أننا عندما نفقد 3 ذرّات كربون و6 ذرّات هيدروجين من الصيغة C_8H_{18}، سوف يبقى لدينا 5 ذرّات كربون و12 ذرّة هيدروجين، والتي يمكن أن تعطينا الصيغة الجُزيئية C_5H_{12}. لذا، يمكننا الحصول على إجابة بديلة ومقبولة وفقًا للمعادلة الرمزية الموزونة الآتية:

$$C_8H_{18}(g) \rightarrow C_3H_6(g) + C_5H_{12}(g)$$

وهكذا يجب، عند التعامُل مع معادلة كيميائية لعملية تكسير حراري، أن تتأكّد من أنها موزونة، أي أن يكون عدد ذرّات الكربون والهيدروجين على طرفَي المعادلة هو نفسه.

ويمكن إجراء تفاعُل التكسير الحراري على مقياس أصغر في المختبر، باستخدام زيت البارافين في الجهاز المبيّن في الشكل (٤-٤).



الشكل ٤-٤ التكسير الحراري لألكان ذي سلسلة طويلة في المختبر

نشاط ٤-٣

التكسير الحراري للهيدروكربونات

المهارات:

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

يرتبط التركيب الدقيق للنفط بمصدره، إلاّ أن معظم النفط يحتوي على جُزيئات هيدروكربونية كبيرة أكثر من الجُزيئات الصغيرة، والتي تُعدّ أكثر مردودًا، وبالتالي تكون أكثر أهمّية من الناحية الاقتصادية. لما لها دور في زيادة القيمة الاقتصادية لبرميل النفط. يتمّ تكسير الهيدروكربونات الكبيرة إلى هيدروكربونات أصغر. يتضمّن هذا النشاط تجربة على مقياس صغير لعملية التحويل هذه، التي يتمّ تنفيذها في الصناعة يوميًا.

مصطلحات علمية

- **التكسير الحراري Thermal cracking:** تفكُّك هيدروكربونات ذات سلاسل طويلة إلى ألكانات وألكينات ذات سلاسل أقصر أو هيدروجين.

أسئلة

٤-٢١ سمِّ **ثلاثة** أنواع من الوقود الأحفوري.

٤-٢٢ رتّب المشتقّات الآتية وفقًا لارتفاع درجات غليانها: زيت الديزل، الجازولين، غازات مصافي التكرير، الأسفلت، النفثا.

٤-٢٣ اذكر استخدامًا واحدًا للمشتقّات الآتية الناتجة عن تقطير البترول: الأسفلت، زيت الديزل، الجازولين، النفثا.

٤-٢٤ اشرح المقصود بعملية «التكسير الحراري». اكتب المعادلة اللفظية والمعادلة الرمزية الموزونة لتوضّح كيف يمكن أن يتكوّن الإيثين ومادة ناتجة أخرى من تكسير الهكسان (C_6H_{14}).

ملخّص

ما يجب أن تعرفه:

- الكربون يكوّن مجموعة واسعة ومُتنوّعة من المُركّبات، وأن دراسة خصائصها تُسمّى الكيمياء العضوية.
- الهيدروكربونات هي أبسط أنواع المُركّبات العضوية وتتكوّن فقط من عنصرَي الكربون والهيدروجين.
- الهيدروكربونات يمكن تكون إما مُشبَعة (حيث تكون الروابط جميعها أحادية)، أو غير مُشبَعة (حيث تحتوي على روابط ثنائية أو ثلاثية بالإضافة إلى الروابط الأحادية).
- في السلاسل المُتجانسة (العائلات):

تُعدّ الألكانات هيدروكربونات مُشبَعة، وتُعدّ الألكينات هيدروكربونات غير مُشبَعة، أما الكحولات فهي سلسلة تحتوي على مجموعة O–H– مرتبطة بالسلسلة الكربونية.

