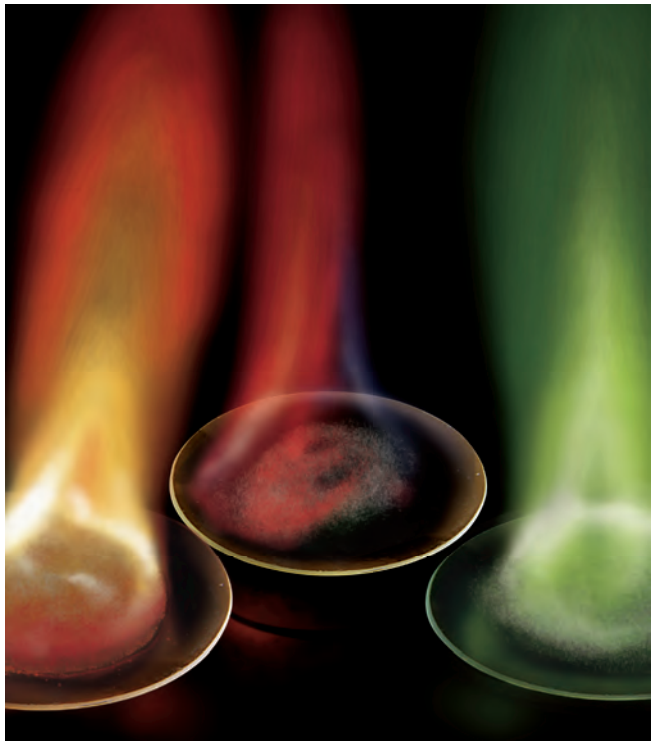
وزارة التربية والتعليم
Ministry of Education
المملكة العربية السعودية

الكيمياء

الصف الأول الثانوي - الفصل الدراسي الثاني



McGraw Hill Education

العبيكان Obeikan

قررت وزارة التربية والتعليم بالمملكة العربية السعودية
تدريس هذا الكتاب وطبعه على نفقتها

طبعة ١٤٣٥ هـ - ٢٠١٤م

يوزع مجانًا ولا يباع

Original Title:

Chemistry

Matter and Change

By:
Thandi Buthelezi
Cheryl Wistrom
Nicholas Hainen
Laurel Dingrando
Dinah Zike

الكيمياء

أعدَّ النسخة العربية : شركة العبيكان للتعليم

التحرير والمراجعة والمواءمة
موسى عطا الله الطراونه
ناصر بن محمد بن طرجم الدوسري
عمر سليم دعباس

التعريب والتحرير اللغوي
نخبة من المتخصصين

إعداد الصور
د. سعود بن عبدالعزيز الفراج

الإشراف
د. أحمد محمد رفيع

المشرف على لجان المراجعة
د. محمد بن عبد الله الزغيبي

المراجعة والاعتماد النهائي
عبدالعزيز بن محمد السالم

www.macmillanmh.com

McGraw Hill Education

العبيكان Obeikan

English Edition Copyright © 2008 the McGraw-Hill Companies, Inc.
All rights reserved.

Arabic Edition is published by Obeikan under agreement with
The McGraw-Hill Companies, Inc. © 2008.

حقوق الطبعة الإنجليزية محفوظة لشركة ماجروهل©، ٢٠٠٨م.

الطبعة العربية: مجموعة العبيكان للاستثمار
وفقًا لاتفاقيتها مع شركة ماجروهل© ٢٠٠٨م/ ١٤٢٩هـ.

لا يسمح بإعادة إصدار هذا الكتاب أو نقله في أي شكل أو واسطة، سواءً أكانت إلكترونية أو ميكانيكية، بما في ذلك التصوير بالنسخ «فوتوكوبي»، أو التسجيل، أو التخزين و الاسترجاع، دون إذن خطي من الناشر.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

المقدمة

بِسْمِ اللهِ الرَّحْمنِ الرَّحيمِ

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين، وعلى آله وصحبه أجمعين، وبعد:

يأتي اهتمام المملكة بتطوير المناهج الدراسية وتحديثها في إطار الخطة العامة للمملكة، وسعيها إلى مواكبة التطورات العالمية على مختلف الصعد.

ويأتي كتاب الكيمياء للصف الأول الثانوي بجزأيه الأول والثاني في إطار مشروع تطوير تدريس الرياضيات والعلوم الطبيعية في المملكة، الذي يهدف إلى إحداث تطور نوعي في تدريس هاتين المادتين، بحيث يكون الطالب فيهما هو محور العملية التعليمية التعلمية.

والكيمياء فرع من العلوم الطبيعية يتعامل مع بنية المادة ومكوناتها وخصائصها النشطة. ومن ذلك السوائل التي نشربها، والغازات التي نتنفسها، والمواد التي يتكون منها جهازنا الخلوي، وطبيعة الأرض تحت أقدامنا. كما تهتم الكيمياء بدراسة جميع التغيرات والتحولات التي تطرأ على المادة. فالنفط الخام يحوَّل بطرائق كيميائية إلى منتجات نفطية قابلة للاستخدام، كما أنَّ بعض المنتجات النفطية تحوَّل إلى مواد بلاستيكية. والمواد الخام المعدنية يستخلص منها الفلزات التي تستخدم في الكثير من الصناعات الدقيقة، وفي صناعة السيارات والطائرات. والأدوية المختلفة تستخلص من مصادر طبيعية، ثم تفصل وتركب في مختبرات كيميائية. ويتم في هذه المختبرات تعديل مواصفات هذه الأدوية لتتوافق مع المواصفات الصيدلانية، وتلبي متطلبات الطب الحديث.

وقد جاء هذا الكتاب في خمسة فصول هي: مقدمة في الكيمياء، والمادة – الخواص والتغيرات، والمادة – تركيب الذرة، والتفاعلات الكيميائية، والمول.

وقد جاء تنظيم وبناء محتوى كتاب الطالب بأسلوب مشوق، وبطريقة تشجع الطالب على القراءة الواعية والنشطة، وتسهل عليه بناء أفكاره وتنظيمها، وممارسة العلم كما يمارسه العلماء من خلال إتاحة الفرص المتعددة للطالب لممارسة الاستقصاء العلمي بمستوياته المختلفة، المبنيّ والموجّه والمفتوح. يبدأ كل فصل من فصول الكتاب بالفكرة العامة التي تقدم صورة شاملة عن محتواه. ثم ينفذ الطالب "التجربة الاستهلالية" التي تساعد على تكوين نظرة شاملة عن محتوى الفصل. وتمثل التجربة الاستهلالية أحد أشكال الاستقصاء (المبنيّ)، كما تتيح في نهايتها ممارسة شكل آخر من أشكال الاستقصاء (الموجّه) من خلال سؤال الاستقصاء المطروح. وتتضمّن النشاطات التمهيدية للفصل إعداد مطوية تساعد على تلخيص أبرز الأفكار والمفاهيم التي سيتناولها الفصل. وهناك أشكال أخرى من الأنشطة الاستقصائية التي يمكن تنفيذها في أثناء دراسة المحتوى، ومنها مختبرات تحليل البيانات، أو حل المشكلات، أو التجارب العملية السريعة، أو مختبر الكيمياء، الذي يرد في نهاية كل فصل، ويتضمّن استقصاءً مفتوحًا في نهايته.

تقسم فصول الكتاب إلى أقسام، يتضمّن كلٌّ منها في بدايته ربطًا بين المفردات السابقة والمفردات الجديدة، وفكرةً رئيسةً مرتبطة مع الفكرة العامة للفصل. كما يتضمّن القسم أدواتٍ أخرى تساعد على تعزيز فهم المحتوى، منها ربط المحتوى مع واقع الحياة، أو مع العلوم الأخرى، وشرحًا وتفسيرًا للمفردات الجديدة التي تظهر مظلّلة باللون الأصفر، وأمثلة محلولة يليها مسائل تدريبية تعمق معرفة الطالب بمحتوى المقرر واستيعاب المفاهيم والمبادئ العلمية الواردة فيه. ويدعم عرض المحتوى في الكتاب مجموعة من الصور والأشكال والرسوم التوضيحية المختارة والمعدة بعناية لتوضيح المادة العلمية، وتعزيز فهم مضامينها. ويتضمّن الكتاب مجموعة من الشروح والتفسيرات، تقع في هوامش الكتاب، منها ما يتعلق بالمهن، أو التمييز بين الاستعمال العلمي والاستعمال الشائع لبعض المفردات، وبعضها إرشادات للتعامل مع المطوية التي يعدها الطالب في بداية كل فصل.

وقد وظفت أدوات التقويم الواقعي في التقويم بمراحله وأغراضه المختلفة: القبليّ، والتشخيصيّ، والتكوينيّ (البنائيّ) والختاميّ (التجميعيّ)؛ إذ يمكن توظيف الصورة الافتتاحية في كل فصل والأسئلة المطروحة في التجربة الاستهلالية بوصفها تقويمًا قبليًّا تشخيصيًّا لسبر واستكشاف ما يعرفه الطلاب عن موضوع الفصل. ومع التقدم في دراسة كل جزء من المحتوى يُطرح سؤالٌ تحت عنوان "ماذا قرأت؟"، وتجد تقويمًا خاصًّا بكل قسم من أقسام الفصل يتضمّن أفكار المحتوى وأسئلةً تساعد على تلمس جوانب التعلّم وتعزيزه، وما قد يرغب الطالب في تعلمه في الأقسام اللاحقة. وفي نهاية الفصل يأتي دليل مراجعة الفصل متضمنًا تذكيرًا بالفكرة العامة والأفكار الرئيسة والمفردات الخاصة بأقسام الفصل، وخلاصة بالمفاهيم الرئيسة التي وردت في كل قسم. يلي ذلك تقويم الفصل والذي يشمل أسئلة وفقرات متنوعة تستهدف تقويم تعلّم الطالب في مجالات عدة، هي: إتقان المفاهيم، وحل المسائل، والتفكير الناقد، ومهارات الكتابة في الكيمياء، وتحليل المستندات المتعلقة بنتائج بعض التقارير أو البحوث العلمية، بالإضافة إلى فقرات خاصة بالمراجعة العامة، والمراجعة التراكمية. كما يتضمن الكتاب في نهاية كل فصل اختبارًا مقننًا يتضمن أسئلة وفقرات اختبارية تسهم في إعداد الطلاب للاختبارات الوطنية والدولية، بالإضافة إلى تقويم تحصيلهم في الموضوعات التي سبق دراستها.

ويرافق هذا الكتابَ دليلٌ للتجارب العملية، يهدف إلى تطوير مهارات الاستقصاء العلمي لدى الطلاب، وتنمية الاتجاهات الإيجابية لديهم نحو العلم والعلماء. وقد تمت الإشارة إلى هذه التجارب في المتن، ليتم تنفيذها بشكلٍ يتكامل مع محتوى الكتاب.

واللهَ نسأل أن يحقق الكتاب الأهداف المرجوة منه، وأن يوفق الجميع لما فيه خير الوطن وتقدمه وازدهاره.

قائمة المحتويات

الفصل 4

التفاعلات الكيميائية 10

4–1 التفاعلات والمعادلات..... 12

4–2 تصنيف التفاعلات الكيميائية 23

4–3 التفاعلات في المحاليل المائية..... 33

كيف تعمل الأشياء؟: ظاهرة التألق الحيوي 43

دليل مراجعة الفصل 45

تقويم الفصل 46

اختبار مقنن 50

الفصل 5

المول 52

5–1 قياس المادة 54

5–2 الكتلة والمول 60

5–3 مولات المركبات. 68

5–4 الصيغة الأولية والصيغة الجزيئية 76

5–5 صيغ الأملاح المائية 86

الكيمياء والحياة: التاريخ في كأس ماء 90

دليل مراجعة الفصل 92

تقويم الفصل 94

اختبار مقنن 98

المصطلحات 101

الجدول الدوري 104

كيف تستفيد من كتاب الكيمياء؟

هـذا الكتـاب ليس كتابًا أدبيًّا أو رواية خيالية، بل يصف أحداثًا وأفكارًا من واقع حياة الناس، وتطبيقات تقنية؛ لذا فأنت تقرؤه طلبًا للعلم والمعلومات. وفيما يلي بعض الأفكار والإرشادات التي تساعدك على قراءته:

قبـل أن تقـرأ

اقرأ كلًّا من الفكرة العامة و الفكرة الرئيسة والتجربة الاستهلالية ؛ فهي تـزودك بنظرة عامـة تمهيديـة لهذا الفصل.

لـكل فصـل الفكرة العامة تقدم صـورة شـاملة عنه. ولـكل قسـم مـن أقسـام الفصـل الفكرة الرئيسة تدعـم فكرته العامة.

يبـدأ كل فصـل بتجربـة اسـتهلالية تقدم المـادة التي يتناولها. نفذ التجربة الاستهلالية، لتكتشف المفاهيم التي سيتناولها الفصل.

لتحصل على رؤية عامة عن الفصل

- اقرأ عنوان الفصل لتتعرّف موضوعاته.
- تصفّح الصور والرسوم والتعليقات والجداول.
- ابحـث عـن المفـردات البـارزة والمظللـة باللـون الأصفر.
- اعمل مخططًا للفصل باسـتخدام العناوين الرئيسة والعناوين الفرعية.

كيف تستفيد من كتاب الكيمياء؟

عندما تقرأ

ستجد في كل قسم أداة تعمِّق فهمك للموضوعات التي ستدرسها، وأدوات أخرى لاختبار مدى استيعابك لها.

5–1

الأهداف

- **تفسر** كيف يستخدم المول بشكل غير مباشر لعدّ جسيمات المادة.
- **تربط** المول بوحدة عدّ يومية شائعة.
- **تحول** بين المولات وعدد الجسيمات.

مراجعة المفردات

الجزيء، ذرتان أو أكثر مرتبطتان معًا لتكوين وحدة واحدة.

المفردات الجديدة

المول

عدد أفوجادرو

قياس المادة Measuring Matter

الفكرة الرئيسة **يستعمل الكيميائيون المول لعد الذرات، والجزيئات، والأيونات، ووحدات الصيغ الكيميائية.**

الربط مع الحياة هل حاولت يومًا أن تعد المقاعد الموجودة في صفك؟ وهل خطر ببالك يومًا أن تعد حبات الأرز في كيس من الأرز؟ لعلك لاحظت أنه كلما صغرت المادة أصبح عدها أصعب.

عدّ الجسيمات Counting Particles

هل ذهبت يومًا إلى إحدى المكتبات وطلبت إلى البائع درزن من أقلام الرصاص؟ إنّ ذلك لا يعني أنك تريد قلمًا أو قلمين، بل 12 قلمًا. قد تشتري زوجًا من القفازات، أو رزمة من ورق الطباعة. كل من الوحدات المبينة في **الشكل 1–5**، وهي الزوج والدرزن– والرزمة تمثّل عددًا محددًا من الأشياء. وكلها تسهل عملية العد. فمن السهل شراء الورق وبيعه بالرزمة (500 ورقة) بدلاً من شرائه وبيعه بالورقة.

كل من وحدات العدّ المبينة في **الشكل 1–5** تناسب عدد نوع معين من الأشياء؛ اعتمادًا على حجمها واستخدامها. وبغض النظر عن كون الشيء قفازات أو بيضًا أو أقلام أو ورقًا فإن العدد الذي تمثله الوحدة يبقى دائمًا ثابتًا. يحتاج الكيميائيون أيضًا إلى طريقة ملائمة لعد الذرات والجزيئات ووحدات الصيغ الكيميائية (Formula units) في عينة كيميائية لمادةٍ ما. إلا أن الذرات متناهية الصغر، وهناك الكثير منها حتى في العينات الصغيرة جدًّا، مما يجعل عدها بشكل مباشر مستحيلاً. لذلك قام الكيميائيون بإيجاد وحدة عدٍّ تُسمى المول، وقد عرفت من التجربة الاستهلالية أنه يمثل عددًا ضخمًا من أي جسيم.

الشكل 1–5 وحدات مختلفة تستخدم لعدّ أجسام مختلفة. الزوج عبارة عن جسمين، والدرزن 12، والرزمة 500.

اذكر وحدات عدّ أخرى مألوفة لديك.

54

الربط مع الحياة: يصف ارتباط المحتوى مع الواقع.

الأمثلة المحلولة تنقلك تدريجيًّا إلى حل مسائل في الكيمياء. عزّز المهارات التي اكتسبتها بحل التدريبات.

مثال 1–5

تحويل الجسيمات إلى مولات يستخدم النحاس Cu في صناعة الأسلاك الكهربائية. احسب عدد مولات النحاس التي تحتوي على 4.5×10^{24} ذرة منه.

1 تحليل المسألة

لديك عدد من ذرات النحاس، وعليك أن تحسب عدد المولات. لو قارنت 4.5×10^{24} ذرة من النحاس Cu مع 6.02×10^{23}، وهو عدد الذرات في المول، يمكنك أن تتوقع أن الإجابة يجب أن تكون أقل من 10 mol.

المعطيات

عدد ذرات النحاس $= 4.50 \times 10^{24}$ ذرة

المطلوب

عدد مولات Cu = ؟

1mol من النحاس $\text{Cu} = 6.02 \times 10^{23}$ ذرة من النحاس

2 حساب المطلوب

استخدم عامل التحويل (مقلوب عدد أفوجادرو) والذي يربط عدد المولات بعدد الذرات.

طبّق عامل التحويل

$$\text{عدد المولات} = \text{عدد الذرات} \times \frac{1\text{ mol من النحاس}}{6.02 \times 10^{23}\text{ ذرة من النحاس}}$$

عوّض واضرب الأرقام والوحدات واقسمها

$$= 4.50 \times 10^{24}\text{ ذرة من النحاس} \times \frac{1\text{mol من النحاس}}{6.02 \times 10^{23}\text{ ذرة من النحاس}}$$

$= 7.48\text{ mol}$ من النحاس.

3 تقويم الإجابة

عدد ذرات النحاس وعدد أفوجادرو كلاهما يشتمل على ثلاثة أرقام معنوية. الإجابة مكتوبة بشكل صحيح وهي أقل من 10 mol، كما هو متوقع، كما أن وحداتها صحيحة.

مسائل تدريبية

5. ما عدد المولات في كل من:

a. 5.75×10^{24} ذرة من الألومنيوم Al.

b. 2.50×10^{20} ذرة من الحديد Fe.

6. تحفيز احسب عدد المولات في كل من:

a. 3.75×10^{24} جزيء من ثاني أكسيد الكربون CO_2.

b. 3.58×10^{23} جزيء من كلوريد الخارصين II $ZnCl_2$.

58

مهارات قرائية

- اسأل نفسك: ما **الفكرة الرئيسة** **العامة**؟ وما **الفكرة الرئيسة**
- اربط المعلومات التي درستها في هذا الكتاب مع المجالات العلمية الأخرى.
- توقع أحداثًا ونتائج من خلال توظيف المعلومات التي تعرفها من قبل.
- غيّر توقعاتك وأنت تقرأ وتجمع معلومات جديدة.

كيف تستفيد من كتاب الكيمياء؟

بعدما قرأت

اقرأ الخلاصة، وأجب عن الأسئلة لتقويم مدى فهمك لما درسته.

يختتم كل قسم بتقويم يحتوي على خلاصة وأسئلة. الخلاصة تراجع المفاهيم الرئيسة، بينما تختبر الأسئلة فهمك لما درسته.

الشكل 8–5 يعد المول أساس التحويل بين الكتلة والجسيمات الممثلة (الذرات، الأيونات، الجزيئات، وحدات الصيغة). في الشكل تمثل الكتلة في الميزان والمولات في حقيبة تحتوي على الجسيمات الممثلة. والجسيمات الممثلة تنتشر من الحقيبة. تحتاج إلى خطوتين للتحويل من الكتلة إلى الجسيمات أو العكس.

الآن بعد أن أجريت تحويلًا بين الكتلة، والمولات، والجسيمات، أنت تدرك أن المول أساس الحسابات. فالكتلة دائمًا تحول إلى مولات قبل تحويلها إلى ذرات، والذرات تحول إلى مولات قبل أن تحسب كتلتها.

الشكل 8–5 يبين خطوات التحويل. في الأمثلة الحسابية التي مرت بك، استعملت خطوتين في التحويل، فإما تحويل الكتلة إلى مولات ثم إلى ذرات، أو تحويل الذرات إلى مولات ثم إلى كتلة. ويمكنك دمج الخطوتين في خطوة واحدة. افترض أنك تريد معرفة عدد جزيئات الأكسجين في 1.00 g منه. إن عملية التحويل هذه تتطلب التحويل من كتلة إلى مولات ومن مولات إلى جزيئات، ويمكن أن تمثل ذلك في المعادلة.

$$= 1.00\,\cancel{g\,O_2} \times \frac{1\,\cancel{mol\,O_2}}{31.998\,\cancel{g\,O_2}} \times \frac{O_2 \text{ جزيء } 6.02 \times 10^{23}}{1\,\cancel{mol\,O_2}}$$

$$= \text{جزيء } 1.88 \times 10^{22}$$

التقويم 5-2

الخلاصة

- تسمى الكتلة بالجرامات لمول واحد من أي مادة نقية الكتلة المولية.
- الكتلة المولية لأي عنصر تساوي عدديًا كتلته الذرية.
- الكتلة المولية لأي مادة هي كتلة عدد أفوجادرو من الجسيمات المكونة لهذه المادة.
- تستخدم الكتلة المولية للتحويل من المولات إلى كتلة، ويستخدم مقلوب الكتلة المولية للتحويل من الكتلة إلى مولات.

21. **الفكرة الرئيسة** **يخص** الفرق بين كميات مول واحد من مادتين مختلفتين أحاديتي الذرات من حيث الجسيمات والكتلة؟
22. **اذكر** معامل التحويل اللازم للتحويل بين الكتلة والمولات لذرة الفلور.
23. **اشرح** كيف تربط الكتلة المولية كتلة الذرة بكتلة مول واحد من الذرات.
24. **صف** الخطوات اللازمة لتحويل كتلة عنصر ما إلى ذراته.
25. **احسب** كتلة 0.25 mol من ذرات الكربون–12.
26. **رتب** الكميات التالية من الأصغر إلى الأكبر بحسب الكتلة: 1.0 mol من Ar، 3.0×10^{24} ذرة من Ne، 20 g من Kr.
27. **حدد** الكمية التي تحسب بقسمة الكتلة المولية للعنصر على عدد أفوجادرو.
28. **صمم** خريطة مفاهيمية توضح العوامل اللازمة للتحويل بين الكتلة، والمولات، وعدد الجسيمات.

67

الفصل 4 دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة تُحوّل ملايين التفاعلات الكيميائية الموجودة داخل جسمك ومن حولك المتفاعلات إلى نواتج، مما يؤدي إلى إطلاق طاقة أو امتصاصها.

4–1 التفاعلات و المعادلات

الفكرة الرئيسة تمثّل التفاعلات الكيميائية بمعادلات كيميائية موزونة.

المفردات

- التفاعل الكيميائي
- المتفاعلات
- النواتج
- المعادلة الكيميائية
- الرمزية الموزونة
- المعامل

المفاهيم الرئيسة

- قد تشير بعض التغيرات الفيزيائية إلى حدوث تفاعل كيميائي.
- توفر المعادلات الكيميائية اللفظية والرمزية معلومات مهمة عن التفاعل الكيميائي.
- توضح المعادلة الكيميائية الموزونة أنواع المتفاعلات والنواتج في التفاعل الكيميائي وكمياتها النسبية.
- يتضمن وزن المعادلة الكيميائية تعديل المعاملات حتى يتساوى عدد الذرات في طرفي المعادلة.

4–2 تصنيف التفاعلات الكيميائية

الفكرة الرئيسة هناك أربعة أنواع من التفاعلات الكيميائية، هي: التكوين، والاحتراق، والتفكك، والإحلال.

المفردات

- تفاعل التكوين
- تفاعل الاحتراق
- تفاعل التفكك
- تفاعل الإحلال البسيط
- تفاعل الإحلال المزدوج
- الراسب

المفاهيم الرئيسة

- يُسهّل تصنيف التفاعلات الكيميائية فهمها وتذكرها وتعرّفها.
- تستخدم سلسلة النشاط الكيميائي للفلزات والهالوجينات في توقع حدوث تفاعلات الإحلال البسيط.

4–3 التفاعلات في المحاليل المائية

الفكرة الرئيسة تحدث تفاعلات الإحلال المزدوج بين المواد في المحاليل المائية، وتؤدي إلى إنتاج رواسب، أو ماء، أو غازات.

المفردات

- المحلول المائي
- المذاب
- المذيب
- المعادلة الأيونية الكاملة
- الأيونات المتفرجة
- المعادلة الأيونية النهائية

المفاهيم الرئيسة

- الماء هو المذيب في المحاليل المائية دائمًا، أما المواد التي قد تذوب فيه فهي كثيرة.
- بعض المركبات الجزيئية تكوّن أيونات عندما تذوب في الماء. بينما يذوب الكثير من المركبات الأيونية في الماء، وتنفصل أيوناتها.
- عند مزج محلولين يحتويان على أيونات ذائبة، قد تتفاعل الأيونات معًا، أما جزيئات المذيب فلا تتفاعل عادة.
- التفاعلات التي تحدث في المحاليل المائية هي تفاعلات الإحلال المزدوج.

45

ستجد في نهاية كل فصل دليلًا للمراجعة متضمنًا المفردات والمفاهيم الرئيسة. استعمل هذا الدليل للمراجعة وللتأكد من مدى استيعابك.

طرائق أخرى للمراجعة

- اكتب **الفكرة العامة**.
- اربط **الفكرة الرئيسة** مع **الفكرة العامة**
- استعمل كلماتك الخاصة لتوضح ما قرأت.
- وظف المعلومات التي تعلمتها في المنزل، أو في موضوعات أخرى تدرسها.
- حدد المصادر التي يمكن أن تستخدمها للبحث عن مزيد من المعلومات حول الموضوع.

الفصل 4

التفاعلات الكيميائية

Chemical Reactions

الفكرة العامة تُحوِّل ملايين التفاعلات الكيميائية الموجودة داخل جسمك ومن حولك المتفاعلات إلى نواتج، ممّا يؤدي إلى إطلاق طاقة أو امتصاصها.

4–1 التفاعلات والمعادلات

الفكرة الرئيسة تُمثَّل التفاعلات الكيميائية بمعادلات كيميائية موزونة.

4–2 تصنيف التفاعلات الكيميائية

الفكرة الرئيسة هناك أربعة أنواع من التفاعلات الكيميائية هي: التكوين، والاحتراق، والتفكك، والإحلال.

4–3 التفاعلات في المحاليل المائية

الفكرة الرئيسة تحدث تفاعلات الإحلال المزدوج بين المواد في المحاليل المائية، منتجةً رواسب، أو ماء، أو غازات.

حقائق كيميائية

- لكي يشتعل الخشب يجب أن يسخن إلى 260°C.
- يخرج الماء الموجود في الخشب قبل أن يحترق الخشب ويرافق هذه العملية صوت أزيز.
- يحتوي الدخان الناتج عن احتراق الخشب على أكثر من 100 مادة كيميائية.

تجربة استهلالية

كيف نستدل على حدوث تغير كيميائي؟

الكاشف مادة كيميائية تضاف إلى المواد في بعض التفاعلات الكيميائية لتوضح متى يحدث تغير.

خطوات العمل

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. قس 10.00 mL من **الماء المقطر** في **مخبار مدرج** سعته 25.00mL، وضعه في كأس سعتها 100.0mL. استعمل القطارة، وأضف نقطة من محلول الأمونيا 0.1 M إلى الماء في الكأس. **تحذير: بخار الأمونيا مهيج جدًّا.**
3. أضف 15 نقطة من **الكاشف العام** إلى المحلول، وحركه. لاحظ لونه، وقس درجة حرارته بمقياس الحرارة.
4. ضع **قرصًا فوارًا** في المحلول، ولاحظ ما يحدث. سجل ملاحظاتك، متضمنةً أيّ تغير في درجة الحرارة.

التحليل

1. **صف** أيّ تغيرات في لون المحلول أو درجة حرارته.
2. **وضّح** هل نتج غاز؟ وإذا نتج فكيف تم الاستدلال عليه؟
3. **حلّل** هل التغير الحادث فيزيائي أم كيميائي؟ فسّر ذلك.

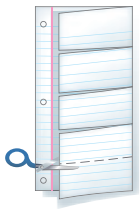
استقصاء بمَ يخبرك الكاشف العام عن المحلول؟ صمّم تجربة لدعم توقعاتك.

المطويات منظمات الأفكار

التفاعلات الكيميائية قم بعمل المطوية التالية لتساعدك على تنظيم المعلومات حول كيفية تصنيف التفاعلات الكيميائية.

الخطوة 1 اطو ورقة طوليًّا، على أن يظل الهامش الأيسر مرئيًّا، كما في الشكل.

الخطوة 2 قصّ الجزء العلوي خمسة أشرطة.



الخطوة 3 عنون الأشرطة الخمسة على النحو التالي:

التفاعات الكيميائية، التكوين- الاحتراق- التفكك- الإحلال البسيط - الإحلال المزدوج.

المطويات استخدم هذه المطوية في القسم 2–4

من هذا الفصل في أثناء قراءتك له، ثم لخص كل نوع من التفاعلات الكيميائية، وأعط أمثلة عليها.

الكيمياء عبر المواقع الإلكترونية

لمراجعة محتوى هذا الفصل ونشاطاته ارجع إلى الموقع:

www.obeikaneducation.com

الأهداف

- **تكتب** التوزيع الإلكتروني لبعض ذرات العناصر.
- **تتعرّف** مؤشرات حدوث التفاعل الكيميائي.
- **تمثّل** التفاعلات الكيميائية بمعادلات.
- **تزن** المعادلات الكيميائية.

مراجعة المفردات

التغير الكيميائي: عملية تتضمن تحول مادة أو أكثر إلى مادة جديدة.

المفردات الجديدة

التفاعل الكيميائي
عدد التأكسد
المتفاعلات
النواتج
المعادلة الكيميائية الرمزية الموزونة
المعامل

التفاعلات والمعادلات
Reactions and Equations

الفكرة الرئيسة **تُمثَّل التفاعلات الكيميائية بمعادلات كيميائية موزونة.**

الربط مع الحياة عندما تشتري موزًا أخضر فإنه يتحول خلال أيام قليلة إلى اللون الأصفر، وهذا التغير في اللون دليل على حدوث تفاعل كيميائي.

التفاعلات الكيميائية Chemical Reactions

هل تعلم أن الطعام الذي تأكله، والألياف في ملابسك، والبلاستيك في أقراصك المدمجة، بينها شيء مشترك؟ جميع هذه المواد تنتج عندما يُعاد ترتيب الذرات فيها لتكوين مواد أخرى مختلفة. فمثلًا يعاد ترتيب الذرات خلال حرائق الغابات، كما هو موضح في الصورة الواردة في بداية الفصل. وكذلك أعيد ترتيب الذرات عندما ألقي القرص الفوار في كأس الماء خلال التجربة الاستهلالية.

تسمى العملية التي يعاد فيها ترتيب الذرات في مادة أو أكثر لتكوين مواد مختلفة **التفاعل الكيميائي**. وتسمى أيضًا التغيرَ الكيميائي، كما درست من قبل. ونحن نجد التفاعلات الكيميائية في شتى مناحي الحياة، بدءًا من تحليل الأطعمة التي نتناولها، مما ينتج الطاقة التي يحتاج إليها الجسم، وكذلك توليد الطاقة في المحركات اللازمة لتسيير السيارات والحافلات وغيرها. وعن طريق التفاعلات الكيميائية يتم إنتاج الألياف الطبيعية، ومنها القطن في النباتات، والصوف في الحيوانات، والألياف الاصطناعية، ومنها النايلون الذي يستعمل كثيرًا في الصناعات، كما هو مبين في **الشكل 1–4**.

مؤشرات حدوث التفاعل الكيميائي كيف تعرف أن تفاعلا كيميائيًّا قد حدث؟ رغم أن بعض التفاعلات الكيميائية يصعب اكتشافها إلا أن الكثير منها يُظهر مؤشرات فيزيائية (محسوسة) على حدوثها. إن تغير درجة الحرارة مثلاً قد يشير إلى حدوث تفاعل كيميائي؛ فبعض التفاعلات ـ كتلك التي تحدث في أثناء احتراق الخشب ـ تطلق طاقة على شكل حرارة وضوء، وبعضها الآخر يمتص الحرارة.

الشكل 1–4 ينتج النايلون عن تفاعل كيميائي، ويستعمل في كثير من المنتجات، كالملابس والسجاد، والأدوات الرياضية، والإطارات.

الشكل 2–4 كل صورة من هذه الصور تدل على حدوث تفاعل كيميائي.

صف ما الدليل على حدوث تفاعل كيميائي في كل صورة من الصور أعلاه؟

هناك أنواع أخرى من الأدلة التي تشير إلى حدوث تفاعل كيميائي، بالإضافة إلى تغير درجة الحرارة، ومنها تغير اللون. ربما لاحظت مثلًا أن بعض المسامير الملقاة على الأرض يتغير لونها من فضي إلى بنّي في زمن قصير. إن تغير اللون يدل على أن تفاعلاً كيميائيًّا قد حدث بين الحديد والأكسجين. كما أن تحول لون الموز من الأخضر إلى الأصفر مثال آخر على ذلك. وتُعد الرائحة، وتصاعد الغاز، وتكوّن مادة صلبة مؤشرات أخرى على التفاعل الكيميائي. وفي كل صورة في **الشكل 2–4** دليل على حدوث تفاعل كيميائي.

ينبغي قبل أن تدرس تمثيل التفاعلات الكيميائية وتصنيفها أن تفهم التوزيع الإلكتروني، وكيفية كتابة الصيغ الكيميائية، وتسمية المركبات الكيميائية بصورة أكثر تفصيلاً عما مرَّ بك من قبل.

التوزيع الإلكتروني عرفت من قبل أنّ كل مستوى(n) من مستويات الطاقة الرئيسة يسع عددًا محددًا من الإلكترونات. وأقصى عدد من الإلكترونات يستوعبه مستوى الطاقة الرئيس يمكن حسابه بالمعادلة: $e = 2n^2$

فأقصى عدد من الإلكترونات يمكن أن يستوعبه مستوى الطاقة الرئيس الأول إلكترونين، والمستوى الثاني ثمانية إلكترونات، والمستوى الثالث ثمانية عشر إلكترونًا...وهكذا.

وقد أظهرت الدراسات أنّ الإلكترونات ضمن مستوى الطاقة الرئيس الواحد- عدا مستوى الطاقة الرئيس الأول- ليس لها الطاقة نفسها، وإنما تتوزع في مستويات طاقة ثانوية مختلفة الشكل والطاقة يشار إليها بالأحرف(s، p، d، f)، وتزداد طاقة الإلكترونات في المستويات الثانوية بحسب الترتيب التالي:

ازدياد الطاقة

الجدول 1–4 مستويات الطاقة الثانوية في مستوى الطاقة الرئيس	
مستوى الطاقة الرئيس	مستويات الطاقة الثانوية في مستوى الطاقة الرئيس
1	s
2	s، p
3	s، p، d
4	s، p، d، f

وأقصى سعة من الإلكترونات لمستوى الطاقة الثانوي (s) إلكترونان، و(p) ستة إلكترونات، و(d) عشرة إلكترونات، و(f) أربعة عشر إلكترونًا. ويبين **الجدول 1–4** مستويات الطاقة الثانوية في بعض مستويات الطاقة الرئيسة.

تتوزع الإلكترونات ضمن مستويات الطاقة الرئيسة في مستويات طاقة فرعية داخل مستويات الطاقة الثانوية بدءًا من الأقل طاقة، انظر **الشكل 3–4**. وأقصى سعة لمستوى الطاقة الفرعي إلكترونان فقط.

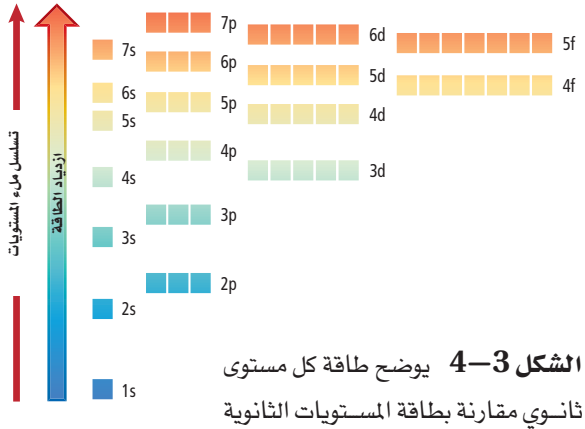
يظهر من **الشكل 3–4** أنه قد تتداخل مستويات طاقة ثانوية لمستويات طاقة رئيسة مختلف بعضها مع بعض. فمثلاً طاقة المستوى الثانوي **4s** أقل من طاقة المستوى الثانوي **3d**. لذا عند كتابة التوزيع الإلكتروني اتبع تسلسل مستويات الطاقة، كما هو مبين في **الشكل 4–4**.

ويبين **الجدول 2–4** التوزيع الإلكتروني الأكثر استقرارًا لبعض العناصر.

لاحظ أنه عند اتباعك الطريقة نفسها في التوزيع الإلكتروني يكون التوزيع الإلكتروني لكل من النحاس والكروم كما يلي:

Cu: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^9$

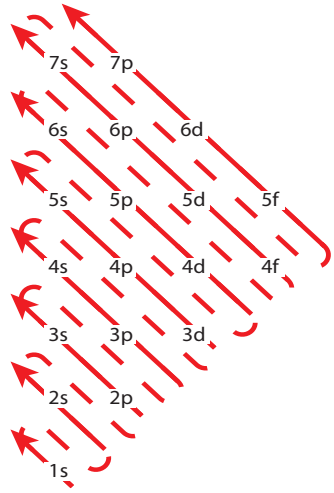
Cr: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^4$



الشكل 3–4 يوضح طاقة كل مستوى ثانوي مقارنة بطاقة المستويات الثانوية الأخرى.

لكن التوزيع الإلكتروني الصحيح لها يظهر في **الجدول 2–4**، ويعد ذلك من

الجدول 2– 4 التوزيع الإلكتروني لبعض العناصر		
العنصر/رمزه	العدد الذري	التوزيع الإلكتروني
الليثيوم Li	3	$1s^2\ 2s^1$
البورون B	5	$1s^2\ 2s^2\ 2p^1$
النيون Ne	10	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6$
الكلور Cl	17	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^5$
الحديد Fe	26	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^6$
التيتانيوم Ti	22	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^2$
الكروم Cr	24	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^1\ 3d^5$
النحاس Cu	29	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^1\ 3d^{10}$
الخارصين Zn	30	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^{10}$



الشكل 4–4 يظهر ترتيب ملء مستويات الطاقة بالإلكترونات .

استثناءات التوزيع الإلكتروني. كما يمكنك كتابة التوزيع الإلكتروني للأيون الموجب بتوزيع العدد الذري لذرته المتعادلة مطروحًا منه مقدار الشحنة الموجبة، وللأيون السالب بتوزيع العدد الذري لذرته المتعادلة مضافًا إليه مقدار الشحنة السالبة.

كتابة الصيغ الكيميائية لكتابة الصيغ الكيميائية لا بد أن تعرف أولاً عدد تأكسد (تكافؤ) العنصر. و**عدد التأكسد** هو عدد الإلكترونات التي تفقدها أو تكتسبها أو تشارك بها ذرة العنصر في أثناء التفاعل. ويظهر في **الجدول 3–4** أعداد تأكسد بعض مجموعات العناصر.

الجدول 3–4 أعداد تأكسد بعض مجموعات العناصر

المجموعة	بعض عناصر المجموعة	عدد التأكسد
1	H, Li, Na, K, Rb, Cs	+1
2	Be, Mg, Ca, Sr, Ba	+2
15	N, P, As	−3
16	O, S, Se, Te	−2
17	F, Cl, Br, I	−1

لا يتضمن **الجدول 3–4** الفلزات الانتقالية؛ وذلك لأن لمعظم الفلزات الانتقالية وفلزات المجموعتين **13** ، **14** أكثر من عدد تأكسد محتمل، تعرّف أعداد التأكسد بالشحنة الظاهرة على الأيون كما يظهر في **الجدول 4–4**.