- الهيدروكربونات تحترق في فائض من الأكسجين لتُنتج ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء.
- الألكانات هي وقود مُهمّ وأن الميثان، الأبسط بين الألكانات، هو المُكوّن الرئيسي للغاز الطبيعي.
- الكشف البسيط للهيدروكربونات غير المُشبَعة هو أنه يزيل لون ماء البروم.
- الألكينات تشارك في تفاعُلات الإضافة مع البروم والهيدروجين وبخار الماء.
- الأنواع الثلاثة الرئيسية للوقود الأحفوري هي الفحم والبترول (النفط الخام) والغاز الطبيعي.
- توفّر هذه الموارد الطاقة عندما تُحرق كوقود، ولكن يمكن أيضًا تحويلها إلى مجموعة واسعة ومتنوّعة من المواد الكيميائية.
- التقطير التجزيئي للنفط يوفّر مجموعات من المشتقّات الهيدروكربونية المختلفة، وكل منها له استخداماته الخاصة.
- يمكن تحويل هذه المشتقّات الهيدروكربونية عن طريق عمليات مثل التكسير الحراري، لإنتاج جُزيئات ألكانات ذات سلاسل أقصر وألكينات، انطلاقًا من سلاسل أساسية أطول.

أسئلة نهاية الوحدة

١ هنالك مُركّبات كثيرة تحتوي على عنصر الكربون أكثر من تلك التي تحتوي على أي عنصر آخر.

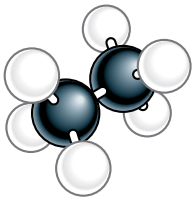
أ. اذكر **ثلاثة** أسباب تُفسِّر قدرة الكربون على تكوين مُركّبات أكثر من أي عنصر آخر.

ب. ١. وضّح المقصود بمصطلح الهيدروكربون المُشبَع.

٢. ارسم الصيغة البنائية لجُزيء الميثان.

٣. ما المصدر الرئيسي للميثان؟

٢ يبيّن الشكل المقابل نموذجًا جُزيئيًّا لأحد الألكانات.



أ. ما اسم هذا الألكان؟

ب. ما صيغته الجُزيئية؟

ج. هذا الهيدروكربون هو الألكان الثاني.

١. ما الصيغة العامة للألكانات؟

٢. اذكر اسم المُركّب الرابع في عائلة الألكانات، وصيغته الجُزيئية.

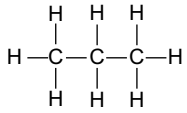
د. ارسم مخطّط الترابُط (بالنقاط والخطوط) لهذا الألكان (مبيّنًا فقط الإلكترونات الخارجية للذرّات المشارِكة).

هـ. تختلف درجات غليان الألكانات باختلاف حجم الجُزيئات. صف كيف تتأثّر درجة الغليان بحجم الجُزيئات واشرح هذا التغيير.

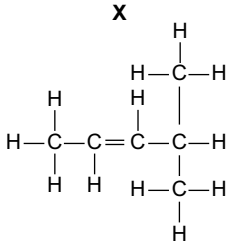
٣ **أ.** الإيثين غاز عديم اللون وهو جُزيء هيدروكربوني.

تُمثّل التراكيب الآتية الصيَغ البنائية لأربعة جُزيئات هيدروكربونية: **W**، **X**، **Y**، **Z**.

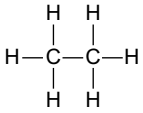
W



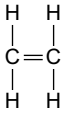
X



Y



Z



١. أي من الصيَغ البنائية **W** أو **X** أو **Y** أو **Z** يُمثّل جُزيء الإيثين؟

٢. اشرح أي من الصيَغ البنائية **W** أو **X** أو **Y** أو **Z** يُمثّل جُزيئات غير مُشبَعة.

٣. صف اختبارًا لتوضيح أنّ أحد الغازات هو هيدروكربون غير مُشبَع مثل الإيثين، و**ليس** هيدروكربونًا مُشبَعًا.

ب. تنتمي المُركّبات الثلاثة **A** و **B** و **C** إلى ثلاث سلاسل مُتجانِسة مختلفة.

C_2H_4	C_2H_6	C_2H_5OH
A	**B**	**C**

١. ما المقصود بمصطلح السلسلة المُتجانِسة؟

٢. إلى أي سلسلة مُتجانِسة ينتمي كل من المُركّبات أعلاه؟

٣. كيف يمكن تحويل المُركّب **A** إلى المُركّب **B** كيميائيًّا؟

٤. كيف يمكن تحويل المُركّب **A** إلى المُركّب **C** كيميائيًّا؟

٤ البترول (النفط الخام) مخلوط من الهيدروكربونات.

وهناك عمليتان يتمّ تنفيذهما في مصفاة تكرير النفط: التقطير التجزيئي للنفط والتكسير الحراري لبعض مشتقّات الهيدروكربونات الناتجة من التقطير.