الجدول 4–4 أيونات بعض العناصر

المجموعة	الأيونات الشائعة
3	Sc^{3+}, Y^{3+}, La^{3+}
4	Ti^{2+}, Ti^{3+}
5	V^{2+}, V^{3+}
6	Cr^{2+}, Cr^{3+}
7	Mn^{2+}, Mn^{3+} , Tc^{2+}
8	Fe^{2+}, Fe^{3+}
9	Co^{2+}, Co^{3+}
10	Ni^{2+}, Pd^{2+}, Pt^{2+}, Pt^{4+}
11	Cu^{+}, Cu^{2+}, Ag^{+}, Au^{+}, Au^{3+}
12	Zn^{2+}, Cd^{2+}, Hg_2^{2+}
13	Al^{3+}, Ga^{2+}, Ga^{3+}, In^{+}, In^{2+}, In^{3+}, Tl^{+}, Tl^{3+}
14	Sn^{2+}, Sn^{4+}, Pb^{2+}, Pb^{4+}

ولكتابة الصيغة الكيميائية للمركب الأيوني اتبع الخطوات التالية:

أولاً اكتب رمز العنصر الذي يمثل الأيون الموجب عن اليسار والأيون السالب أو صيغة الأيون العديد الذرات عن اليمين.

كلوريد	الماغنسيوم	هيدروكسيد	الألومنيوم
Cl	Mg	OH	Al

ثانيًا اكتب عدد تأكسد العنصر أو الأيون العديد الذرات أسفل الرمز أو الصيغة.

Cl	Mg	OH	Al
1	2	1	3

ثالثًا بدل أعداد التأكسد بين شقي المركب، وإذا كان هناك عامل مشترك بين أعداد التأكسد فاقسم على هذا العامل حتى تصل إلى أبسط نسبة عددية. ويجب وضع صيغة الأيون العديد الذرات بين قوسين إذا وجد أكثر من أيون واحد منه في المركب.

Mg Cl	Al OH
2 1	3 1
$MgCl_2$	$Al(OH)_3$

يشتمل **الجدول 5–4** على معظم أسماء الأيونات العديدة الذرات وصيغها الكيميائية.

الجدول 5–4 — **الأيونات العديدة الذرات**

الاسم	الأيون	الاسم	الأيون
الأمونيوم	NH_4^+	البيرايودات	IO_4^-
النيتريت	NO_2^-	الأسيتات	CH_3COO^-
النترات	NO_3^-	الفوسفات الثنائية الهيدروجين	$H_2PO_4^-$
الهيدروكسيد	OH^-	الكربونات	CO_3^{2-}
السيانيد	CN^-	الكبريتيت	SO_3^{2-}
البرمنجنات	MnO_4^-	الكبريتات	SO_4^{2-}
البيكربونات	HCO_3^-	الثيوكبريتات	$S_2O_3^{2-}$
الهيبوكلورايت	ClO^-	البيروكسيد	O_2^{2-}
الكلورايت	ClO_2^-	الكرومات	CrO_4^{2-}
الكلورات	ClO_3^-	ثنائي الكرومات	$Cr_2O_7^{2-}$
فوق الكلورات	ClO_4^-	الفوسفات الهيدروجينية	HPO_4^{2-}
البرومات	BrO_3^-	الفوسفات	PO_4^{3-}
الأيودات	IO_3^-	الزرنيخات	AsO_4^{3-}

تسمية المركبات الأيونية عند تسمية المركبات الأيونية اتبع القواعد التالية:

أولاً يسمى الأيون السالب أولاً متبوعًا باسم الأيون الموجب.

ثانيًا في حالة الأيون السالب الأحادي الذرة يشتق الاسم من اسم العنصر مضافًا إليه المقطع (يد).

ثالثًا عند وجود أكثر من عدد تأكسد للأيون الموجب يجب أن تشير إلى عدد التأكسد بالأرقام اللاتينية بعد اسم الأيون الموجب.

رابعًا عندما يحتوي المركب على أيون عديد الذرات نقوم بتسميته أولاً، ثم نسمي الأيون الموجب.

ومن الأمثلة على ذلك كلوريد الصوديوم NaCl، وبروميد الصوديوم NaBr، وأكسيد الألومنيوم Al_2O_3، وكلوريد الكوبلت II $CoCl_2$، وهيدروكسيد الصوديوم NaOH، وكرومات الفضة Ag_2CrO_4، ونترات النحاس II $Cu(NO_3)_2$، وأكسيد الحديد II FeO، وأكسيد الحديد III Fe_2O_3.

تمثيل التفاعلات الكيميائية

Representing Chemical Reactions

يستخدم الكيميائيون معادلات لتمثيل التفاعلات الكيميائية. وتوضح هذه المعادلاتُ **المتفاعلاتِ** وهي المواد التي توجد عند بداية التفاعل، و**النواتج** وهي المواد المتكوّنة خلال التفاعل. كما يستعمل فيها سهم لتوضيح اتجاه التفاعل، وفصل المتفاعلات عن النواتج. وتكتب المتفاعلات عن يسار السهم، والنواتج عن يمينه. وعندما يكون هناك أكثر من متفاعل أو ناتج تستخدم إشارة (+) للفصل بين المتفاعلات أو النواتج. ويبين التعبير التالي عناصر المعادلة الكيميائية:

الناتج **2** + الناتج **1** → المتفاعل **2** + المتفاعل **1**

وتستخدم الرموز في المعادلات لتوضيح الحالة الفيزيائية لكل مادة متفاعلة أو ناتجة؛ والتي قد تكون في الحالة الصلبة أو السائلة أو الغازية أو مذابة في الماء، كما هو مبين في **الجدول 6–4**. ومن المهم توضيح هذه الرموز؛ لأنها تعطي أدلة على كيفية حدوث التفاعل الكيميائي.

الجدول 6–4 الرموز المستخدمة في المعادلات الكيميائية

الرمز	الغرض
+	يفصل بين مادتين أو أكثر من المتفاعلات أو النواتج
→	يفصل المتفاعلات عن النواتج
⇌	يفصل المتفاعلات عن النواتج، ويشير إلى التفاعل الانعكاسي
(s)	يشير إلى الحالة الصلبة
(l)	يشير إلى الحالة السائلة
(g)	يشير إلى الحالة الغازية
(aq)	يشير إلى المحلول المائي

المعادلات الكيميائية اللفظية يمكنك استعمال المعادلات اللفظية للتعبير عن كلٍّ من المواد المتفاعلة والناتجة في التفاعلات الكيميائية. وتصف المعادلة اللفظية أدناه التفاعل بين الألومنيوم Al والبروم السائل Br_2 الموضح في **الشكل 5–4**. فالسحابة الحمراء الظاهرة في الصورة هي بروم فائض. والمادة الفائضة هي التي يبقى جزء منها غير متفاعل بعد انتهاء التفاعل. أما ناتج التفاعل الذي هو جسيمات صلبة من بروميد الألومنيوم $AlBr_3$ فيستقر في قعر الكأس.

الناتج (1) ⟵ المتفاعل (2) + المتفاعل (1)

بروميد الألومنيوم ⟵ البروم + الألومنيوم

تُقرأ المعادلة اللفظية كما يلي: "الألومنيوم والبروم يتفاعلان لإنتاج بروميد الألومنيوم".

المعادلات الكيميائية الرمزية تستخدم رموز العناصر وصيغ المركبات في المعادلة الكيميائية الرمزية للتعبير عن المتفاعلات والنواتج. فالمعادلة الكيميائية الرمزية للتفاعل بين الألومنيوم والبروم مثلًا تستخدم رمزي الألومنيوم والبروم وصيغة بروميد الألومنيوم بدلاً من الكلمات.

$$Al_{(s)} + Br_{2(l)} \rightarrow Al\,Br_{3(s)}$$

كيف يمكنك كتابة معادلة رمزية لتفاعل الكربون مع الكبريت لتكوين كبريتيد الكربون؟ كل من الكبريت والكربون صلب. اكتب أولاً الصيغ الكيميائية للمتفاعلات عن يسار السهم، ثم افصل بين المتفاعلات بإشارة (+)، وأشر إلى الحالة الفيزيائية لكل منها.

$$C_{(s)} + S_{(s)} \rightarrow$$

وأخيرًا اكتب الصيغة الكيميائية للناتج عن يمين السهم، وأشر إلى حالته الفيزيائية؛ وهو في هذه المعادلة ثاني كبريتيد الكربون السائل، فتكون معادلة التفاعل الرمزية:

$$C_{(s)} + S_{(s)} \rightarrow CS_{2(l)}$$

ومن المعادلة الرمزية نفهم أن الكربون الصلب يتفاعل مع الكبريت الصلب لينتجا ثاني كبريتيد الكربون السائل.

الشكل 5–4 الكيمياء كغيرها من المجالات لها لغة متخصصة تسمح بتواصل معلومات معينة بطريقة منتظمة. فالتفاعل بين الألومنيوم والبروم يمكن وصفه بمعادلة لفظية، أو بمعادلة كيميائية رمزية موزونة.

المفردات

مفردات علمية

الصيغة: تعبير يستخدم الرموز الكيميائية لتمثيل التفاعل الكيميائي.

الصيغة الكيميائية للماء هي H_2O.

مسائل تدريبية

اكتب معادلات كيميائية رمزية للمعادلات اللفظية الآتية:

1. بروميد الهيدروجين ⟵ هيدروجين + بروم
2. ثاني أكسيد الكربون ⟵ أكسجين + أول أكسيد الكربون
3. اكتب التوزيع الإلكتروني لكل من ذرة البوتاسيوم K، وذرة الكلور Cl، إذا علمت أن الأعداد الذرية هي: 19، 17 على الترتيب.
4. اكتب الصيغة الكيميائية للمركب الناتج عن اتحاد أيون الماغنسيوم Mg^{2+} مع أيون النترات NO_3^-.
5. **تحفيز** اكتب المعادلة اللفظية والمعادلة الكيميائية الرمزية للتفاعل الآتي: عند تسخين كلورات البوتاسيوم $KClO_3$ الصلبة ينتج كلوريد البوتاسيوم الصلب وغاز الأكسجين.

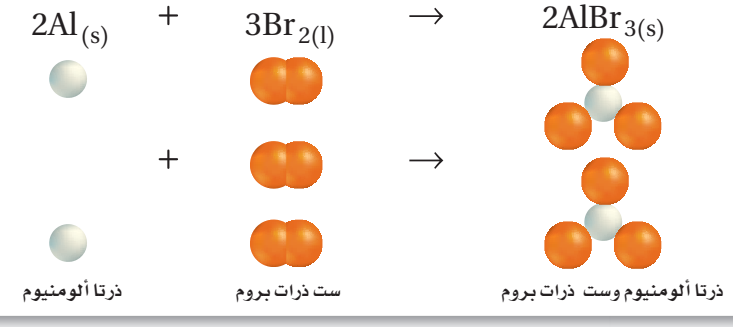
الشكل 6–4 المعلومات التي تزودنا بها المعادلة الكيميائية الرمزية محدودة. في هذه الحالة المعادلة الكيميائية الرمزية صحيحة، ولكنها لا توضح العدد الصحيح للذرات المتفاعلة والناتجة.

المعادلات الكيميائية الرمزية الموزونة تشبه المعادلات الرمزية المعادلات اللفظية في أنها تفتقر إلى معلومات مهمة عن التفاعلات. تذكر مما درست أن قانون حفظ الكتلة ينص على أنه خلال التغير الكيميائي لا تفنى المادة ولا تستحدث. لذا فالمعادلات الكيميائية يجب أن تظهر أن المادة محفوظة خلال التفاعل. فالمعادلة الرمزية تفتقر إلى هذه المعلومات. انظر إلى **الشكل 6–4**؛ حيث تظهر المعادلة الرمزية للتفاعل بين الألومنيوم والبروم أن ذرة ألومنيوم واحدة تتفاعل مع ذرتي بروم فتنتج مادة تحوي ذرة ألومنيوم وثلاث ذرات بروم. هل استحدثت ذرة بروم خلال التفاعل؟ الذرات لا تستحدث في التفاعلات الكيميائية، كما ينص قانون حفظ الكتلة. ولتوضح ما يحدث بصورة صحيحة نحتاج إلى المزيد من المعلومات.

لتمثيل التفاعل الكيميائي بمعادلة صحيحة؛ يجب أن تظهر المعادلة أعدادًا متساوية من الذرات لكل من المتفاعلات والنواتج على جانبي السهم. وتسمى مثل هذه المعادلة **المعادلة الكيميائية الرمزية الموزونة**. والمعادلة الكيميائية الموزونة تعبير يستخدم الصيغ الكيميائية لتوضيح أنواع المواد المتضمنة في التفاعل الكيميائي وكمياتها النسبية.

وزن المعادلات الكيميائية
Balancing Chemical Equations

تتفق معادلة التفاعل الموزونة بين الألومنيوم والبروم المبينة في **الشكل 7–4** مع قانون حفظ الكتلة. ولكي تزن المعادلة الكيميائية يجب أن تجد المعاملات الصحيحة للصيغ الكيميائية في المعادلة الرمزية. **المعامل** في المعادلة الكيميائية هو العدد الذي يكتب قبل المادة المتفاعلة أو الناتجة. وتكون المعاملات عادة أعدادًا صحيحة، ولا تكتب إذا كانت القيمة واحدًا. وتصف المعاملات في المعادلة الموزونة أبسط نسبة عددية صحيحة لكميات كل من المتفاعلات والنواتج.



الشكل 7–4 يتساوى عدد الذرات في كل من المتفاعلات والنواتج في المعادلة الكيميائية الموزونة. وفي هذه الحالة، يتطلب وجود ذرتي ألومنيوم وست ذرات بروم في طرفي المعادلة.

خطـوات وزن المعادلات يمكن وزن أغلب المعادلات الكيميائيـة باتباع الخطوات الموضحة في **الجدول 7–4**. فيمكنك مثلًا اسـتعمال هذه الخطوات لكتابـة المعادلة الكيميائية للتفاعل بين الهيدروجين H_2، والكلور Cl_2 لإنتاج كلوريد الهيدروجين HCl.

الجدول 7–4 خطوات وزن المعادلات

الخطوات	العملية	مثال
1	**اكتب معادلة كيميائية غير موزونة.** تأكـد أن الصيـغ الكيميائيـة للمتفاعـلات والنواتـج صحيحة، وأن الأسهم تفصل المتفاعلات عن النواتج، وإشـارة (+) تفصـل بيـن كل مـن المـواد المتفاعلـة والمـواد الناتجة، ووجـود الحـالات الفيزيائية للمواد المتفاعلة والمواد الناتجة.	$H_{2(g)} + Cl_{2(g)} \rightarrow HCl_{(g)}$ ذرتا هيدروجين + ذرتا كلور → ذرة هيدروجين وذرة كلور
2	**عدّ ذرات العناصر في المتفاعلات.** تتفاعل ذرتا هيدرجين وذرتا كلور.	$H_2 + Cl_2 \rightarrow$ 2 ذرة هيدرجين، 2 ذرة كلور
3	عدّ ذرات العناصر في النواتج . تنتج ذرة هيدروجين وذرة كلور.	HCl 1 ذرة هيدروجين + 1 ذرة كلور
4	**غيّـر المعاملات لتجعل عدد ذرات كل عنصر هو نفسـه في طرفـي المعادلة.** ولا تغير أبـدًا أي رقم ضمـن الصيغـة الكيميائيـة لتـزن معادلـة؛ لأن ذلـك يغير نوع المادة.	$H_2 + Cl_2 \rightarrow 2HCl$ 2 ذرة هيدروجين، 2 ذرة كلور → 2 ذرة هيدروجين + 2 ذرة كلور
5	**اكتـب المعامـلات في أبسـط نسبة ممكنـة**، بحيث تكون المعاملات أصغر أعداد صحيحة ممكنة. فالنسبة (2:1:1) $1H_2 : 1Cl_2 : 2HCl$ هـي أصغـر نسبـة ممكنـة، لأنه لا يمكن اختصارهـا أكثر من ذلك وتظل أعدادًا صحيحة .	$H_{2(g)} + Cl_{2(g)} \rightarrow 2HCl_{(g)}$ $1H_2 : 1Cl_2 : 2HCl$ 1:1:2
6	**تأكد من عملك تأكـد** أن الصيغ الكيميائية مكتوبة بشـكل صحيح، وأن عـدد ذرات كل عنصر هو نفسه في طرفي المعادلة.	$H_{2(g)} + Cl_{2(g)} \rightarrow 2HCl_{(g)}$ 2 ذرة هيدروجين، 2 ذرة كلور → 2 ذرة هيدروجين، 2 ذرة كلور يوجد ذرتا هيدروجين وذرتا كلور في كل من طرفي المعادلة.

مثال 1–4

كتابة معادلة كيميائية رمزية موزونة اكتب المعادلة الكيميائية الرمزية الموزونة للتفاعل بين محلول هيدروكسيد الصوديوم ومحلول بروميد الكالسيوم لإنتاج هيدروكسيد الكالسيوم الصلب ومحلول بروميد الصوديوم.

1 تحليل المسألة

لقد أُعطيت المتفاعلات والنواتج في التفاعل الكيميائي. لذا ابدأ بمعادلة كيميائية غير موزونة، مستخدمًا الخطوات في **الجدول 7–4** لوزنها.

2 حساب المطلوب

اكتب المعادلة الكيميائية غير الموزونة للتفاعل. تأكد من وضع المتفاعلات عن يسار السهم، والنواتج عن يمينه. وافصل المواد بإشارة (+)، ووضح حالاتها الفيزيائية.

$$NaOH_{(aq)} + CaBr_{2(aq)} \rightarrow Ca(OH)_{2(s)} + NaBr_{(aq)}$$

عُدّ ذرات كل عنصر في المتفاعلات: 1Na, 1 O, 1 H, 1 Ca, 2 Br

عدّ ذرات كل عنصر في النواتج: 1Ca, 2 O, 2 H, 1 Na, 1 Br

أدخل المعامل 2 قبل NaOH لوزن ذرات الأكسجين والهيدروجين.

$$2NaOH_{(aq)} + CaBr_{2(s)} \rightarrow Ca(OH)_{2(aq)} + NaBr_{(aq)}$$

أدخل المعامل 2 قبل NaBr لوزن ذرات الصوديوم والبروم.

$$2NaOH_{(aq)} + CaBr_{2(aq)} \rightarrow Ca(OH)_{2(s)} + 2NaBr_{(aq)}$$

اكتب المعاملات في أبسط نسبة ممكنة.

نسبة المعاملات: 2 : 1 : 1 : 2

تأكد أن عدد ذرات كل عنصر هو نفسه في طرفي المعادلة.

النواتج: 2Na, 2O, 2H, 1 Ca, 2 Br

المتفاعلات: 2Na, 2O, 2H, 1 Ca, 2 Br

3 تقويم الإجابة

الصيغ الكيميائية لجميع المواد مكتوبة بشكل صحيح، وعدد ذرات كل عنصر هو نفسه في طرفي المعادلة، والمعاملات مكتوبة في أبسط نسبة ممكنة. والمعادلة الموزونة للتفاعل هي:

$$2NaOH_{(aq)} + CaBr_{2(aq)} \rightarrow Ca(OH)_{2(s)} + 2NaBr_{(aq)}$$

مسائل تدريبية

اكتب معادلات كيميائية رمزية موزونة لكل من التفاعلات الآتية:

6. يتفاعل كلوريد الحديد III مع هيدروكسيد الصوديوم في الماء لإنتاج هيدروكسيد الحديد III الصلب وكلوريد الصوديوم.
7. يتفاعل ثاني كبريتيد الكربون CS_2 السائل مع غاز الأكسجين لإنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون وغاز ثاني أكسيد الكبريت SO_2.
8. **تحفيز** يتفاعل فلز الخارصين مع حمض الكبريتيك لإنتاج غاز الهيدروجين ومحلول كبريتات الخارصين.

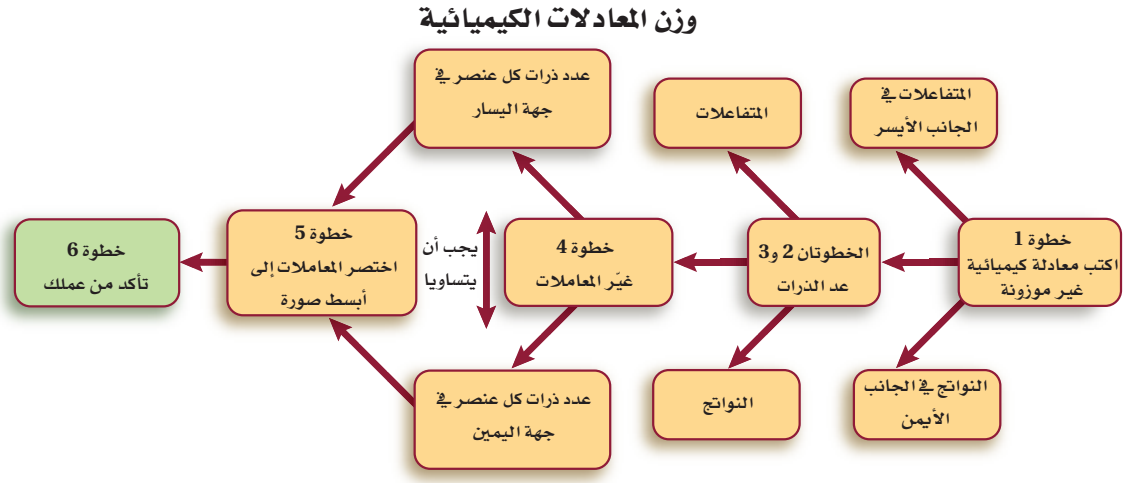
الكيمياء في واقع الحياة

هيدروكسيد الكالسيوم

الأحواض المائية للشعب المرجانية

يستخدم محلول هيدروكسيد الكالسيوم المائي في الأحواض المائية للشعب المرجانية لتزويد الحيوانات – ومنها الحلزون والمرجان– بعنصر الكالسيوم؛ حيث يتفاعل هيدروكسيد الكالسيوم مع ثاني أكسيد الكربون في الماء لإنتاج أيونات الكالسيوم والبيكربونات.

وتستخدم حيوانات الشعب المرجانية الكالسيوم في بناء أصدافها وأجهزتها الهيكلية بصورة قوية.



الشكل 8–4 تتطلب دراستك للكيمياء القدرة على وزن المعادلات. استعمل هذا المخطط لمساعدتك على إتقان هذه المهارة. ولاحظ أن الخطوات المرقمة تقابل الخطوات في **الجدول 7–4**.

تحقيق قانون حفظ الكتلة لعل مفهوم قانون حفظ الكتلة من أهم المفاهيم الأساسية في الكيمياء. وجميع التفاعلات الكيميائية تتبع هذا القانون الذي ينص على أن المادة لا تفنى ولا تستحدث . ولهذا من الضروري أن تحتوي المعادلات التي تمثل التفاعلات الكيميائية على معلومات كافية توضح أن التفاعل يحقق قانون حفظ الكتلة.

يلخص **الشكل 8–4** خطوات وزن المعادلات. ولعلك تجد أن بعض المعادلات الكيميائية يمكن وزنها بسهولة، في حين أن وزن بعضها الآخر صعب.

التقويم 4-1

الخلاصة

- قد تشير بعض التغيرات الفيزيائية إلى حدوث تفاعل كيميائي.
- يحسب أقصى عدد من الإلكترونات يمكن أن يستوعبه مستوى الطاقة الرئيس من المعادلة: $e=2n^2$.
- توفر المعادلات الكيميائية اللفظية والرمزية معلومات مهمة عن التفاعل الكيميائي.
- توضح المعادلة الكيميائية الموزونة أنواع المتفاعلات والنواتج في التفاعل الكيميائي وكمياتها النسبية.
- يتضمن وزن المعادلة تعديل المعاملات حتى يتساوى عدد الذرات في طرفي المعادلة.

9. الفكرة الرئيسة **فسّر** ما أهمية وزن المعادلات الكيميائية؟
10. **عدّد** ثلاثة من المؤشرات التي تدل على حدوث التفاعل الكيميائي.
11. **اكتب** التوزيع الإلكتروني لكل من ذرة الألومنيوم Al، وذرة الأكسجين O، إذا علمت أن الأعداد الذرية هي 13، 8 على الترتيب.
12. **اكتب** الصيغة الكيميائية للمركب الناتج عن اتحاد أيون الحديد III Fe^{3+} مع أيون الأكسجين O^{2-}.
13. **قارن** بين المعادلة الكيميائية اللفظية والمعادلة الكيميائية الرمزية.
14. **فسّر** لماذا يجب اختصار المعاملات في المعادلة الموزونة إلى أبسط نسبة من الأعداد الصحيحة.
15. **حلّل** هل يمكنك عند وزن معادلة كيميائية تعديل الأرقام في الصيغة الكيميائية؟
16. **قوّم** هل المعادلة الآتية موزونة؟ إذا لم تكن كذلك فصحح المعاملات لوزنها:

$$K_2CrO_{4(aq)} + Pb(NO_3)_{2(aq)} \rightarrow KNO_{3(aq)} + PbCrO_{4(S)}$$

17. **قوّم** يتفاعل محلول حمض الفوسفوريك المائي H_3PO_4 مع محلول هيدروكسيد الكالسيوم المائي $Ca(OH)_2$ لإنتاج فوسفات الكالسيوم الصلبة $Ca_3(PO_4)_2$ والماء. اكتب معادلة كيميائية موزونة تعبر عن هذا التفاعل.

4–2

تصنيف التفاعلات الكيميائية

Classifying Chemical Reactions

الأهداف

- **تصنف** التفاعلات الكيميائية.
- **تحدد** مميزات الأنواع المختلفة للتفاعلات الكيميائية.

مراجعة المفردات

الفلز: عنصر يكون صلبًا في الغالب عند درجة حرارة الغرفة، وموصلًا جيدًا للحرارة والكهرباء، ولامعًا عمومًا.

المفردات الجديدة

تفاعل التكوين
تفاعل الاحتراق
تفاعل التفكك
تفاعل الإحلال البسيط
تفاعل الإحلال المزدوج
الراسب

الفكرة الرئيسة **هناك أربعة أنواع من التفاعلات الكيميائية، هي: التكوين، والاحتراق، والتفكك، والإحلال.**

الربط مع الحياة قد تحتاج إلى وقت طويل للعثور على كتاب ما في مكتبة غير منظمة. لذا تُصنف الكتب في المكتبات في مجموعات مختلفة لتسهيل عملية البحث عنها. وكذلك تصنف التفاعلات الكيميائية إلى أنواع مختلفة.

أنواع التفاعلات الكيميائية Types of Chemical Reactions

يصنف الكيميائيون التفاعلات الكيميائية لتنظيم الأعداد الكبيرة من هذه التفاعلات التي تحدث يوميًّا. إن معرفة أنواع التفاعلات الكيميائية تساعدك على تذكرها وفهمها، كما تساعدك أيضًا على معرفة أنماط حدوثها وتوقع نواتج الكثير منها. وهناك عدة طرائق لتصنيف التفاعلات الكيميائية، من أبسطها تلك التي تصنف التفاعلات إلى أربعة أنواع، هي: التكوين، والاحتراق، والتفكك، والإحلال. وقد تندرج بعض التفاعلات تحت أكثر من نوع من هذه الأنواع.

تفاعلات التكوين Synthesis Reactions

تفاعل التكوين تفاعل كيميائي تتحد فيه مادتان أو أكثر لتكوين مادة واحدة، ويمكن تمثيله بالمعادلة العامة الآتية:

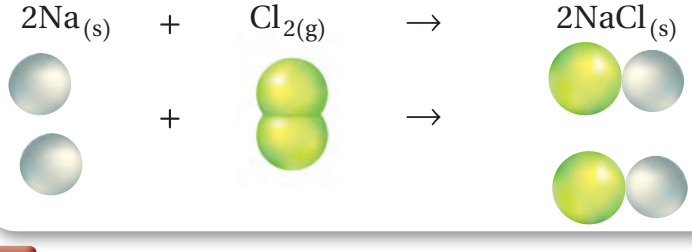
$$A + B \rightarrow AB$$

عندما يتفاعل عنصران فإن التفاعل بينهما يكون دائمًا تفاعل تكوين. فعلى سبيل المثال، يتفاعل عنصر الصوديوم مع عنصر الكلور وينتج كلوريد الصوديوم، انظر **الشكل 9–4**. كما يمكن أن يتحد مركبان لتكوين مركب واحد. فمثلًا التفاعل بين أكسيد الكالسيوم CaO والماء H_2O لتكوين هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ هو تفاعل تكوين.

$$CaO_{(s)} + H_2O_{(l)} \rightarrow Ca(OH)_{2(s)}$$

وهناك نوع آخر من تفاعلات التكوين يتضمن تفاعل مركب مع عنصر، مثل تفاعل غاز ثاني أكسيد الكبريت SO_2 مع غاز الأكسجين O_2 لتكوين غاز ثالث أكسيد الكبريت SO_3.

$$2SO_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2SO_{3(g)}$$



الشكل 9–4 يتفاعل عنصرا الصوديوم والكلور لتكوين مركب واحد، هو كلوريد الصوديوم.

الشكل 10–4 الضوء الناتج عن هذه اللعبة النارية هو نتيجة تفاعل احتراق بين الأكسجين وفلزات مختلفة.

المفردات

أصل الكلمة

الاحتراق (Combustion): أصل هذه الكلمة لاتيني comburere، وتعني يحترق.

تفاعلات الاحتراق Combustion Reactions

يمكن أن يصنف تفاعل التكوين بين الأكسجين وثاني أكسيد الكبريت على أنه تفاعل احتراق أيضًا. في **تفاعل الاحتراق**، كالذي يظهر في **الشكل 10–4**، يتحد الأكسجين مع مادة كيميائية مطلقًا طاقة على شكل حرارة وضوء. ويمكن للأكسجين أن يتحد بهذه الطريقة مع مواد كثيرة مختلفة، مما يجعل تفاعلات الاحتراق شائعة. ولمعرفة المزيد عن اكتشاف التفاعلات الكيميائية سواء كانت تفاعلات احتراق أو غيرها، انظر **الشكل 11–4**. فيحدث تفاعل الاحتراق مثلًا بين الهيدروجين والأكسجين عندما يسخَّن الهيدروجين؛ حيث يتكون الماء خلال التفاعل، وتنطلق كمية كبيرة من الطاقة، انظر **الشكل 12–4**. كما يحدث تفاعل احتراق عند حرق الفحم للحصول على الطاقة، بحسب المعادلة التالية:

$$C_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)}$$

الشكل 11–4

تفاعلات كيميائية من واقع الحياة

عمل الناس على مر العصور على فهم الطاقة الناتجة عن التفاعلات الكيميائية والاستفادة منها في حل مشاكلهم.

في عام **1800** أدت بعض أبحاث النبات إلى اكتشاف معادلة كيميائية موزونة لعملية البناء الضوئي.

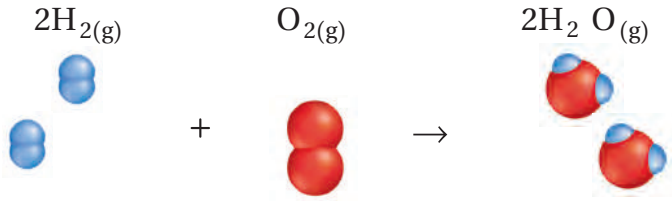
في عام **1885** اخترع محرك الاحتراق الداخلي، وقد صار فيما بعد نموذجًا للمحرك الحديث.

1920 **1905** **1800** **1700** **1600**

في **1635** افتتح أول مصنع للتفاعلات الكيميائية في ولاية بوسطن الأمريكية فكان ينتج الملح الصخري، ومكونات البارود، والشب الذي يستخدم في دباغة جلود الحيوانات.

في **1775** أثبت أنطوني لافوازييه أن تفاعلات الاحتراق طاردة للطاقة، وتتطلب وجود الأكسجين.

1910–1909 قام العالمان الألمانيان فرتز هابر وكارل بوش بوضع عملية لتحضير الأمونيا.



الشكل 12–4 يتكـون الماء خلال تفاعل الاحتراق بين غازي الهيدروجين والأكسجين.

حلل لماذا يعد هـذا التفاعل تفاعل احتراق وتفاعل تكوين أيضًا؟

لاحـظ أن جميـع تفاعلات الاحتراق التـي ذُكرت هي تفاعلات تكوين أيضًـا، إلا أنه ليس كل تفاعـلات الاحتراق تفاعـلات تكوين. فمثلاً ينتج تفاعل احتراق غـاز الميثان أكثر من مركب، كما هو مبين في المعادلة التالية:

$$CH_{4(g)} + 2O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} + 2H_2O_{(g)}$$

الميثـان هـو المكـون الرئيـس للغـاز الطبيعـي، وينتمـي إلى مجموعـة مـن المركّبـات تسـمى الهيدروكربونـات، وهـي المكون الأسـاسي للنفط. وتحتـوي الهيدروكربونـات جميعها على كربون وهيدروجين، وتحترق في الأكسـجين لإنتاج غاز ثاني أكسـيد الكربون والماء وكمية كبيرة من الطاقة، وهذا ما يجعل من النفط المصدر الأساسي للطاقة في حياتنا.

مسائل تدريبية

اكتب معادلات كيميائية رمزية موزونة للتفاعلات التالية، وصنف كل تفاعل منها:

18. تفاعل الألومنيوم مع الكبريت لإنتاج كبريتيد الألومنيوم الصلب.

19. تفاعل الماء مع غاز خامس أكسيد ثنائي النيتروجين N_2O_5 لإنتاج حمض النيتريك.

20. تفاعل غازي ثاني أكسـيد النيتروجين والأكسـجين، لإنتاج غاز خامس أكسيد ثنائي النيتروجين.

21. **تحفيـز** تفاعـل حمـض الكبريتيك مـع محلول هيدروكسـيد الصوديـوم لإنتاج محلول كبريتات الصوديوم والماء.

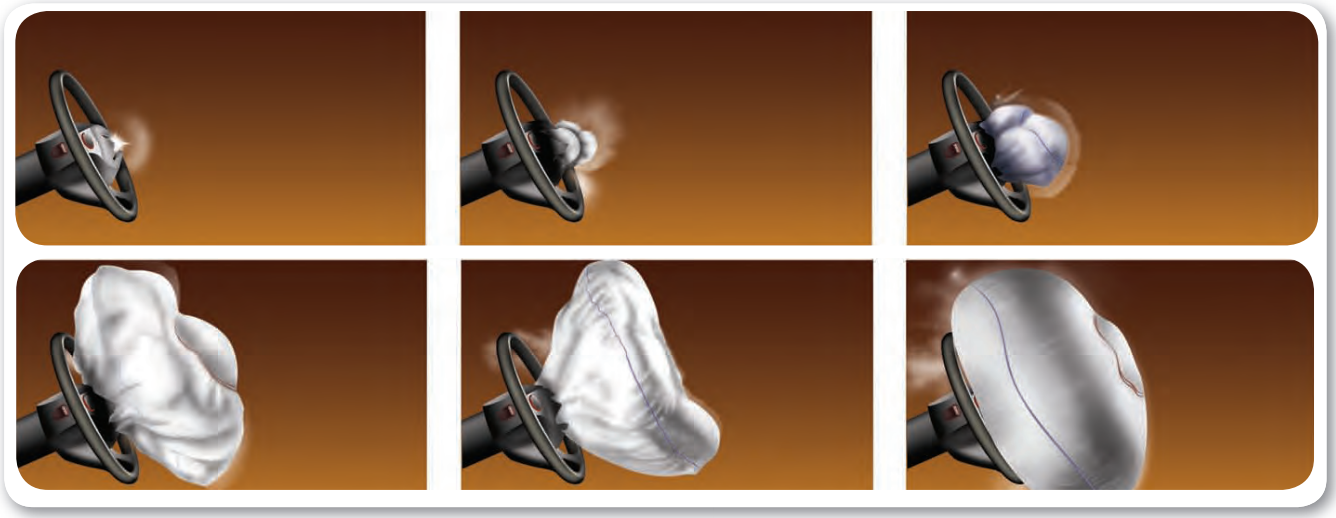
1974–1978 أثبت الباحثون أن الكلوروفلوروكربونـات CFCs تستنزف طبقـة الأوزون. لذلـك تم حظر استعمال علب الرش التي تستعمل فيها CFCs.

في عـام **2004** اكتشـف العلماء أن الطيور المهاجـرة تسترشد بتفاعلات كيميائيـة تحـدث في أجسامهـا وتتأثر بالمجـال المغناطيسي للأرض.

2010 | 1995 | 1980 | 1965 | 1950

في عام **1995** استعان الباحثون بالـمجهر الـذري لإحداث تفاعـلات كيميائية، وملاحظـة آليـة حدوثهـا عـلى المستوى الجزيئي، مما مهد لهندسة النانو.

في عـام **1952** غطى دخـان كثيـف مـن ثاني أكسيد الكبريت وبعـض نواتج احـتراق الفحم مدينـة لنـدن مـدة خمسـة أيـام وتسبب في 4000 حالة وفاة.



الشكل 13–4 ينتج عن تفكك أزيد الصوديوم NaN_3 غاز النيتروجين. وهو التفاعل الذي يستعمل في نفخ أكياس الهواء في السيارات.

تفاعلات التفكك Decomposition Reactions

تفاعل التفكك هو تفاعل يتفكك فيه مركب واحد لإنتاج عنصرين أو أكثر أو مركبات جديدة. ولهذا فإن تفاعلات التفكك هي عكس تفاعلات التكوين. ويمكن تمثيلها بالمعادلة العامة التالية:

$$AB \rightarrow A + B$$

وغالبًا ما تحتاج تفاعلات التفكك إلى مصدر للطاقة، كالحرارة أو الضوء أو الكهرباء. تتفكك نترات الأمونيوم مثلًا إلى أكسيد النيتروجين وماء عندما تسخن إلى درجة حرارة عالية:

$$NH_4NO_{3(S)} \xrightarrow{\Delta} N_2O_{(g)} + 2H_2O_{(g)}$$

لاحظ أن هذا التفاعل يتضمن تفكك مادة متفاعلة واحدة إلى أكثر من ناتج. ومن الأمثلة المشهورة على تفاعلات التفكك تفكك أزيد الصوديوم وفق المعادلة التالية:

$$2NaN_{3(s)} \rightarrow 2Na_{(s)} + 3N_{2(g)}$$

ويستعمل هذا التفاعل في نفخ أكياس الهواء (أكياس السلامة) في السيارات، انظر الشكل **13–4**؛ حيث يوضع في الكيس مع الأزيد جهاز يوفر إشارة كهربائية لبدء التفاعل. وعندما ينشط الجهاز نتيجة الاصطدام يتحلل أزيد الصوديوم منتجًا غاز النيتروجين الذي ينفخ الكيس بسرعة.

المطويات

ضمِّن مطويتك معلومات من هذا القسم.

مسائل تدريبية

اكتب معادلات كيميائية رمزية موزونة لتفاعلات التحلل (التفكك) الآتية:

22. يتفكك أكسيد الألومنيوم الصلب عندما تسري فيه الكهرباء إلى ألومنيوم صلب وغاز الأكسجين .

23. يتفكك هيدروكسيد النيكل II الصلب لإنتاج أكسيد النيكل II الصلب والماء.

24. **تحفيز** ينتج عن تسخين كربونات الصوديوم الهيدروجينية الصلبة كربونات الصوديوم الذائبة وماء وغاز ثاني أكسيد الكربون.

الشكل 14–4 في تفاعل الإحلال البسيط تحل ذرات عنصر محل ذرات عنصر آخر في مركب.

تفاعلات الإحلال Replacement Reactions

هناك الكثير من التفاعلات التي تتضمن إحلال عنصر محل عنصر آخر في مركب، وتسمى هذه التفاعلات تفاعلات الإحلال. وهناك نوعان منها، هما الإحلال البسيط، والإحلال المزدوج.