أ. أي من الخصائص الآتية تُستخدم لفصل هيدروكربونات النفط إلى مشتقّاتها؟

درجة الغليان **التوصيل الكهربائي** **النشاط الكيميائي** **درجة الانصهار**

ب. انسخ ثم طابق بين مشتقّات التقطير في العمود الأيمن واستخداماتها في العمود الأيسر. تمّت مُطابقة مشتق التقطير الأوّل للتوضيح.

الأسفلت	وقود لتدفئة المنازل
زيت الديزل	تعبيد الطرق
غازات مصافي التكرير	وقود للسيارات
الجازولين	صناعة المواد الكيميائية
النفثا	وقود للشاحنات

ج. يُستخدم التكسير الحراري لتفكيك الألكانات ذات السلاسل الطويلة إلى ألكانات ذات سلاسل قصيرة وألكينات.

١. اذكر **شرطَين** لازمَين لحدوث عملية التكسير الحراري.

٢. يمكن تكسير الهيدروكربون، $C_{14}H_{30}$، لإنتاج الإيثين وهيدروكربون آخر.
أكمل معادلة هذا التفاعُل:

$$C_{14}H_{30} \rightarrow C_2H_4 + \text{.....}$$

٣. ارسم الصيغة البنائية الكاملة للإيثين مبيّنًا الذرّات والروابط جميعها.

د. يوجد البروبان في غازات مصافي التكرير وهو يحترق بسرعة في الهواء. اكتب معادلة رمزية موزونة لهذا التفاعُل.

هـ. يُستخدم الإيثين لصنع الإيثانول.

١. أي من المواد الآتية ضروري لهذا التفاعُل؟

الأمونيا **الهيدروجين** **الأكسجين** **بخار الماء**

٢. حمض الفوسفوريك هو عامل حفّاز لهذا التفاعُل، ما الذي تفهمه من مُصطلح العامل الحفّاز؟

٣. ارسم الصيغة البنائية للإيثانول مُبيّنًا الذرّات والروابط جميعها.

مصطلحات علمية

الاحتراق Combustion: تفاعُل مادَّة مع الأكسجين يُؤدّي إلى انبعاث طاقة حرارية. (ص ٨٤)

الاختزال Reduction: تفاعُل يتمّ فيه نزع الأكسجين من مُركّبه. (ص ٢٧)

الإزاحة (الإحلال) Displacement: تفاعُل تتمّ فيه إزاحة فلزّ من مركّبه ليحلّ محلّه فلزّ آخر أكثر نشاطًا. (ص ٢٧)

إعادة التدوير Recycling: عملية يتمّ فيها صهر مادة استُخدمت سابقًا، ويُعاد تشكيلها لاستخدامها من جديد. (ص ٣٧)

الألكانات Alkanes: مُركّبات هيدروكربونية مُشبَعة. تحتوي جُزيئاتها على روابط أحادية فقط بين ذرّات الكربون في السلسلة، وتمتلك الصيغة العامة C_nH_{2n+2} مع اسم ينتهي بـ «آن». (ص ٨٣)

الإلكترونات غير المُتمركزة Delocalised electrons: إلكترونات لا تنتمي إلى ذرّة واحدة مُحدّدة، وتتحرَّك بحرّية بين الذرّات. (ص ١٦)

الألكينات Alkenes: مُركّبات هيدروكربونية غير مُشبَعة الجزئية، تحتوي جُزيئاتها على رابطة ثنائية C=C واحدة على الأقل في مكان ما في السلسلة، وتمتلك الصيغة العامة C_nH_{2n} مع اسم ينتهي بـ «ين». (ص ٨٦)

الأيون Ion: جُسَيم ذو شحنة كهربائية، ينتج عند فقد ذرّة إلكترونًا واحدًا أو أكثر، فتكون شحنته موجبة، أو تكسب إلكترونًا واحدًا أو أكثر فتكون شحنته سالبة. (ص ١٥)

البترول (النفط الخام) Petroleum (crude oil): وقود أحفوري سائل لزج يتكوّن من مخلوط هيدروكربونات مُتعدّدة ذات سلاسل بأطوال مختلفة. (ص ٩٠)

التآكل Corrosion: تغيُّر كيميائي يطرأ على فلز ما نتيجة تفاعله مع الهواء أو الماء أو حمض أو مواد أخرى، يؤدي الى تلفه. (ص ٤٥)