تفاعلات الإحلال البسيط: يبين **الشكل** (a) **14–4** التفاعل بين الليثيوم والماء، حيث تحل فيه ذرة ليثيوم محل ذرة واحدة من ذرتي الهيدروجين في الماء، كما توضحه المعادلة التالية:

$$2Li_{(s)} + 2H_2O_{(l)} \rightarrow 2LiOH_{(aq)} + H_{2(g)}$$

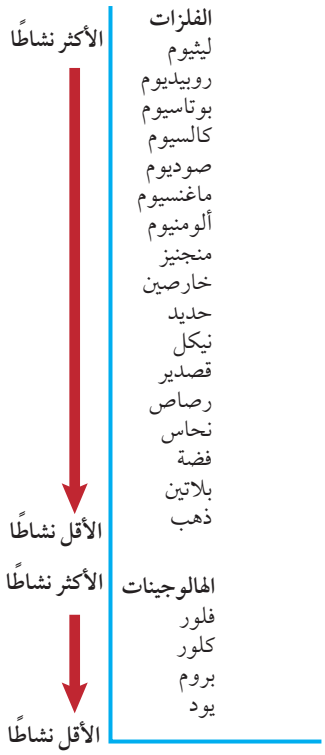
ويسمى التفاعل الذي تحل فيه ذرات عنصر محل ذرات عنصر آخر في مركب **تفاعل الإحلال البسيط**، ويمكن تمثيله بالمعادلة العامة التالية:

$$A + BX \rightarrow AX + B$$

الفلز يحل محل الهيدروجين أو فلز آخر التفاعل بين الليثيوم والماء أحد الأمثلة على تفاعلات الإحلال البسيط؛ حيث تحل فيه ذرة فلز محل ذرة هيدروجين في جزيء الماء. ويحدث نوع آخر من الإحلال البسيط عندما يحل فلز محل فلز آخر في مركب مذاب في الماء. يظهر **الشكل** (b) **14–4** حدوث تفاعل إحلال بسيط عند وضع صفيحة من النحاس في محلول مائي لنترات الفضة. فالبلورات المتراكمة على قطعة النحاس هي ذرات الفضة التي حلت محلها ذرات النحاس.

$$Cu_{(s)} + 2AgNO_{3(aq)} \rightarrow Cu(NO_3)_{2(aq)} + 2Ag_{(s)}$$

لا يحل الفلز دائمًا محل فلز آخر في مركب مذاب في الماء؛ وذلك لأن الفلزات تختلف في نشاطها، ويقصد بالنشاط مقدرة الفلز على التفاعل مع مادة أخرى. ويبين **الشكل 15–4** سلسلة النشاط الكيميائي لبعض الفلزات. وتستخدم تفاعلات الإحلال في تحديد موقع الفلزات في السلسلة؛ حيث يوجد أنشط الفلزات في أعلى السلسلة، بينما يوجد أقلها نشاطًا في أسفلها. وقد رتبت الهالوجينات أيضًا في سلسلة النشاط الكيميائي بحسب نشاطها، كما هو مبين في **الشكل 15–4**.



الشكل 15–4 سلسلة النشاط الكيميائي كالمبينة هنا للفلزات والهالوجينات هي أداة مفيدة في تحديد إمكانية حدوث تفاعل كيميائي، وتحديد نواتج تفاعلات الإحلال البسيط.

يمكنك استعمال سلسلة النشاط الكيميائي لتتوقع ما إذا كان سيحدث تفاعل أم لا. إن أي فلز يمكنه أن يحل محل أي فلز يقع بعده في سلسلة النشاط الكيميائي، ولكن لا يمكنه أن يحل محل أي فلز يقع قبله. فمثلًا تحل ذرات النحاس محل ذرات الفضة في محلول نترات الفضة، ولكن لو وضعت سلكًا من الفضة في محلول نترات النحاس II فإن ذرات الفضة لا تحل محل ذرات النحاس؛ لأن الفضة تقع بعد النحاس في سلسلة النشاط الكيميائي. ولهذا لا يحدث تفاعل. ويستخدم الرمز (NR) عادة للدلالة على عدم حدوث تفاعل كيميائي.

$$Ag_{(s)} + Cu(NO_3)_{2(aq)} \rightarrow NR$$

اللافلز يحل محل اللافلز هناك نوع ثالث من تفاعلات الإحلال البسيط، حيث يحل فيه لافلز محل لافلز آخر في مركب. كما هو شائع في بعض تفاعلات الهالوجينات. فالهالوجينات كالفلزات؛ فهي تظهر مستويات مختلفة من النشاط في تفاعلات الإحلال. ويوضح **الشكل 15–4** سلسلة النشاط الكيميائي للهالوجينات، التي تبين أن الفلور أنشط الهالوجينات، واليود أقلها نشاطًا. فالهالوجين الأنشط يحل محل الهالوجين الأقل نشاطًا في مركب ذائب في الماء. فالفلور مثلًا يحل محل البروم في محلول مائي لبروميد الصوديوم. لكن لا يحل البروم محل الفلور في محلول مائي لفلوريد الصوديوم.

$$F_{2(g)} + 2NaBr_{(aq)} \rightarrow 2NaF_{(aq)} + Br_{2(l)}$$

$$Br_{2(l)} + 2NaF_{(aq)} \rightarrow NR$$

ماذا قرأت؟ وضح كيف يحدث تفاعل الإحلال البسيط؟

تجربة عملية
تفاعلات الإحلال البسيط
ارجع إلى دليل التجارب العملية

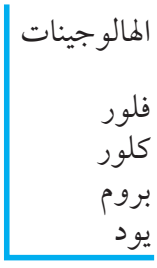
مختبر حل المشكلات

تحليل التدرج في الخواص

كيف تُفسر نشاط الهالوجينات؟ تقع الهالوجينات في المجموعة رقم **17** من الجدول الدوري، ويخبرنا هذا بأن للهالوجينات بعض الخواص العامة؛ فجميع الهالوجينات لا فلزات، ويوجد في مستويات طاقاتها الخارجية سبعة إلكترونات. ومع ذلك فلكل هالوجين ما يميزه من الخواص، ومن ذلك مدى قابلية التفاعل مع مادة أخرى.

التحليل

تفحص الشكل المبين الذي يظهر ترتيب الهالوجينات بحسب نشاطها الكيميائي.



التفكير الناقد

1. فسر كيف تساعدك سلسلة نشاط الهالوجينات على توقع ما إذا كان التفاعل سيحدث أم لا؟
2. هل يحل الفلور محل الكلور في محلول مائي لكلوريد الصوديوم؟ فسر إجابتك.
3. ادرس المعادلة التالية:

$$I_{2(g)} + NaBr_{(aq)} \rightarrow NR$$

لماذا لا يحل اليود محل البروم؟

4. أي الهالوجينات يتفاعل أسرع مع الصوديوم؟

مثال 2–4

تفاعلات الإحلال البسيط توقع نواتج التفاعلات الكيميائية التالية، واكتب معادلة كيميائية رمزية موزونة تمثل كلًّا منها:

a. $Fe_{(s)} + CuSO_{4(aq)} \rightarrow$

b. $Br_{2(l)} + MgCl_{2(aq)} \rightarrow$

c. $Mg_{(s)} + AlCl_{3(aq)} \rightarrow$

1 تحليل المسألة

استخدم **الشكل 15–4** لتحدد ما إذا كان كل من التفاعلات الكيميائية السابقة سيحدث أم لا، وحدِّد نواتج كل تفاعل يتوقع حدوثه، واكتب معادلة كيميائية رمزية تمثل التفاعل، وزِنْها.

2 حساب المطلوب

a. يقع الحديد قبل النحاس في سلسلة النشاط الكيميائي. ولهذا فإن التفاعل سيحدث؛ لأن الحديد أنشط من النحاس. وفي هذه الحالة يحل الحديد محل النحاس، وتكون المعادلة الكيميائية الرمزية للتفاعل على النحو التالي:

$$Fe_{(s)} + CuSO_{4(aq)} \rightarrow FeSO_{4(aq)} + Cu_{(s)}$$

وهذه المعادلة موزونة.

b. البروم أقل نشاطًا من الكلور؛ لأنه يقع بعد الكلور في سلسلة النشاط الكيميائي، ولهذا لا يحدث تفاعل. ويمكن تمثيل ذلك بالمعادلة الكيميائية الرمزية التالية:

$$Br_{2(l)} + MgCl_{2(aq)} \rightarrow NR$$

وفي هذه الحالة لا تتطلب المعادلة وزنًا.

c. يقع الماغنسيوم قبل الألومنيوم في سلسلة النشاط الكيميائي، ولهذا فإن التفاعل سيحدث؛ لأن الماغنسيوم أنشط من الألومنيوم. وفي هذه الحالة يحل الماغنسيوم محل الألومنيوم، وتكون المعادلة الكيميائية الرمزية غير الموزونة للتفاعل:

$$Mg_{(s)} + AlCl_{3(aq)} \rightarrow MgCl_{2(aq)} + Al_{(s)}$$

والمعادلة الموزونة هي: $3Mg_{(s)} + 2AlCl_{3(aq)} \rightarrow 3MgCl_{2(aq)} + 2Al_{(s)}$

3 تقويم الإجابة

تدعم سلسلة النشاط الكيميائي الموضحة في **الشكل 15–4** التوقعات. المعادلات الكيميائية موزونة؛ لأن عدد الذرات هو نفسه في طرفي المعادلة.

مسائل تدريبية

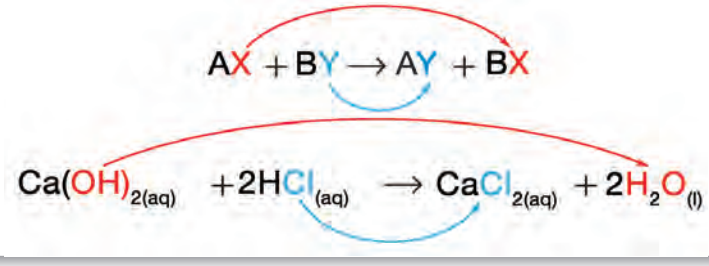
توقع ما إذا كانت تفاعلات الإحلال البسيط التالية ستحدث أم لا، وأكمل المعادلة الكيميائية الرمزية لكل تفاعل يتوقع حدوثه، ثم زنها:

25. $Zn_{(s)} + NiCl_{2(aq)} \rightarrow$

26. $Cl_{2(g)} + HF_{(aq)} \rightarrow$

27. $Fe_{(s)} + Na_3PO_{4(aq)} \rightarrow$

28. تحفيز $Al_{(s)} + Pb(NO_3)_{2(aq)} \rightarrow$



الشكل 16–4 تتبادل الأيونات أماكنها في تفاعلات الإحلال المزدوج كما في تفاعل هيدروكسيد الكالسيوم وحمض الهيدروكلوريك.

تفاعلات الإحلال المزدوج يسمى التفاعل الذي يتم فيه تبادل الأيونات بين مركبين **تفاعل الإحلال المزدوج**. انظر المعادلة العامة في **الشكل 16–4**.

يمثّل الرمزان A و B في هذه المعادلة أيونين موجبين، بينما يمثل الرمزان X و Y أيونين سالبين. لاحظ أن الأيونين السالبين قد تبادلا موقعيهما، وصارَا مرتبطين بأيونين موجبين مختلفين، وبمعنى آخر، حل X محل Y، وحل Y محل X. ولهذا السبب يسمى التفاعلُ تفاعل الإحلال المزدوج. فتفاعل هيدروكسيد الكالسيوم مثلاً وحمض الهيدروكلوريك الموضح في المعادلة التالية هو إحلال مزدوج.

$$Ca(OH)_{2(aq)} + 2HCl_{(aq)} \rightarrow CaCl_{2(aq)} + 2H_2O_{(l)}$$

الأيونات في التفاعل هي: Ca^{2+}, OH^-, H^+, Cl^-. لاحظ أن الأيونين السالبين Cl^- و OH^- قد غيّرا موقعيهما، وارتبطا بالأيونين الموجبين Ca^{2+} و H^+، على الترتيب. كما أن تفاعل هيدروكسيد الصوديوم مع كلوريد النحاس II هو أيضًا تفاعل إحلال مزدوج.

$$2NaOH_{(aq)} + CuCl_{2(aq)} \rightarrow 2NaCl_{(aq)} + Cu(OH)_{2(s)}$$

لاحظ أن الأيونين السالبين Cl^- و OH^- قد غيّرا موقعيهما وارتبطا بأيونين موجبين آخرين Na^+ و Cu^{2+}. ويظهر من **الشكل 17–4** أن ناتج هذا التفاعل مادة صلبة لا تذوب في الماء، وهي هيدروكسيد النحاس II. وتسمى المادة الصلبة التي تنتج خلال تفاعل كيميائي في محلولٍ ما **راسبًا**.

نواتج تفاعلات الإحلال المزدوج إحدى المميزات الأساسية لتفاعلات الإحلال المزدوج هي نوع الناتج المتكون عندما يحدث التفاعل. فجميع هذه التفاعلات تنتج ماءً، أو راسبًا، أو غازًا.

الشكل 17–4 عندما يضاف هيدروكسيد الصوديوم إلى محلول كلوريد النحاس II، تتبادل أيونات Cl^- و OH^- موقعيهما، وينتج عن التفاعل كلوريد الصوديوم الذي يبقى ذائبًا في المحلول، وهيدروكسيد النحاس II الذي يترسب في صورة مادة صلبة زرقاء اللون.

الجدول 8–4 الخطوات الأساسية لكتابة المعادلات الكيميائية الموزونة لتفاعلات الإحلال المزدوج

الخطوات	مثـــال
1. اكتب الصيغ الكيميائية للمتفاعلات.	$Al(NO_3)_3 + H_2SO_4$
2. عيّن الأيونات الموجبة والسالبة في كل مركب.	$Al(NO_3)_3$ فيه Al^{3+} و NO^{3-} H_2SO_4 فيه H^+ و SO_4^{2-}
3. اربط بين كل أيون موجب والأيون السالب في المركب الآخر.	SO_4^{2-} يرتبط مع Al^{3+} NO_3^- يرتبط مع H^+
4. اكتب الصيغ الكيميائية للنواتج مستعينًا بالخطوة 3.	$Al_2(SO_4)_3$ HNO_3
5. اكتب المعادلة الكيميائية الكاملة لتفاعل الإحلال المزدوج.	$Al(NO_3)_{3(aq)} + H_2SO_{4(aq)} \rightarrow Al_2(SO_4)_{3(s)} + HNO_{3(aq)}$
6. زن المعادلة.	$2Al(NO_3)_{3(aq)} + 3H_2SO_{4(aq)} \rightarrow Al_2(SO_4)_{3(s)} + 6HNO_{3(aq)}$

ارجع إلى تفاعلَي الإحلال المزدوج اللذين نوقشا؛ حيث ينتج ماء عن تفاعل هيدروكسيد الكالسيوم مع حمض الهيدروكلوريك، وينتج عن تفاعل هيدروكسيد الصوديوم مع كلوريد النحاس II راسب. ومن تفاعلات الإحلال المزدوج التي تُنتج غازًا تفاعل سيانيد البوتاسيوم KCN وحمض الهيدروبروميك HBr.

$$KCN_{(aq)} + HBr_{(aq)} \rightarrow KBr_{(aq)} + HCN_{(g)}$$

ويبين **الجدول 8–4** الخطوات الأساسية لكتابة معادلات كيميائية موزونة لتفاعلات الإحلال المزدوج.

ماذا قرأت؟ **صف** ما يحدث للأيونات السالبة في تفاعلات الإحلال المزدوج.

مسائل تدريبية

اكتب معادلات كيميائية رمزية موزونة لتفاعلات الإحلال المزدوج الآتية:

29. تتفاعل المادتان اللتان عن اليسار معًا لإنتاج يوديد الفضة الصلب ومحلول نترات الليثيوم.

30. يتفاعل محلول كلوريد الباريوم مع محلول كربونات البوتاسيوم لإنتاج كربونات الباريوم الصلبة ومحلول كلوريد البوتاسيوم.

31. يتفاعل محلول كبريتات الصوديوم مع محلول نترات الرصاص II لإنتاج كبريتات الرصاص II الصلبة ومحلول نترات الصوديوم.

32. **تحفيز** يتفاعل حمض الإيثانويك (CH_3COOH) (حمض الخل) مع هيدروكسيد البوتاسيوم لإنتاج إيثانوات البوتاسيوم (خلات البوتاسيوم) والماء.

الجدول 9–4 النواتج المتوقعة لبعض التفاعلات الكيميائية

نوع التفاعل	المواد المتفاعلة	النواتج المتوقعة	المعادلة العامة
التكوين	• مادتان أو أكثر	• مركب واحد	$A + B \rightarrow AB$
الاحتراق	• فلز وأكسجين • لافلز وأكسجين • مركب وأكسجين	• أكسيد الفلز • أكسيد اللافلز • أكسيدان أو أكثر	$A + O_2 \rightarrow AO$
التفكك	مركب واحد	عنصران أو أكثر و/أو مركبات أخرى	$AB \rightarrow A + B$
الإحلال البسيط	فلز ومركب لافلز ومركب	مركب جديد والفلز المستعاض عنه مركب جديد واللافلز المستعاض عنه	$A + BX \rightarrow AX + B$
الإحلال المزدوج	مركبان	مركبان مختلفان، أحدها صلب، أو ماء، أو غاز.	$AX + BY \rightarrow AY + BX$

يلخص **الجدول 9–4** أنواع التفاعلات الكيميائية. يمكنك الاستعانة بالجدول لمعرفة أنواع التفاعلات المختلفة وتوقع نواتجها. على سبيل المثال، كيف تحدد نوع التفاعل بين أكسيد الكالسيوم الصلب وغاز ثاني أكسيد الكربون في إنتاج كربونات الكالسيوم الصلبة؟

أولاً: اكتب المعادلة الكيميائية.

$$CaO_{(s)} + CO_{2(g)} \rightarrow CaCO_{3(s)}$$

ثانيًا: حدد ما يحدث في التفاعل. في هذه الحالة، تتفاعل مادتان وينتج عنهما مركب واحد.

ثالثًا: استعن بالجدول لتحديد نوع التفاعل. التفاعل هو تفاعل تكوين.

رابعًا: تأكد من إجابتك بمقارنة معادلة التفاعل بالمعادلة العامة لنوع التفاعل.

$$CaO_{(s)} + CO_{2(g)} \rightarrow CaCO_{3(s)}$$
$$A + B \rightarrow AB$$

التقويم 4-2

الخلاصة

- يسهّل تصنيف التفاعلات الكيميائية فهمها وتذكرها وتعرّفها.
- تستخدم سلسلة النشاط الكيميائي للفلزات والهالوجينات في توقع حدوث تفاعلات الإحلال البسيط.

33. الفكرة الرئيسة **وضّح** الأنواع الأربعة من التفاعلات الكيميائية وخواصها.

34. **اشرح** كيف تم ترتيب سلسلة النشاط الكيميائي للفلزات؟

35. **قارن** بين تفاعلات الإحلال البسيط والإحلال المزدوج.

36. **صف** ماذا ينتج عن تفاعل الإحلال المزدوج؟

37. **صنّف.** ما نوع التفاعل المرجح حدوثه عندما يتفاعل الباريوم مع الفلور؟ اكتب معادلة كيميائية موزونة للتفاعل.

38. **فسّر البيانات.** هل يمكن للتفاعل الآتي أن يحدث؟ فسّر إجابتك.

$$3Ni + 2AuBr_3 \rightarrow 3NiBr_2 + 2Au$$

4–3

التفاعلات في المحاليل المائية
Reactions in Aqueous Solutions

الأهداف

- **تصف** المحاليل المائية.
- **تكتب** معادلات أيونية كاملة ومعادلات أيونية نهائية للتفاعلات الكيميائية في المحاليل المائية.
- **تتوقع** ما إذا كانت التفاعلات في المحاليل المائية ستؤدي إلى إنتاج راسب، أو ماء، أو غاز.

مراجعة المفردات

المحلول: مخلوط متجانس قد يحوي مواد صلبة، أو سائلة، أو غازية.

المفردات الجديدة

المحلول المائي
المذاب
المذيب
المعادلة الأيونية الكاملة
الأيونات المتفرجة
المعادلة الأيونية النهائية

الفكرة الرئيسة **تحدث تفاعلات الإحلال المزدوج بين المواد في المحاليل المائية، وتؤدي إلى إنتاج رواسب، أو ماء، أو غازات.**

الربط مع الحياة يستعمل مسحوق نكهة الليمون في تحضير شراب الليمون. فعندما يضاف المسحوق إلى الماء فإن بلوراته تذوب فيه مكوّنة محلولًا له نكهة الليمون.

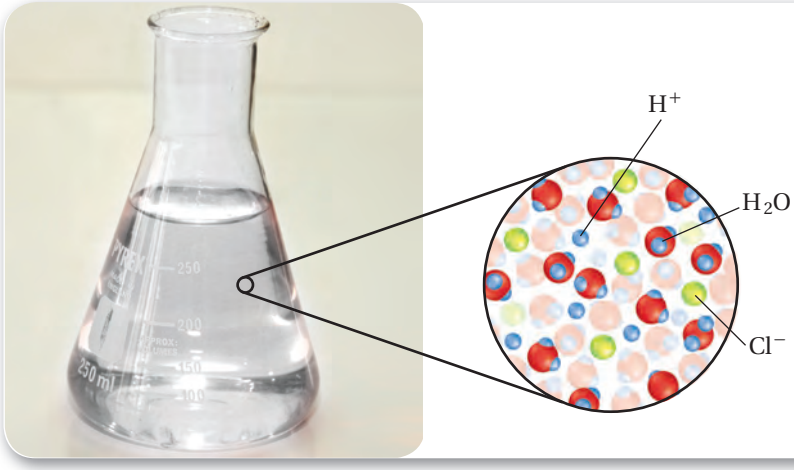
المحاليل المائية Aqueous Solutions

عرفتَ سابقًا أن المحلول مخلوط متجانس. كما أنَّ الكثير من التفاعلات التي نوقشت تتضمن موادّ مذابة في الماء، أيْ تكون على شكل محاليل مائية. و**المحلول المائي** يحتوي على مادة أو أكثر مذابة في الماء تسمى **المذاب**. أما الماء – أكبر مكوّنات المحلول – فيسمى **المذيب**.

المركبات الجزيئية في المحلول الماء هو المذيب في المحاليل المائية دائمًا، أما المواد التي قد تذوب فيه فهي كثيرة. فالسكروز (سكر المائدة)، والإيثانول (الكحول) هما مركبان يذوبان في المحلول في صورة جزيئات، وهناك مواد جزيئية (تساهمية) تكوّن أيونات عندما تذوب في الماء. فالمركب الجزيئي كلوريد الهيدروجين مثلًا يكوّن أيونات الهيدروجين وأيونات الكلوريد عندما يذوب في الماء، كما هو مبين في **الشكل 18–4**. ويمكن تمثيل عملية التأين هذه بالمعادلة الآتية:

$$HCl_{(aq)} \rightarrow H^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$$

تسمى المركبات التي تنتج أيونات الهيدروجين ـ ومنها كلوريد الهيدروجين ـ أحماضًا، ولهذا فإن محلول كلوريد الهيدروجين المائي يُسمى حمض الهيدروكلوريك. وسوف تعرف أكثر عن الأحماض لاحقًا.



الشكل 18–4 يتفكك حمض الهيدروكلوريك HCl في الماء إلى أيونات هيدروجين H^+، وأيونات كلوريد Cl^-.

المركبات الأيونية في المحلول تتكون المركبات الأيونية من أيونات موجبة وأيونات سالبة مرتبطة معًا بروابط أيونية. وعندما تذوب المركبات الأيونية في الماء فإن أيوناتها تنفصل بعضها عن بعض. وتسمى هذه العملية التفكك. فالمحلول المائي لكلوريد الصوديوم مثلًا يحتوي على أيونات Na^+ و Cl^-.

أنواع التفاعلات في المحاليل المائية
Types of Reactions in Aqueous Solutions

عند مزج محلولين مائيين يحويان أيونات ذائبة فإن الأيونات قد يتفاعل بعضها مع بعض. وكثير من هذه التفاعلات تفاعلات إحلال مزدوج، ويمكن أن تؤدي إلى ثلاثة أنواع من النواتج هي: راسب، أو ماء، أو غاز. أما جزيئات المذيب ـ وهي في الغالب جزيئات ماء ـ فلا تتفاعل عادةً.

التفاعلات التي تكوّن رواسب بعض التفاعلات التي تحدث في المحاليل المائية تنتج رواسب. فمثلًا، عند خلط محلول هيدروكسيد الصوديوم مع محلول كلوريد النحاس II يحدث تفاعل إحلال مزدوج يؤدي إلى تكوين راسب من هيدروكسيد النحاس II.

$$2NaOH_{(aq)} + CuCl_{2(aq)} \rightarrow 2NaCl_{(aq)} + Cu(OH)_{2(s)}$$

لاحظ أن المعادلة الكيميائية لا توضح بعض تفاصيل هذا التفاعل؛ فهيدروكسيد الصوديوم وكلوريد النحاس II مركبات أيونية، ولهذا فهما يوجدان في محلوليهما على شكل أيونات Na^+ , OH^- , Cu^{2+} , Cl^- كما هو مبين في **الشكل 19–4**. وعند مزج المحلولين تتحد أيونات Cu^{2+} مع أيونات OH^- لتكوين راسب من هيدروكسيد النحاس II $Cu(OH)_2$. أما أيونات Cl^- و Na^+ فتبقى ذائبة في المحلول.

المفردات

الاستعمال العلمي مقابل الاستعمال الشائع

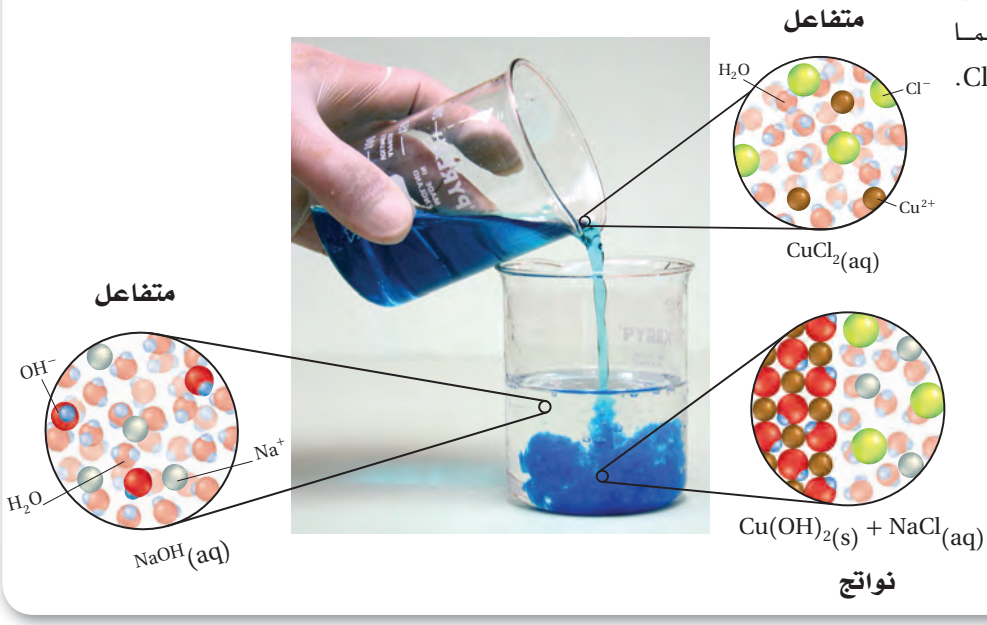
المركب

الاستعمال العلمي: اتحاد عنصرين أو أكثر كيميائيًا.

ملح الطعام مركب ينتج عن اتحاد عنصر الصوديوم مع عنصر الكلور.

الاستعمال الشائع: كلمة تتكون من مقطعين.

ملح الطعام يسمى كلوريد الصوديوم.



الشكل 19–4 يتفكك NaOH في الماء إلى أيوني Na^+ و OH^-، كما يتفكك $CuCl_2$ إلى أيوني Cu^{2+} و Cl^-.

تجربة

لاحظ تفاعلاً يكوّن راسبًا

كيف يكوّن محلولان مادة صلبة؟

خطوات العمل

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. ضع 50 mL ماءً مقطرًا في كأس سعتها 150 mL.
3. زن 4 g من حبيبات NaOH، ثم أضفها بالتدريج حبيبة بعد أخرى إلى الكأس. واحرص على تحريك المحلول بساق التحريك حتى تذوب كل حبيبة تمامًا قبل إضافة الأخرى.
4. زن 6 g من ملح إبسوم ($MgSO_4$ كبريتات الماغنسيوم)، وضعها في كأس أخرى سعتها 150 mL، ثم أضف 50 mL ماء مقطرًا إلى الملح، وحركه بساق التحريك حتى يذوب الملح تمامًا.
5. أضف محلول ملح إبسوم ببطء إلى محلول NaOH، وسجل ملاحظاتك.
6. حرك المحلول الناتج، وسجل ملاحظاتك.
7. اترك الراسب حتى يستقر، ثم افصل السائل عنه في **مخبار مدرج** سعته 100 mL.
8. تخلص من الراسب كما يرشدك معلمك.

التحليل

1. اكتب معادلة كيميائية رمزية موزونة للتفاعل بين NaOH و $MgSO_4$. ولاحظ أن أغلب مركبات الكبريتات توجد في صورة أيونات في المحاليل المائية.
2. اكتب المعادلة الأيونية الكاملة لهذا التفاعل.
3. حدد أي الأيونات متفرجة، ثم اكتب المعادلة الأيونية النهائية للتفاعل.

المعادلات الأيونية لتوضيح تفاصيل التفاعلات التي تتضمن أيونات في المحاليل المائية، يستخدم الكيميائيون المعادلات الأيونية، وهي تختلف عن المعادلات الكيميائية الرمزية الموزونة في أنّ المواد التي تكون على شكل أيونات في المحلول تكتب كأيونات في المعادلة. فلكيْ تكتب المعادلة الأيونية لتفاعل محلولي NaOH و $CuCl_2$ مثلًا يجب أن تكتب المتفاعلات والناتج NaCl على شكل أيونات.

$$2Na^+_{(aq)} + 2OH^-_{(aq)} + Cu^{2+}_{(aq)} + 2Cl^-_{(aq)} \rightarrow$$

$$2Na^+_{(aq)} + 2Cl^-_{(aq)} + Cu(OH)_{2(s)}$$

وتُسمى المعادلة التي تبين الجسيمات في المحلول **المعادلة الأيونية الكاملة**. لاحظ أن أيونات الصوديوم والكلور مواد متفاعلة وناتجة في الوقت نفسه، أيْ أنها لم تشارك في التفاعل، ولهذا تسمى **الأيونات المتفرجة**. وعند شطب هذه الأيونات من طرفي المعادلة الأيونية تحصل على ما يسمى **المعادلة الأيونية النهائية**، وهي تشتمل على الجسيمات المشاركة في التفاعل فقط.

$$\cancel{2Na^+_{(aq)}} + 2OH^-_{(aq)} + Cu^{2+}_{(aq)} + \cancel{2Cl^-_{(aq)}} \rightarrow$$

$$\cancel{2Na^+_{(aq)}} + \cancel{2Cl^-_{(aq)}} + Cu(OH)_{2(s)}$$

لاحظ أنه لم يتبق سوى أيونات الهيدروكسيد والنحاس في المعادلة الأيونية النهائية الموضحة أدناه:

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

ماذا قرأت؟ **قارن** فيم تختلف المعادلات الأيونية عن المعادلات الرمزية الكيميائية؟

مثال 3–4

التفاعلات التي تكوّن راسبًا اكتب المعادلة الكيميائية الرمزية الموزونة، والأيونية الكاملة، والأيونية النهائية لتفاعل محلول نترات الباريوم مع محلول كربونات الصوديوم الذي يكوّن راسبًا من كربونات الباريوم.

1 تحليل المسألة

لقد أُعطيت أسماء المركبات للمواد المتفاعلة والنواتج. لكتابة معادلة كيميائية موزونة للتفاعل يجب أن تحدد الكميات النسبية للمواد المتفاعلة والناتجة. ولكتابة المعادلة الأيونية الكاملة تحتاج إلى توضيح الحالات الأيونية للمواد المتفاعلة والناتجة. وبشطب الأيونات المتفرجة من طرفي هذه المعادلة يمكنك كتابة المعادلة الأيونية النهائية.

2 حساب المطلوب

اكتب الصيغ الكيميائية الصحيحة والحالات الفيزيائية لكل المواد في التفاعل:

$$Ba(NO_3)_{2(aq)} + Na_2CO_{3(aq)} \rightarrow BaCO_{3(s)} + NaNO_{3(aq)}$$

زن المعادلة الكيميائية الرمزية

$$Ba(NO_3)_{2(aq)} + Na_2CO_{3(aq)} \rightarrow BaCO_{3(s)} + 2NaNO_{3(aq)}$$

وضح أيونات المواد المتفاعلة والناتجة

$$Ba^{2+}{}_{(aq)} + 2NO_3{}^{-}{}_{(aq)} + 2Na^{+}{}_{(aq)} + CO_3{}^{2-}{}_{(aq)} \rightarrow BaCO_{3(s)} + 2Na^{+}{}_{(aq)} + 2NO_3{}^{-}{}_{(aq)}$$

احذف الأيونات المتفرجة من المعادلة الأيونية الكاملة

$$Ba^{2+}{}_{(aq)} + \cancel{2NO_3{}^{-}{}_{(aq)}} + \cancel{2Na^{+}{}_{(aq)}} + CO_3{}^{2-}{}_{(aq)} \rightarrow BaCO_{3(s)} + \cancel{2Na^{+}{}_{(aq)}} + \cancel{2NO_3{}^{-}{}_{(aq)}}$$

اكتب المعادلة الأيونية النهائية

$$Ba^{2+}{}_{(aq)} + CO_3{}^{2-}{}_{(aq)} \rightarrow BaCO_{3(s)}$$

3 تقويم الإجابة

المعادلات موزونة؛ لأن عدد الذرات هو نفسه في طرفيها. وتشتمل المعادلة الأيونية النهائية على عدد أقل من المواد، وتبين الأيونات المتفاعلة لتكوين الراسب (المادة الصلبة).

مسائل تدريبية

اكتب معادلات كيميائية رمزية موزونة، وأيونية كاملة، وأيونية نهائية لكل من التفاعلات الآتية التي قد تكوّن راسبًا، مستخدمًا (NR) لبيان عدم حدوث تفاعل.

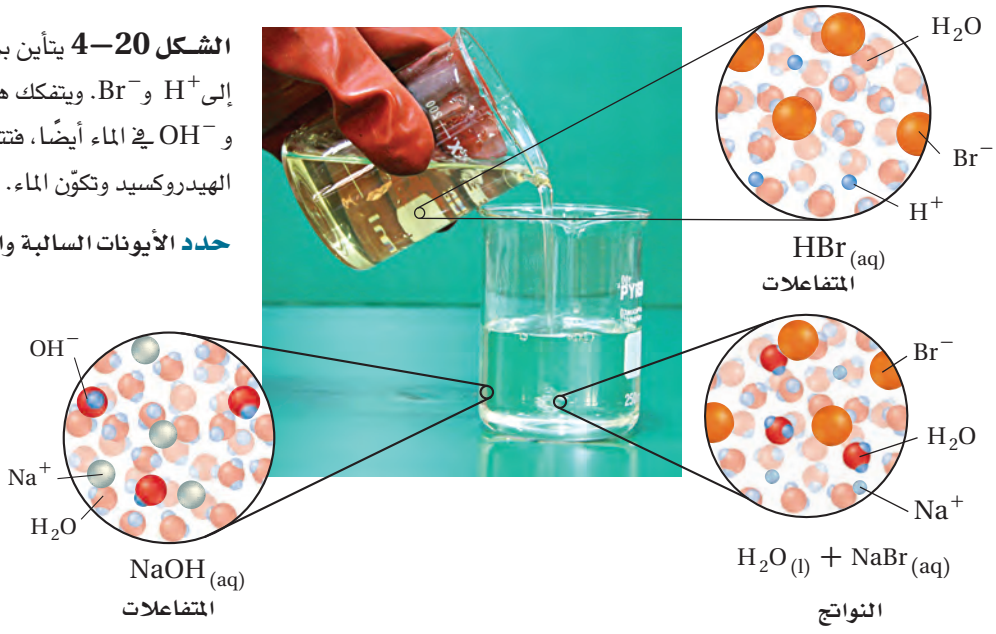
39. عند خلط محلولي يوديد البوتاسيوم KI ونترات الفضة تكوّن راسب من يوديد الفضة.

40. عند خلط محلولي فوسفات الأمونيوم وكبريتات الصوديوم لم يتكون أي راسب، ولم يتصاعد أي غاز.

41. عند خلط محلولي كلوريد الألومنيوم وهيدروكسيد الصوديوم تكوّن راسب من هيدروكسيد الألومنيوم.

42. عند خلط محلولي كبريتات الليثيوم ونترات الكالسيوم تكوّن راسب من كبريتات الكالسيوم.

43. تحفيز عند خلط محلولي كربونات الصوديوم وكلوريد المنجنيز الخماسي (V) تكوّن راسب يحتوي على المنجنيز.



الشكل 20–4 يتأين بروميد الهيدروجين HBr في الماء إلى H^+ و Br^-. ويتفكك هيدروكسيد الصوديوم إلى Na^+ و OH^- في الماء أيضًا، فتتفاعل أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد وتكوّن الماء.

حدد الأيونات السالبة والأيونات الموجبة في هذا التفاعل.

التفاعلات التي تكوّن ماء هذا النوع من تفاعلات الإحلال المزدوج يؤدي إلى تكوين جزيئات ماء، فيزداد عدد جزيئات الماء (المذيب). وبخلاف التفاعلات التي يتكون فيها راسب، لا يلاحظ في هذا النوع من التفاعلات دليل على حدوث تفاعل كيميائي؛ لأن الماء عديم اللون والرائحة، كما أنه يشكّل أغلب المحلول. فعندما تخلط محلول حمض الهيدروبروميك HBr مثلًا مع محلول هيدروكسيد الصوديوم NaOH كما هو مبين في **الشكل 20–4**، يحدث تفاعل إحلال مزدوج، ويتكون ماء، كما هو موضح في المعادلة الآتية:

$$HBr_{(aq)} + NaOH_{(aq)} \rightarrow H_2O_{(l)} + NaBr_{(aq)}$$

وينتج عن التفاعل بروميد الصوديوم، ويكون في صورة أيونات في المحلول المائي. وتوضح المعادلة الأيونية الكاملة للتفاعل هذه الأيونات:

$$H^+_{(aq)} + Br^-_{(aq)} + Na^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)} \rightarrow H_2O_{(l)} + Na^+_{(aq)} + Br^-_{(aq)}$$

لو دققت في هذه المعادلة فسوف تلاحظ أن الأيونات المتفاعلة هي أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد؛ لأن كلًّا من أيونات الصوديوم وأيونات البروميد أيونات متفرجة. وإذا حذفت الأيونات المتفرجة فستبقى فقط الأيونات التي تشارك في التفاعل.

$$H^+_{(aq)} + \cancel{Br^-_{(aq)}} + \cancel{Na^+_{(aq)}} + OH^-_{(aq)} \rightarrow H_2O_{(l)} + \cancel{Na^+_{(aq)}} + \cancel{Br^-_{(aq)}}$$

وتكون المعادلة الأيونية النهائية للتفاعل كالآتي:

$$H^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)} \rightarrow H_2O_{(l)}$$

ماذا قرأت؟ حلّل لماذا تسمى أيونات الصوديوم وأيونات البروميد في تفاعل محلول هيدروكسيد الصوديوم مع حمض الهيدروبروميك أيونات متفرجة؟

مثال 4–4

التفاعلات التي تكون ماء اكتب المعادلة الكيميائية الرمزية الموزونة، والأيونية الكاملة، والأيونية النهائية لتفاعل حمض الهيدروكلوريك مع محلول هيدروكسيد الليثيوم الذي يكوّن ماء ومحلول كلوريد الليثيوم.

1 تحليل المسألة

لقد أُعطيت المتفاعلات والنواتج. لكتابة معادلة كيميائية موزونة للتفاعل يجب أن تحدد الصيغ الكيميائية والكميات النسبية للمتفاعلات والنواتج. ولكتابة المعادلة الأيونية الكاملة تحتاج إلى توضيح الحالات الأيونية للمتفاعلات والنواتج. وبشطب الأيونات المتفرجة من طرفي المعادلة يمكنك كتابة المعادلة الأيونية النهائية.