التركيز Concentration: يقصد به كمّية مادة ذائبة (المذاب) في حجم مُعيّن من محلول. يُعبَّر عن التركيز بوحدة g/L (التركيز الكتلي) أو بوحدة mol/L (التركيز المولي). (ص ٦٩)

تفاعُل الإضافة Addition reaction: تفاعُل يتم فيه دمج مادّتَين معًا لتكوين مادة ناتجة واحدة فقط، مثل التفاعُل بين الألكينات والبروم. (ص ٨٧)

التقطير التجزيئي Fractional distillation: عملية فصل مُكوّنات مخلوط سائل عن طريق تبخيرها ثم تكثيفها، وفقًا لاختلاف درجات غليانها. (ص ٩١)

التكافؤ Valency:

التكافؤ في الرابطة التساهُمية:

هو عدد الروابط الأحادية التي يمكن لذرّات عُنصر ما أن تُكوِّنها.

التكافؤ في الرابطة الأيونية:

هو عدد الإلكترونات التي تفقدها ذرّة الفلزّ فتصبح أيونًا موجبًا، (وهو يساوي قيمة الشحنة الموجبة لذلك الأيون)

أو:

هو عدد الإلكترونات التي تكسبها ذرَّة اللافلزّ فتصبح أيونًا سالبًا (وهو يساوي قيمة الشحنة السالبة لذلك الأيون). (ص ١٨)

التكسير الحراري Thermal cracking: تفكُّك هيدروكربونات ذات سلاسل طويلة إلى ألكانات وألكينات ذات سلاسل أقصر أو هيدروجين. (ص ٩٧)

التميُّه (أو إضافة جُزيئات الماء إلى مُركّب ما) Hydration: تفاعُل يُضاف فيه الماء إلى بلورات مُركّب صلب ما، ويؤدّي إلى تكوّن بلّورات ذات تركيب وخصائص مختلفة نسبيًّا عن المُركَّب غير المُميَّه anhydrous، وتُطلق على المُركّب المُميّه تسمية الهيدرات hydrate. (ص ٨٨)

ثابت أفوجادرو Avogadro constant: عدد الجُسيمات في مول واحد ويُساوي 6.02×10^{23} (1 mol). (ص ٥٩)

الجلفنة Galvanising: طريقة كيميائية لمنع صدأ جسم مُكوّن من الحديد أو الفولاذ، بتغطيته بفلزّ أكثر نشاطًا، كالخارصين، ليتفاعل عوضًا عنه. (ص ٤٦)

الحاجز العازل Barrier method: طريقة فيزيائية لمنع صدأ جسم من الحديد أو الفولاذ من خلال تغطيته بمادة كالطلاء أو الزيت أو البلاستيك أو فلزّ ذي نشاط كيميائي مُنخفض. (ص ٤٦)

الحجم المولي Molar volume: الحجم الذي يشغله مول واحد من غاز؛ وهو يساوي 24 L عند درجة حرارة الغرفة والضغط القياسي. (ص ٦٥)

الحماية المهبطية بالتضحية Sacrificial (cathodic) protection: طريقة كيميائية لحماية الأجسام المصنوعة من الحديد أو الفولاذ من تكوُّن الصدأ، وذلك من خلال وضع قطعة صغيرة من فلزّ أكثر نشاطًا كالماغنيسيوم أو الخارصين. (ص ٤٦)

الخام Ore: صخور تحتوي على معادن غير نقية تُستخرج من القشرة الأرضية. (ص ٣٦)

الرابطة الفلزّية Metallic bonding: قوة كهروستاتيكية قوية بين الأيونات الموجبة وبحر الإلكترونات المُتحرّكة التي تحيط بها، وهي تؤمّن تماسُك الشبكة الفلزية. (ص ١٦)

السبيكة Alloy: مخلوط يتكوَّن على الأقلّ من فلزَين أو من فلز ولافلز، وذلك لتحسين الخصائص الفيزيائية. (ص ٣٩)

السلسلة المُتجانِسة Homologous series: هي عائلة من المُركّبات العضوية:

تمتلك الصيغة العامة نفسها، وتختلف بوحدة صيغة – CH_2 – بين الصيغة الجُزيئية لمركَّب لاحق والصيغة الجُزيئية لمركَّب سابق. وتتشابه في الخصائص الكيميائية. وتُظهِر تغيُّرًا تدريجيًّا في الخصائص الفيزيائية مثل درجة الانصهار ودرجة الغليان، عند زيادة كتلتها المولية. (ص ٨٦)

سلسلة النشاط الكيميائي Reactivity series: قائمة ترتيب للفلزّات وفقًا لنشاطها الكيميائي. (ص ٢٣)

الشبكة Lattice: تركيب بنائي ذو ترتيب مُنتظم للذرّات أو الأيونات أو الجُزيئات. (ص ١٦)

الصدأ Rusting: الاسم الذي يُطلق على عملية تآكل الحديد، حيث تكون المادة الناتجة مُركّبًا يتّخذ شكل رقائق ذات لون بنّي محمّر، ويمتلك الصيغة $Fe_2O_3.xH_2O$ (أكسيد الحديد III المائي). (ص ٤٥)

الصفر (النحاس الأصفر) Brass: سبيكة تتكون من فلزَّي النحاس والخارصين. (ص ٤٤)

الصيغة البنائية Structural formula: صيغة كيميائية تصف كيفية ترتيب الذرات وإرتباطها داخل الجزيء، وغالبًا ما يتم رسمها لتوضيح الروابط التساهُمية بين الذرّات. (ص ٨٣)

الصيغة الجُزيئيّة Molecular formula: صيغة كيميائية توضّح عدد الذرات الموجودة في الجُزيء ونوعها. (ص ٨٣)

الصيغة العامة General formula: صيغة كيميائية تنطبق على جميع مُركّبات سلسلة متجانسة، ويمكن استخدامها للتنبؤ بالصيغة الجُزيئية للمُركّب. (ص ٨٣)

العامل الحفّاز Catalyst: مادة تزيد معدَّل سرعة تفاعُل كيميائي دون أن تُستهلَك في نهاية التفاعُل. (ص ١٩)

عملية الأكسجين الأساسية Basic oxygen process: هي عملية تصنيع الفولاذ من الحديد غير النقي باستخدام ضخّ عالي السرعة من الأكسجين لحرق الكربون وشوائب أخرى. (ص ٤١)

العنصر الانتقالي Transition element: واحد من عناصر التجمُّع التي تقع بين المجموعتين II و III من الجدول الدوري، وتمتلك خصائص فلزية نموذجية، ولكنّها تكوّن أيضًا مُركّبات ملوّنة وأيونات ذات شحنات مختلفة، ولها خصائص محفزة. (ص ١٧)

الغاز الطبيعي Natural gas: وقود أحفوري غازي يتكوّن من غاز الميثان. (ص ٩٠)

الفائض Excess: وجود كمّية من مادة متفاعلة أكثر مما هو مطلوب في التفاعُل ، وبالتالي يبقى بعضها دون تفاعُل. (ص ٦٣)

الفحم Coal: وقود أحفوري صلب يتكوّن من مُركّبات عضوية تحوي نسبة عالية من الكربون. (ص ٩٠)

الفرن العالي Blast furnace: فرن يستخدم فحم الكوك (الكربون) والحجر الجيري وانبعاثات من الهواء الساخن لاختزال أكسيد الفلزّ إلى فلزّه النقي. (ص ٣٩)

الفلزّ الطبيعي النقي Native metal: فلزّ غير نشط يوجد في القشرة الأرضية كعنصر غير مُرتبط بعناصر أخرى. (ص ٣٥)

الفلزّ القلوي Alkali metal: فلزّ نشط كيميائيًّا ينتمي إلى المجموعة I من الجدول الدوري، وهو يتفاعل مع الماء ليكوِّن محلولاً قلويًّا. (ص ١٩)

الفولاذ Steel: سبيكة من الحديد مع نسبة قليلة من الكربون (تصل إلى 2%) ؛ يحتوي الفولاذ الليّن على أقلّ من 0.25% من الكربون. (ص ٣٩)

الفولاذ المُقاوم للصدأ Stainless steel: سبيكة من مخلوط الحديد مع الكربون والكروم والنيكل، تكون قوية ومقاومة للتآكُل. (ص ٤٢)

قابلية الاشتعال Flammability: هي مدى سهولة اشتعال أو احتراق مادة ما. (ص ٩٣)

قابلية التطايُر Volatility: الخاصّية الفيزيائية التي تصف مدى سهولة تبخُّر سائل ما، أو مدى انخفاض درجة غليانه. (ص ٩١)

قابلية الطرق Malleability: الخاصّية الفيزيائية التي تصف قابلية مادة صلبة للطرق، أو للّف بسهولة في أشكال مختلفة. (ص ١٦)