2 حساب المطلوب

اكتب معادلة كيميائية رمزية للتفاعل، ثم زنها.

$$HCl_{(aq)} + LiOH_{(aq)} \rightarrow H_2O_{(l)} + LiCl_{(aq)}$$

وضح أيونات المواد المتفاعلة والناتجة.

$$H^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)} + Li^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)} \rightarrow H_2O_{(l)} + Li^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$$

احذف الأيونات المتفرجة من المعادلة الأيونية الكاملة.

$$H^+_{(aq)} + \cancel{Cl^-_{(aq)}} + \cancel{Li^+_{(aq)}} + OH^-_{(aq)} \rightarrow H_2O_{(l)} + \cancel{Li^+_{(aq)}} + \cancel{Cl^-_{(aq)}}$$

اكتب المعادلة الأيونية النهائية.

$$H^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)} \rightarrow H_2O_{(l)}$$

3 تقويم الإجابة

تشتمل المعادلة الأيونية النهائية على عدد أقل من المواد، وتبين الأيونات المتفاعلة التي تكون الماء.

مسائل تدريبية

اكتب معادلات كيميائية رمزية موزونة، وأيونية كاملة، وأيونية نهائية للتفاعلات بين المواد التالية، التي تنتج ماء.

44. عند خلط حمض الكبريتيك H_2SO_4 بمحلول هيدروكسيد البوتاسيوم ينتج ماء ومحلول كبريتات البوتاسيوم.

45. عند خلط حمض الهيدروكلوريك HCl بمحلول هيدروكسيد الكالسيوم ينتج ماء ومحلول كلوريد الكالسيوم.

46. عند خلط حمض النيتريك HNO_3 بمحلول هيدروكسيد الأمونيوم ينتج ماء ومحلول نترات الأمونيوم.

47. عند خلط كبريتيد الهيدروجين H_2S بمحلول هيدروكسيد الكالسيوم ينتج ماء ومحلول كبريتيد الكالسيوم.

48. **تحفيز** عند خلط حمض البنزويك C_6H_5COOH وهيدروكسيد المغنسيوم يتكون ماء وبنزوات المغنسيوم.

التفاعلات التي تكوّن غازات ينتج عن هذا النوع من تفاعلات الإحلال المزدوج تكوين غازات، مثل CO_2، و HCN، و H_2S. فعندما تخلط حمض الهيدرويوديك HI بمحلول كبريتيد الليثيوم Li_2S يتصاعد غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S، كما ينتج يوديد الليثيوم LiI الذي يظل ذائبًا في المحلول.

$$2HI_{(aq)} + Li_2S_{(aq)} \rightarrow H_2S_{(g)} + 2LiI_{(aq)}$$

وما عدا H_2S فإن جميع المواد في التفاعل توجد على شكل أيونات. لذا يمكنك كتابة المعادلة الأيونية الكاملة للتفاعل على النحو الآتي:

$$2H^+_{(aq)} + \cancel{2I^-_{(aq)}} + \cancel{2Li^+_{(aq)}} + S^{2-}_{(aq)} \rightarrow$$

$$H_2S_{(g)} + \cancel{2Li^+_{(aq)}} + \cancel{2I^-_{(aq)}}$$

وبحذف الأيونات المتفرجة يمكنك الحصول على المعادلة الأيونية النهائية للتفاعل، وهي:

$$2H^+_{(aq)} + S^{2-}_{(aq)} \rightarrow H_2S_{(g)}$$

ويعد التفاعل في التجربة الاستهلالية التى كنت قد أجريتها في بداية هذا الفصل مثالًا آخر على التفاعلات التي تكوّن غازًا؛ فالفقاعات التي تكونت خلال التفاعل هي غاز ثاني أكسيد الكربون.

ومن التفاعلات التي تنتج غاز ثاني أكسيد الكربون أيضًا ما يحدث في المطبخ عندما تخلط الخل بصودا الخبز. فالخل محلول مائي لحمض الإيثانويك، وصودا الخبز عبارة عن كربونات الصوديوم الهيدروجينية. وعند خلطهما معًا يتفاعلان ويتصاعد غاز CO_2، كما هو موضح في **الشكل 21–4**.

وهناك تفاعل آخر مشابه لتفاعل الخل مع صودا الخبز، يحدث عندما تخلط أي محلول حمضي بكربونات الصوديوم الهيدروجينية (بيكربونات الصوديوم).

الشكل 21–4 عندما يتفاعل الخل مع صودا الخبز $NaHCO_3$ يحدث تصاعد سريع لغاز ثاني أكسيد الكربون CO_2.

تجربة عملية
تفاعلات الإحلال المزدوج
ارجع إلى دليل التجارب العملية

وفي الحالات جميعها يجب أن يحدث تفاعلان متزامنان في المحلول لينتج غاز ثاني أكسيد الكربون. أحد هذين التفاعلين تفاعل إحلال مزدوج، والآخر تفاعل تفكك. فعندما تذيب كربونات الصوديوم الهيدروجينية مثلًا في حمض الهيدروكلوريك يحدث تفاعل إحلال مزدوج، وينتج غاز، انظر **الشكل 21–4**.

فكلوريد الصوديوم مادة أيونية تبقى في الماء على شكل أيونات منفصلة. أما حمض الكربونيك H_2CO_3 فيتفكك بمجرد تكونه إلى ماء وغاز ثاني أكسيد الكربون. فالهيدروجين في حمض الهيدروكلوريك والصوديوم في كربونات الصوديوم الهيدروجينة يحل كل منهما محل الآخر.

$$HCl_{(aq)} + NaHCO_{3(aq)} \rightarrow H_2CO_{3(aq)} + NaCl_{(aq)}$$

لكن بمجرد أن يتكون حمض الكربونيك H_2CO_3 يتفكك مكونًا الماء وغاز ثاني أكسيد الكربون. وهذا عكس ما يحدث للمواد الأيونية ومنها كلوريد الصوديوم؛ حيث تبقى أيوناتها منفصلة في المحلول.

$$H_2CO_{3(aq)} \rightarrow H_2O_{(l)} + CO_{2(g)}$$

ويمكنك -كما تجمع المعادلات الرياضية- أن تجمع معادلتي التفاعلين وأن تمثلهما بمعادلة كيميائية تسمى المعادلة الكلية للتفاعل.

المعادلة 1: $HCl_{(aq)} + NaHCO_{3(aq)} \rightarrow HaCO_{3(aq)} + NaCl_{(aq)}$

المعادلة 2: $H_2CO_{3(aq)} \rightarrow H_2O_{(l)} + CO_{2(g)}$

المعادلة الكلية:
$$HCl_{(aq)} + NaHCO_{3(aq)} + \cancel{H_2CO_{3(aq)}} \rightarrow \cancel{H_2CO_{3(aq)}} + NaCl_{(aq)} + H_2O_{(l)} + CO_{2(g)}$$

وبحذف H_2CO_3 من طرفي المعادلة تحصل على ما يسمى المعادلة النهائية للتفاعل.

$$HCl_{(aq)} + NaHCO_{3(aq)} \rightarrow H_2O_{(l)} + CO_{2(g)} + NaCl_{(aq)}$$

هذا، ويمكنك كتابة المعادلة الأيونية الكاملة كالآتي:

$$H^+_{(aq)} + \cancel{Cl^-_{(aq)}} + \cancel{Na^+_{(aq)}} + HCO^-_{3(aq)} \rightarrow H_2O_{(l)} + CO_{2(g)} + \cancel{Na^+_{(aq)}} + \cancel{Cl^-_{(aq)}}$$

وتلاحظ أن أيونات الصوديوم وأيونات الكلور هي الأيونات المتفرجة، لذا يمكن حذفها من طرفي المعادلة، وكتابة المعادلة الأيونية النهائية للتفاعل كالآتي:

$$H^+_{(aq)} + HCO^-_{3(aq)} \rightarrow H_2O_{(l)} + CO_{2(g)}$$

ماذا قرأت؟ صف ما المعادلة النهائية للتفاعل؟

مثال 5–4

التفاعلات التي تكوّن غازات اكتب كلًّا من المعادلة الكيميائية الرمزية الموزونة، والأيونية الكاملة، والأيونية النهائية للتفاعل بين حمض الهيدروكلوريك ومحلول كبريتيد الصوديوم، والذي ينتج عنه غاز كبريتيد الهيدروجين ومحلول كلوريد الصوديوم.

1 تحليل المسألة

لقد أُعطيت المعادلة اللفظية للتفاعل بين حمض الهيدروكلوريك HCl وكبريتيد الصوديوم Na_2S. يجب أن تكتب المعادلة الكيميائية الرمزية للتفاعل وتزنها. ولكتابة المعادلة الأيونية الكاملة يجب أن توضح الحالات الأيونية للمواد المتفاعلة والناتجة. وبحذف الأيونات المتفرجة من المعادلة الأيونية الكاملة يمكنك كتابة المعادلة الأيونية النهائية.

2 حساب المطلوب

اكتب المعادلة الكيميائية الصحيحة للتفاعل.

$$HCl_{(aq)} + Na_2S_{(aq)} \rightarrow H_2S_{(g)} + NaCl_{(aq)}$$

زن المعادلة الكيميائية

$$2HCl_{(aq)} + Na_2S_{(aq)} \rightarrow H_2S_{(g)} + 2NaCl_{(aq)}$$

وضح أيونات المواد المتفاعلة والناتجة

$$2H^+_{(aq)} + 2Cl^-_{(aq)} + 2Na^+_{(aq)} + S^{2-}_{(aq)} \rightarrow H_2S_{(g)} + 2Na^+_{(aq)} + 2Cl^-_{(aq)}$$

احذف الأيونات المتفرجة من المعادلة الأيونية الكاملة

$$2H^+_{(aq)} + \cancel{2Cl^-_{(aq)}} + \cancel{2Na^+_{(aq)}} + S^{2-}_{(aq)} \rightarrow H_2S_{(g)} + \cancel{2Na^+_{(aq)}} + \cancel{2Cl^-_{(aq)}}$$

اكتب المعادلة الأيونية النهائية بأصغر نسبة عددية صحيحة.

$$2H^+_{(aq)} + S^{2-}_{(aq)} \rightarrow H_2S_{(g)}$$

3 تقويم الإجابة

المعادلة الأيونية الكلية تبين الأيونات المشاركة في التفاعل.

مسائل تدريبية

اكتب المعادلات الكيميائية الرمزية الموزونة، والأيونية الكاملة، والأيونية النهائية للتفاعلات الآتية:

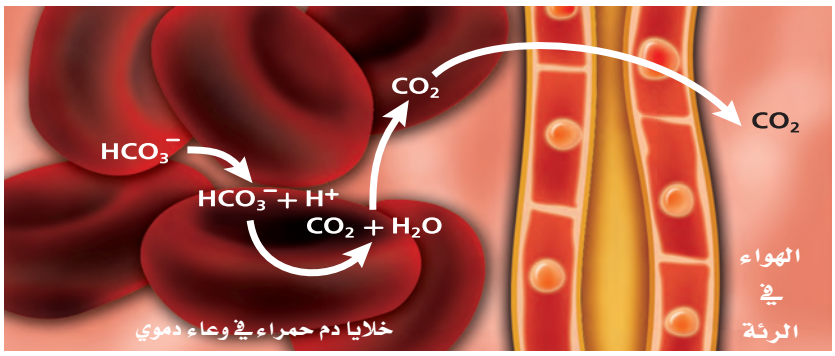
49. يتفاعل حمض فوق الكلوريك $HClO_4$ مع محلول كربونات الصوديوم لتكوين غاز ثاني أكسيد الكربون والماء ومحلول كلورات الصوديوم.

50. يتفاعل حمض الكبريتيك H_2SO_4 مع محلول سيانيد الصوديوم لتكوين غاز سيانيد الهيدروجين ومحلول كبريتات الصوديوم.

51. يتفاعل حمض الهيدروبروميك HBr مع محلول كربونات الأمونيوم لتكوين غاز ثاني أكسيد الكربون والماء وبروميد الأمونيوم.

52. يتفاعل حمض النيتريك HNO_3 مع محلول كبريتيد البوتاسيوم لتكوين غاز كبريتيد الهيدروجين.

53. **تحفيز** يتفاعل محلول يوديد البوتاسيوم مع محلول نترات الرصاص لتكوين يوديد الرصاص الصلب.



الشكل 22–4 بعد أن يدخل أيون البيكربونات HCO_3^- خلية دم حمراء، يتفاعل مع أيون الهيدروجين H^+ لتكوين ماء وثاني أكسيد الكربون CO_2، الذي يخرج من الرئتين مع هواء الزفير.

الربط مع علم الأحياء يعد تفاعل أيونات الهيدروجين مع أيونات البيكربونات لإنتاج الماء وثاني أكسيد الكربون من أهم التفاعلات التي تحدث في جسمك؛ فهو يحدث في الأوعية الدموية في رئتيك. وكما هو مبين في **الشكل 22–4** فإن ثاني أكسيد الكربون الذي ينتج في خلايا جسمك ينتقل في دمك على هيئة أيونات البيكربونات HCO_3^-، وعندما تمر هذه الأيونات في الأوعية الدموية لرئتيك تتحد مع أيونات الهيدروجين H^+ وتكوّن غاز CO_2 الذي يخرج مع هواء الزفير.

هذا التفاعل يحدث أيضًا في المنتجات التي يدخل في تركيبها صودا الخبز المحتوية على كربونات الصوديوم الهيدروجينية التي تجعل الأشياء المخبوزة تنتفخ، وتستخدم مضادًّا للحموضة، وفي طفايات الحريق، وصناعة كثير من المنتجات.

مهن في الكيمياء

المختص في الكيمياء الحيوية عالم يدرس العمليات الكيميائية في المخلوقات الحية. وقد يدرس وظائف جسم الإنسان، أو يبحث كيف يؤثر كل من الغذاء والأدوية والمواد الأخرى في المخلوقات الحية.

التقويم 4-3

الخلاصة

- الماء هو المذيب في المحاليل المائية دائمًا، أما المواد التي قد تذوب فيه فهي كثيرة.
- بعض المركبات الجزيئية تكون أيونات عندما تذوب في الماء. بينما يذوب الكثير من المركبات الأيونية في الماء، وتنفصل أيوناتها.
- عند مزج محلولين يحتويان على أيونات ذائبة، قد تتفاعل الأيونات معًا، أما جزيئات المذيب فلا تتفاعل عادة.
- التفاعلات التي تحدث في المحاليل المائية هي تفاعلات الإحلال المزدوج.

الفكرة الرئيسة

54. **عدّد** ثلاثة أنواع مألوفة من نواتج التفاعلات التي تحدث في المحاليل المائية.
55. **صف** المذيب والمذاب في المحلول المائي.
56. **ميّز** المعادلة الأيونية الكاملة من المعادلة الأيونية النهائية.
57. **اكتب** المعادلة الأيونية الكاملة، والأيونية النهائية للتفاعل بين حمض الكبريتيك H_2SO_4 وكربونات الكالسيوم $CaCO_3$.

$$H_2SO_{4(aq)} + CaCO_{3(s)} \rightarrow H_2O_{(l)} + CO_{2(g)} + CaSO_{4(s)}$$

58. **حلّل** أكمل المعادلة الآتية، ثم زنها:

$$CO_{2(g)} + HCl_{(aq)} \rightarrow$$

59. **توقّع** ما نوع الناتج الذي سيتكون على الأرجح من التفاعل التالي؟ فسّر ذلك.

$$Ba(OH)_{2(aq)} + 2HCl_{(aq)} \rightarrow$$

60. **صغ معادلات** يحدث تفاعل عندما يخلط حمض النيتريك HNO_3 بمحلول مائي من كربونات البوتاسيوم الهيدروجينية (بيكربونات البوتاسيوم)، وينتج محلول نترات البوتاسيوم. اكتب المعادلة الكيميائية الرمزية الموزونة والمعادلة الأيونية النهائية للتفاعل.

التألق الحيوي

عندما يتجمع اليراع (خنافس مضيئة) في الظلام، يعلن أحد الذكور عن وجوده بإرسال إشارة من الضوء الأصفر المخضر، فتجيب أنثى قريبة من الأرض نداءه، فيهبط في اتجاهها. وقد ينتج عن ذلك تزاوج ناجح، أو قد يُلتهم بشراهة إذا خدعته أنثى من نوع آخر من اليراع. إن إنتاج اليراعة للضوء هو نتيجة عملية كيميائية تسمى التألق (التلألؤ) الحيوي، وهي استراتيجية يستخدمها الكثير من المخلوقات الحية في بيئات كثيرة مختلفة. فكيف تعمل؟

1 **الخنافس المضيئة** ليست ذبابًا، ولكنها مجموعة من الخنافس التي ترسل ومضاتها للتزاوج، كما أنها تستخدم ضوءها لخداع فريستها. وينبعث الضوء الأصفر المخضر من خلايا في جذعها الأسفل، وتتراوح أطوال موجاته بين 510 nm و670 nm.

2 **اكتشافات مضيئة** أدى البحث في مجال التألق الحيوي إلى اكتشاف البروتين الحيوي الأخضر المشع، الذي يوجد في بعض أنواع قناديل البحر. ويشع هذا البروتين ضوءًا أخضر عند تعرضه للأشعة فوق البنفسجية. وقد قام العلماء بإدخال البروتين المشع في مخلوقات مختلفة، كالجرذان، لأغراض البحث العلمي في مجالات السرطان، والملاريا، والعمليات الخلوية. وبسبب أهمية هذا الاكتشاف فقد منح مكتشفو البروتين المشع جائزة نوبل في الكيمياء.

3 **التألق الحيوي** ينتج وميض اليراع عن تفاعل كيميائي. والمتفاعلات هي الأكسجين، واللوسفرين (مادة مشعة للضوء توجد في بعض المخلوقات). ويسرِّع إنزيم يسمى اللوسفريز التفاعل الذي يؤدي إلى إنتاج الأوكسيلوسفرين وطاقة على شكل ضوء.

الكتابة في الكيمياء

ابحث حدِّد أنواعًا مختلفة من المخلوقات الحية تستخدم التألق الحيوي، واعمل كتيبًا يوضح لماذا يكون التألق الحيوي فعالاً في هذه المخلوقات؟

مختبر الكيمياء

تطوير سلسلة نشاط الفلزات

الخلفية بعض الفلزات أكثر نشاطًا من الفلزات الأخرى. وعند مقارنة كيفية تفاعل الفلزات المختلفة بأيونات معروفة في الأملاح المائية يمكن ترتيب هذه الفلزات في سلسلة بحسب نشاطها. وتعكس سلسلة النشاط قوة تفاعل كل فلز من الفلزات التي تم فحصها.

سؤال كيف يمكن تطوير سلسلة النشاط؟

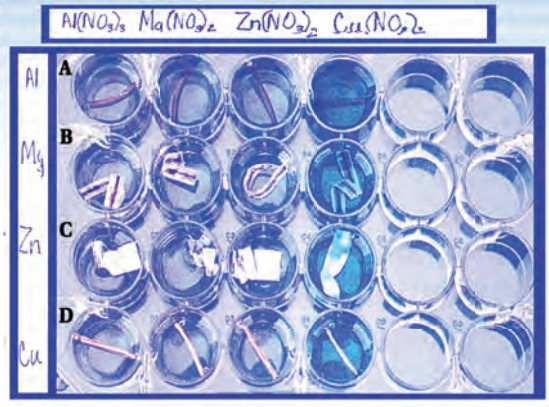
المواد اللازمة

$1.0M\ Zn(NO_3)_2$	سلك نحاس
$1.0M\ Al(NO_3)_3$	سلك ألومنيوم
$1.0M\ Cu(NO_3)_2$	شريط ماغنسيوم
$1.0M\ Mg(NO_3)_2$	شرائط معدنية عدد 4
ماصات	ورق صنفرة
قاطع أسلاك	طبق تفاعلات بلاستيكي

إجراءات السلامة

خطوات العمل

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية .
2. صمم جدولاً لتدوين البيانات.
3. استخدم الماصة لملء كل فجوة من العمود 1 بـ 2 mL من محلول $1.0\ M\ Al(NO_3)_2$.
4. كرر الخطوة 3 واستخدم الماصة لملء كل فجوة من العمود 2 بـ 2 mL من محلول $1.0\ M\ Mg(NO_3)_2$.
5. كرر الخطوة 3 واستخدم الماصة لملء كل فجوة من العمود 3 بـ 2 mL من محلول $1.0\ M\ Zn(NO_3)_2$.
6. كرر الخطوة 3 واستخدم الماصة لملء كل فجوة من العمود 4 بـ 2 mL من محلول $1.0M\ Cu(NO_3)_2$.
7. نظّف 10 cm من شريط الألومنيوم باستخدام ورق الصنفرة حتى يصبح لامعًا، ثم قطّع الشريط إلى أربعة أجزاء متساوية طول كل منها 2.5 cm باستخدام قطّاعة الأسلاك، ثم ضع كل قطعة منها في محلول مختلف في كل فجوة من فجوات الصف A.
8. كرر الخطوة 7 مستخدمًا 10 cm من شريط الماغنسيوم، وضع كل قطعة منها في محلول مختلف في كل فجوة من فجوات الصف B.



9. نظّف أشرطة الخارصين باستخدام ورق الصنفرة حتى تصبح لامعة، ثم ضع كل شريط منها في محلول مختلف في كل فجوة من فجوات الصف C.
10. لاحظ ما يحدث في كل فجوة، ثم سجل ملاحظاتك بعد مرور 5 دقائق في جدول البيانات الذي قمت بتصميمه.
11. **التنظيف والتخلص من النفايات** تخلص من المواد الكيميائية والمحاليل والماصات كما يطلب إليك معلمك.

حلل واستنتج

1. **لاحظ واستنتج** في أي الفجوات من طبق التفاعلات حدث تفاعل كيميائي؟ وأي الفلزات تفاعل مع أكبر عدد من المحاليل؟ وأي الفلزات تفاعل مع أقل عدد من المحاليل؟ وأي الفلزات أكثر نشاطًا؟
2. **رتب** أكثر الفلزات نشاطًا التي تفاعلت مع أكبر عدد من المحاليل، وأقل الفلزات نشاطًا التي تفاعلت مع أقل عدد من المحاليل. رتب الفلزات الأربعة من الأكثر نشاطًا إلى الأقل نشاطًا.
3. **طبق** اكتب معادلة كيميائية لكل تفاعل إحلال حدث في طبق التفاعلات الكيميائية.
4. **الكيمياء في واقع الحياة** في أي ظرف من الظروف يكون من المهم معرفة نشاط سلسلة من العناصر.
5. **تحليل الخطأ** كيف يمكنك مقارنة ما جاء في إجابتك عن السؤال رقم 2 بسلسلة النشاط في **الشكل 15–4**؟ وما وجه الاختلاف بينهما؟

التوسع في الاستقصاء

صمم تجربة ضع ثلاثة أسئلة تبدأ بالعبارة: "ماذا لو...؟"، وتتعلق بهذا المختبر، ويمكن أن تؤثر في نتائج التجربة، ثم صمم تجربة لاختبار سؤال واحد منها.

الفصل 4

دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة تُحوّل ملايين التفاعلات الكيميائية الموجودة داخل جسمك ومن حولك المتفاعلات إلى نواتج، ممّا يؤدي إلى إطلاق طاقة أو امتصاصها.

4–1 التفاعلات و المعادلات

الفكرة الرئيسة تمثَّل التفاعلات الكيميائية بمعادلات كيميائية موزونة.

المفردات

- التفاعل الكيميائي
- المتفاعلات
- النواتج
- المعادلة الكيميائية الرمزية الموزونة
- المعامل

المفاهيم الرئيسة

- قد تشير بعض التغيرات الفيزيائية إلى حدوث تفاعل كيميائي.
- توفر المعادلات الكيميائية اللفظية والرمزية معلومات مهمة عن التفاعل الكيميائي.
- توضح المعادلة الكيميائية الموزونة أنواع المتفاعلات والنواتج في التفاعل الكيميائي وكمياتها النسبية.
- يتضمن وزن المعادلة الكيميائية تعديل المعاملات حتى يتساوى عدد الذرات في طرفي المعادلة.

4–2 تصنيف التفاعلات الكيميائية

الفكرة الرئيسة هناك أربعة أنواع من التفاعلات الكيميائية، هي: التكوين، والاحتراق، والتفكك، والإحلال.

المفردات

- تفاعل التكوين
- تفاعل الاحتراق
- تفاعل التفكك
- تفاعل الإحلال البسيط
- تفاعل الإحلال المزدوج
- الراسب

المفاهيم الرئيسة

- يُسهّل تصنيف التفاعلات الكيميائية فهمها وتذكرها وتعرّفها.
- تستخدم سلسلة النشاط الكيميائي للفلزات والهالوجينات في توقع حدوث تفاعلات الإحلال البسيط.

4–3 التفاعلات في المحاليل المائية

الفكرة الرئيسة تحدث تفاعلات الإحلال المزدوج بين المواد في المحاليل المائية، وتؤدي إلى إنتاج رواسب، أو ماء، أو غازات.

المفردات

- المحلول المائي
- المذاب
- المذيب
- المعادلة الأيونية الكاملة
- الأيونات المتفرجة
- المعادلة الأيونية النهائية

المفاهيم الرئيسة

- الماء هو المذيب في المحاليل المائية دائمًا، أما المواد التي قد تذوب فيه فهي كثيرة.
- بعض المركبات الجزيئية تكوّن أيونات عندما تذوب في الماء. بينما يذوب الكثير من المركبات الأيونية في الماء، وتنفصل أيوناتها.
- عند مزج محلولين يحتويان على أيونات ذائبة، قد تتفاعل الأيونات معًا، أما جزيئات المذيب فلا تتفاعل عادة.
- التفاعلات التي تحدث في المحاليل المائية هي تفاعلات الإحلال المزدوج.

4–1

إتقان المفاهيم

61. عرّف المعادلة الكيميائية.

62. ميّز بين التفاعل الكيميائي والمعادلة الكيميائية.

63. وضح الفرق بين المتفاعلات والنواتج.

64. اكتب رمز العنصر الذي يمثل بالتوزيع الإلكتروني لكل مما يلي:

a. $1s^2\,2s^2\,2p^1$

b. $1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^1$

c. $1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6\,4s^1\,3d^{10}$

d. $1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6\,4s^2\,3d^2$

65. اكتب التوزيع الإلكتروني لكل عنصر مما يلي:

a. Kr **b.** Mg

c. Co **d.** C

66. اكتب الصيغة الكيميائية لكل مما يلي:

a. أكسيد الحديد II

b. هيدركسيد الكالسيوم

c. نترات الرصاص II

d. كبريتيد الهيدروجين

67. هل يشير تحول مادة إلى مادة جديدة دائمًا إلى حدوث تفاعل كيميائي؟ فسِّر إجابتك.

68. حدِّد المتفاعلات في التفاعل الآتي: عند إضافة البوتاسيوم إلى محلول نترات الخارصين، يتكون الخارصين ومحلول نترات البوتاسيوم.

69. زن المعادلة الكيميائية الآتية:

$$H_2S_{(g)} + O_{2(g)} \rightarrow SO_{2(g)} + H_2O_{(g)}$$

70. اكتب معادلات لفظية للمعادلات الكيميائية الآتية:

a. $Cu_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow CuO_{(s)}$

b. $K_{(s)} + H_2O_{(l)} \rightarrow KOH_{(aq)} + H_{2(g)}$

c. $CaCl_{2(aq)} + Na_2SO_{4(aq)} \rightarrow CaSO_{4(s)} + NaCl_{(aq)}$

71. زن المعادلتين الكيميائيتين الآتيتين:

a. $(NH_4)_2Cr_2O_{7(s)} \rightarrow Cr_2O_{3(s)} + N_{2(g)} + H_2O_{(l)}$

b. $CO_{2(g)} + H_2O_{(l)} \rightarrow C_6H_{12}O_{6(s)} + O_{2(g)}$

إتقان حل المسائل

72. يتحلل يوديد الهيدروجين إلى غاز الهيدروجين وغاز اليود في تفاعل تفكك. اكتب معادلة كيميائية رمزية تبين هذا التفاعل.

73. اكتب معادلات كيميائية رمزية للتفاعلات الآتية:

a. كربونات الصوديوم $_{(s)} \xrightarrow{\Delta}$ ثاني أكسيد الكربون $_{(g)}$ + أكسيد الصوديوم $_{(s)}$

b. يوديد الألومنيوم $_{(s)} \rightarrow$ ألومنيوم $_{(s)}$ + يود $_{(s)}$

c. أكسيد الحديد II $_{(s)} \rightarrow$ أكسجين $_{(g)}$ + أكسيد الحديد III $_{(s)}$

d. نترات الفضة $_{(aq)}$ + كبريتيد الصوديوم $_{(aq)} \rightarrow$ كبريتيد الفضة $_{(s)}$ + نترات الصوديوم $_{(aq)}$

74. اكتب معادلة كيميائية رمزية للتفاعل بين الليثيوم الصلب وغاز الكلور لإنتاج كلوريد الليثيوم الصلب.

تقويم الفصل 4

75. اكتب معادلات كيميائية رمزية للتفاعلات الآتية، ثم زنها:

a. ⟶ ماء $_{(l)}$ + ثالث أكسيد الكبريت $_{(g)}$

حمض الكبريتيك $_{(aq)}$

b. ⟶ كلوريد الحديد III $_{(aq)}$ + ماغنسيوم $_{(s)}$

كلوريد الماغنسيوم $_{(aq)}$ + حديد $_{(s)}$

c. ⟶ أكسجين $_{(g)}$ + كلوريد النيكل II $_{(s)}$

أكسيد النيكل II $_{(s)}$ + خماسي أكسيد ثنائي الكلور

76. اكتب معادلات كيميائية رمزية للتفاعلات الآتية:

a. عند حرق غاز البيوتان C_4H_{10} في الهواء ينتج ماء وغاز ثاني أكسيد الكربون.

b. يتفاعل الماغنسيوم الصلب مع غاز النيتروجين لإنتاج نيتريد الماغنسيوم الصلب.

c. عند تسخين غاز ثاني فلوريد الأكسجين OF_2 ينتج غاز الأكسجين وغاز الفلور.

4–2

إتقان المفاهيم

77. اذكر أنواع التفاعلات الكيميائية الأربعة، وأعط مثالاً واحدًا على كل منها.

78. ما نوع التفاعل الذي يحدث بين مادتين وينتج عنه مركب واحد؟

79. في كل من الأزواج الآتية، أي فلز يحل محل الفلز الآخر في تفاعلات الإحلال؟ (استعن بسلسلة النشاط).

a. القصدير والصوديوم
b. الرصاص والفضة
c. الفلور واليود
d. النحاس والنيكل

إتقان حل المسائل

80. صنف التفاعلات الواردة في السؤال **73** .

81. صنف التفاعلات الواردة في السؤال **75**.

82. اكتب معادلة كيميائية رمزية موزونة لتفاعل احتراق الميثانول السائل CH_3OH.

83. اكتب معادلات كيميائية رمزية موزونة لكل من تفاعلات التكوين الآتية:

a. ⟶ بورون + فلور
b. ⟶ جرمانيوم + كبريت
c. ⟶ كالسيوم + نيتروجين

84. **الاحتراق** اكتب معادلة كيميائية رمزية موزونة لاحتراق كل من المواد الآتية:

a. الباريوم الصلب
b. البورون الصلب
c. الأسيتون السائل C_3H_6O
d. الأوكتان السائل C_8H_{18}

85. اكتب معادلات كيميائية موزونة لتفاعلات التفكك الآتية:

a. ⟶ بروميد الماغنسيوم
b. ⟶ أكسيد الكوبلت II
c. ⟶ كربونات الباريوم

86. اكتب معادلات كيميائية رمزية موزونة لتفاعلات الإحلال البسيط الآتية التي تحدث في الماء. (وإذا لم يحدث تفاعل فاكتب لا يحدث تفاعل (NR) في مكان النواتج).

a. ⟶ كلوريد الماغنسيوم + نيكل
b. ⟶ بروميد النحاس II + كالسيوم
c. ⟶ نترات الفضة + ماغنسيوم

4–3

إتقان المفاهيم

87. أكمل المعادلة اللفظية الآتية:

مذاب + مذيب ⟶

88. ما أنواع النواتج المألوفة للتفاعلات التي تحدث في المحاليل المائية؟

89. قارن بين المعادلات الكيميائية الرمزية الموزونة والمعادلات الأيونية.

90. ما المعادلة الأيونية النهائية؟ وفيم تختلف عن المعادلة الأيونية الكاملة؟

91. ما المقصود بالأيون المتفرج؟

إتقان حل المسائل

92. أكمل المعادلات الكيميائية الآتية:

a. $Na_{(s)} + H_2O_{(l)} \rightarrow$

b. $K_{(s)} + H_2O_{(l)} \rightarrow$

c. $CuCl_{2(s)} + Na_2SO_{4(aq)} \rightarrow$

93. اكتب المعادلات الأيونية الكاملة والأيونية النهائية لكل من التفاعلات الآتية:

a. $H_3PO_{4(aq)} + 3KOH_{(aq)} \rightarrow 3H_2O_{(l)} + K_3PO_{4(aq)}$

b. $HCl_{(aq)} + NH_4OH_{(aq)} \rightarrow H_2O_{(l)} + NH_4Cl_{(aq)}$

c. $HNO_{3(aq)} + KCN_{(aq)} \rightarrow HCN_{(g)} + KNO_{3(aq)}$

d. $2HClO_{(aq)} + Ca(OH)_{2(aq)} \rightarrow 2H_2O_{(l)} + Ca(ClO)_{2(aq)}$

مراجعة عامة

94. **توقع** هل كل من التفاعلات الآتية يحدث في المحاليل المائية. (إذا توقعت أن التفاعل لا يحدث فاكتب: لا يحدث تفاعل (NR). ملاحظة: كبريتات الباريوم وبروميد الفضة يترسبان في المحاليل المائية).

a. $NaOH + (NH_4)_2SO_{4(aq)} \rightarrow$

b. $CuSO_4 + Ba(NO_3)_{2(aq)} \rightarrow$

c. $MgBr_2 + AgNO_{3(aq)} \rightarrow$

95. **تكون راسب** إضافة حمض الهيدروكلوريك إلى كأسين، إحداهما فيها محلول كلوريد الصوديوم، وفي الأخرى محلول نترات الفضة يؤدي إلى ترسب مادة بيضاء في إحدى الكأسين.

a. أي الكأسين تحتوي على راسب؟

b. ما الراسب؟

c. اكتب معادلة كيميائية توضح التفاعل.

d. صنف هذا التفاعل.

96. **ميز** بين مركب أيوني ومركب تساهمي مذابين في الماء. وهل تتأين المواد التساهمية جميعها عند إذابتها في الماء؟ فسّر إجابتك.

التفكير الناقد

97. **طبّق** صف التفاعل بين محلولي كبريتيد الصوديوم وكبريتات النحاس II الذي يؤدي إلى إنتاج راسب من كبريتيد النحاس II.

98. **توقّع** وضعت قطعة من فلز الألومنيوم في محلول KCl المائي، ووضعت قطعة أخرى من الألومنيوم في محلول $AgNO_3$ المائي. هل يحدث تفاعل في كلتا الحالتين؟ لماذا؟

تقويم الفصل 4

99. طبّق اكتب المعادلة الكيميائية الرمزية الموزونة والأيونية النهائية لكل من التفاعلات الآتية. (إذا كان لا يحدث تفاعل فاكتب NR في مكان النواتج). علمًا أن فوسفات الماغنسيوم تترسب في المحلول المائي.

a. $KNO_{3(aq)} + CsCl_{(aq)} \rightarrow$

b. $Li_3PO_{4(aq)} + MgSO_{4(aq)} \rightarrow$

c. $K_2S_{(aq)} + HCl_{(aq)} \rightarrow$

مسألة تحفيز

100. يحدث تفاعل إحلال بسيط عند تفاعل النحاس مع نترات الفضة. إذا تفاعل 63.5 g من النحاس مع 339.8 g من نترات الفضةونتج 215.8 g من الفضة، فاكتب معادلة كيميائية رمزية موزونة للتفاعل. ما الناتج الآخر في هذا التفاعل؟ وما كتلته؟

مراجعة تراكمية

101. ميز بين المخلوط والمحلول والمركب.

102. استعن بالجدول 10–4 لحساب الكتلة الذرية لعنصر الكروم.

الجدول 10–4 بيانات نظائر الكروم

النظير	نسبة وجوده	الكتلة الذرية (amu)
Cr–50	4.35%	49.946
Cr–52	83.79%	51.941
Cr–53	9.50%	52.941
Cr–54	2.36%	53.939

تقويم إضافي

الكتابة في الكيمياء

103. كيمياء المطبخ اعمل ملصقًا يصف التفاعلات الكيميائية التي تحدث في المطبخ.

104. وزن المعادلات اعمل لوحة تصف فيها خطوات وزن المعادلة الكيميائية.

أسئلة المستندات

الذائبية يستخدم العلماء جدولاً لقواعد الذائبية لتحديد ما إذا كان سيتكون راسب في التفاعل الكيميائي.

يبين الجدول 11–4 قواعد الذائبية للمركبات الأيونية في الماء.

الجدول 11–4 قواعد الذائبية للمركبات الأيونية في الماء

المركب الأيوني	القاعدة
الأملاح الذائبة	أيونات عناصر المجموعة الأولى (Li^+، Na^+، K^+)، و NH_4^+ تكوّن أملاحًا ذائبة. جميع أملاح النترات ذائبة. معظم الهاليدات تذوب في الماء ما عدا هاليدات الأيونات التالية: Pb^{2+} و Cu^+ و Ag^+ و Hg_2^{2+} معظم الكبريتات ذائبة ما عدا كبريتات Ba^{2+} و Sr^{2+} و pb^{2+}، أما كبريتات Ag^+ و Ca^{2+} و Hg_2^{2+} فهي قليلة الذوبان.
الأملاح غير الذائبة	الهيدروكسيدات والكبريتيدات والأكاسيد عادة غير ذائبة، ما عدا مركباتها مع عناصر المجموعة الأولى، وأيونات NH_4^+، أما عناصر أيونات المجموعة الثانية فهي قليلة الذوبان. الكرومات والفوسفات والكربونات عادة غير ذائبة، ما عدا مركباتها مع عناصر المجموعة الأولى، وأيونات NH_4^+.

أكمل المعادلات الآتية باستخدام قواعد الذائبية الواردة في الجدول أعلاه. وبيِّن هل يتكون راسب أم لا، وحدده. (وإذا كان لا يحدث تفاعل فاكتب NR):

105. $Ca(NO_3)_{2(aq)} + Na_2CO_{3(aq)} \rightarrow$

106. $Mg_{(s)} + Na\,OH_{(aq)} \rightarrow$

107. $PbS_{(s)} + LiNO_{3(aq)} \rightarrow$

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

استعن بالجدول أدناه للإجابة عن الأسئلة من **1** إلى **3**:

الخواص الفيزيائية لبعض المركبات الأيونية				
المركب	الاسم	الحالة عند 25°C	يذوب في الماء	درجة الانصهار (°C)
$NaClO_3$	كلورات الصوديوم	صلب	نعم	248
Na_2SO_4	كبريتات الصوديوم	صلب	نعم	884
$NiCl_2$	كلوريد النيكل II	صلب	نعم	1009
$Ni(OH)_2$	هيدروكسيد النيكل II	صلب	لا	230
$AgNO_3$	نترات الفضة	صلب	نعم	212

1. إذا خلط محلول مائي من كبريتات النيكل II بمحلول مائي من هيدروكسيد الصوديوم فهل يحدث تفاعل مرئي؟

a. لا؛ لأن هيدروكسيد النيكل II الصلب يذوب في الماء.

b. لا؛ لأن كبريتات الصوديوم الصلبة تذوب في الماء.

c. نعم؛ لأن كبريتات الصوديوم الصلبة ستترسب في المحلول.

d. نعم؛ لأن هيدروكسيد النيكل II الصلب سيترسب في المحلول.

2. ماذا يحدث عند خلط محلول $AgClO_{3(aq)}$ بمحلول $NaNO_3$؟

a. لا يحدث تفاعل يمكن ملاحظته.

b. تترسب $NaClO_3$ الصلبة في المحلول.

c. ينطلق غاز NO_2 خلال التفاعل.

d. ينتج فلز Ag الصلب.

3. عند إضافة حمض الهيدروكلوريك HCl إلى هيدروكسيد النيكل II الصلب فإن الهيدروكسيد يختفي. ما المعادلة التي تصف ما حدث في الكأس؟

a. $Ni(OH)_{2(s)} + HCl_{(aq)} \rightarrow NiO_{(aq)} + H_{2(g)} + HCl_{(aq)}$

b. $Ni(OH)_{2(s)} + 2HCl_{(aq)} \rightarrow NiCl_{2(aq)} + 2H_2O_{(l)}$

c. $Ni(OH)_{2(s)} + 2H_2O_{(l)} \rightarrow NiCl_{2(aq)} + 2H_2O_{(l)}$

d. $Ni(OH)_{2(s)} + 2H_2O_{(l)} \rightarrow NiCl_{2(aq)} + 3H_2O_{(l)} + O_{2(g)}$

4. ما نوع التفاعل الموصوف في المعادلة الآتية؟

$Cs_{(s)} + H_2O_{(l)} \rightarrow CsOH_{(aq)} + H_{2(g)}$

a. تكوين

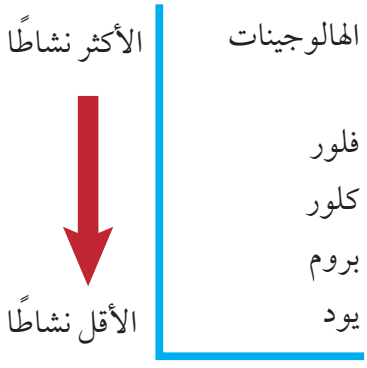
b. احتراق

c. تفكك

d. إحلال بسيط

اختبار مقنن

استعن بسلسلة النشاط التالية للإجابة عن السؤال **5**.



5. أي التفاعلات الآتية تحدث بين الهالوجينات وأملاح الهاليدات ؟

a. $F_{2(g)} + FeI_{2(aq)} \rightarrow FeF_{2(aq)} + I_{2(l)}$

b. $I_{2(s)} + MnBr_{2(aq)} \rightarrow MnI_{2(aq)} + Br_{2(g)}$

c. $Cl_{2(s)} + SrF_{2(aq)} \rightarrow SrCl_{2(aq)} + F_{2(g)}$

d. $Br_{2(l)} + CoCl_{2(aq)} \rightarrow CoBr_{2(aq)} + Cl_{2(g)}$

6. ينتج عن احتراق الإيثانول ثاني أكسيد الكربون وبخار ماء. ما المعادلة التي تصف ذلك؟

a. $C_2H_6O_{(l)} + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} + H_2O_{(l)}$

b. $C_2H_6O_{(l)} \rightarrow 2CO_{2(g)} + 3H_2O_{(l)}$

c. $C_2H_6O_{(l)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 2CO_{2(g)} + 3H_2O_{(g)}$

d. $C_2H_6O_{(l)} \rightarrow 3O_{2(l)} + 2CO_{2(g)} + 3H_2O_{(g)}$

7. ما الصيغة الكيميائية لأكسيد الحديد III؟

a. Fe_2O_3

b. Fe_3O_2

c. FeO

d. Fe_3O_3

8. إذا علمت أن التوزيع الإلكتروني لعنصر هو: $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^1\ 3d^5$. فما رمز هذا العنصر؟

a. Cu

b. Cr

c. Fe

d. Ni

9. أي مما يلي يمثل التوزيع الإلكتروني لعنصر الحديد؟

a. $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^5$

b. $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^6$

c. $1s^2\ 2p^6\ 3p^6\ 3d^6$

d. $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^6$

أسئلة الإجابات القصيرة

10. اكتب معادلة كيميائية موزونة لتفاعل فلز الكالسيوم الصلب مع الماء لإنتاج هيدروكسيد الكالسيوم الذائب في المحلول وغاز الهيدروجين.

أسئلة الإجابات المفتوحة

استعن بالمعادلة الكيميائية التالية للإجابة عن السؤالين **11** و**12**:

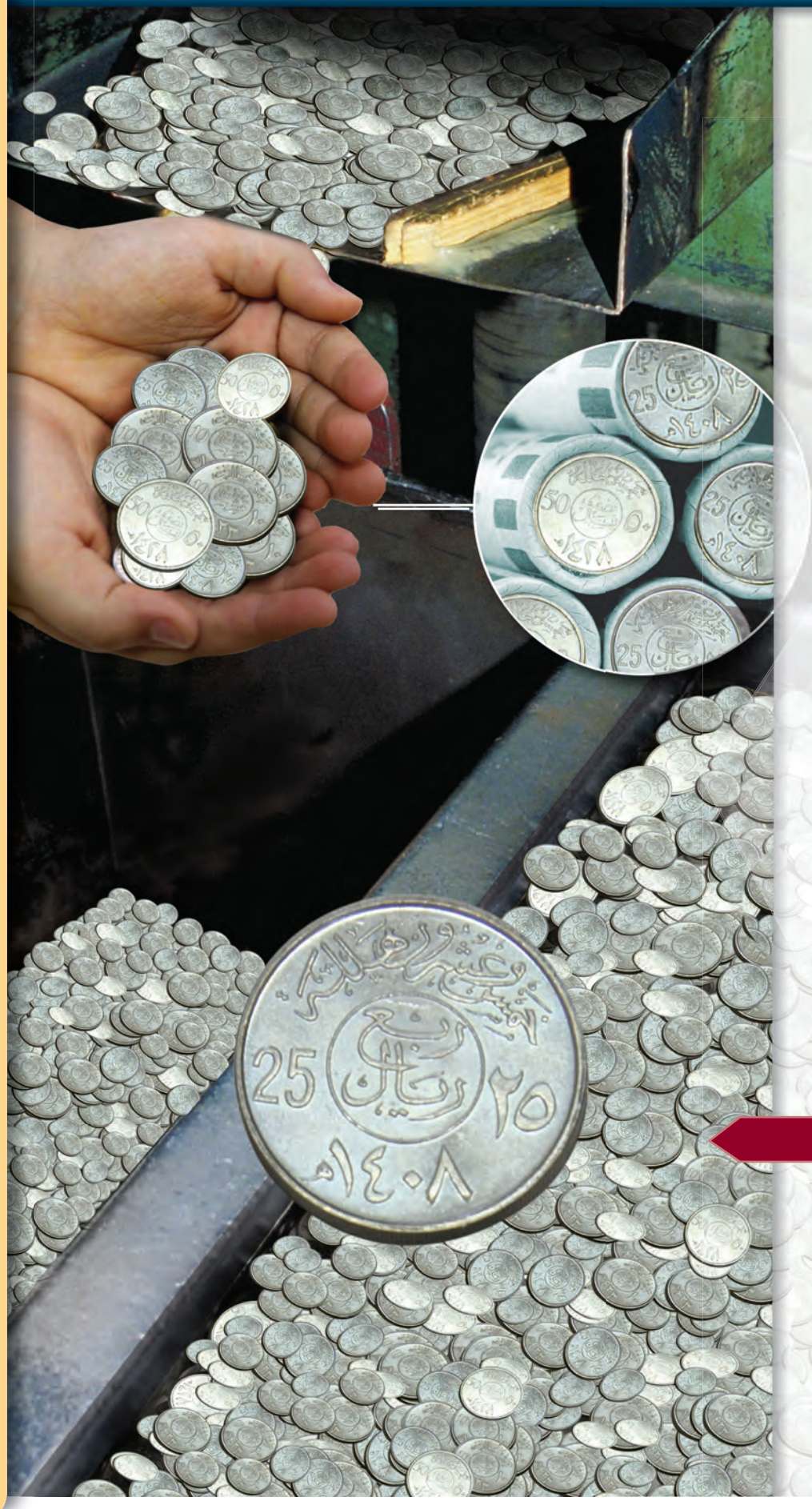
$$AlCl_{3(aq)} + Fe_2O_{3(aq)} \rightarrow$$

11. ما نوع هذا التفاعل؟ كيف عرفت ذلك من المتفاعلات؟

12. ماذا تتوقع أن ينتج عن هذا التفاعل؟

13. ما التوزيع الإلكتروني لأيون الفوسفور P^{3-}؟ وضح كيف يختلف التوزيع الإلكتروني له عن التوزيع الإلكتروني لذرة الفوسفور المتعادلة P؟

الفصل 5 المول The Mole



الفكرة العامة يمثل المول عددًا كبيرًا من الجسيمات المتناهية في الصغر، ويستعمل في حساب كميات المواد.

5–1 قياس المادة

الفكرة الرئيسة يستعمل الكيميائيون المول لعدّ الذرات والأيونات والجزيئات ووحدات الصيغ الكيميائية.

5–2 الكتلة والمول

الفكرة الرئيسة يحتوي المول دائمًا على العدد نفسه من الجسيمات، غير أن مولات المواد المختلفة لها كتل مختلفة.

5–3 مولات المركبات

الفكرة الرئيسة يمكن حساب الكتلة المولية للمركب من خلال صيغته الكيميائية، كما يمكن استعمال هذه الكتلة المولية للتحويل بين الكتلة والمولات للمركب نفسه.

5–4 الصيغة الأولية والصيغة الجزيئية

الفكرة الرئيسة الصيغة الجزيئية لمركبٍ ما هي مضاعف عددي صحيح لصيغته الأولية.

5–5 صيغ الأملاح المائية

الفكرة الرئيسة الأملاح المائية هي مركبات أيونية صلبة فيها جزيئات ماء محتجزة.

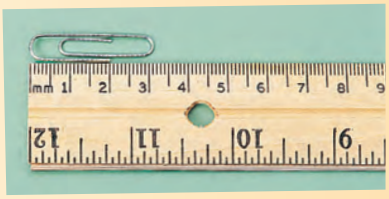
حقائق كيميائية

- العملات المعدنية السعودية هي: 5، 10، 25، 50، 100 هللات. وتتكون العملات المعدنية السعودية من النحاس والنيكل بنسب مختلفة.

تجربة استهلالية

ما مقدار المول؟

يسهل عدّ الأرقام الكبيرة باستعمال وحدات العد كالعقد، والدرزن. ويستعمل الكيميائيون وحدة عد تسمى المول.



خطوات العمل

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. اختر جسمًا لتقيس طوله، مثل مشبك الورق، أو قطعة حلوى، أو أي جسم يزودك به معلمك.
3. استعمل المسطرة في قياس طول الجسم إلى أقرب 0.1 cm

التحليل

1. **احسب** كم يمتد مول (6.02×10^{23} جسيم) من الجسم الذي اخترته إذا رصصت جسيماته بعضها بجوار بعض؟ عبر عن إجابتك بوحدة المتر.
2. **احسب** المسافة في الخطوة 1 بوحدة السنة الضوئية (ly) علمًا بأن ($1\ ly = 9.46 \times 10^{15}\ m$).
3. **قارن** المسافة التي حسبتها في الخطوة الثانية بهذه المسافات الهائلة:

a. المسافة إلى أقرب نجم (غير الشمس) 4.3 سنة ضوئية.

b. المسافة إلى مركز مجرتنا 30.000 سنة ضوئية.

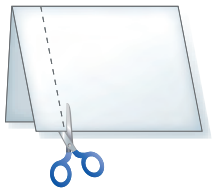
c. المسافة إلى أقرب مجرة 2×10^6 سنة ضوئية.

استقصاء قارن نتائجك بنتائج أحد زملائك في الصف. هل تساوي كتلة مول من الجسم الذي اخترته كتلة مول من الجسم الذي اختاره زميلك؟ صمم استقصاء تحدد فيه ما إذا كان هناك علاقة بين المول والكتلة.

المطويات
منظمات الأفكار

عوامل التحويل قم بعمل المطوية التالية لمساعدتك على تنظيم معلوماتك عن عوامل التحويل.

الخطوة 1 أحضر ثلاث أوراق، واثن كل ورقة عرضيًا من المنتصف. قس وارسم خطًا على بعد 3 cm من الطرف الأيسر. قص الورقة على طول هذا الخط، وكرر ذلك مع الورقتين الأخريين.



الخطوة 2 عنون كل ورقة بوصف عامل التحويل.

الخطوة 3 دبس الأوراق الثلاث معًا من المنتصف على طول حافتها الخارجية.

المطويات **استعمل هذه المطوية في القسمين 1–5 و 2–5** من هذا الفصل. دوّن معلوماتك عن عوامل التحويل، ولخص الخطوات التي يتضمنها كل تحويل.

الكيمياء عبر المواقع الإلكترونية

لمراجعة محتوى هذا الفصل وأنشطته ارجع إلى الموقع الإلكتروني

www.obeikaneducation.com

الأهداف

- **تفسر** كيف يستخدم المول بشكل غير مباشر لعدّ جسيمات المادة.
- **تربط** المول بوحدة عدّ يومية شائعة.
- **تحول** بين المولات وعدد الجسيمات.

مراجعة المفردات

الجزيء: ذرتان أو أكثر مرتبطتان معًا لتكوين وحدة واحدة.

المفردات الجديدة

المول

عدد أفوجادرو

قياس المادة Measuring Matter

الفكرة الرئيسة يستعمل الكيميائيون المول لعدّ الذرات، والجزيئات، والأيونات، ووحدات الصيغ الكيميائية.

الربط مع الحياة هل حاولت يومًا أن تعد المقاعد الموجودة في صفك؟ وهل خطر ببالك يومًا أن تعد حبات الأرز في كيس من الأرز؟ لعلك لاحظت أنه كلما صغرت المادة أصبح عدها أصعب.

عدّ الجسيمات Counting Particles

هل ذهبت يومًا إلى إحدى المكتبات وطلبت إلى البائع درزن من أقلام الرصاص؟ إنّ ذلك لا يعني أنك تريد قلمًا أو قلمين، بل 12 قلمًا. قد تشتري زوجًا من القفازات، أو رزمة من ورق الطباعة. كل من الوحدات المبينة في **الشكل 1–5**، وهي الزوج والدرزن– والرزمة تمثّل عددًا محددًا من الأشياء. وكلها تسهل عملية العد. فمن السهل شراء الورق وبيعه بالرزمة (500 ورقة) بدلاً من شرائه وبيعه بالورقة.

كل من وحدات العدّ المبينة في **الشكل 1–5** تناسب عد نوع معين من الأشياء؛ اعتمادًا على حجمها واستخدامها. وبغض النظر عن كون الشيء قفازات أو بيضًا أو أقلام أو ورقًا فإن العدد الذي تمثله الوحدة يبقى دائمًا ثابتًا. يحتاج الكيميائيون أيضًا إلى طريقة ملائمة لعد الذّرات والجزيئات ووحدات الصيغ الكيميائية (Formula units) في عينة كيميائية لمادةٍ ما. إلا أن الذرات متناهية الصغر، وهناك الكثير منها حتى في العينات الصغيرة جدًّا، ممّا يجعل عدها بشكل مباشر مستحيلاً. لذلك قام الكيميائيون بإيجاد وحدة عدٍّ تُسمى المول، وقد عرفت من التجربة الاستهلالية أنه يمثل عددًا ضخمًا من أي جسيم.

الشكل 1–5 وحدات مختلفة تستخدم لعدّ أجسام مختلفة. الزوج عبارة عن جسمين، والدرزن 12، والرزمة 500.

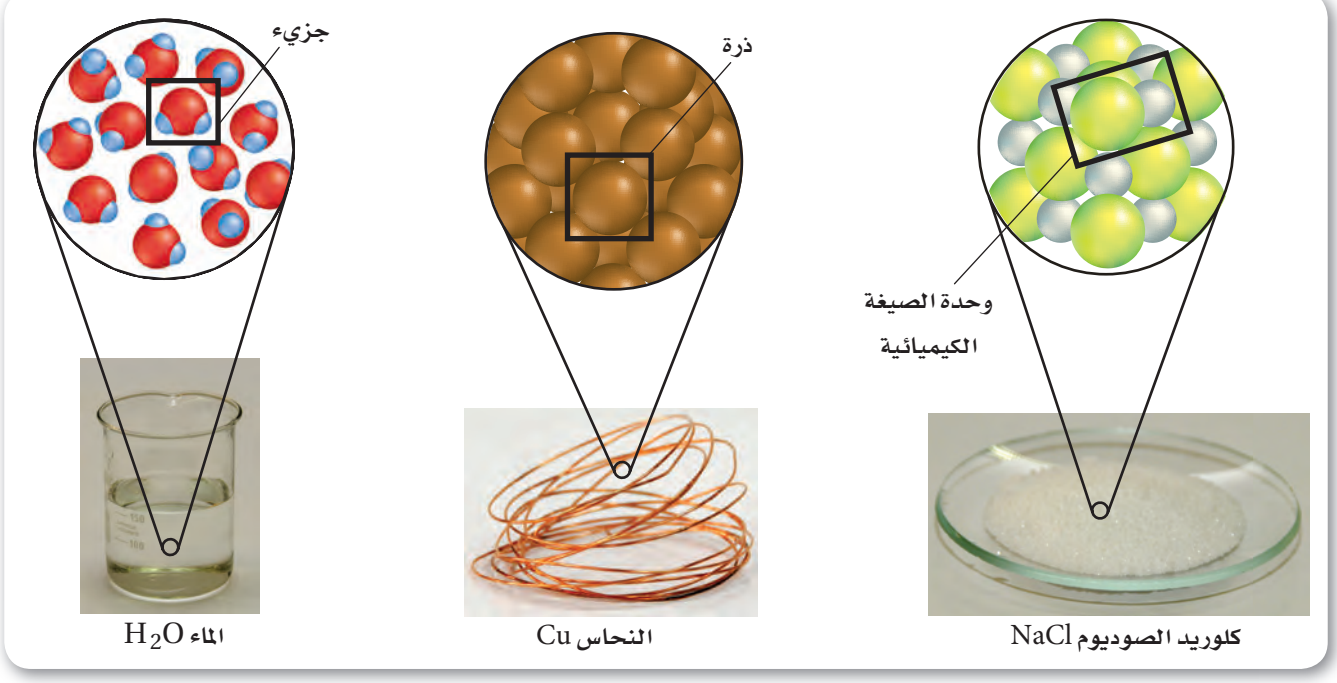
اذكر وحدات عدّ أخرى مألوفة لديك.

المول تُسمى وحدة النظام الدولي الأساسية المستخدمة لقياس كمية المادة **المول**. يعرف المول بحسب النظام الدولي للوحدات بأنه عدد ذرات الكربون – 12 في عينة كتلتها 12 g من الكربون–12 . وخلال سنوات عديدة من التجارب تم الاتفاق على أن المول الواحد من أي مادة يحتوي على 6.02×10^{23} من الجسيمات الممثلة المكونة لهذه المادة، ومنها الذرات والجزيئات والأيونات، ووحدات الصيغ الكيميائية، فإذا كتبت العدد فسوف يبدو كما يلي:

602,213,670,000,000,000,000,000

ويُسمى العدد 6.0221367×10^{23} **عدد أفوجادرو**، تكريمًا للفيزيائي الإيطالي والمحامي أميدو أفوجادرو Amedeo Avogadro، الذي تمكن عام 1811م من تحديد حجم مول من الغاز.

ومن الواضح أن عدد أفوجادرو عدد هائل، وهذا يجعله صالحًا لعد المكونات المتناهية في الصغر، مثل الذرات. كما يمكنك أن تتصور أن عدد أفوجادرو لن يكون مناسبًا لقياس كمية من كرات اللعب الزجاجية؛ لأن عدد أفوجادرو من هذه الكرات سوف يغطي سطح الأرض إلى عمق يتجاوز ستة كيلومترات. وكما هو موضح في **الشكل 2–5**، فإن استخدام المول مناسب لحساب كميات من المواد الكيميائية. ويبين الشكل كميات مقدارها مول واحد من كل من الماء، والنحاس، والملح، ويتكون كل منها من جسيمات ممثلة مختلفة. فالجسيمات الممثلة المكونة لمول من الماء هي جزيئات الماء، والمكونة لمول من النحاس هي ذرات النحاس، والمكونة لمول من كلوريد الصوديوم هي وحدات صيغة كلوريد الصوديوم.



الشكل 2–5 كمية كل مادة مبينة هي 6.02×10^{23}، أو 1 mol من الجسيمات الممثلة المكونة للمادة. الجسيمات الممثلة المكونة لكل مادة موضحة داخل المربع.

التحويل بين المولات والجسيمات

Converting Between Moles and Particles

افترض أنك اشتريت ثلاثة درازن ونصف الدرزن من الورد، وأردت أن تعرف كم وردة فيها. ينبغي أن تستخدم عامل تحويل يربط بين الدرزن وعدد الورد لحساب عدد الورد، انظر **الشكل 3–5**.

$$1 \text{ درزن} = 12 \text{ وردة}$$

بقسمة كل من طرفي العلاقة على الطرف الآخر يمكن كتابة عاملي تحويل:

$$\frac{12 \text{ وردة}}{1 \text{ درزن}} \quad ، \quad \frac{1 \text{ درزن}}{12 \text{ وردة}}$$

ثم استخدم عامل التحويل المناسب الذي يمكنك من خلاله حساب عدد الورد. ويمكن الاستدلال على العامل الصحيح من خلال الوحدات، إذ تلغى كافة الوحدات ما عدا التي تحتاج إليها في الإجابة.

$$3.5 \text{ درزن} \times \frac{12 \text{ وردة}}{1 \text{ درزن}} = 42 \text{ وردة}$$

ماذا قرأت؟ **اشرح** كيف تعرف أنك اخترت عامل تحويل خطأ؟

تحويل المولات إلى جسيمات (ذرات أو أيونات أو جزيئات) لحساب عدد جزيئات السكروز في 3.5 mol منه، نستخدم عدد أفوجادرو –أي العلاقة بين عدد المولات وعدد الجسيمات الممثلة– كعامل للتحويل.

6.02×10^{23} من الجسيمات الممثلة = 1 mol من الجسيمات الممثلة.

يمكنك من هذه العلاقة كتابة عاملي تحويل يربطان الجسيمات الممثلة بالمولات، هما:

$$\frac{6.02 \times 10^{23} \text{ من الجسيمات الممثلة}}{1 \text{ mol}} = \frac{1 \text{ mol}}{6.02 \times 10^{23} \text{ من الجسيمات الممثلة}}$$

ومن خلال استخدام عامل التحويل الصحيح يمكنك حساب عدد الجسيمات الممثلة في عدد من المولات.

$$\text{عدد الجسيمات الممثلة} = \text{عدد المولات} \times \frac{6.02 \times 10^{23} \text{ من الجسيمات الممثلة}}{1 \text{ mol}}$$

وكما هو مبين في **الشكل 4–5** فإن الجسيم الممثل في السكروز هو الجزيء ولحساب عدد جزيئات السكروز في 3.5 mol منه عليك أن تستخدم عدد أفوجادرو عامل تحويل.

$$3.5 \text{ mol من السكروز} \times \frac{6.02 \times 10^{23} \text{ جزيء من السكروز}}{1 \text{ mol من السكروز}}$$

$$= 2.11 \times 10^{24} \text{ جزيء من السكروز}$$

12 وردة = 1 درزن ورد

الشكل 3–5 لكي تتمكن من تحليل الوحدات يجب تعرّف العلاقة الرياضية الصحيحة بين الوحدات التي ستحولها. والعلاقة الموضحة هنا –12 وردة = 1 درزن ورد– يمكن استعمالها لكتابة عاملي تحويل.

المطويات

ضمّن مطويتك معلومات من هذا القسم.

مسائل تدريبية

1. يستخدم الخارصين Zn في جلفنة الحديد لحمايته من التآكل. احسب عدد ذرات Zn في 2.5 mol منه.
2. احسب عدد الجزيئات في 11.5 mol من الماء H_2O.
3. تستخدم نترات الفضة $AgNO_3$ في تحضير أنواع متعددة من هاليدات الفضة المستخدمة في عملية التصوير الفوتوجرافي. ما عدد وحدات الصيغة $AgNO_3$ في 3.25 mol من نترات الفضة $AgNO_3$؟
4. **تحفيز** احسب عدد ذرات الأكسجين في 5.0 mol من جزيئات الأكسجين O_2.

تحويل الجسيمات إلى مولات لحساب عدد المولات في عدد معين من الجسيمات الممثلة، يمكنك استخدام مقلوب عدد أفوجادرو عاملًا للتحويل.

$$\text{عدد المولات} = \text{عدد الجسيمات الممثلة} \times \frac{1\ \text{mol}}{6.02\times10^{23}\ \text{من الجسيمات الممثلة}}$$

لنفترض مثلاً أنك تعلم أن عينة تحتوي على 2.11×10^{24} جزيء من السكروز، بدلاً من معرفتك عدد مولات السكروز. لتحويل هذا العدد من الجزيئات إلى مولات من السكروز فإنك تحتاج إلى عامل تحويل يكون فيه عدد المولات في البسط وعدد الجزيئات في المقام.

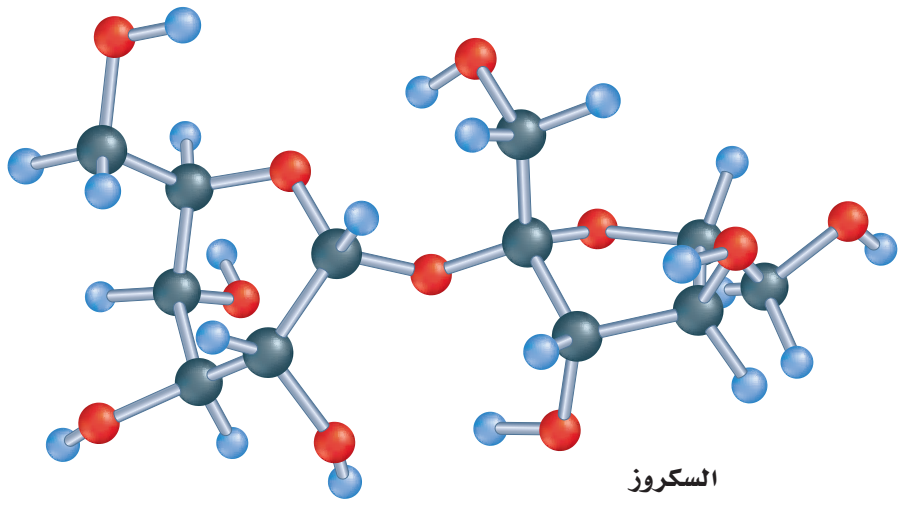
$$\text{عدد مولات السكروز} = 2.11\times10^{24}\ \text{جزيء سكروز} \times \frac{1\ \text{mol}}{6.02\times10^{23}\ \text{جزيء سكروز}}$$

$$= 3.5\ \text{mol من السكروز}$$

أي أن هناك 3.5 mol من السكروز في 2.11×10^{24} جزيء منه.

ماذا قرأت؟ **اكتب** عاملي التحويل اللذين يمكن الحصول عليهما من عدد أفوجادرو.

تجربة عملية
تقدير حجم المول لمادة ما
ارجع إلى دليل التجارب العملية



السكروز

الشكل 4–5 الجسيمات الممثلة للسكروز هي الجزيئات. ويوضح نموذج الجزيئات (الكرات والوصلات البلاستيكية) أن جزيء السكروز وحدة واحدة مكونة من الكربون، والهيدروجين، والأكسجين.

تحليل **استعن بنموذج جزيء السكروز لكتابة صيغته الكيميائية.**

مثال 1–5

تحويل الجسيمات إلى مولات يستخدم النحاس Cu في صناعة الأسلاك الكهربائية. احسب عدد مولات النحاس التي تحتوي على 4.5×10^{24} ذرة منه.

1 تحليل المسألة

لديك عدد من ذرات النحاس، وعليك أن تحسب عدد المولات. لو قارنت 4.5×10^{24} ذرة من النحاس Cu مع 6.02×10^{23} ، وهو عدد الذرات في المول، يمكنك أن تتوقع أن الإجابة يجب أن تكون أقل من 10 mol.

المعطيات

عدد ذرات النحاس = 4.50×10^{24} ذرة

المطلوب

عدد مولات Cu = ؟

1mol من النحاس Cu = 6.02×10^{23} ذرة من النحاس

2 حساب المطلوب

استخدم عامل التحويل (مقلوب عدد أفوجادرو) والذي يربط عدد المولات بعدد الذرات.

طبّق عامل التحويل

$$\text{عدد المولات} = \text{عدد الذرات} \times \frac{1 \text{ mol من النحاس}}{6.02 \times 10^{23} \text{ ذرة من النحاس}}$$

عوّض واضرب الأرقام والوحدات واقسمها

$$= 4.50 \times 10^{24} \text{ ذرة من النحاس} \times \frac{1 \text{mol من النحاس}}{6.02 \times 10^{23} \text{ ذرة من النحاس}}$$

$$= 7.48 \text{ mol من النحاس.}$$

3 تقويم الإجابة

عدد ذرات النحاس وعدد أفوجادرو كلاهما يشتمل على ثلاثة أرقام معنوية. الإجابة مكتوبة بشكل صحيح وهي أقل من 10 mol، كما هو متوقع، كما أن وحداتها صحيحة.

مسائل تدريبية

5. ما عدد المولات في كل من:

a. 5.75×10^{24} ذرة من الألومنيوم Al.

b. 2.50×10^{20} ذرة من الحديد Fe.

6. تحفيز احسب عدد المولات في كل من:

a. 3.75×10^{24} جزيء من ثاني أكسيد الكربون CO_2.

b. 3.58×10^{23} جزيء من كلوريد الخارصين II $ZnCl_2$.

التقويم 5-1

الخلاصة

- المول وحدة تستخدم لعد جسيمات المادة بشكل غير مباشر. المول الواحد من المادة النقية يحتوي على عدد أفوجادرو من الجسيمات.
- الجسيمات الممثلة تشمل الذرات، والأيونات، والجزيئات، ووحدات الصيغ الكيميائية، وجسيمات أخرى مشابهة.
- المول الواحد من ذرات الكربون-12 له كتلة مقدارها 12 g تمامًا.
- يمكن استخدام عوامل التحويل المكتوبة من علاقة عدد أفوجادرو للتحويل بين المولات وعدد الجسيمات.

7. الفكرة الرئيسة **فسّر** لماذا يستخدم الكيميائيون المول؟
8. **اذكر** العلاقة الرياضية التي تربط بين عدد أفوجادرو، والمول الواحد من أي مادة (1mol).
9. **اكتب** عوامل التحويل المستخدمة للتحويل بين الجسيمات والمولات.
10. **فسّر** وجه الشبه بين المول والدرزن.
11. **طبّق** كيف يحسب الكيميائي عدد الجسيمات في عدد معين من مولات المادة؟
12. **احسب** عدد الجسيمات الممثلة (ذرات أو جزيئات أو أيونات أو وحدات صيغة) في كل من المواد الآتية:
    a. 11.5 mol من الفضة Ag.
    b. 18.0 mol من الماء H_2O.
    c. 0.15 mol من كلوريد الصوديوم NaCl.
    d. 1.35×10^{-2} mol من الميثان CH_4.
13. **رتب** العينات الثلاث الآتية من الأصغر إلى الأكبر بحسب عدد الجسيمات الممثلة:

1.25×10^{25} ذرة من الخارصين Zn

3.56 mol من الحديد Fe

6.78×10^{22} جزيء من الجلوكوز $C_6H_{12}O_6$

5–2

الأهداف

- **تربط** كتلة الذرة بكتلة مول واحد من الذرات.
- **تحول** بين عدد مولات العنصر وكتلته.
- **تحول** بين عدد مولات العنصر وعدد ذراته.

مراجعة المفردات

عامل التحويل: نسبة بين قيم متكافئة، يستخدم للتعبير عن الكمية نفسها بوحدات مختلفة.

المفردات الجديدة

الكتلة المولية

الكتلة والمول Mass and the Mole

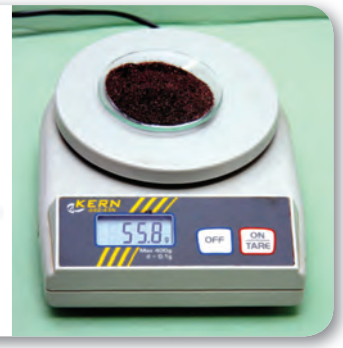
الفكرة الرئيسة **يحتوي المول على العدد نفسه من الجسيمات دائمًا، غير أنّ مولات المواد المختلفة لها كتل مختلفة.**

الربط مع الحياة عند شراء درزن بيض، يمكنك اختيار أحجام مختلفة: صغيرة ومتوسطة وكبيرة. لا يؤثر حجم البيض في عدد ما يحتويه الصندوق. وهذا وضع مشابه لحجم الذرات التي تكوّن المول.

كتلة المول The Mass of a Mole

لن تتوقع أن كتلة درزن من الليمون تساوي كتلة درزن من البيض؛ لأن البيض والليمون يختلفان في الحجم والتركيب، فمن غير المفاجئ إذن أن تكون لهما كتل مختلفة، كما هو موضح في **الشكل 5–5**. لذلك فإن كميتين مقدار كل منهما مول واحد من مادتين مختلفتين لهما كتلتان مختلفتان؛ لأن لكلٍّ منهما تركيبًا مختلفًا. فلو وضعت مولاً واحدًا من الكربون مثلًا، ومولاً واحدًا من النحاس في ميزانين فسترى فرقًا في الكتلة، كالذي تراه في كتل البيض، والليمون. وهذا يحدث لأن كتلة ذرات الكربون تختلف عن كتلة ذرات النحاس، ولذلك فإن كتلة 6.02×10^{23} ذرة من الكربون لا تساوي كتلة 6.02×10^{23} ذرة من النحاس.

الشكل 5–5 كتلة درزن من الليمون تساوي ضعف كتلة درزن من البيض تقريبًا. ويعدّ الفرق بين الكتلتين منطقيًّا؛ لأن الليمون مختلف عن البيض في تركيبه وحجمه.



1 mol من الحديد = 6.02×10^{23} ذرة من الحديد

الشكل 6–5 مول من الحديد، يحتوي على عدد أفوجادرو من الذرات، ممثلاً بكيس له كتلة مساوية لكتلته الذرية بالجرامات.

طبق ما كتلة مول من النحاس؟

الكتلة المولية كيف ترتبط كتلة ذرة واحدة بكتلة مول واحد من تلك الذرة؟ تذكر أن المول يعرف على أنه عدد ذرات الكربون–12 في 12 g منه. ومن ثم فكتلة 1mol من ذرات الكربون–12 هي 12 g. وسواءً كنت مهتمًّا بذرّة واحدة أو بعدد أفوجادرو من الذرات (1 mol) فإن كتل جميع الذرات تم تعيينها بالنسبة إلى كتلة ذرة الكربون–12. وتسمى الكتلة بالجرامات لمول واحدٍ من أي مادة نقية **الكتلة المولية**.

الكتلة المولية لأي عنصر تساوي عدديًّا كتلته الذرية، ووحدتها g/mol. وكما هو مبين في الجدول الدوري، فإن كتلة ذرة الحديد الواحدة مقدارها 55.845 amu. لذا فالكتلة المولية للحديد تساوي 55.845 g/mol. لاحظ أنه بقياس 55.845 g من الحديد تكون بطريقة غير مباشرة قد عددت 6.02×10^{23} ذرة منه. **الشكل 6–5** يوضح العلاقة بين الكتلة المولية ومول واحد من العنصر.

مختبر حل المشكلات

صياغة نموذج

كيف ترتبط الكتلة المولية وعدد أفوجادرو والكتلة الذرية؟

يمكن أن يوفر نموذج نواة الذرة صورة مبسطة للعلاقات بين المول، والكتلة المولية وعدد الجسيمات.

التحليل

يظهر الرسم عن اليسار نماذج أنوية H–1 و He–4. تحتوي نواة H–1 على بروتون واحد بكتلة مقدارها 1.007 amu، وقد قدرت كتلة البروتون بالجرامات 1.672×10^{-24} g. تحتوي نواة الهيليوم–4 على بروتونين ونيوترونين، ولها كتلة مقدارها 4 amu.

التفكير الناقد

1. **طبّق** ما كتلة ذرة الهيليوم الواحدة بالجرامات؟ (كتلة النيوترون مساوية تقريبًا لكتلة البروتون).

الهيليوم–4 الهيدروجين–1

2. **ارسم** الكربون–12 يحتوي على ستة بروتونات وستة نيوترونات. ارسم نواة الكربون–12، واحسب كتلة الذرة الواحدة بوحدتي g و amu.
3. **طبّق** ما عدد ذرات الهيدروجين–1 في عينة كتلتها 1.007 g؟ تذكر أن 1.007 amu هي كتلة ذرة واحدة من الهيدروجين–1. قرّب إجابتك إلى أقرب جزء من مائة.
4. **طبّق** لو كانت لديك عينتان من الهيليوم والكربون تحتويان على عدد أفوجادرو من الذرات، فكم تكون كتلة كل عينة بالجرامات؟
5. **استنتج** ماذا يمكنك أن تستنتج عن العلاقة بين عدد الذرات وكتلة كل عينة؟

استخدام الكتلة المولية Using Molar Mass

تحويل المولات إلى كتلة افترض أنه خلال عملك في مختبر الكيمياء احتجت إلى 3.00 mol من النحاس Cu لتفاعل كيميائي، فكيف تقيس هذه الكمية؟ يمكن تحويل عدد مولات النحاس إلى كتلة تقاس بالميزان. ولحساب كتلة عدد معين من المولات اضرب عدد المولات في الكتلة المولية:

$$\text{الكتلة بالجرامات (g)} = \text{عدد المولات (mol)} \times \frac{\text{الكتلة المولية (g)}}{1\ \text{mol}}$$

إذا نظرت إلى الجدول الدوري للعناصر فستجد أن Cu–29 له كتلة ذرية مقدارها 63.45 amu، وأنت تعلم أن الكتلة المولية للعنصر (g /mol) تساوي الكتلة الذرية (معبرًا عنها بوحدة amu)، لذلك فكتلة النحاس المولية هي 63.546 g /mol، وباستخدامها يمكنك تحويل 3.00 mol نحاس إلى جرامات نحاس.

$$3.00\ \text{mol Cu} \times \frac{63.546\ \text{g Cu}}{1\ \text{mol Cu}} = 191\text{g Cu}$$

لذا، كما هو موضح في **الشكل 7–5**، يمكنك قياس 3.00 mol من النحاس اللازمة للتفاعل باستخدام ميزان لتعيين 191 g من النحاس، والتحويل العكسي (من الكتلة إلى المولات) يتضمن استخدام مقلوب الكتلة المولية بوصفه عامل تحويل. فهل بإمكانك تفسير السبب؟

المطويات

ضمّن مطويتك معلومات من هذا القسم.

الشكل 7–5 لقياس 3.00 mol من النحاس، ضع ورقة وزن على الميزان، وصَفِّره، ثم ضع 191 g من النحاس.

الربط مع علم الأحياء يكتشف علماء الخلية بروتينات حيوية جديدة باستمرار. وبعد اكتشاف جزيء حيوي جديد يقوم عالم الأحياء بتعيين الكتلة المولية للمركب باستخدام تقنية مطياف الكتلة، الذي يوفر ـ بالإضافة إلى الكتلة المولية ـ معلومات إضافية تساعد على الكشف عن التركيب الكيميائي للمركب.

مثال 2–5

التحويل من المول إلى الكتلة الكروم Cr عنصر انتقالي، يستخدم في طلاء الحديد والفلزات لحمايتها من التآكل. احسب كتلة 0.0450 mol من الكروم.

1 تحليل المسألة

لديك عدد مولات الكروم التي يجب حساب كتلتها باستخدام الكتلة المولية للكروم من الجدول الدوري للعناصر. ولأن العينة أقل من 0.1 mol، فيجب أن تكون الإجابة أقل من 0.1 من الكتلة المولية.

المعطيات

عدد المولات = 0.0450 mol

الكتلة المولية للكروم = 52.00 g/mol

المطلوب

كتلة Cr = ؟

2 حساب المطلوب

استخدم عامل التحويل (الكتلة المولية) الذي يربط جرامات الكروم بمولاته، ثم عوّض بالقيم المعلومة في المعادلة وحلها.

طبق عامل التحويل

$$\text{كتلة الكروم (g)} = \text{مولات الكروم (mol)} \times \frac{\text{الكتلة المولية للكروم (g)}}{\text{من الكروم 1mol}}$$

عوض بالمعطيات وأوجد الحل

$$= 0.0450 \cancel{\text{mol Cr}} \times \frac{52.00 \text{ g Cr}}{1 \cancel{\text{mol Cr}}}$$

$$= 2.34 \text{ g Cr}$$

3 تقويم الإجابة

الإجابة أقل من 0.1 mol كما هو متوقع، والوحدة صحيحة، وهي (g).

مسائل تدريبية

14. احسب الكتلة بالجرامات لكل مما يلي:

a. 3.57 mol من الألومنيوم Al.

b. 42.6 mol من السليكون Si.