قانون أفوجادرو Avogadro's law: ينصّ على أنّ أي غاز يحتوي على العدد نفسه من الجسيمات عند درجة حرارة وضغط ثابتَين. (ص ٦٥)

القوى بين جُزيئية Intermolecular forces: قوى ترابُط ضعيفة بين الجُزيئات. (ص ٨٣)

اللزوجة Viscosity: الخاصِّية الفيزيائيَّة التي تصف مدى سهولة تدفُّق مادة سائلة أو انسكابها. (ص ٩٣)

الكتلة الجُزيئية النسبية Relative molecular mass (M_r): هي حاصل جمع الكتل الذرّية النسبية للعناصر الموجودة في جُزيء المادة، أو في وحدة الصيغة لمادة ما. (ص ٥٥)

الكتلة الذرّية النسبية Relative atomic mass (A_r): هي متوسّط كتل ذرّات العنصر التي توجد في الطبيعة وفقًا لمقياس تكون فيه كتلة ذرّة الكربون–12 مساوية تمامًا لـ 12 وحدةً كتلة ذرّية (و.ك.ذ) (ص ٥٤)

كتلة الصيغة النسبية Relative formula mass (M_r): هي حاصل جمع الكتل الذرّية النسبية للعناصر الموجودة في الصيغة الكيميائية للمادة. (ص ٥٥)

الكتلة المولية Molar mass: كتلة مول واحد من مادة ما؛ بوحدة قياس g/mol. (ص ٦٠)

الكحول Alcohols: سلسلة من المُركّبات العضوية التي تحتوي على المجموعة الوظيفية OH– وينتهي اسمها بـ «ول». (ص ٨٥)

الكيمياء العضوية Organic chemistry: كيمياء الجُزيئات التي تحتوي على الكربون. (ص ٨١)

المادة المتفاعلة المحدِّدة للتفاعُل Limiting reactant: هي المادة المتفاعلة بكمّية أقلّ والتي تحدّد كمّية النواتج وتنتهي أوّلًا عند إجراء التفاعُل. (ص ٦٣)

المحلول القياسي Standard solution: مخلوط مُتجانس من مذاب ومذيب يكوّنان محلولاً بتركيز معروف. (ص ٧١)

مشتقّات النفط Derivatives (of oil): مخاليط من هيدروكربونات تمتلك سلاسل ذات أطوال متشابهة ودرجات غليان تقع ضمن مدى معيّن، وتُفصل المُشتقّات عن النفط الخام بالتقطير التجزيئي؛ ويختلف استخدام كل مُشتقّ وفقًا للزوجته وقابليته للتطايُر والاشتعال. (ص ٩١)

المُعايرة Titration: طريقة لتحديد تركيز محلول ما استنادًا إلى حجمه وتركيز وحجم محلول آخر يتفاعل معه؛ يتمّ قياس الحجوم باستخدام ماصّة وسحاحة. (ص ٧٢)

المعدن Mineral: عنصر أو مُركّب غير عضوي يوجد بشكل طبيعي في القشرة الأرضية. (ص ٣٦)

الموصِّل الكهربائي Electrical conductor: مادة توصِّل الكهرباء ولكنها لا تتغيّر كيميائيًّا خلال هذه العملية. (ص ١٧)

المول Mole: كمّية من مادة تحتوي على 6.02×10^{23} ذرّة أو جُزيء أو وحدة صيغة (وفقًا لطبيعتها). (ص ٥٩)

النظائر Isotopes: ذرّات للعنصر نفسه، تمتلك نفس عدد البروتونات، لكنّها تختلف في عدد النيوترونات. (ص ٥٤)

الهدرجة Hydrogenation: تفاعُل يُضاف فيه الهيدروجين إلى مُركّب. (ص ٨٨)

الهيدروكربون Hydrocarbon: مُركّب يحتوي فقط على الكربون والهيدروجين. (ص ٨٣)

الهيدروكربون غير المُشبَع Unsaturated hydrocarbon: مُركّب لا تكون فيه جميع الروابط بين ذرّات الكربون أحادية، بل تتخلّلها رابطة (أو روابط) ثنائية أو ثلاثية. (ص ٨٣)

الهيدروكربون المُشبَع Saturated hydrocarbon: مُركّب تكون فيه جميع الروابط بين ذرّات الكربون أحادية. (ص ٨٣)

الهيماتيت Hematite: خام أكسيد الحديد III (Fe_2O_3) الذي يُستخلص منه الحديد. (ص ٣٩)