15. تحفيز احسب الكتلة بالجرامات لكل مما يلي:

a. 3.54×10^{2} mol من الكوبلت Co.

b. 2.45×10^{-2} mol من الخارصين Zn.

مثال 3–5

التحويل من الكتلة إلى المول الكالسيوم Ca من أكثر العناصر توافرًا في الأرض، ويوجد دائمًا متحدًا مع عناصر أخرى بسبب نشاطه العالي. ما عدد مولات الكالسيوم في 525 g منه؟

1 تحليل المسألة

عليك أن تحول كتلة الكالسيوم إلى مولات كالسيوم؛ فكتلة الكالسيوم هنا أكبر من الكتلة المولية أكثر من عشر مرات، لذلك يجب أن تكون الإجابة أكبر من 10 mol.

المعطيات	المطلوب
الكتلة = 525 g Ca	عدد مولات Ca = ؟
الكتلة المولية لـ Ca = 40.08 g/mol	

2 حساب المطلوب

استخدم عامل التحويل (مقلوب الكتلة المولية) الذي يربط مولات الكالسيوم بجراماته، وعوِّض القيم المعلومة، وحل:

طبق عامل التحويل

$$\text{مولات الكالسيوم (mol)} = \text{كتلة الكالسيوم (g)} \times \frac{1\ \text{mol من الكالسيوم}}{\text{الكتلة المولية للكالسيوم (g)}}$$

عوض بالمعطيات وأوجد الحل

$$= 525\ \cancel{\text{g Ca}} \times \frac{\text{mol 1 Ca}}{40.08\ \cancel{\text{g Ca}}} = 13.1\ \text{mol Ca}$$

3 تقويم الجواب

الإجابة أكبر من 10 mol كما هو متوقع، والوحدة صحيحة، وهي mol.

مسائل تدريبية

16. احسب عدد المولات في كلٍّ مما يلي:

a. 25.5 g من الفضة Ag.

b. 300.0 g من الكبريت S.

17. تحفيز حوّل كلًّا من الكتل التالية إلى مولات:

a. 1.25×10^{3} g من الخارصين Zn.

b. 1.00 Kg من الحديد Fe .

التحويل بين الكتلة والذرات إنك لا تستطيع أن تقوم بتحويل مباشر من كتلة المادة إلى عدد الجسيمات المكونة لها؛ إذ لا بد أن تحول الكتلة إلى عدد المولات في البداية، وهذه العملية المكونة من خطوتين موضحة في المثال 4–5.

مثال 4–5

التحويل من الكتلة إلى الذرات الذهب Au هو أحد فلزات العملة (الذهب، الفضة، النحاس). ما عدد ذرات الذهب في عملة ذهبية كتلتها 31.1 g؟

1 تحليل المسألة

عليك أن تحسب عدد الذرات في كتلة معينة من الذهب. ولأنك لا تستطيع التحويل مباشرة من الكتلة إلى عدد الذرات، فعليك أولاً أن تحول الكتلة إلى مولات باستخدام الكتلة المولية، ثم تحول المولات إلى عدد الذرات باستخدام عدد أفوجادرو.

ولأن كتلة الذهب المعطاة هي سُدس الكتلة المولية للذهب (196.97 g /mol). لذا فعدد ذرات الذهب يجب أن يكون سُدْس عدد أفوجادرو تقريبًا.

المعطيات

الكتلة = 31.1 g Au

الكتلة المولية = 196.97 g /mol

المطلوب

عدد ذرات Au = ؟

2 حساب المطلوب

استخدم عامل التحويل (مقلوب الكتلة المولية) الذي يربط مولات الذهب بجراماته.

طبق عامل التحويل

$$\text{عدد مولات الذهب (mol)} = \text{كتلة الذهب (Au)} \times \frac{1\ \text{mol من الذهب}}{\text{الكتلة المولية للذهب (g)}}$$

عوض بالمعطيات، واحسب عدد المولات

$$31.1\ \cancel{\text{g Au}} \times \frac{1\ \text{mol Au}}{196.97\ \cancel{\text{g Au}}} = 0.158\ \text{mol Au}$$

لتحويل المولات إلى عدد ذرات، اضرب في عدد أفوجادرو

طبق عامل التحويل

$$\text{عدد ذرات الذهب} = \text{عدد مولات الذهب (mol)} \times \frac{6.02 \times 10^{23}\ \text{ذرة من الذهب}}{1\ \text{mol من الذهب}}$$

عوض بالمعطيات، وأوجد الحل

$$= 0.158\ \cancel{\text{mol Au}} \times \frac{6.02 \times 10^{23}\ \text{ذرة من الذهب}}{1\ \cancel{\text{mol Au}}}$$

$$= 9.51 \times 10^{22}\ \text{ذرة من الذهب}$$

3 تقويم الإجابة

الإجابة تساوي سدس عدد أفوجادرو تقريبًا، كما هو متوقع. والوحدة صحيحة، وهي ذرة (atom).

مثال 5–5

تحويل الذرات إلى كتلة الهيليوم He غاز نبيل، فإذا احتوى بالون على 5.50×10^{22} ذرة من الهيليوم، فاحسب كتلة الهيليوم فيه.

1 تحليل المسألة

عدد ذرات الهيليوم معلومة لديك، وعليك إيجاد كتلة الغاز. حوّل أولاً عدد الذرات إلى مولات، ثم حول المولات إلى جرامات.

المعطيات

عدد ذرات الهيليوم $= \text{He}$ 5.50×10^{22} ذرة

الكتلة المولية للهيليوم $= 4.00\ \text{g/mol He}$

المطلوب

كتلة $\text{He} = ?$

2 حساب المطلوب

استخدم عامل التحويل (مقلوب عدد أفوجادرو) الذي يربط المولات بعدد الذرات

طبـق عامل التحويل

$$\text{عدد مولات الهيليوم (mol)} = \text{عدد ذرات الهيليوم} \times \frac{1\ \text{mol من الهيليوم}}{6.02 \times 10^{23}\ \text{ذرة من الهيليوم}}$$

عوض $5.50 \times 10^{22}\ \text{atoms He}$

$$= 5.50 \times 10^{22}\ \text{ذرة من He} \times \frac{1\text{mol He}}{6.02 \times 10^{23}\ \text{ذرة من He}}$$

اضرب واقسم الأرقام والوحدات

$$= 0.0914\ \text{mol He}$$

لتحويل عدد المولات إلى كتلة، اضرب في الكتلة المولية

طبق عامل التحويل

$$\text{كتلة الهيليوم بالجرامات (g)} = \text{عدد مولات الهيليوم (mol)} \times \frac{\text{الكتلة المولية للهيليوم (g)}}{1\ \text{mol He}}$$

عوض عدد مولات $\text{He} = 0.0914\ \text{mol}$ الكتلة المولية $\text{He} = 4.00\ \text{g/mol}$، وأوجد الحل

$$= 0.0914\ \cancel{\text{mol He}} \times \frac{4.00\ \text{g He}}{1\ \cancel{\text{mol He}}} = 0.366\ \text{g He}$$

3 تقويم الإجابة

عُبر عن الجواب بالوحدة الصحيحة (g).

مسائل تدريبية

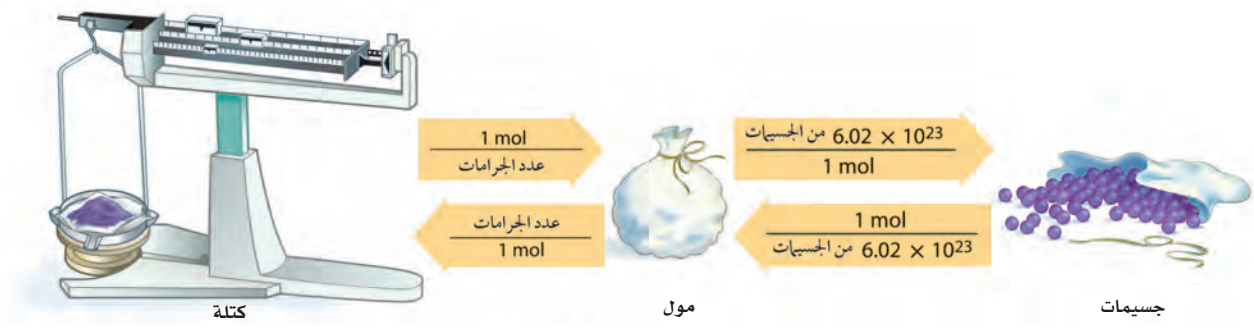
18. ما عدد الذرات في 11.5 g من الزئبق Hg؟

19. ما كتلة 1.50×10^{15} ذرة من النيتروجين N؟

20. تحفيز احسب عدد الذرات في كل مما يلي:

a. $4.56 \times 10^{3}\ \text{g}$ من السليكون Si.

b. 0.120 kg من التيتانيوم Ti.



الشكل 8–5 يعد المول أساس التحويل بين الكتلة والجسيمات الممثلة (الذرات، الأيونات، الجزيئات، وحدات الصيغة). في الشكل تمثل الكتلة في الميزان والمولات في حقيبة تحتوي على الجسيمات الممثلة، والجسيمات الممثلة تنتشر من الحقيبة. تحتاج إلى خطوتين للتحويل من الكتلة إلى الجسيمات أو العكس.

الآن بعد أن أجريت تحويلًا بين الكتلة، والمولات، والجسيمات، أنت تدرك أن المول أساس الحسابات. فالكتلة دائمًا تحول إلى مولات قبل تحويلها إلى ذرات، والذرات تحول إلى مولات قبل أن تحسب كتلتها.

الشكل 8–5 يبين خطوات التحويل. في الأمثلة الحسابية التي مرت بك، استعملت خطوتين في التحويل، فإما تحويل الكتلة إلى مولات ثم إلى ذرات، أو تحويل الذرات إلى مولات ثم إلى كتلة. ويمكنك دمج الخطوتين في خطوة واحدة. افترض أنك تريد معرفة عدد جزيئات الأكسجين في 1.00 g منه. إن عملية التحويل هذه تتطلب التحويل من كتلة إلى مولات ومن مولات إلى جزيئات، ويمكن أن تمثل ذلك في المعادلة.

$$= 1.00\,\cancel{g\,O_2} \times \frac{1\,\cancel{mol\,O_2}}{31.998\,\cancel{g\,O_2}} \times \frac{6.02 \times 10^{23}\ \text{جزيء } O_2}{1\,\cancel{mol\,O_2}}$$

$$= 1.88 \times 10^{22}\ \text{جزيء}$$

التقويم 5-2

الخلاصة

- تسمى الكتلة بالجرامات لمول واحد من أي مادة نقية الكتلة المولية.
- الكتلة المولية لأي عنصر تساوي عدديًّا كتلته الذرية.
- الكتلة المولية لأي مادة هي كتلة عدد أفوجادرو من الجسيمات المكونة لهذه المادة.
- تستخدم الكتلة المولية للتحويل من المولات إلى كتلة، ويستخدم مقلوب الكتلة المولية للتحويل من الكتلة إلى مولات.

21. الفكرة الرئيسة **لخص** الفرق بين كميات مول واحد من مادتين مختلفتين أحاديتي الذرات من حيث الجسيمات والكتلة؟
22. **اذكر** معامل التحويل اللازم للتحويل بين الكتلة والمولات لذرة الفلور.
23. **اشرح** كيف تربط الكتلة المولية كتلة الذرة بكتلة مول واحد من الذرات.
24. **صف** الخطوات اللازمة لتحويل كتلة عنصر ما إلى ذراته.
25. **احسب** كتلة 0.25 mol من ذرات الكربون–12.
26. **رتّب** الكميات التالية من الأصغر إلى الأكبر بحسب الكتلة: 1.0 mol من Ar، 3.0×10^{24} ذرة من Ne، 20 g من Kr.
27. **حدِّد** الكمية التي تحسب بقسمة الكتلة المولية للعنصر على عدد أفوجادرو.
28. **صمّم** خريطة مفاهيمية توضح العوامل اللازمة للتحويل بين الكتلة، والمولات، وعدد الجسيمات.

5–3

مولات المركبات Moles of Compounds

الأهداف

- **تتعرّف** العلاقات التي تربط المول بالصيغة الكيميائية.
- **تحسب** الكتلة المولية لمركب.
- **تطبق** عوامل التحويل لتحديد عدد الذرات أو الأيونات في كتلة معروفة من مركب.

مراجعة المفردات

الجسيم الممثل: ذرة أو جزيء أو وحدة صيغة كيميائية أو أيون.

الفكرة الرئيسة **يمكن حساب الكتلة المولية للمركب من خلال صيغته الكيميائية، كما يمكن استعمال هذه الكتلة المولية للتحويل بين الكتلة والمولات للمركب نفسه.**

الربط مع الحياة تخيل حقيبتين فُحصتا في المطار، وتبين أن إحداهما قد تجاوزت حد الوزن المسموح به. ولأن وزن كل حقيبة يعتمد على مجموع الأشياء الموجودة داخلها فإن إعادة توزيع هذه الأشياء على الحقيبتين يغير وزن كل منهما.

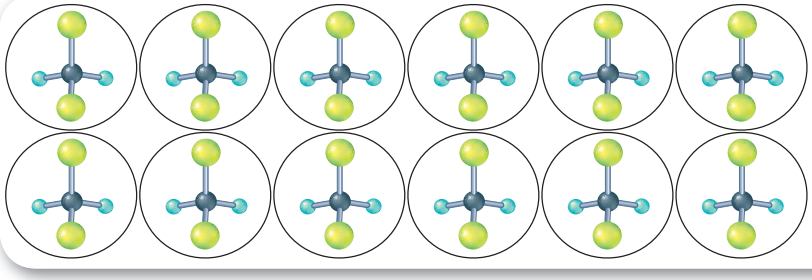
الصيغ الكيميائية والمول

Chemical Formulas and the Mole

تعلمت أن الأنواع المختلفة من الجسيمات تُعد باستعمال المول، وكذلك تعلمت أن الكتل المولية تستعمل للتحويل بين المولات والكتلة، وعدد الجسيمات للعنصر. ولتقوم بتحويلات مشابهة للمركبات والأيونات تحتاج إلى معرفة الكتلة المولية لها.

تذكر أن الصيغة الكيميائية للمركب تعبر عن عدد الذرات وأنواعها الموجودة في وحدة صيغة واحدة منه. خذ في الاعتبار مركب ثنائي كلورو ثنائي فلورو ميثان (غاز الفريون) المستخدم في عمليات التبريد، وصيغته CCl_2F_2 حيث تدل الأرقام في صيغة المركب على أن جزيئًا واحدًا من CCl_2F_2 يتكون من ذرة كربون (C) وذرتي كلور (Cl) وذرتي فلور (F). وهذه الذرات مرتبطة معًا كيميائيًّا، بنسبة F: Cl: C هي 2:2:1.

والآن، افترض أن لديك مولاً واحدًا من CCl_2F_2، وهذا يعني أنه يحتوي على عدد أفوجادرو من الجزيئات. وستبقى النسبة 2 :2 :1 بين ذرات F:Cl:C في مولٍ من المركب كما هي في جزيء واحد منه. ويوضح **الشكل 9–5** درزن من جزيئات CCl_2F_2؛ إذ تحتوي على درزن واحدة من ذرات الكربون، ودستتين من ذرات الكلور، ودستتين من ذرات الفلور. فالصيغة الكيميائية CCl_2F_2 لا تمثل جزيئًا منفردًا من CCl_2F_2 فقط، بل تمثل أيضًا مولاً من المركب.



الشكل 9–5 يوضح درزن من جزيئات CCl_2F_2 تحتوي على درزن من ذرات الكربون، ودستتين من ذرات الكلور، ودستتين من ذرات الفلور.

استنتج كم ذرة من الكربون، والكلور، والفلور توجد في مول واحد من CCl_2F_2.

قد تحتاج في بعض الحسابات الكيميائية إلى التحويل بين مولات المركب ومولات إحدى الذرات المكونة له. فالنسب أو عوامل التحويل التالية يمكن كتابتها لاستعمالها في الحسابات لجزيء CCl_2F_2.

$$\frac{2\ mol\ F}{1\ mol\ CCl_2F_2} \qquad \frac{2\ mol\ Cl}{1\ mol\ CCl_2F_2} \qquad \frac{1\ mol\ C}{1\ mol\ CCl_2F_2}$$

لإيجاد عدد مولات ذرات الفلور في $5.50\ mol$ من الفريون CCl_2F_2 اضرب مولات الفريون في عامل التحويل الذي يربط بين مولات ذرات الفلور ومولات الفريون.

$$\text{عدد مولات } F = \text{عدد مولات } CCl_2F_2 \times \frac{2\ mol\ F}{1\ mol\ CCl_2F_2}$$

$$5.50\ mol\ CCl_2F_2 \times \frac{2\ mol\ F}{1\ mol\ CCl_2F_2} = 11.0\ mol\ F$$

يمكن استعمال عامل التحويل الذي استعمل للفلور في كتابة عوامل التحويل لسائر العناصر في المركب. وعدد مولات العنصر التي توضع في البسط تمثل الرقم الذي عن يمين رمز العنصر في الصيغة الكيميائية.

مثال 6–5

علاقات المول المرتبطة بالصيغة الكيميائية أكسيد الألومنيوم (Al_2O_3) الذي يسمى غالبًا ألومينا، هو المادة الخام الأساسية لإنتاج الألومنيوم (Al). توجد الألومنيا في معدن الكورنديوم والبوكسايت. احسب عدد مولات أيونات الألومنيوم (Al^{3+}) في $1.25\ mol$ من أكسيد الألومنيوم Al_2O_3.

1 تحليل المسألة

لقد أعطيت عدد مولات Al_2O_3، وعليك أن تحسب عدد مولات أيونات Al^{3+}. مستعملاً عامل التحويل المبني على الصيغة الكيميائية والذي يربط بين مولات أيونات Al^{3+} ومولات Al_2O_3. كل مول من Al_2O_3 يحتوي على مولين من أيونات Al^{3+}، لذا فالإجابة يجب أن تكون ضعف مولات Al_2O_3.

المعطيات

عدد مولات $Al_2O_3 = 1.25\ mol$

المطلوب

عدد المولات $Al^{3+} = ?$

2 حساب المطلوب

استعمل العلاقة $1mol$ من Al_2O_3 يحتوي على $2\ mol$ من Al^{3+}، لكتابة عامل التحويل.

عين عامل تحويل يربط بين عدد مولات أيونات Al^{3+} بمولات Al_2O_3

$$\frac{2\ mol\ Al^{3+}}{1\ mol\ Al_2O_3}$$

لتحويل عدد مولات Al_2O_3 المعروفة إلى مولات أيونات Al^{3+} اضرب في عامل التحويل.

طبق عامل التحويل

$$mol\ Al_2O_3 \times \frac{2\ mol\ Al^{3+}}{1 mol\ Al_2O_3} = mol\ Al^{3+}$$

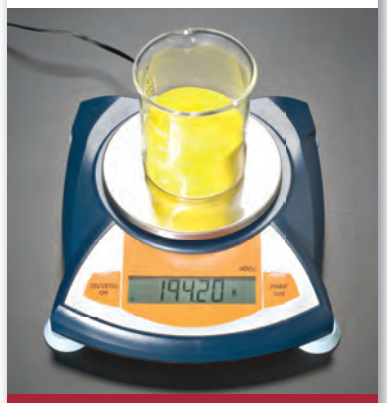
عوض مستعينًا بالمعطيات، وأوجد الحل

$$1.25\ \cancel{mol\ Al_2O_3} \times \frac{2\ mol\ Al^{3+}}{\cancel{1 mol\ Al_2O_3}} = 2.5\ mol\ Al^{3+}$$

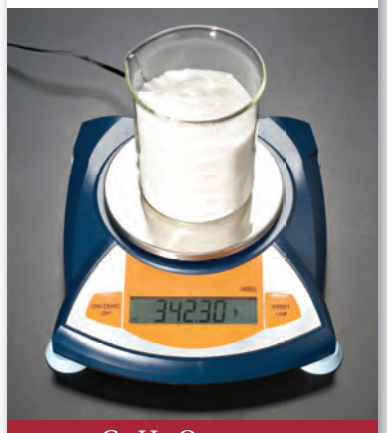
3 تقويم الإجابة

عدد مولات أيونات Al^{3+} ضعف عدد مولات Al_2O_3، كما هو متوقع.

الشكل 10–5 لأن كل مادة تحتوي على أعداد وأنواع مختلفة من الذرات، فإن كتلها المولية مختلفة. فالكتلة المولية لكل مركب هي حاصل مجموع كتل جميع العناصر المكونة له.


كرومات البوتاسيوم (K_2CrO_4)

كلوريد الصوديوم (NaCl)


السكروز ($C_{12}H_{22}O_{11}$)

مسائل تدريبية

29. يستعمل كلوريد الخارصين $ZnCl_2$ بوصفه سبيكة لحام لربط فلزين معًا، احسب عدد مولات أيونات Cl^- في 2.50 mol من $ZnCl_2$.

30. تعتمد النباتات والحيوانات على سكر الجلوكوز $C_6H_{12}O_6$ بوصفه مصدرًا للطاقة. احسب عدد مولات كل عنصر في 1.25 mol من الجلوكوز.

31. احسب عدد مولات أيونات الكبريتات الموجودة في 3.00 mol من $Fe_2(SO_4)_3$.

29. ما عدد مولات ذرات الأكسجين الموجودة في 5.00 mol من P_2O_5؟

30. تحفيز احسب عدد مولات ذرات الهيدروجين في 1.15×10^{1} mol من الماء.

الكتلة المولية للمركّبات

The Molar Mass of Compounds

كتلة مول واحد من المركب تساوي مجموع كتل الجسيمات التي يتكون منها المركب. افترض أنك ترغب في تعيين الكتلة المولية لمركب كرومات البوتاسيوم (K_2CrO_4)، ابدأ بالبحث عن الكتل المولية لكل عنصر في K_2CrO_4، ثم اضرب الكتلة المولية لكل عنصر في عدد مولات العنصر الممثلة في الصيغة الكيميائية، ثم اجمع كتل العناصر كافة لتحصل على الكتلة المولية للمركب K_2CrO_4.

$$2\ \text{mol K} \times \frac{39.10\ \text{g K}}{1\ \text{mol K}} = 78.20\ \text{g}$$

$$1\ \text{mol Cr} \times \frac{52.0\ \text{g Cr}}{1\ \text{mol Cr}} = 52.0\ \text{g}$$

$$4\ \text{mol O} \times \frac{16.0\ \text{g O}}{1\ \text{mol O}} = 64.0\ \text{g}$$

الكتلة المولية لـ $K_2CrO_4 = 194.20\ \text{g}$

توضح الكتلة المولية للمركب قانون حفظ الكتلة؛ فالكتلة الكلية للمتفاعلات تساوي كتلة المركب المتكون. يوضح **الشكل 10–5** كتلاً متكافئة لمول واحد من كرومات البوتاسيوم، وكلوريد الصوديوم، والسكروز.

مسائل تدريبية

34. احسب الكتلة المولية لكل مركب أيوني من المركبات التالية:

a. NaOH **b.** $CaCl_2$ **c.** $KC_2H_3O_2$

35. احسب الكتلة المولية لكل مركب تساهمي من المركبات التالية:

a. C_2H_5OH **b.** HCN **c.** CCl_4

36. تحفيز صنّف كلًّا من المركبات التالية بوصفه مركبًا جزيئيًّا أو أيونيًّا، ثم احسب كتلته المولية:

a. $Sr(NO_3)_2$ **b.** $(NH_4)_3PO_4$ **c.** $C_{12}H_{22}O_{11}$

تحويل مولات المركب إلى كتلة

Converting Moles of a Compound to Mass

إذا أردت إيجاد عدد مولات مركب لعمل تجربةٍ ما، فعليك أولاً أن تحسب الكتلة المطلوبة بالجرامات من خلال عدد المولات، ثم يمكنك قياس هذه الكتلة بالميزان. ففي المثال 2–5 تعلمت كيفية تحويل عدد مولات العناصر إلى كتلة باستعمال الكتلة المولية بوصفها عامل تحويل. وتستعمل الطريقة نفسها مع المركبات، إلا أنه يتعين عليك حساب الكتلة المولية للمركب.

مثال 7–5

التحويل من مول إلى كتلة في المركبات تعود الرائحة المميزة للثوم إلى وجود المركب $(C_3H_5)_2S$. فما كتلة 2.50 mol من $(C_3H_5)_2S$ ؟

1 تحليل المسألة

لقد أعطيت عدد مولات $(C_3H_5)_2S$، وعليك أن تحول المولات إلى كتلة باستعمال الكتلة المولية بوصفها عامل تحويل. والكتلة المولية هي حاصل مجموع الكتل المولية لكل العناصر في $(C_3H_5)_2S$.

المعطيات

عدد مولات $(C_3H_5)_2S$ = 2.50 mol

المطلوب

الكتلة المولية $(C_3H_5)_2S$ = ؟

كتلة $(C_3H_5)_2S$ = ؟

2 حساب المطلوب

احسب الكتلة المولية لـ $(C_3H_5)_2S$.

اضرب مولات S في الكتلة المولية لـ S

$$1\ \cancel{\text{mol S}} \times \frac{32.07\ \text{g S}}{1\ \cancel{\text{mol S}}} = 32.07\ \text{g S}$$

اضرب مولات C في الكتلة المولية لـ C

$$6\ \cancel{\text{mol C}} \times \frac{12.01\ \text{g C}}{1\ \cancel{\text{mol C}}} = 72.06\ \text{g C}$$

اضرب مولات H في الكتلة المولية لـ H

$$10\ \cancel{\text{mol H}} \times \frac{12.008\ \text{g H}}{1\ \cancel{\text{mol H}}} = 10.08\ \text{g H}$$

حاصل جمع الكتل

$$= 32.07\ \text{g} + 72.06\ \text{g} + 10.08\ \text{g} = 114.21\ \text{g/mol}\ (C_3H_5)_2S$$

استعمل عامل التحويل (الكتلة المولية) الذي يربط الجرامات بالمولات.

طبق عامل التحويل

$$\text{كتلة } (C_3H_5)_2S = \text{عدد مولات } (C_3H_5)_2S \times \frac{\text{الكتلة المولية } (C_3H_5)_2S}{1\ \text{mol}\ (C_3H_5)_2S}$$

عوض مستعينًا بالمعطيات، وحُل

$$2.5\ \text{mol}\ \cancel{(C_3H_5)_2S} \times \frac{114.21\text{g}\ (C_3H_5)_2S}{1\ \text{mol}\ \cancel{(C_3H_5)_2S}} = 286\ \text{g}\ (C_3H_5)_2S$$

مسائل تدريبية

37. ما كتلة 3.25 mol من حمض الكبريتيك H_2SO_4؟

38. ما كتلة 4.35×10^{-2} mol من كلوريد الخارصين $ZnCl_2$ ؟

39. **تحفيز** اكتب الصيغة الكيميائية لبرمنجنات البوتاسيوم، ثم احسب كتلة 2.55 mol منه بالجرامات.

تحويل كتلة المركب إلى مولات

Converting the Mass of a Compound to Moles

إذا نتج عن إحدى التجارب التي أجريتها في المختبر 5.55 g من مركب ما، فما عدد المولات في هذه الكتلة؟ لتحديد ذلك افترض أنك حسبت الكتلة المولية للمركب ووجدتها 185.0 g /mol، ولأن الكتلة المولية تربط الجرامات بالمولات، فإنك تحتاج في هذه الحالة إلى مقلوب الكتلة المولية بوصفه عامل تحويل.

$$0.0297 \text{ mol من المركب} = 5.50 \text{ g من المركب} \times \frac{1 \text{ mol من المركب}}{185 \text{ g من المركب}}$$

مثال 8–5

التحويل من الكتلة إلى مولات يستعمل مركب هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ لإزالة ثاني أكسيد الكبريت من غازات العادم المنبعثة من محطات الطاقة، وفي معالجة عسر الماء لإزالة أيونات Ca^{2+} و Mg^{2+}. احسب عدد مولات هيدروكسيد الكالسيوم في 325 g منه.

1 تحليل المسألة

لديك 325 g من $Ca(OH)_2$ والمطلوب إيجاد عدد مولات $Ca(OH)_2$. احسب أولاً الكتلة المولية لـ $Ca(OH)_2$.

المعطيات

كتلة $Ca(OH)_2$ = 325 g

المطلوب

الكتلة المولية $Ca(OH)_2$ = ؟

عدد المولات $Ca(OH)_2$ = ؟

2 حساب المطلوب

احسب الكتلة المولية للمركب $Ca(OH)_2$.

اضرب مولات Ca في الكتلة المولية لـ Ca

$$1 \text{ mol Ca} \times \frac{40.08 \text{ g Ca}}{1 \text{ mol Ca}} = 40.08 \text{ g}$$

اضرب مولات O في الكتلة المولية لـ O

$$2 \text{ mol O} \times \frac{16.0 \text{ g O}}{1 \text{ mol O}} = 32.0 \text{ g}$$

اضرب مولات H في الكتلة المولية لـ H

$$2 \text{ mol H} \times \frac{1.00 \text{ g H}}{1 \text{ mol H}} = 2.016 \text{ g}$$

حاصل جمع الكتل

$$= 40.08 \text{ g} + 32.00 \text{ g} + 2.016 \text{ g} = 74.10 \text{ g/mol } Ca(OH)_2$$

استعمل عامل التحويل (مقلوب الكتلة المولية) الذي يربط المولات بالجرامات.

عوض مستعينًا بالمعطيات، وحُل

$$= 325 \text{ g } Ca(OH)_2 \times \frac{1 \text{ mol } Ca(OH)_2}{74.10 \text{ g } Ca(OH)_2} = 4.39 \text{ mol } Ca(OH)_2$$

3 تقويم الإجابة

للتحقق من صحة الإجابة، قرّب الكتلة المولية لـ $Ca(OH)_2$ إلى 75 g /mol، وكذلك الكتلة المعطاة من $Ca(OH)_2$ إلى 300 g. ولأن العدد 300 أربعة أضعاف العدد 75، لذا فالإجابة مقبولة. كما أن الوحدة صحيحة، وهي المول.

مسائل تدريبية

40. احسب عدد المولات لكل من المركبات الآتية:

a. 22.6 g من نترات الفضة $AgNO_3$. **b.** 6.5 g من كبريتات الخارصين $ZnSO_4$.

41. تحفيز صنف كلًّا من المركبين التاليين إلى أيوني أو جزيئي، ثم حول الكتل المعطاة إلى مولات:

a. 2.50 Kg من أكسيد الحديد III Fe_2O_3. **b.** 25.4 mg من كلوريد الرصاص IV $PbCl_4$.

تحويل كتلة مركب إلى عدد جسيمات

Converting the Mass of a Compound to Number of particles

تعرفت كيفية إيجاد عدد المولات في كتلة معينة من المركب. الآن سوف تتعلم كيفية حساب عدد الجسيمات الممثلة- الجزيئات أو الأيونات أو الذرات أو وحدات الصيغة الكيميائية- الموجودة في كتلة معينة.

تذكر أنه لا يمكن التحويل مباشرة من كتلة المادة إلى عدد الجسيمات المكوّنة لها؛ إذ لا بد أن تحول الكتلة المعطاة إلى عدد المولات في البداية، وذلك بالضرب في مقلوب الكتلة المولية. ويمكنك بعد ذلك تحويل عدد المولات إلى عدد جسيمات بالضرب في عدد أفوجادرو. ولتحديد عدد الذرات أو الأيونات في المركب سوف تحتاج إلى عوامل تحويل تعطي نسبة أعداد الذرات أو الأيونات في المركب إلى مول واحد منه، وهي تعتمد على الصيغة الكيميائية. والمثال 9-5 يبين كيفية حل هذا النوع من المسائل.

المطويات

ضمّن مطويتك معلومات من هذا القسم.

مثال 9-5

التحويل من كتلة إلى مولات ثم إلى جسيمات يستعمل كلوريد الألومنيوم $AlCl_3$ لتكرير البترول وصناعة المطاط والشحوم. فإذا كان لديك عينة من كلوريد الألومنيوم كتلتها 35.6 g فأوجد:

a. عدد أيونات الألومنيوم الموجودة فيها.

b. عدد أيونات الكلور الموجودة فيها.

c. الكتلة بالجرامات لوحدة صيغة واحدة من كلوريد الألومنيوم.

1 تحليل المسألة

لديك 35.6 g من $AlCl_3$ وعليك أن تحسب عدد أيونات كل من Al^{3+} و Cl^- وكتلة وحدة صيغة واحدة من $AlCl_3$ بالجرامات. علمًا بأن الكتلة المولية وعدد أفوجادرو والنسب من الصيغة الكيميائية هي عوامل التحويل المطلوبة، ولأن نسبة أيونات Al^{3+} إلى أيونات Cl^- في الصيغة هي 3:1، لذا فإن عدد الأيونات المحسوبة يجب أن تكون بالنسبة نفسها.

المعطيات

كتلة $AlCl_3$ = 35.6 g

المطلوب

عدد أيونات Al^{3+} = ؟

عدد أيونات Cl^- = ؟

كتلة $AlCl_3$ لكل وحدة صيغة = ؟

2 حساب المطلوب

احسب الكتلة المولية للمركب $AlCl_3$.

اضرب عدد مولات Al في كتلته المولية

$$1\ \cancel{\text{mol Al}} \times \frac{26.98\ \text{g Al}}{1\ \cancel{\text{mol Al}}} = 26.98\ \text{g Al}$$

اضرب عدد مولات Cl في كتلته المولية.

$$3\ \cancel{\text{mol Cl}} \times \frac{35.45\ \text{g Cl}}{1\ \cancel{\text{mol Cl}}} = 106.35\ \text{g Cl}$$

حاصل جمع الكتل

$$= 26.98\ \text{g} + 106.35\ \text{g} = 133.33\ \text{g/mol}\ AlCl_3$$

استعمل عامل التحويل (مقلوب الكتلة المولية) الذي يربط المولات بالجرامات.

طبق عامل التحويل

$$\text{مولات } AlCl_3 = \text{كتلة } AlCl_3 \times \frac{1\,mol\,AlCl_3}{\text{الكتلة المولية لـ } AlCl_3}$$

عوض كتلة $AlCl_3$، ومقلوب الكتلة المولية ، واحسب عدد المولات.

$$35.6\,g\,AlCl_3 \times \frac{1\,mol\,AlCl_3}{133.33\,g\,AlCl_3} = 0.267\,mol\,AlCl_3$$

اضرب الأعداد والوحدات واقسمها.

$$= 0.276\,mol\,AlCl_3 \times \frac{6.02\times10^{23}\ \text{وحدة صيغة}}{1\,mol\,AlCl_3}$$

$$= 1.61\times10^{23}\ \text{وحدة صيغة}$$

اضرب الأعداد والوحدات واقسمها.

$$= 1.61\times10^{23}\ \text{وحدة صيغة } AlCl_3 \times \frac{1\ Al^{3+}}{1\ \text{وحدة صيغة } AlCl_3}$$

$$= 1.61\times10^{23}\ Al^{3+}$$

$$1.61\times10^{23}\ \text{وحدة صيغة } AlCl_3 \times \frac{3\ Cl^-}{1\ \text{وحدة صيغة } AlCl_3} = 4.83\times10^{23}\ Cl^-$$

$$= 4.83\times10^{23}\ Cl^-$$

احسب كتلة $AlCl_3$ باستعمال مقلوب عدد أفوجادرو

عوض $AlCl_3$ من 133.33 g، ثم حُل.

$$= \frac{133.33\ g\ AlCl_3}{1\ mol} \times \frac{1\ mol}{6.02\times10^{23}\ \text{وحدة صيغة}}$$

$$= 2.21\times10^{-22}\ g\ \text{لكل وحدة صيغة من } Al^{3+}$$

3 تقويم الإجابة

عدد أيونات Cl^- يساوي ثلاثة أضعاف عدد أيونات Al^{3+}، كما هو متوقع. يمكن حساب كتلة وحدة صيغة كيميائية من $AlCl_3$ بطريقة مختلفة. اقسم كتلة 35.6 g من $AlCl_3$ على عدد وحدات الصيغة الكيميائية الموجودة في الكتلة (1.61×10^{23}) لحساب كتلة وحدة صيغة كيميائية واحدة. الإجابتان متطابقتان.

مسائل تدريبية

42. يستعمل الإيثانول C_2H_5OH مصدرًا للوقود، ويخلط أحيانًا مع الجازولين. إذا كان لديك عينة من الإيثانول كتلتها 45.6 g فأوجد:

a. عدد ذرات الكربون الموجودة فيها.

b. عدد ذرات الهيدروجين الموجودة فيها.

c. عدد ذرات الأكسجين الموجودة فيها.

43. عينة من كبريتيت الصوديوم Na_2SO_3 كتلتها 2.25 g. أوجد:

a. عدد أيونات Na^+ الموجودة فيها.

b. عدد أيونات SO_3^{2-} الموجودة فيها.

c. الكتلة بالجرامات لوحدة صيغة واحدة من Na_2SO_3 في العينة.

44. عينة من ثاني أكسيد الكربون CO_2 كتلتها 52.0 g. أوجد:

a. عدد ذرات الكربون الموجودة فيها .

b. عدد ذرات الأكسجين الموجودة فيها .

c. كتلة جزيء واحد من CO_2 بالجرامات.

45. ما كتلة كلوريد الصوديوم NaCl التي تحتوي على 4.59×10^{24} وحدة صيغة؟

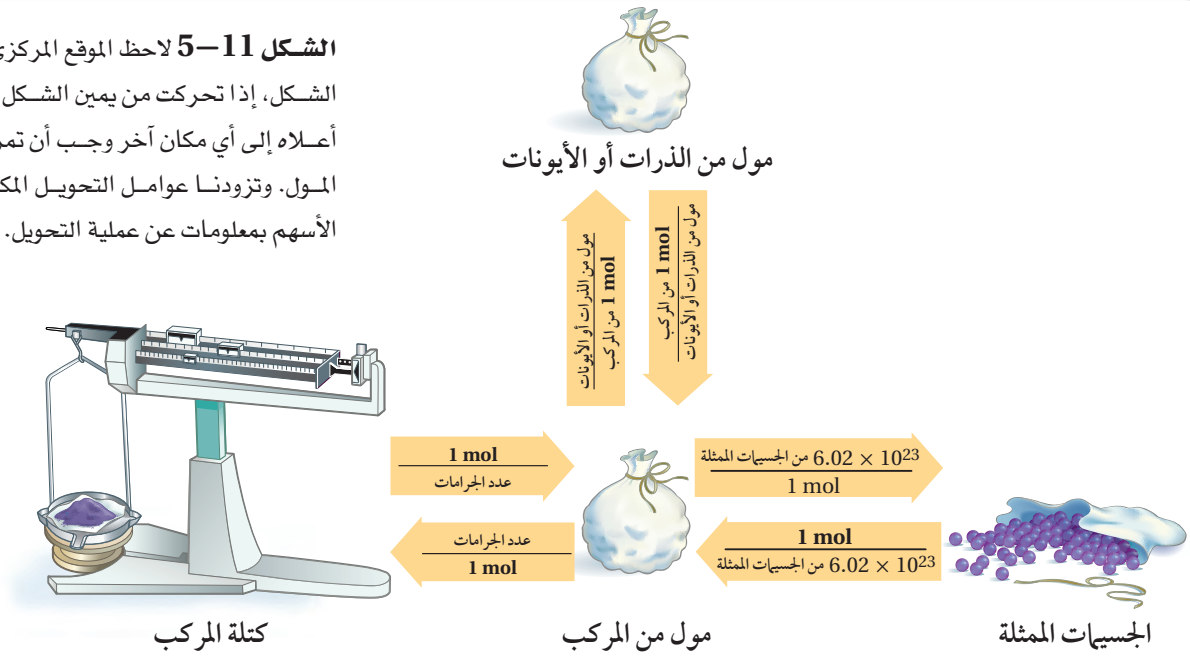
46. تحفيز عينة من كرومات الفضة كتلتها 25.8 g:

a. اكتب صيغة كرومات الفضة.

b. ما عدد الأيونات الموجبة فيها؟

c. ما عدد الأيونات السالبة فيها؟

d. ما مقدار الكتلة بالجرامات لوحدة صيغة واحدة منها؟



الشكل 11–5 لاحظ الموقع المركزي للمول في الشكل، إذا تحركت من يمين الشكل أو يساره أو أعلاه إلى أي مكان آخر وجب أن تمر من خلال المول. وتزودنا عوامل التحويل المكتوبة على الأسهم بمعلومات عن عملية التحويل.