الوقود الأحفوري Fossil fuel: وقود كربوني تكوَّن تحت الأرض نتيجة تحلُّل مواد عضوية لبقايا كائنات حية، بتأثير درجة الحرارة والضغط، وبغياب الأكسجين على مدى أطوار (أزمنة) جيولوجية. (ص ٩١)

الجدول الدوري للعناصر

المجموعة III	المجموعة IV	المجموعة V	المجموعة VI	المجموعة VII	المجموعة VIII
					2 He Helium هيليوم 4
5 B Boron بورون 11	6 C Carbon كربون 12	7 N Nitrogen نيتروجين 14	8 O Oxygen أكسجين 16	9 F Fluorine فلور 19	10 Ne Neon نيون 20
13 Al Aluminium ألومنيوم 27	14 Si Silicon سيليكون 28	15 P Phosphorus فوسفور 31	16 S Sulfur كبريت 32	17 Cl Chlorine كلور 35.5	18 Ar Argon أرغون 40
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 هولميوم 165	68 Er Erbium إيربيوم 167	69 Tm Thulium ثوليوم 169	70 Yb Ytterbium إيتربيوم 173	71 Lu Lutetium لوتيشيوم 175
95 Am Americium أميرسيوم –	96 Cm Curium كوريوم –	97 Bk Berkelium بيركيليوم –	98 Cf Californium كاليفورنيوم –	99 Es Einsteinium إينشتاينيوم –	100 Fm Fermium فيرميوم –	101 Md Mendelevium ماندليفيوم –	102 No Nobelium نوبيليوم –	103 Lr Lawrencium لاورنسيوم –

المفتاح

a =	العدد الذري
X =	الرمز
b =	الكتلة الذريّة النسبية

a
X
الاسم
b

	المجموعة I	المجموعة II						
الدورة 1								1 H Hydrogen هيدروجين 1
الدورة 2	3 Li Lithium ليثيوم 7	4 Be Beryllium بريليوم 9						
الدورة 3	11 Na Sodium صوديوم 23	12 Mg Magnesium ماغنيسيوم 24						
الدورة 4	19 K Potassium بوتاسيوم 39	20 Ca Calcium كالسيوم 40	21 Sc Scandium سكانديوم 45	22 Ti Titanium تيتانيوم 48	23 V Vanadium فناديوم 51	24 Cr Chromium كروم 52	25 Mn Manganese منغنيز 55	26 Fe Iron حديد 56
الدورة 5	37 Rb Rubidium روبيديوم 86	38 Sr Strontium سترونشيوم 88	39 Y Yttrium إيتريوم 89	40 Zr Zirconium زيركونيوم 91	41 Nb Niobium نيوبيوم 93	42 Mo Molybdenum موليبدنوم 96	43 Tc Technetium تكنيشيوم –	44 Ru Ruthenium روثينيوم 101
الدورة 6	55 Cs Caesium سيزيوم 133	56 Ba Barium باريوم 137	La to Lu	72 Hf Hafnium هافنيوم 178	73 Ta Tantalum تانتالوم 181	74 W Tungsten تنغستن 184	75 Re Rhenium رينيوم 186	76 Os Osmium أوزميوم 190
الدورة 7	87 Fr Francium فرانسيوم –	88 Ra Radium راديوم –	Ac to Lr					

57 La Lanthanum لانثانوم 139	58 Ce Cerium سيريوم 140	59 Pr Praseodymium برازيوديميوم 141	60 Nd Neodymium نيوديميوم 144	61 Pm Promethium بروميثيوم –	62 Sm Samarium ساماريوم 150
89 Ac Actinium أكتينيوم –	90 Th Thorium ثوريوم –	91 Pa Protactinium بروتاكتينيوم –	92 U Uranium يورانيوم –	93 Np Neptunium نبتونيوم –	94 Pu Plutonium بلوتونيوم –