يتضمن **الشكل 11–5** ملخصًا للتحويل بين الكتلة والمولات وعدد الجسيمات. لاحظ أن الكتلة المولية ومقلوبها هما عاملا التحويل بين الكتلة وعدد المولات، وأن عدد أفوجادرو ومقلوبه هما عاملا التحويل بين المولات وعدد الجسيمات الممثلة. وللتحويل بين المولات وعدد مولات الذرات أو الأيونات الموجودة في المركب، استعمل نسب مولات الذرات أو الأيونات إلى مول واحد من المركب أو مقلوبه، كما هو مبين على الأسهم المتجهة إلى أعلى وإلى أسفل في **الشكل 11–5**، وهذه النسب تشتق من الصيغة الكيميائية.

تجربة عملية
النسب المولية
ارجع إلى دليل التجارب العملية

التقويم 5-3

الخلاصة

- تدل الأرقام في الصيغ الكيميائية على عدد مولات العنصر في مول واحد من المركب.
- تُحسب الكتلة المولية للمركب من الكتل المولية لجميع العناصر فيه.
- تستعمل معاملات التحويل المبنية على الكتلة المولية للمركب للتحويل بين مولات المركب وكتلته.

47. الفكرة الرئيسة **صف** كيف تحدد الكتلة المولية للمركب؟

48. **حدد** عوامل التحويل المطلوبة للتحويل بين عدد مولات المركب وكتلته.

49. **وضح** كيف يمكنك أن تحدد عدد الذرات أو الأيونات في كتلة معينة من المركب؟

50. **طبق** ما عدد مولات ذرات كل من K، C، O في مول واحد من $K_2C_2O_4$؟

51. **احسب** الكتلة المولية لبروميد الماغنسيوم $MgBr_2$.

52. **احسب** ما عدد مولات Ca^{2+} الموجودة في 1000 mg من $CaCO_3$؟

53. **صمم** رسمًا بيانيًّا بالأعمدة يظهر عدد مولات كل عنصر موجود في 500 g من الدايوكسين $(C_{12}H_4Cl_4O_2)$ الشديد السميّة.

5–4

الأهداف

- **تفسر** المقصود بالتركيب النسبي المئوي للمركب.
- **تحدد** الصيغتين الأولية والجزيئية للمركب من خلال التركيب النسبي المئوي والكتل الحقيقية للمركب.

مراجعة المفردات

النسبة المئوية بالكتلة: نسبة كتلة كل عنصر إلى الكتلة الكلية للمركب.

المفردات الجديدة

التركيب النسبي المئوي

الصيغة الأولية

الصيغة الجزيئية

الصيغة الأولية والصيغة الجزيئية
Empirical and Molecular Formulas

الفكرة الرئيسة **الصيغة الجزيئية لمركب ما هي مضاعف عددي صحيح لصيغته الأولية.**

الربط مع الحياة لعلك لاحظت أن بعض عبوات المشروبات أو وجبات الطعام تحدد كمية السعرات الحرارية في جزء منها (قطعة، ملعقة، ml ، g،...) فكيف يمكنك تحديد القيمة الكلية للسعرات الحرارية في العبوة أو الوجبة؟

التركيب النسبي المئوي Percent Composition

غالبًا ما ينشغل الكيميائيون في تطوير المركبات للاستعمالات الصناعية والدوائية والمنزلية، كما في **الشكل 12–5**، فبعد أن يقوم الكيميائي الصناعي (الذي يحضر مركبات جديدة) بتحضير مركب جديد يقوم الكيميائي التحليلي بتحليل المركب ليقدم دليلاً عمليًّا على تركيبه وصيغته الكيميائية.

إن مهمة الكيميائي التحليلي هي تحديد العناصر التي يحويها المركب، وتحديد نسبها المئوية بالكتلة. فالتحاليل الوزنية والحجمية إجراءات عملية مبنية على قياس كتل المواد الصلبة وأحجام السوائل.

التركيب النسبي المئوي من البيانات العملية فعلى سبيل المثال، إذا أخذت عينة كتلتها 100 g من مركب يحتوي على 55 g من عنصر X و 45 g من عنصر Y، فالنسبة المئوية بالكتلة لأي عنصر في المركب يمكن حسابها بقسمة كتلة العنصر على كتلة المركب والضرب في 100.

$$\text{النسبة المئوية بالكتلة (للعنصر)} = \frac{\text{كتلة العنصر}}{\text{كتلة المركب}} \times 100$$

الشكل 12–5 يقوم الكيميائي الصناعي بتحضير كميات صغيرة من مركبات كيميائية جديدة كما في الصورة اليمنى، ثم يقوم الكيميائي التحليلي كما في الصورة اليسرى بتحليل المركب ليؤكد صحة تركيبه النسبي المئوي وصيغته الكيميائية.

ولأن النسبة المئوية تعني الأجزاء من مئة فإن مجموع النسب المئوية بالكتلة لكل العناصر في المركب يجب أن يكون 100.

$$\text{x من } 55\% = 100 \times \frac{\text{55 g من العنصر x}}{\text{100 g من المركب}}$$

$$\text{y من } 45\% = 100 \times \frac{\text{45 g من العنصر y}}{\text{100 g من المركب}}$$

ولهذا فإن المركب يتكون من 55% من X و 45% من Y. وتُسمى النسب المئوية بالكتلة لكل العناصر في المركب **التركيب النسبي المئوي** للمركب.

التركيب النسبي المئوي من خلال الصيغة الكيميائية يمكن تحديد التركيب النسبي المئوي لمركب أيضًا من خلال الصيغة الكيميائية. ولعمل ذلك، افترض أن لديك مولاً واحدًا من المركب واستعمل الصيغة الكيميائية لحساب الكتلة المولية للمركب، ثم احسب كتلة كل عنصر في مول واحد من المركب، وأخيرًا استعمل العلاقة أدناه لحساب النسبة المئوية بالكتلة لكل عنصر.

النسبة المئوية بالكتلة من خلال الصيغة الكيميائية

$$\text{النسبة المئوية بالكتلة} = \frac{\text{كتلة العنصر في مول واحد من المركب}}{\text{الكتلة المولية للمركب}} \times 100$$

تجربة

تحليل العلْك

هل المُحلّيات والنكهات تضاف إلى الطبقة الخارجية للعلك أم تكون مخلوطة به؟

خطوات العمل

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. أزل الغلاف عن **قطعتي علك**، ثم قس كتلة كل منهما بالميزان وسجلها.
3. أضف 150 mL من ماء **الصنبور** البارد إلى كأس سعتها 250 mL. وضع إحدى قطعتي العلك في الكأس، و**حركها بساق** تحريك مدة دقيقتين.
4. أخرج العلكة وجففها باستعمال **مناشف ورقية**، ثم قس كتلتها وسجلها.

تحذير: كن حذرًا عند استعمال المقص.

5. استعمل **مقصًّا** لتقطيع العلكة الثانية قطعًا صغيرة، وكرر الخطوة الثالثة مستعملاً ماءً جديدًا، ولا تدع القطع تتجمع معًا.
6. استعمل مصفاة لتصفية الماء من قطع العلك. وجففها بمناشف ورقية، ثم قس كتلتها وسجلها.

التحليل

1. **احسب** كتلة المُحلّيات والنكهات– التي ذابت في الماء– للعلكة التي لم تقطع، والتي تساوي الفرق بين كتلة العلكة قبل وبعد وضعها في الماء.
2. **احسب** كتلة المُحلّيات والنكهات المذابة للعلكة التي قطعت قطعًا صغيرة.
3. **طبّق** احسب النسبة المئوية بالكتلة للمحليات والنكهات في كل قطعة.
4. **استنتج** ماذا يمكن أن تستنتج من النسبتين المئويتين؟ هل العلك مغطّى بالسكر أم أن المُحلّيات والنكهات مخلوطة بالعلك؟

مثال 10–5

حساب التركيب النسبي المئوي حدد التركيب النسبي المئوي لثاني أكسيد الكربون CO_2.

1 تحليل المسألة

لقد أعطيت الصيغة الكيميائية للمركب فقط. لهذا افترض أن لديك مولاً واحدًا من CO_2. احسب الكتلة المولية للمركب وكتلة كل عنصر في المول الواحد لتحديد النسبة المئوية بالكتلة لكل عنصر في المركب.

المعطيات

الصيغة $= CO_2$

المطلوب

نسبة C = ؟

نسبة O = ؟

2 حساب المطلوب

احسب الكتلة المولية للمركب ونسبة كل عنصر فيه.

اضرب الكتلة المولية للكربون في عدد ذراته في المركب.

$$1\,\cancel{\text{mol C}} \times \frac{12.01\text{ g C}}{1\,\cancel{\text{mol C}}} = 12.01\text{ g C}$$

اضرب الكتلة المولية للأكسجين في عدد ذراته في المركب.

$$2\,\cancel{\text{mol O}} \times \frac{16.00\text{ g O}}{1\,\cancel{\text{mol O}}} = 32.00\text{ g O}$$

اجمع كتل العناصر في المركب.

$$= 12.61\text{ g} + 32.00\text{ g} = 44.01\text{ g/mol } CO_2$$

احسب النسبة المئوية بالكتلة لكل عنصر

عوض كتلة الكربون في 1 mol من المركب = 12.01g/mol والكتلة المولية لـ CO_2 = 44.01g/mol، واحسب نسبة الكربون.

$$C\% = \frac{12.01\text{ g}}{44.1\text{ g}} \times 100\% = 27.29\%$$

عوض كتلة الأكسجين في 1 mol من المركب = 32.00 g/mol والكتلة المولية لـ CO_2 = 44.01 g/mol، واحسب نسبة الأكسجين.

$$O\% = \frac{32.00\text{ g}}{44.1\text{ g}} \times 100\% = 72.71\%$$

يتكون CO_2 من 27.29% C و 72.71% O.

3 تقويم الإجابة

لأن جميع الكتل والكتل المولية فيها أربعة أرقام معنوية، لذا فإن النسب المئوية معطاة بصورة صحيحة . ولو أخذنا بعين الاعتبار حدوث خطأ في تدوير المنازل فإن مجموع النسب المئوية بالكتلة يساوي 100% كما هو مطلوب.

مسائل تدريبية

54. ما التركيب النسبي المئوي لحمض الفوسفوريك H_3PO_4؟

55. أي المركبين التاليين تكون فيه النسبة المئوية بالكتلة للكبريت أعلى: H_2SO_3 أم H_2SO_4؟

56. يستعمل كلوريد الكالسيوم $CaCl_2$ لمنع التجمد. احسب النسبة المئوية بالكتلة لكل عنصر في $CaCl_2$.

57. **تحفيز** تستعمل كبريتات الصوديوم في صناعة المنظفات.

a. حدد العناصر المكوّنة لكبريتات الصوديوم، ثم اكتب الصيغة الكيميائية لهذا المركب.

b. احسب النسبة المئوية بالكتلة لكل عنصر في كبريتات الصوديوم.

الصيغة الأولية Empirical Formula

عندما يُعرف التركيب النسبي المئوي لمركب ما، فإنه يمكن حساب صيغته، وذلك بتحديد أصغر نسبة من الأعداد الصحيحة لمولات العناصر فيه. وتمثل هذه النسبة أعداد ذرات العناصر في الصيغة الأولية. **فالصيغة الأولية لمركب** هي الصيغة التي تبين أصغر نسبة عددية صحيحة لمولات العناصر في المركب. وقد تكون الصيغة الأولية هي الصيغة الجزيئية نفسها أو مختلفة عنها. وإذا اختلفت الصيغتان فإن الصيغة الجزيئية ستكون دائمًا مضاعفًا بسيطًا للصيغة الأولية. فالصيغة الأولية مثلاً لفوق أكسيد الهيدروجين HO، وصيغته الجزيئية هي H_2O_2. لاحظ أن نسبة الأكسجين إلى الهيدروجين هي 1:1 في الصيغتين. ويمكن استعمال التركيب النسبي المئوي أو كتل العناصر في كتلة محددة من المركب لحساب الصيغة الأولية. فمثلاً إذا أعطيت التركيب النسبي المئوي للمركب، ومع افتراض أن كتلة المركب الكلية 100.00 g، وأن النسبة المئوية بالكتلة لكل عنصر تساوي كتلة العنصر بالجرامات، كما في **الشكل 13–5**، حيث كل 100 g من المركب تتكون من 40.05% من S و59.95% من O، أي تحتوي على 40.05 g من S و 59.95 g من O. ثم تحول كتلة كل عنصر إلى مولات.

$$40.05 \cancel{g\,S} \times \frac{1\ \text{mol S}}{32.07 \cancel{g\,S}} = 1.249\ \text{mol S}$$

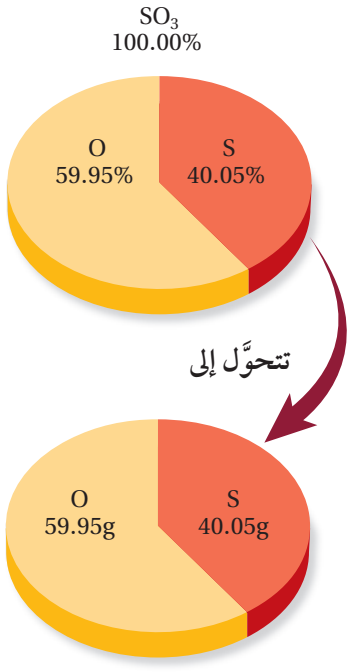
$$59.95 \cancel{g\,O} \times \frac{1\ \text{mol O}}{16.00 \cancel{g\,O}} = 3.747\ \text{mol O}$$

لذا فإن نسبة ذرات S إلى ذرات O في المركب هي 1.249 : 3.747. وعندما لا تكون القيم في النسبة المولية أعدادًا صحيحة فلا يمكن استعمالها في الصيغة الكيميائية، لذا يجب تحويلها إلى أعداد صحيحة، ولجعل القيمة المولية أعدادًا صحيحة، اقسم القيمتين المولتين على أصغر قيمة مولية، وهي للكبريت (1.249)، وهذا لا يغير النسبة المولية بين العنصرين لأن كليهما سيقسم على الرقم نفسه.

$$\frac{1.249\ \text{mol S}}{1.249} = 1\ \text{mol S} \qquad \frac{3.747\ \text{mol O}}{1.249} = 3\ \text{mol O}$$

أيْ أن أبسط نسبة عددية صحيحة لمولات S إلى O هي 1:3. ولذا فإن الصيغة الأولية هي SO_3. وفي بعض الأحيان، قد لا تؤدي القسمة على أصغر قيمة مولية إلى أعداد صحيحة. وفي مثل هذه الحالات يجب ضرب كل قيمة مولية في أصغر رقم يجعلها عددًا صحيحًا، كما في المثال 11–5.

ماذا قرأت؟ **عدّد** الخطوات المطلوبة لحساب الصيغة الأولية من التركيب النسبي المئوي.



الشكل 13–5 تذكّر هذا الشكل عند حل المسائل المتعلقة بالتركيب النسبي المئوي. يمكنك الافتراض دائمًا أن لديك عينة كتلتها 100 g من المركب، واستعمل النسب المئوية للعناصر بوصفها كتلاً.

مثال 11–5

الصيغة الأولية من التركيب النسبي المئوي حدد الصيغة الأولية لمركب يتكون من 48.64 % كربون، و8.16 % هيدروجين، و43.20 % أكسجين.

1 تحليل المسألة

لقد أعطيت التركيب النسبي المئوي لمركب، والمطلوب تحديد صيغته الأولية، ولأنه يمكن افتراض أن النسب المئوية تمثل كتل العناصر في عينة مقدارها 100 g، لذا يمكن أن تحل الوحدة (g) محل رمز النسبة، ثم حوّل الجرامات إلى مولات، وأوجد أصغر نسبة عددية صحيحة لمولات العناصر.

المعطيات

النسبة المئوية بالكتلة لـ C = 48.64%

النسبة المئوية بالكتلة لـ H = 8.16%

النسبة المئوية بالكتلة لـ O = 43.20%

المطلوب

الصيغة الأولية = ؟

2 حساب المطلوب

حوّل كل كتلة إلى مولات باستعمال معامل التحويل (مقلوب الكتلة المولية) الذي يربط المولات بالجرامات :

احسب مولات الكربون بالتعويض عن قيمة كتلة الكربون مضروبة في مقلوب الكتلة المولية

$$48.64\ \cancel{g\,C} \times \frac{1\ \text{mol C}}{12.01\ \cancel{g\,C}} = 4.050\ \text{mol C}$$

احسب مولات الهيدروجين بالتعويض عن قيمة كتلة الهيدروجين مضروبة في مقلوب الكتلة المولية

$$8.16\ \cancel{g\,H} \times \frac{1\ \text{mol H}}{1.008\ \cancel{g\,H}} = 8.10\ \text{mol H}$$

احسب مولات الأكسجين بالتعويض عن قيمة كتلة الأكسجين مضروبة في مقلوب الكتلة المولية

$$43.20\ \cancel{g\,O} \times \frac{1\ \text{mol O}}{16.00\ \cancel{g\,O}} = 2.70\ \text{mol O}$$

إذن، فالنسب المولية للمركب هي: (4.05 mol C): (8.10 mol H) : (2.700 mol O)، ثم احسب أبسط نسبة مولية للعناصر في المركب بالقسمة على أصغر قيمة مولية (2.700).

اقسم مولات C على 2.700

$$\frac{4.050\ \text{mol C}}{2.700} = 1.5\ \text{mol C}$$

اقسم مولات H على 2.700

$$\frac{8.10\ \text{mol H}}{2.700} = 3\ \text{mol H}$$

اقسم مولات O على 2.700

$$\frac{2.700\ \text{mol O}}{2.700} = 1\text{mol O}$$

أبسط نسبة مولات هي (1.5 mol C): (3 mol H): (1 mol O). وأخيرًا اضرب كل عدد تشتمل عليه النسبة في أصغر رقم– وهو في هذه الحالة الرقم 2– يؤدي إلى نسبة عددية صحيحة.

اضرب مولات C في 2 للحصول على عدد صحيح.

$$2 \times 1.5\ \text{mol C} = 3\ \text{mol C}$$

اضرب مولات H في 2 للحصول على عدد صحيح.

$$2 \times 3\ \text{mol H} = 6\ \text{mol H}$$

اضرب مولات O في 2 للحصول على عدد صحيح.

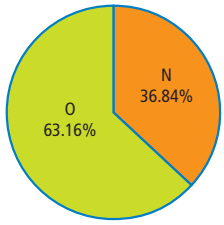
$$2 \times 1\ \text{mol O} = 2\ \text{mol O}$$

أبسط نسبة عددية صحيحة للمولات هي (3 C) : (6 H) : (2 O). وهكذا فإن الصيغة الأولية للمركب هي $C_3H_6O_2$.

3 تقويم الإجابة

للتحقق من صحة الإجابة احسب التركيب النسبي المئوي الممثل بالصيغة، للوقوف على مدى اتفاقه مع معطيات المثال.

مسائل تدريبية



58. يمثل الرسم البياني الدائري المجاور التركيب النسبي المئوي لمادة صلبة زرقاء. فما الصيغة الأولية لهذه المادة؟

59. ما الصيغة الأولية لمركب يحتوي على 35.98% ألومنيوم و64.02% كبريت.

60. البروبان هو أحد الهيدروكربونات، وهي مركبات تحتوي فقط على الكربون والهيدروجين. فإذا كان البروبان يتكون من 81.82% كربون و18.18% هيدروجين، فما صيغته الأولية؟

61. **تحفيز** الأسبرين يعد من أكثر الأدوية استعمالاً في العالم، ويتكون من 60.00% كربون، و4.44% هيدروجين، و35.56% أكسجين. فما صيغته الأولية؟

الصيغة الجزيئية Molecular Formula

قد تندهش إذا علمت أن مواد لها خواص مختلفة تمامًا قد يكون لها التركيب النسبي المئوي والصيغة الأولية نفسها! كيف يكون ذلك؟ تذكر أن الصيغة الأولية تعطي أبسط نسبة لذرات العناصر في المركب، ولكن هذه النسبة لا تمثل دائمًا العدد الفعلي لذراته. ويلجأ العلماء إلى ما يعرف **بالصيغة الجزيئية** لتحديد أي مركب، وهذه الصيغة تعطي العدد الفعلي للذرات من كل عنصر في جزيء واحد من المادة، ويبين **الشكل 14–5** أحد استخدامات غاز الأستيلين المهمة في الصناعة. فغاز الأستيلين وسائل البنزين مثلاً لهما التركيب النسبي المئوي والصيغة الأولية (CH) نفسها، ولكنهما يختلفان تمامًا في الخواص.

ولتحديد الصيغة الجزيئية لمركب يجب تحديد الكتلة المولية لهذا المركب من خلال التجارب العملية، ومقارنتها بالكتلة الممثلة بالصيغة الأولية. فالكتلة المولية للأستيلين مثلاً هي 26.04 g / mol، وكتلة صيغته الأولية (CH) هي 13.02g / mol. إن قسمة الكتلة المولية الفعلية على كتلة الصيغة الأولية تبين أن الكتلة المولية للأستيلين ضعف كتلة الصيغة الأولية.

$$\frac{\text{الكتلة المولية للأستيلين}}{\text{كتلة الصيغة الأولية (CH)}} = \frac{26.04\ \cancel{g/mol}}{13.02\ \cancel{g/mol}} = 2.00$$

ولأن الكتلة المولية للأستيلين ضعف كتلة الصيغة الأولية فإن الصيغة الجزيئية له يجب أن تحتوي على ضعف عدد ذرات الكربون والهيدروجين الموجودة في الصيغة الأولية.

وكذلك عند مقارنة الكتلة المولية المحددة تجريبيًّا للبنزين (78.12 g /mol) بكتلة الصيغة الأولية ستجد أن الكتلة المولية تساوي ستة أضعاف كتلة الصيغة الأولية.

$$\frac{\text{الكتلة المولية للبنزين}}{\text{كتلة الصيغة الأولية (CH)}} = \frac{78.12\ \cancel{g/mol}}{13.02\ \cancel{g/mol}} = 6.00$$

لذا فإن الصيغة الجزيئية للبنزين يجب أن تمثل ستة أمثال عدد ذرات الكربون والهيدروجين في الصيغة الأولية. ويمكنك أن تستنتج أن الصيغة الجزيئية للأستيلين

الشكل 14–5 يستخدم غاز الأستيلين في لحام المعادن بسبب درجة الحرارة العالية التي تصاحب احتراقه في وجود الأكسجين.

هي C_2H_2 وأن الصيغة الجزيئية للبنزين هي C_6H_6.

ويمكن تمثيل الصيغة الجزيئية بوصفها صيغة أولية مضروبة في عدد صحيح (ن).

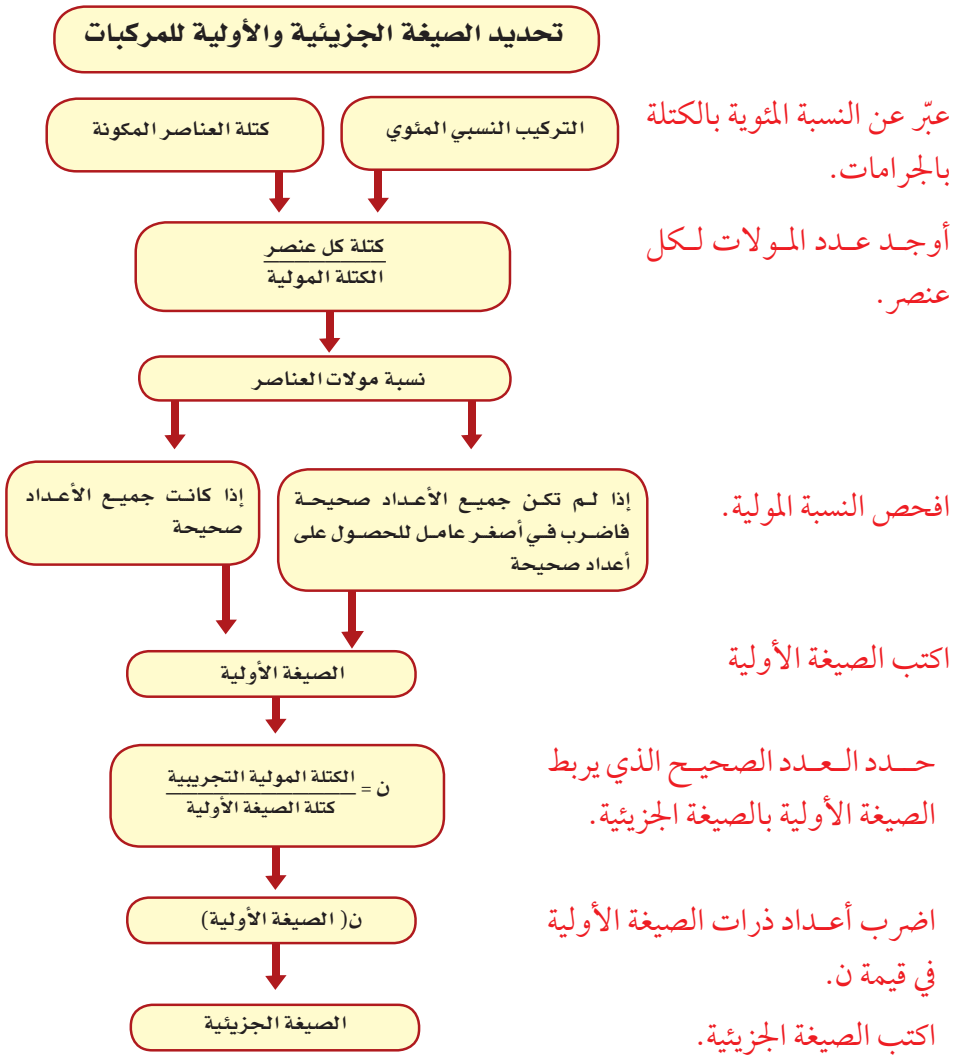
الصيغة الجزيئية = ن (الصيغة الأولية)

حيث (ن) تمثل العامل (6 في مثال البنزين) الذي تضرب فيه الأرقام في الصيغة الأولية للحصول على الصيغة الجزيئية.

يبين **الشكل 15–5** خطوات تحديد الصيغ الأولية والجزيئية للمركب بدءًا بالتركيب النسبي المئوي أو بيانات الكتلة.

الشكل 15–5 استعن بهذا المخطط الذي يساعدك على تحديد الصيغ الأولية والجزيئية للمركبات.

صف كيف يرتبط العدد الصحيح (ن) بالصيغ الأولية والجزيئية.



مثال 12–5

تحديد الصيغة الجزيئية يشير التحليل الكيميائي لحمض ثنائي الكربوكسيل مثل حمض السكسنيك (بيوتان دايويك) إلى أنه يتكون من 40.68% كربون، و5.08% هيدروجين، و54.24% أكسجين، وله كتلة مولية 118.1g /mol. حدد الصيغة الأولية والصيغة الجزيئية لهذا الحمض.

1 تحليل المسألة

لقد أعطيت التركيب النسبي المئوي لحمض السكسنيك. افترض أن كل نسبة مئوية كتلية تمثل كتلة العنصر بـ 100 g من العينة، لذا يمكنك مقارنة الكتلة المولية المعطاة (118.1 g /mol) بالكتلة التي تمثل الصيغة الأولية لإيجاد العدد الصحيح ن .

المعطيات

النسبة المئوية بالكتلة لـ C = 40.68%

النسبة المئوية بالكتلة لـ H = 5.08%

النسبة المئوية بالكتلة لـ O = 54.24%

الكتلية المولية = 118.1g /mol حمض السكسنيك

المطلوب

الصيغة الأولية = ؟

الصيغة الجزيئية= ؟

2 حساب المطلوب

عوض كتلة C، ومقلوب الكتلة المولية، وأوجد عدد المولات.

$$40.68\ \cancel{g\,C} \times \frac{1\ mol\ C}{12.01\ \cancel{g\,C}} = 3.3870\ mol\ C$$

عوض كتلة H، ومقلوب الكتلة المولية، وأوجد عدد المولات.

$$5.08\ \cancel{g\,H} \times \frac{1\ mol\ H}{1.008\ \cancel{g\,H}} = 5.04\ mol\ H$$

عوض كتلة O، ومقلوب الكتلة المولية، وأوجد عدد المولات.

$$54.24\ \cancel{g\,O} \times \frac{1\ mol\ O}{16.00\ \cancel{g\,O}} = 3.39\ mol\ O$$

نسبة المولات في حمض السكسنيك هي (3.387 mol C): (5.04 mol H) : (3.39 mol O). احسب أبسط نسبة لمولات العناصر بقسمة مولات كل عنصر على أصغر قيمة في النسبة المولية المحسوبة.

اقسم مولات C على 3.387

$$\frac{3.387\ mol\ C}{3.387} = 1\ mol\ C$$

اقسم مولات H على 3.387

$$\frac{5.04\ mol\ H}{3.387} = 1.5\ mol\ H$$

اقسم مولات O على 3.387

$$\frac{3.39\ mol\ O}{3.387} = 1 mol\ O$$

أبسط نسبة مولية هي 1 : 1.5 : 1 اضرب جميع القيم المولية في 2 للحصول على أعداد صحيحة .

اضرب مولات C في 2.

$$2 \times 1\ mol\ C = 2\ mol\ C$$

اضرب مولات H في 2.

$$2 \times 1.5\ mol\ H = 3\ mol\ H$$

اضرب مولات O في 2 .

$$2 \times 1\ mol\ O = 2\ mol\ O$$

أبسط نسبة عددية صحيحة للمولات هي 2 : 3 : 2، إذن الصيغة الأولية هي $C_2H_3O_2$.

احسب كتلة الصيغة الأولية باستعمال الكتلة المولية لكل عنصر.

اضرب الكتلة المولية للكربون في عدد مولات ذراته .

$$2\ \cancel{mol\ C} \times \frac{12.01\ g\ C}{1\ \cancel{mol\ C}} = 24.02\ g\ C$$

$$3\ \text{mol H} \times \frac{1.008\ \text{g H}}{1\ \text{mol H}} = 3.024\ \text{g H}$$ اضرب الكتلة المولية للهيدروجين في عدد مولات ذراته .

$$2\ \text{mol O} \times \frac{16.00\ \text{g O}}{1\ \text{mol O}} = 32.00\ \text{g O}$$ اضرب الكتلة المولية للأكسجين في عدد مولات ذراته.

الكتلة المولية لـ $C_2H_3O_2$ $= 32.0\ \text{g} + 3.024\ \text{g} + 24.02\ \text{g} = 59.04\ \text{g/mol}$ اجمع كتل العناصر.

لتحديد قيمة ن اقسم الكتلة المولية لحمض السكسنيك على كتلة الصيغة الأولية.

$$\text{ن} = \frac{\text{الكتلة المولية لحمض السكسنيك}}{\text{الكتلة المولية } C_2H_3O_2} = \frac{118.1\ \text{g/mol}}{59.04\ \text{g/mol}} = 2.000$$

اضرب الأرقام في الصيغة الأولية في 2 لتحصل على الصيغة الجزيئية.

الصيغة الجزيئية $= (C_2H_3O_2) \times 2 = C_4H_6O_4$

3 تقويم الإجابة

الكتلة المولية للصيغة الجزيئية التي تم التوصل إليها هي الكتلة المولية نفسها المحددة تجريبيًّا للمركب.

مثال 13–5

حساب الصيغة الأولية من خلال الكتلة يُعدّ معدن الإلمنيت أحد الخامات الرئيسة لاستخراج التيتانيوم. وعند تحليل عينة منه وجد أنها تحوي 5.41 g من الحديد، و4.64 g من التيتانيوم، و4.65 g من الأكسجين. حدد الصيغة الأولية لهذا المعدن.

1 تحليل المسألة

لديك كتل العناصر التالية في كتلة معينة من المعدن، والمطلوب حساب الصيغة الأولية له. لذا حوّل العناصر كلها إلى مولات، ثم أوجد أبسط نسبة صحيحة لمولات هذه العناصر.

المعطيات

كتلة الحديد $\text{Fe} = 5.41\ \text{g}$

كتلة التيتانيوم $\text{Ti} = 4.64\ \text{g}$

كتلة الأكسجين $\text{O} = 4.65\ \text{g}$

المطلوب

الصيغة الأولية = ؟

2 حساب المطلوب

حول الكتل المعروفة إلى مولات بالضرب في معامل التحويل الذي يربط المولات بالجرامات– مقلوب الكتلة المولية.

$$5.41\ \text{g Fe} \times \frac{1\ \text{mol Fe}}{55.85\ \text{g Fe}} = 0.0969\ \text{mol Fe}$$ عوض كتلة الحديد، ومقلوب الكتلة المولية، وأوجد عدد المولات.

$$4.64\ \text{g Ti} \times \frac{1\ \text{mol Ti}}{47.88\ \text{g Ti}} = 0.0969\ \text{mol Ti}$$ عوض كتلة التيتانيوم، ومقلوب الكتلة المولية، وأوجد عدد المولات.

$$4.65\ \text{g O} \times \frac{1\ \text{mol O}}{16.00\ \text{g O}} = 0.291\ \text{mol O}$$ عوض كتلة الأكسجين، ومقلوب الكتلة المولية، وأوجد عدد المولات.

إذا كانت النسبة المولية لمعدن الإلمنيت هي: (0.0969 mol Fe):(0.0969 mol Ti) : (0.291 mol O) فاقسم كل قيمة مولية على أصغر قيمة في النسبة (0.0969) لتحصل على أبسط نسبة مولية.

أبسط نسبة مولية هي (1mol Fe):(1mol Ti) :(3 mol O). ولأن جميع القيم المولية أعداد صحيحة، إذن الصيغة الأولية للإلمنيت هي $FeTiO_3$.

3 تقويم الإجابة

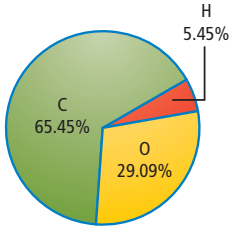
كتلة الحديد أكبر قليلاً من كتلة التيتانيوم، والكتلة المولية للحديد أكبر قليلاً من الكتلة المولية للتيتانيوم أيضًا . ولهذا من المنطقي أن يكون عدد مولات الحديد مساويًا لعدد مولات التيتانيوم. كما أن كتلة التيتانيوم مساوية تقريبًا لكتلة الأكسجين، ولكن الكتلة المولية للأكسجين هي نحو ثلث الكتلة المولية للتيتانيوم. لذا فإن النسبة 3 إلى 1 أكسجين إلى تيتانيوم معقولة.

مسائل تدريبية

62. وجد أن مركبًا يحتوي على 49.98 g C و10.47 g H. فإذا كانت الكتلة المولية للمركب 58.12 g/mol، فما صيغته الجزيئية؟

63. سائل عديم اللون يتكون من 46.68% نيتروجين و53.32% أكسجين، وكتلته المولية 60.01 g/mol، فما صيغته الجزيئية؟

64. عند تحليل أكسيد البوتاسيوم، نتج 19.55 g K، و4.00 g O، فما الصيغة الأولية للأكسيد؟



65. تحفيز عند تحليل مادة كيميائية تستعمل في سائل تظهير الأفلام الفوتوجرافية تم التوصل إلى بيانات التركيب النسبي المئوي الموضحة في الشكل المجاور. فإذا كانت الكتلة المولية للمركب 110.0 g/mol، فما الصيغة الجزيئية له؟

66. تحفيز عند تحليل مسكِّن الآلام المعروف (المورفين) تم التوصل إلى البيانات المبينة في الجدول أدناه. فما الصيغة الأولية للمورفين؟

العنصر	كربون	هيدروجين	أكسجين	نيتروجين
الكتلة (g)	17.900	1.680	4.225	1.228

التقويم 5-4

الخلاصة

- النسبة المئوية بالكتلة للعنصر تساوي نسبة كتلة العنصر إلى الكتلة الكلية للمركب.
- تمثل الأرقام في الصيغة الأولية أصغر نسبة عددية صحيحة لمولات العناصر في المركب.
- تمثل الصيغة الجزيئية العدد الفعلي للذرات من كل عنصر في جزيء من المادة.
- الصيغة الجزيئية هي مضاعف صحيح للصيغة الأولية.

67. الفكرة الرئيسة **قوّم** إذا أخبرك أحد زملائك أن النتائج التجريبية تبين أن الصيغة الجزيئية لمركب تساوي صيغته الأولية 2.5 مرة، فهل إجابته صحيحة؟ فسر ذلك.

68. احسب نتج عن تحليل مركب يتكون من الحديد والأكسجين، 174.86 g Fe، و75.14 g O. فما الصيغة الأولية لهذا المركب؟

69. احسب يحتوي أكسيد الألومنيوم على 0.545 g Al، و0.485 g O. ما الصيغة الأولية للأكسيد؟

70. وضّح كيف ترتبط بيانات التركيب النسبي المئوي لمركب بكتل العناصر في ذلك المركب؟

71. وضّح كيف تجد النسبة المولية في مركب كيميائي؟

72. طبّق الكتلة المولية لمركب هي ضعف صيغته الأولية، فكيف ترتبط صيغته الجزيئية بصيغته الأولية؟

73. حلّل الهيماتيت (Fe_2O_3) والماجنتيت (Fe_3O_4) خامان يستخرج منهما الحديد. فأيهما يعطي نسبة أعلى من الحديد لكل كيلو جرام؟

الأهداف

- **توضح** المقصود بالملح المائي وتربط اسمه بتركيبه.
- **تحدد** صيغة ملح مائي من البيانات المختبرية.

مراجعة المفردات

الشبكة البلورية: الترتيب الهندسي الثلاثي الأبعاد للجسيمات.

المفردات الجديدة

الملح المائي

صيغ الأملاح المائية Formulas of Hydrates

الفكرة الرئيسة **الأملاح المائية مركبات أيونية صلبة فيها جزيئات ماء محتجزة.**

الربط مع الحياة تُعبأ بعض المنتجات –ومنها المعدات الإلكترونية– في صناديق مع أكياس صغيرة مكتوب عليها "مجفف". وتضبط هذه الأكياس الرطوبة بامتصاص الماء. ويحتوي بعضها على مركبات أيونية تسمى الأملاح المائية.

تسمية الأملاح المائية Naming Hydrates

هل راقبت يومًا بلورات تتكون ببطء من محلول مائي؟ تلتصق جزيئات الماء أحيانًا بالأيونات خلال تكون المادة الصلبة. وتسمى جزيئات الماء التي تصبح جزءًا من البلورة ماء التبلور. وتُسمى المواد الأيونية الصلبة التي تُحتجز فيها جزيئات ماء أملاحًا مائية. **فالملح المائي** مركب يحتوي على عدد معين من جزيئات الماء المرتبطة بذراته. ويبين **الشكل 16–5** الحجر الكريم الجميل المعروف بالأوبال، وهو ثاني أكسيد السليكون المائي (SiO_2) الذي يحتوي على ماء. والألوان الفريدة ناتجة عن وجود الماء في المعدن.

يكتب في صيغة الملح المائي عدد جزيئات الماء المرتبطة بوحدة الصيغة للمركب تاليًا لنقطة، مثل $CoCl_2 . 6H_2O$. ويُسمى هذا المركب كلوريد الكوبلت (II) سداسي الماء (أيْ يحتوي على 6 جزيئات ماء). وتدخل كتلة جزيئات الماء المرتبطة بوحدة الصيغة في حساب الكتلة المولية. ويختلف عدد جزيئات ماء التبلور من ملحٍ إلى آخر، ويبين **الجدول 1–5** بعض الأملاح المائية الشائعة.

الشكل 16–5 إن وجود الماء وشوائب المعادن المختلفة يفسران التنوع الكبير لأحجار الأوبال الكريمة. وتحدث تغيرات أخرى في اللون عندما يجف.