شكر وتقدير

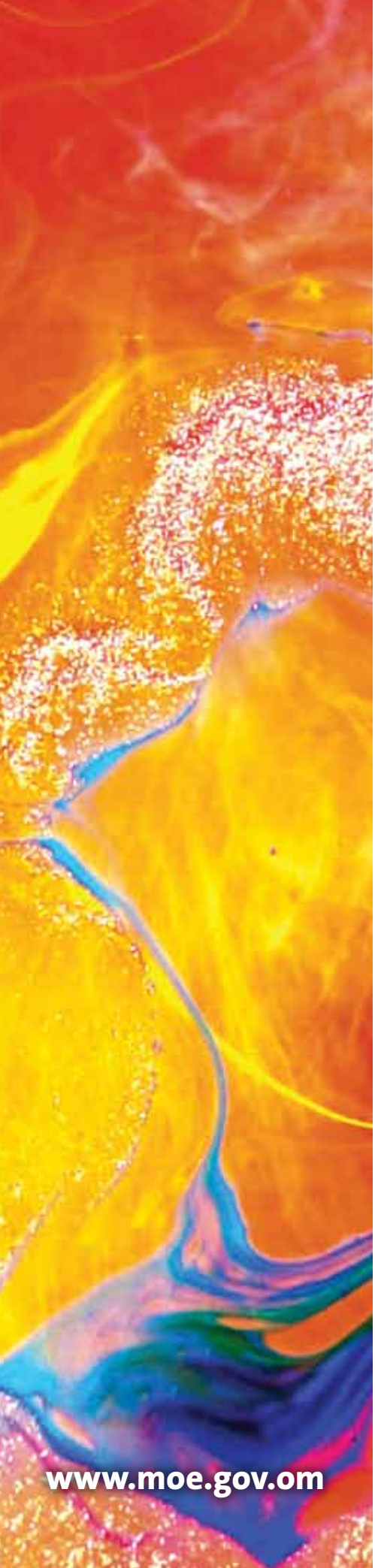
يتوجه المؤلفون والناشرون بالشكر الجزيل إلى جميع من منحهم حقوق استخدام مصادرهم أو مراجعهم. وبالرغم من رغبتهم في الإعراب عن تقديرهم لكل جهد تم بذله، وذكر كل مصدر تم استخدامه لإنجاز هذا العمل، إلا أنه يستحيل ذكرها وحصرها جميعًا. وفي حال إغفالهم لأي مصدر أو مرجع فإنه يسرهم ذكره في النسخ القادمة من هذا الكتاب.

Tom Lau/Getty Images; MARTYN F. CHILLMAID/SCIENCE PHOTO LIBRARY (x2), ANDREW LAMBERT PHOTOGRAPHY/SCIENCE PHOTO LIBRARY (x2), CHARLES D. WINTERS/SCIENCE PHOTO LIBRARY, Ministry of Education, Oman, dpa picture alliance / Alamy Stock Photo, CHARLES D. WINTERS/ SCIENCE PHOTO LIBRARY (x2), ROSENFELD IMAGES LTD/SCIECNE PHOTO LIBRARY, Richard Harwood, VvoeVale/iStock/Getty Images Plus/Getty Images (x3), Chris Mellor/Lonely Planet Images/Getty Images, Comstock/Getty Images, Science Photo Library / Alamy Stock Photo, Ministry of Education, Oman, Aldo Pavan/Getty Images, Ministry of Education, Oman, ANDREW LAMBERT PHOTOGRAPHY/SCIENCE PHOTO LIBRARY, Evannovostro/ Shutterstock, PAUL RAPSON/SCIENCE PHOTO LIBRARY, Tim Wright/Alamy Stock Photo



رقم الإيداع: ٢٠٢١/٣٩٥٠

مزون للطباعة والنشر والتغليف (ش.م.م) - ٢٤٨١٥٦٩٣



الكيمياء

كتاب الطالب ١٠

يزخر كتاب الطالب بالعديد من الموضوعات مع شرح واضح وسهل لكل المفاهيم المتضمنة في هذه الموضوعات، ويقدِّم أنشطة ممتعة لاختبار مدى فهم الطلاب.

يتضمن كتاب الطالب:

- أنشطة عملية في كل وحدة، لمساعدة الطلاب على تطوير مهاراتهم العملية.
- أسئلة عن كل موضوع لتعزيز الفهم.
- مصطلحات علمية رئيسية موضَّحة في الوحدات، فضلاً عن قاموس للمصطلحات يرد في آخر الكتاب.
- أسئلة في نهاية كل وحدة من شأنها تأهيل الطلاب لخوض الاختبارات.

إجابات الأسئلة مُتضمَّنة في دليل المعلّم.

يشمل منهج الكيمياء للصف العاشر من هذه السلسلة أيضًا:

- كتاب النشاط
- دليل المُعلِّم

ISBN 978-99969-4-720-9

9 789996 947209 >

www.moe.gov.om