الجدول 1–5 صيغ الأملاح المائية

المقطع	عدد جزيئات الماء	الصيغة	الاسم
أحادي	1	$(NH_4)_2C_2O_4.H_2O$	إكسالات الأمونيوم أحادية الماء.
ثنائي	2	$CaCl_2 . 2H_2O$	كلوريد الكالسيوم ثنائي الماء.
ثلاثي	3	$NaC_2H_3O_2. 3H_2O$	أسيتات الصوديوم ثلاثية الماء
رباعي	4	$FePO_4. 4H_2O$	فوسفات الحديد (III) رباعية الماء.
خماسي	5	$CuSO_4. 5H_2O$	كبريتات النحاس (II) خماسية الماء
سداسي	6	$CoCl_2.6H_2O$	كلوريد الكوبلت سداسي الماء
سباعي	7	$MgSO_4 . 7H_2O$	كبريتات الماغنسيوم سباعية الماء.
ثماني	8	$Ba(OH)_2. 8H_2O$	هيدروكسيد الباريوم ثماني الماء.
عشاري	10	$Na_2CO_3.10H_2O$	كربونات الصوديوم عشارية الماء

كلوريد الكوبلت (II) سداسي الماء الزهري — يمكن تسخين الملح المائي لطرد ماء التبلور — كلوريد الكوبلت (II) اللامائي أزرق

الشكل 17–5 يمكن إزالة ماء التبلور بتسخين الملح المائي، لتكوين ملح لا مائي قد يبدو مختلفًا جدًّا عن الملح المائي.

تحليل الأملاح المائية Analyzing a Hydrates

عند تسخين ملح مائي، تُطرد جزيئات الماء تاركة وراءها الملح اللامائي. انظر **الشكل 17–5**؛ حيث توضح سلسلة الصور أنه عند تسخين كلوريد الكوبلت (II) السداسي الماء الزهري اللون، ينتج كلوريد الكوبلت (II) اللامائي الأزرق اللون.

كيف يمكنك تحديد صيغة ملح مائي؟ يجب أن تحسب عدد مولات الماء المرتبطة بمول واحد من الملح المائي. افترض أن لديك عينة مكونة من 5.00 g من كلوريد الباريوم المائي. ولأنك تعرف أن صيغة الملح هي $BaCl_2 . xH_2O$، فإنه يجب أن تحدد قيمة x، وهي معامل H_2O في صيغة الملح المائي، والتي تشير إلى عدد مولات جزيئات الماء المرتبطة بمول واحد من $BaCl_2$. وحتى تجد قيمة x، يجب أن تسخن العينة للتخلص من ماء التبلور. وافترض أنك بعد تسخينها وجدت أن كتلة الملح اللامائي $BaCl_2$ هي 4.26 g.

إذن كتلة ماء التبلور تساوي الفرق بين كتلة الملح المائي (5.00 g) وكتلة الملح اللامائي (4.26 g).

$$5.00\ g - 4.26\ g = 0.74\ g\ H_2O .$$

وبعد أن عرفت كتلة كل من $BaCl_2$ و H_2O في العينة، يمكنك تحويل هذه الكتل إلى مولات باستعمال الكتل المولية. الكتلة المولية لـ $BaCl_2$ هي 208.23 g/mol، وللماء 18.02 g/mol.

$$4.26\ \cancel{g\ BaCl_2} \times \frac{1\ mol\ BaCl_2}{208.23\ \cancel{g\ BaCl_2}} = 0.0205\ mol\ BaCl_2$$

$$0.74\ \cancel{g\ H_2O} \times \frac{1\ mol\ H_2O}{18.02\ \cancel{g\ H_2O}} = 0.041\ mol\ H_2O$$

$$x = \frac{mol\ H_2O}{mol\ BaCl_2} = \frac{0.041\ mol\ H_2O}{0.0205\ mol\ BaCl_2} = \frac{2.0\ mol\ H_2O}{1.00\ mol\ BaCl_2} = \frac{2}{1}$$

إذن نسبة مولات H_2O إلى مولات $BaCl_2$ هي 2 إلى 1، لذا فإن 2 mol H_2O ترتبط بـ 1 mol $BaCl_2$.

أيْ أنّ قيمة المعامل x هي 2، وصيغة الملح المائي هي $BaCl_2 . 2H_2O$. ما اسم هذا الملح؟

ماذا قرأت؟ فسّر لماذا تستعمل النقطة في صيغة الملح المائي؟

مثال 14–5

تحديد صيغة الملح المائي وضعت عينة من كبريتات النحاس المائية الزرقاء $CuSO_4.xH_2O$ كتلتها 2.50 g في جَفنة وسُخّنت. وبقي بعد التسخين 1.59 g من كبريتات النحاس اللامائية البيضاء $CuSO_4$. ما صيغة الملح المائي؟ وما اسمه؟

1 تحليل المسألة

لقد أعطيت كتلة كبريتات النحاس المائية، وكبريتات النحاس اللامائية. كما أنك تعرف صيغة المركب ما عدا قيمة x، وهي معامل H_2O في صيغة الملح المائي، والتي تشير إلى عدد مولات ماء التبلور.

المعطيات

كتلة الملح المائي $= 2.50\ g\ CuSO_4.xH_2O$

كتلة الملح اللامائي $= 1.59\ g\ CuSO_4$

الكتلة المولية لـ $H_2O = 18.02\ g/mol$

الكتلة المولية لـ $CuSO_4 = 159.6\ g/mol$

المطلوب

صيغة الملح المائي = ؟

اسم الملح المائي = ؟

2 حساب المطلوب

حدد كتلة الماء المفقود

كتلة الماء المفقود = كتلة الملح المائي – كتلة الملح اللامائي

اطرح كتلة الملح اللامائي $CuSO_4$ من كتلة الملح المائي $CuSO_4.XH_2O$

$$2.50g - 1.59\ g = 0.91\ g$$

حوّل الكتلة المعلومة للماء والملح المائي إلى مولات مستعملاً معامل التحويل الذي يربط المولات بالكتلة – مقلوب الكتلة المولية.

احسب عدد مولات $CuSO_4$ بالتعويض بقيمة كتلة $CuSO_4$ مضروبًا في مقلوب الكتلة المولية.

$$1.59\ \cancel{g\ CuSO_4} \times \frac{1\ mol\ CuSO_4}{159.6\ \cancel{g\ CuSO_4}} = 0.00996\ mol\ CuSO_4$$

احسب عدد مولات H_2O، بالتعويض بقيمة كتلة H_2O مضروبًا في مقلوب الكتلة المولية.

$$0.91\ \cancel{g\ H_2O} \times \frac{1\ mol\ H_2O}{18.02\ \cancel{g\ H_2O}} = 0.05\ mol\ H_2O$$

$$x = \frac{mol\ H_2O}{mol\ CuSO_4}$$

احسب أبسط نسبة عددية بالتعويض بعدد مولات H_2O، وعدد مولات $CuSO_4$.

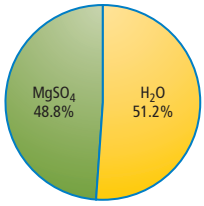
$$x = \frac{0.050\ mol\ H_2O}{0.00996\ mol\ CuSO_4} \approx \frac{5\ mol\ H_2O}{1\ mol\ CuSO_4} = 5$$

إذن، فصيغة الملح المائي هي $CuSO_4.5H_2O$، واسمه كبريتات النحاس (II) الخماسية الماء.

3 تقويم الإجابة

كبريتات النحاس (II) الخماسية الماء، ملح شائع، ومدون في الجدول 1– 5.

مسائل تدريبية



74. يظهر في الشكل المجاور تركيب أحد الأملاح المائية. فما صيغة هذا الملح المائي؟ وما اسمه؟

75. تحفيز سخنت عينة كتلتها 11.75 g من ملح مائي شائع لكلوريد الكوبلت II. وبقي بعد التسخين 0.0712 mol من كلوريد الكوبلت اللامائي. ما صيغة هذا الملح المائي؟ وما اسمه؟

استعمالات الأملاح المائية Uses of Hydrates

الشكل 18–5 يجفف كلوريد الكالسيوم الهواء من جزيئات الماء. كما يستعمل في المختبر في حفظ المواد الكيميائية من رطوبة الجو.

للأملاح المائية استعمالات مهمة في مختبر الكيمياء. فكلوريد الكالسيوم يكوّن ثلاثة أملاح مائية: أحادي الماء، وثنائي الماء، وسداسي الماء. ويوضع كلوريد الكالسيوم اللامائي في قعر أوعية محكمة الإغلاق تُسمى المجفِّفات، كما في **الشكل 18–5**؛ حيث يقوم بامتصاص الرطوبة من الهواء في داخل المجفِّف، ويصنع جوًّا جافًّا مناسبًا لحفظ المواد. وتضاف كبريتات الكالسيوم أحيانًا إلى المذيبات العضوية كالإيثانول والإيثيل إيثر للحفاظ عليها خالية من الماء.

إن قدرة الملح اللامائي على امتصاص الماء له أيضًا بعض التطبيقات التجارية. فالمعدات الإلكترونية والبصرية، وبخاصة تلك التي تُشحن عبر البحار، غالبًا ما تُعبأ مع أكياس من المُجفّفات التي تمنع تأثير الرطوبة في الدوائر الإلكترونية الدقيقة. وتستعمل بعض الأملاح المائية مثل كبريتات الصوديوم المائية ($Na_2SO_4.10\,H_2O$) لخزن الطاقة الشمسية. فعندما تُسخّن الشمس الملح المائي إلى أكثر من $32^\circ C$ تذوب Na_2SO_4 في مولات ماء التبلور العشرة، وخلال ذلك يمتص الملح المائي الطاقة، وهذه الطاقة تنطلق عندما تنخفض درجة الحرارة ويتبلور الملح المائي ثانية.

التقويم 5-5

الخلاصة

- تتكون صيغة الملح المائي من صيغة المركب الأيوني وعدد جزيئات ماء التبلور المرتبطة بوحدة الصيغة.
- يتكون اسم الملح المائي من اسم المركب متبوعًا بمقطع يدل على عدد جزيئات الماء المرتبطة بمول واحد من المركب.
- يتكون الملح اللامائي عند تسخين الملح المائي.

76. الفكرة الرئيسة **وضح** تركيب الملح المائي.

77. سمّ المركّب الذي صيغته $SrCl_2.6H_2O$.

78. صف الخطوات العملية لتحديد صيغة الملح المائي معلّلاً كل خطوة.

79. طبّق يحتوي ملح مائي على 0.050 mol من الماء لكل 0.00998 mol من المركب الأيوني. اكتب صيغة عامة للملح المائي.

80. احسب كتلة ماء التبلور إذا فقد ملح مائي 0.025 mol من الماء عند تسخينه.

81. رتّب الأملاح المائية التالية تصاعديًّا بحسب تزايد النسبة المئوية للماء فيها: $MgSO_4.7H_2O$ ،$Ba(OH)_2.8H_2O$ ،$CoCl_2.6H_2O$

82. طبّق فسّر كيف يمكن استعمال الملح المائي في **الشكل 17–5** بوصفه طريقة تقريبية لتحديد احتمال سقوط المطر؟

التاريخ في كأس ماء

هل تتذكر آخر كأس ماء تناولته؟ قد يبدو غير قابل للتصديق أن نقول إن تلك الكأس تحتوي على جزيئات ماء قد تناولها من قبل المتنبي مثلاً، أو أينشتاين، أو جان دارك..! كيف يمكن لكأسين من الماء في زمنين مختلفين أن تحويا بعض الجزيئات نفسها؟ يروي لنا القصة عدد أفوجادرو والحسابات المولية.

المحيطات والمولات الكتلة الكلية للماء في المحيطات وغيرها تقارب 1.4×10^{24} g. أما الكأس فتحتوي على 230 g من الماء. وباستخدام هذه البيانات يمكنك حساب العدد الكلي لكؤوس الماء المتوافرة للشرب على الأرض، والعدد الكلي لجزيئات الماء في هذه الكؤوس.

من المعروف أن كتلة مول واحد من الماء تساوي 18 g، وباستخدام تحليل الوحدات يمكنك تحويل جرامات الماء في الكأس إلى مولات.

$$\frac{230\ \text{g}\ H_2O}{\text{كأس}} \times \frac{1\ \text{mol}\ H_2O}{18\ \text{g}\ H_2O}$$

$$= 13\ \text{mol}\ H_2O \text{ لكل كأس}$$

ثم تحويل هذه المولات إلى جزيئات باستخدام عدد أفوجادرو.

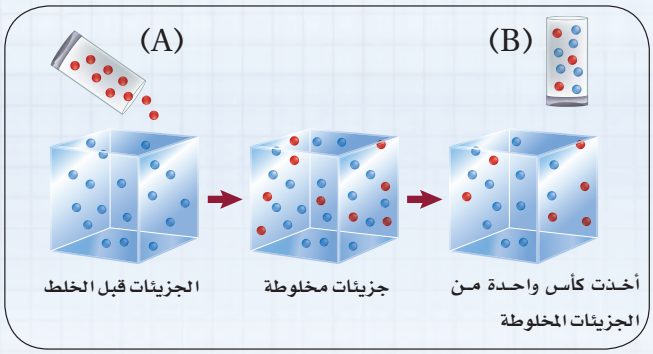
$$\frac{13\ \text{mol}\ H_2O}{1\ \text{كأس}} \times \frac{6 \times 10^{23}\ \text{جزيء ماء}}{1\ \text{mol}\ H_2O}$$

$$= 8 \times 10^{24}\ \text{جزيء ماء لكل كأس}$$

كما يمكنك حساب عدد كؤوس الماء المتوافرة للشرب على النحو التالي:

$$1.4 \times 10^{24}\ \text{g}\ H_2O \times \frac{1\ \text{كأس ماء}}{230\ \text{g}\ H_2O} = 6 \times 10^{21}\ \text{كأس ماء}$$

إذن يوجد 8×10^{24} جزيء في كأس واحدة من الماء، و 6×10^{21} كأس ماء على الأرض. ولو قارنت بين هذين الرقمين فسترى أن عدد جزيئات الماء في الكأس الواحدة أكثر ألف مرة من عدد كؤوس الماء على الأرض.



الشكل 1 جزيئات الماء من الكأس (A) (الحمراء) تصب في حاوية تتسع لكل جزيئات الماء على الأرض (الزرقاء). والكأس (B) المأخوذة من الوعاء تحتوي على عدد صغير من جزيئات الماء التي كانت في الكأس الأولى.

الحاوية العملاقة افترض أن الماء كله الذي على الأرض خُزّن في حاوية واحدة مكعبة الشكل، فإنها ستكون حاوية عملاقة طول ضلعها 1100 Km. وتخيل أنك ملأت كأس ماء من هذه الحاوية، ثم أعدته إليها، وانتظرت ليختلط الماء تمامًا، ثم ملأت الكأس مرة أخرى، فهل ستكون جزيئات الماء في الكأس الأولى موجودة في الكأس الثانية؟

كما هو موضح في **الشكل 1**، من المرجح أن تشترك الكأسان في عدد من جزيئات الماء. لماذا؟ لأن عدد جزيئات الماء في الكأس أكثر ألف مرة من عدد الكؤوس في الحاوية. وبهذا المعدل فإن الكأس الثانية ستحتوي على 1000 جزيء ماء تقريبًا كانت في الكأس الأولى.

قوة الأرقام الكبيرة فكّر في كمية الماء التي مرت في جسم المتنبي أو أينشتاين أو جان دارك، خلال حياتهم– وهي أكبر كثيرًا من كأس واحدة – مفترضًا أن جزيئات الماء اختلطت بالتساوي في حجم الماء كاملاً على الأرض. يمكنك أن تستوعب لماذا يجب أن تحتوي كأس الماء على بعض هذه الجزيئات.

الكتابة في الكيمياء

قدّر يمكن استخدام طريقة التقدير المتبعة في هذه المقالة في إجراء أنواع أخرى من الحسابات. لذا استخدم هذه الطريقة لتقدير الكتلة الكلية للطلاب في مدرستك.

مختبر الكيمياء

تحديد صيغة الأملاح المائية

الخلفية النسبة بين عدد مولات الماء وعدد مولات المركب في الأملاح المائية عدد صحيح صغير. ويمكن تحديد هذه النسبة بتسخين المحلول المائي لإزالة الماء.

سؤال كيف يمكنك تحديد عدد مولات الماء في مول واحد من الملح المائي؟

المواد والأدوات اللازمة

لهب بنزن	ميزان
حامل معدني وحلقة	ملح $MgSO_4$ المائي
بوتقة ذات غطاء	ملعقة
مثلث خزفي	ولاعة أو علبة كبريت
ملقط البوتقة	

إجراءات السلامة

تحذير: أطفئ لهب بنزن عند الانتهاء من استعماله. تعامل بحذر مع البوتقة والغطاء والمثلث الخزفي لأنها ساخنة وقد تحرق الجلد. لا تستنشق الروائح؛ لأنها تسبب الضرر للجهاز التنفسي.

خطوات العمل

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. صمم جدولاً لتدوين البيانات.
3. أوجد كتلة البوتقة وغطائها إلى أقرب 0.01 g.
4. ضع 3 g من $MgSO_4$ المائي في البوتقة، ثم قس كتلته مع البوتقة وغطائها إلى أقرب 0.01 g.
5. دوّن ملاحظاتك حول الملح المائي.
6. ضع المثلث الخزفي فوق حلقة الحامل؛ بحيث يكون فوق لهب بنزن مباشرة، دون أن تشعل اللهب.
7. ضع البوتقة على المثلث بحذر، ثم ضع الغطاء فوقها بحيث يكون مائلاً قليلاً.
8. ابدأ التسخين بلهب خفيف، ثم زد شدة اللهب تدريجيًّا مدة 10 دقائق ثم أطفئ اللهب.
9. ارفع البوتقة عن اللهب باستعمال الملقط بحذر، وقم برفع الغطاء عنها باستعمال الملقط أيضًا، ودعها تبرد.

10. قس كتلة البوتقة والغطاء وكبريتات الماغنسيوم.
11. دوّن ملاحظاتك حول ملح كبريتات الماغنسيوم اللامائي.
12. **التنظيف والتخلص من النفايات** تخلص من ملح كبريتات الماغنسيوم اللامائي كما يطلب إليك معلمك، ثم أعد أدوات المختبر جميعها إلى أماكنها المناسبة، ونظّف مكان العمل جيدًا.

حلل واستنتج

1. **احسب** استعمل البيانات التجريبية لحساب صيغة ملح كبريتات الماغنسيوم المائي.
2. **لاحظ واستنتج** قارن بين مظهر بلورات كبريتات الماغنسيوم المائية واللامائية؟
3. **استنتج** لماذا قد تكون الطريقة المستخدمة في المختبر غير مناسبة لتحديد ماء التبلور في الأملاح المائية؟
4. **تحليل الخطأ** إذا كانت صيغة الملح المائي $MgSO_4.7H_2O$، فما نسبة الخطأ في الصيغة الكيميائية $MgSO_4$؟ ما مصادر الخطأ المحتملة؟ ما خطوات العمل التي من الممكن تعديلها للتقليل من الخطأ؟
5. **توقع** ما الذي يمكن أن يحدث للملح اللامائي إذا ترك دون غطاء طوال الليل؟

التوسع في الاستقصاء

صمم تجربة لاختبار ما إذا كان مركبٌ مائيًّا (يحتوي على ماء تبلور) أو لامائيًّا.

دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة المول يمثل عددًا كبيرًا من الجسيمات المتناهية في الصغر.

5–1 قياس المادة

الفكرة الرئيسة يستعمل الكيميائيون المول لعدّ الذرات، والأيونات، والجزيئات، ووحدات الصيغ الكيميائية.

المفردات

- المول
- عدد أفوجادرو

المفاهيم الرئيسة

- المول وحدة تستخدم لعدِّ جسيمات المادة بشكل غير مباشر. المول الواحد من المادة النقية يحتوي على عدد أفوجادرو من الجسيمات.
- الجسيمات الممثلة تشمل الذرات، والأيونات، والجزيئات، ووحدات الصيغ الكيميائية، والإلكترونات، وجسيمات أخرى مشابهة.
- المول الواحد من ذرات C–12 له كتلة مقدارها 12 g تمامًا.
- يمكن استخدام عوامل التحويل المكتوبة من علاقة عدد أفوجادرو للتحويل بين المولات وعدد الجسيمات.

5–2 الكتلة والمول

الفكرة الرئيسة يحتوي المول على العدد نفسه من الجسيمات دائمًا، غير أنّ مولات المواد المختلفة لها كتل مختلفة.

المفردات

- الكتلة المولية

المفاهيم الرئيسة

- تسمى كتلة المول الواحد بالجرامات من أي مادة نقية الكتلة المولية.
- الكتلة المولية لأي عنصر تساوي عدديًّا كتلته الذرية.
- الكتلة المولية لأي مادة هي كتلة عدد أفوجادرو من الجسيمات لهذه المادة.
- تستعمل الكتلة المولية للتحويل من المولات إلى الكتلة، ويستعمل مقلوب الكتلة المولية للتحويل من الكتلة إلى المولات.

5–3 مولات المركبات

الفكرة الرئيسة يمكن حساب الكتلة المولية للمركب من خلال صيغته الكيميائية، كما يمكن استعمال هذه الكتلة المولية للتحويل بين الكتلة والمولات للمركب نفسه.

المفاهيم الرئيسة

- تدل الأرقام في الصيغ الكيميائية على عدد مولات كل عنصر في مول واحد من المركب.
- تحسب الكتلة المولية للمركب بحساب الكتل المولية لجميع العناصر في المركب.
- عوامل التحويل المبينة على الكتلة المولية للمركب تستعمل للتحويل بين مولات المركب وكتلته.

4–5 الصيغة الأولية والصيغة الجزيئية

الفكرة الرئيسة الصيغة الجزيئية لمركب ما هي مضاعف عددي صحيح لصيغته الأولية.

المفردات

- التركيب النسبي المئوي
- الصيغة الأولية
- الصيغة الجزيئية

المفاهيم الرئيسة

- النسبة المئوية بالكتلة للعنصر تساوي نسبة كتلة العنصر إلى الكتلة الكلية للمركب.
- تمثل الأرقام في الصيغة الأولية أصغر نسبة عددية صحيحة لمولات العناصر في المركب.
- تمثل الصيغة الجزيئية العدد الفعلي للذرات من كل عنصر في جزيء من المادة.
- الصيغة الجزيئية هي مضاعف صحيح للصيغة الأولية.

5–5 صيغ الأملاح المائية

الفكرة الرئيسة الأملاح المائية مركبات أيونية صلبة فيها جزيئات ماء محتجزة.

المفردات

- الملح المائي

المفاهيم الرئيسة

- تتكون صيغة الملح المائي من صيغة المركب الأيوني وعدد جزيئات ماء التبلور المرتبطة بوحدة الصيغة.
- يتكون اسم الملح المائي من اسم المركب متبوعًا بمقطع يدل على عدد جزيئات الماء المرتبطة بمول واحد من المركب.
- يتكون الملح اللامائي عند تسخين الملح المائي.

5–1

إتقان المفاهيم

83. ما القيمة العددية لعدد أفوجادرو؟

84. كم ذرة في مول واحد من البوتاسيوم؟

85. ما أهمية وحدة المول للكيميائي؟

86. وضح كيف يستخدم عدد أفوجادرو عاملَ تحويل؟

إتقان حل المسائل

87. احسب عدد الجسيمات في كل من:

a. $0.25\ mol\ Ag$

b. $8.56 \times 10^{-3}\ mol\ NaCl$

c. $35.3\ mol\ CO_2$

d. $0.425\ mol\ N_2$

88. ما عدد الجزيئات في كل من المركبات الآتية؟

a. $1.35\ mol\ CS_2$

b. $0.254\ mol\ As_2O_3$

c. $1.25\ mol\ H_2O$

d. $150.0\ mol\ HCl$

89. احسب عدد المولات في كل مما يلي:

a. 3.25×10^{20} ذرة من الرصاص.

b. 4.96×10^{24} جزيء من الجلوكوز.

90. أجر التحويلات الآتية:

a. 1.51×10^{15} ذرة من Si إلى مولات.

b. $4.25 \times 10^{-2}\ mol\ H_2SO_4$ إلى جزيئات.

c. 8.95×10^{25} جزيء من CCl_4 إلى مولات.

d. $5.90\ mol\ Ca$ إلى ذرات .

91. إذا استطعت عدّ ذرتين في كل ثانية، فكم سنة تحتاج لعد مول واحد من الذرات؟

5–2

إتقان المفاهيم

92. وضح الفرق بين الكتلة الذرية والكتلة المولية.

93. أيهما يحوي ذرات أكثر: مول واحد من الفضة، أم مول واحد من الذهب؟ فسِّر إجابتك.

94. أيهما أكبر كتلة: مول واحد من الصوديوم أم مول واحد من البوتاسيوم؟ فسِّر إجابتك.

95. وضح كيف تحول عدد ذرات عنصر إلى كتلة؟

96. ناقش العلاقات بين المول، والكتلة المولية، وعدد أفوجادرو.

إتقان حل المسائل

97. احسب كتلة كل مما يلي:

a. $5.22\ mol\ He$

b. $2.22\ mol\ Ti$

c. $0.0455\ mol\ Ni$

98. أجر التحويلات الآتية:

a. $3.5\ mol\ Li$ إلى جرامات.

b. $7.65\ g\ Co$ إلى مولات.

c. $5.65\ g\ Kr$ إلى مولات.

99. ما كتلة العنصر بالجرامات في كل مما يأتي؟

a. $1.33 \times 10^{22}\ mol\ Sb$

b. $4.75 \times 10^{14}\ mol\ Pt$

c. $1.22 \times 10^{23}\ mol\ Ag$

d. $9.85 \times 10^{24}\ mol\ Cr$

تقويم الفصل 5

100. أكمل الجدول 2–5:

الجدول 2–5 بيانات الكتلة، والمول، والذرات

الكتلة	المولات	الذرات
	3.65 mol Mg	
29.54 g Cr		
		3.54×10^{25} ذرة من P
	0.568 mol As	

101. حول عدد الذرات فيما يلي إلى جرامات:

a. 8.65×10^{25} ذرة من H.

b. 1.25×10^{22} ذرة من O.

102. احسب عدد الذرات في كل عنصر مما يلي:

a. 0.034 g Zn

b. 0.124 g Mg

103. رتب تصاعديًّا بحسب عدد المولات:

3.00×10^{24} ذرة من Ne ، 4.25 mol Ar

2.69×10^{24} ذرة من Xe، 65.96 g Kr.

104. أيهما يحوي ذرات أكثر: 10.0 g C، أم 10.0 g Ca؟ وكم ذرة يحوي كل عنصر منهما؟

105. أيهما يحتوي على أكبر عدد من الذرات 10.0 mol C أم 10.0 mol Ca؟

106. خليط مكون من 0.250 mol Fe و1.20 mol C، ما عدد الذرات الكلي في هذا الخليط؟

5–3

إتقان المفاهيم

107. ما المعلومات التي يمكنك الحصول عليها من صيغة كرومات البوتاسيوم K_2CrO_4؟

108. ما عدد مولات كل من الصوديوم والفوسفور والأكسجين في صيغة فوسفات الصوديوم Na_3PO_4؟

109. لماذا يمكن استعمال الكتلة المولية عاملَ تحويل؟

110. اكتب ثلاثة عوامل تحويل تستعمل في التحويلات المولية.

111. أي المركبات التالية يحتوي على العدد الأكبر من مولات الكربون لكل مول من المركب: حمض الأسكوربيك $C_6H_8O_6$، أم الجلسرين $C_3H_8O_3$، أم القنالين $C_8H_8O_3$؟ فسِّر إجابتك.

إتقان حل المسائل

112. كم مولاً من الأكسجين في كل مركب مما يلي؟

a. 2.5 mol $KMnO_4$

b. 45.9 mol CO_2

c. 1.25×10^2 mol من $CuSO_4.5H_2O$

113. كم جزيء CCl_4، وكم ذرة C، وكم ذرة Cl، في 3 mol CCl_4؟ وما عدد الذرات الكلي؟

114. احسب الكتلة المولية لكل مركب مما يلي:

a. حمض النيتريك HNO_3.

b. أكسيد الزنك ZnO.

115. كم مولاً في 100 g من CH_3OH؟

116. ما كتلة 1.25×10^2 mol من $Ca(OH)_2$ ؟

117. الحفر على الزجاج يستعمل حمض الهيدروفلوريك HF للحفر على الزجاج. ما كتلة 4.95×10^{25} جزيء من HF؟

118. احسب عدد الجزيئات في 47.0 g من C_2H_5OH .

119. كم مولاً من الحديد يمكن استخراجه من 100.0 kg من الماجنتيت Fe_3O_4 ؟

تقويم الفصل 5

120. الطبخ يحتوي الخل المستعمل في الطبخ على 5% من حمض الخل CH_3COOH. فكم جزيئًا من الحمض يوجد في 25.0 g من الخل؟

121. احسب عدد ذرات الأكسجين في 25.0 g من CO_2.

5–4

إتقان المفاهيم

122. ما المقصود بالتركيب النسبي المئوي؟

123. ما المعلومات التي يجب أن يحصل عليها الكيميائي لتحديد الصيغة الأولية لمركب ما؟

124. ما المعلومات التي يجب توافرها للكيميائي ليحدد الصيغة الجزيئية لمركب؟

125. ما الفرق بين الصيغة الأولية والصيغة الجزيئية؟ أعط أمثلة على ذلك.

126. متى تكون الصيغة الأولية هي الصيغة الجزيئية نفسها؟

127. هل كل العينات النقيّة لمركب معين لها التركيب النسبي المئوي نفسه ؟ فسر إجابتك.

إتقان حل المسائل

128. الحديد هناك ثلاثة مركبات طبيعية للحديد، هي: البايريت FeS_2، والهيماتيت Fe_2O_3، والسيديرايت $FeCO_3$. أيها يحتوي على أعلى نسبة من الحديد؟

129. احسب التركيب النسبي المئوي لكل مركب مما يلي:

a. السكروز $C_{12}H_{22}O_{11}$.

b. الماجنتيت Fe_3O_4.

130. حدد الصيغة الأولية لكل مركب مما يلي:

a. الإيثلين C_2H_4.

b. حمض الأسكوربيك $C_6H_8O_6$.

c. النفثالين $C_{10}H_8$

131. ما الصيغة الأولية للمركب الذي يحتوي على 10.52 g Ni، و4.38 g C، و5.10 g N؟

5–5

إتقان المفاهيم

132. ما الملح المائي؟ وضح إجابتك بمثال.

133. وضح كيف تسمى الأملاح المائية؟

134. المجفِّفات لماذا توضع المجففات مع الأجهزة الإلكترونية في صناديق حفظها؟

135. اكتب صيغة كل ملح من الأملاح المائية التالية:

a. كلوريد النيكل (II) سداسي الماء.

b. كربونات الماغنسيوم خماسية الماء.

إتقان حل المسائل

136. يحتوي **الجدول 3–5** على بيانات تجريبية لتحديد صيغة كلوريد الباريوم المائي. أكمل الجدول وحدد صيغته واسمه.

الجدول 3–5 بيانات $BaCl_2.xH_2O$

كتلة البوتقة الفارغة	21.30 g
كتلة الملح المائي + البوتقة	31.35 g
كتلة الملح المائي	
كتلة الملح + البوتقة بعد التسخين مدة 5 دقائق	29.87 g
كتلة الملح اللامائي	

137. تكوّن نترات الكروم (III) ملحًا مائيًّا يحتوي على 40.50% من كتلته ماء. ما الصيغة الكيميائية للمركب؟

138. حدّد التركيب النسبي المئوي لـ $MgCO_3 . 5H_2O$، ومثّل التركيب النسبي برسم بياني دائري.

139. سخنت عينة كتلتها 1.628 g من ملح يوديد الماغنسيوم المائي حتى تبخر الماء منها تمامًا، فأصبحت كتلتها 1.072 g بعد التسخين. ما صيغة الملح المائي؟

5 تقويم الفصل

مراجعة عامة

140. إذا كانت كتلة ذرة واحدة من عنصر ما تساوي 6.66×10^{-23} g، فما العنصر؟

141. يحتوي مركب على 6.0 g كربون، و 1.0 g هيدروجين. وكتلته المولية 42.0 g/mol. ما التركيب النسبي المئوي للمركب؟ وما صيغته الأولية؟ وما صيغته الجزيئية؟

142. أيّ المركبات التالية يحتوي على أعلى نسبة مئوية بالكتلة من الأكسجين؟ TiO_2 ، Al_2O_3 ، Fe_2O_3

التفكير الناقد

143. طبّق المفاهيم لدى شركة تعدين مصدران محتملان لاستخراج النحاس: جالكوبايريت ($CuFeS_2$)، وجالكوسيت (Cu_2S). فإذا كانت ظروف استخراج النحاس من الخامين متشابهة تمامًا، فأيهما ينتج عنه كمية أكبر من النحاس؟ فسر إجابتك.

144. صمّم تجربة يمكن استعمالها لتحديد كمية الماء في مركب الشب البوتاسي $KAl(SO_4)_2 \cdot X H_2O$.

مسألة تحفيز

145. مركبان كيميائيان يتكونان من العنصرين X و Y وصيغتاهما XY. X_2Y_3. إذا علمت أنَّ 0.25 mol من المركب XY تساوي 17.96g، و 0.25 mol من المركب X_2Y_3 تساوي 39.92g.

a. فما الكتلة الذرية لكل من X و Y؟

b. اكتب الصيغة الكيميائية لكل من المركبين.

مراجعة تراكمية

146. اكتب معادلات كيميائية موزونة لكل تفاعل مما يلي:

a. تفاعل فلز الماغنسيوم مع الماء لتكوين هيدروكسيد الماغنسيوم الصلب وغاز الهيدروجين.

b. تفكك غاز رباعي أكسيد ثنائي النيتروجين إلى غاز ثاني أكسيد النيتروجين.

c. تفاعل الإحلال المزدوج بين المحاليل المائية لكل من حمض الكبريتيك وهيدروكسيد البوتاسيوم.

تقويم إضافي

الكتابة في الكيمياء

147. الغاز الطبيعي هيدرات الغاز الطبيعي هي مركبات كيميائية متبلورة (Clathrate hydrate). ابحث في هذه المركبات وأعدّ نشرة تعليمية عنها للمستهلكين. يجب أن تناقش هذه النشرة تركيب هذه المركبات، ومكان وجودها، وأهميتها للمستهلكين، والآثار البيئية لاستخدامها.

أسئلة المستندات

148. يشتمل **الجدول 4–5** على بيانات عن وقود مكوك فضاء؛ إذ لا بد من توافر 3,164,445 L من الأكسجين، والهيدروجين، وأحادي ميثيل الهيدرازين (الكتلة المولية = 46.07g/mol)، ورابع أكسيد ثنائي النيتروجين (الكتلة المولية= 92.00g/mol)، في خزانات الوقود لحظة الإقلاع. كتلتها الكلية (727,233 Kg). أكمل الجدول بحساب عدد المولات، والكتلة بالكيلوجرام، وعدد الجزيئات.

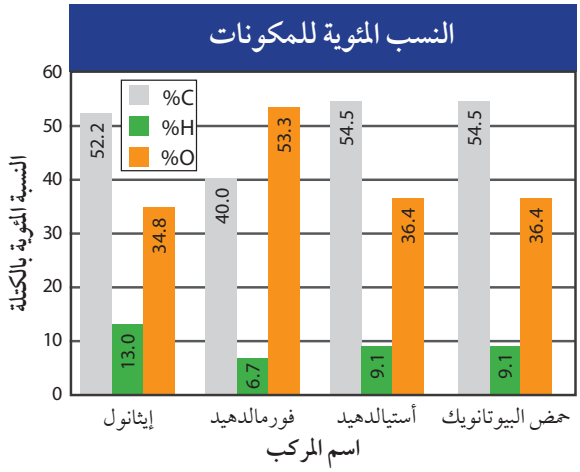
الجدول 4–5 بيانات وقود مكوك فضائي

المادة	الصيغة الجزيئية	الكتلة (Kg)	عدد المولات	عدد الجزيئات
الهيدروجين	H_2		5.14×10^7	
الأكسجين	O_2			1.16×10^{31}
أحادي ميثيل الهيدرازين	CH_3NHNH_2	4909		
رابع أكسيد النيتروجين	N_2O_4		8.64×10^4	

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

استعن بالرسم البياني أدناه للإجابة عن الأسئلة من 1 إلى 4.



1. يتشابه الأسيتالدهيد وحمض البيوتانويك في:

a. الصيغة الجزيئية.

b. الصيغة الأولية.

c. الكتلة المولية.

d. الخواص الكيميائية.

2. إذا كانت الكتلة المولية لحمض البيوتانويك 88.1g/mol، فما صيغته الجزيئية؟

a. $C_3H_4O_3$ **c.** $C_5H_{12}O$

b. C_2H_4O **d.** $C_4H_8O_2$

3. ما الصيغة الأولية للإيثانول؟

a. C_4HO_3 **c.** C_2H_6O

b. $C_2H_6O_2$ **d.** $C_4H_{13}O_2$

4. الصيغة الأولية للفورمالدهيد هي صيغته الجزيئية نفسها. فكم جرامًا يوجد في 2.00 mol من الفورمالدهيد؟

a. 30.00 g **c.** 182.0 g

b. 60.06 g **d.** 200.0 g

5. أي مما يلي لا يُعدّ وصفًا للمول؟

a. وحدة تستعمل للعد المباشر للجسيمات.

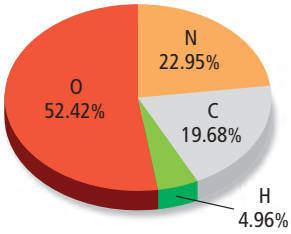
b. عدد أفوجادرو من جزيئات مركب.

c. عدد الذرات في 12 g بالضبط من C–12 النقي.

d. وحدة النظام العالمي لكمية المادة.

استعن بالرسم البياني أدناه للإجابة عن السؤال السادس

6. ما الصيغة الأولية لهذا المركب؟



a. $C_6H_2N_6O_3$

b. $C_4HN_5O_{10}$

c. CH_3NO_2

d. CH_5NO_3

7. ما نوع التفاعل الموضح أدناه؟

$$2HI + (NH_4)_2S \rightarrow H_2S + 2NH_4I$$

a. تكوين. **c.** إحلال بسيط.

b. تفكك. **d.** إحلال مزدوج.

8. ما كتلة جزيء واحد من الجلوكوز $C_6H_{12}O_6$؟ (الكتلة المولية=180 g/mol).

a. 6.02×10^{-23} **c.** 2.16×10^{-25}

b. 2.99×10^{-22} **d.** 3.34×10^{-21}

9. ما عدد ذرات الأكسجين في 18.94 g من $Zn(NO_3)_2$؟ (الكتلة المولية=189 g/mol).

a. 3.62×10^{23} **c.** 6.02×10^{25}

b. 1.81×10^{23} **d.** 1.14×10^{25}

10. إذا علمت أن الكتلة المولية لهيدروكسيد الصوديوم NaOH هي 40.0g/mol. فما عدد المولات في 20.00 g منه؟

a. 0.50 mol **c.** 2.00 mol

b. 1.00 mol **d.** 4.00 mol

اختبار مقنن

11. كم ذرة في 116.14 g من Ge؟
(الكتلة المولية = 72.64 g /mol).

a. 2.73×10^{25} ذرة.

b. 6.99×10^{25} ذرة.

c. 3.76×10^{23} ذرة.

d. 9.63×10^{23} ذرة.

12. ما كتلة جزيء واحد من $(BaSiF_6)$ علمًا أنّ كتلته المولية = 279.415 g /mol.

a. 1.68×10^{26} g

b. 2.16×10^{21} g

c. 4.64×10^{-22} g

d. 6.02×10^{-23} g

13. ما الكتلة المولية لأباتيت الفلور $Ca_5(PO_4)_3F$.

a. 314 g/mol

b. 344 g/mol

c. 442 g/mol

d. 504 g/mol

e. 524 g/mol

أسئلة الإجابات القصيرة

استعن بالجدول أدناه للإجابة عن السؤال 14.

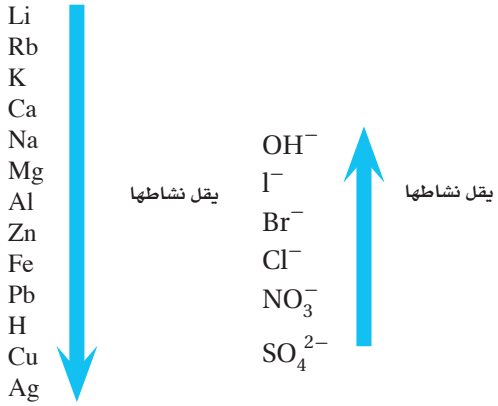
شحنات بعض الأيونات

الأيون	الصيغة
الكبريتيد	S^{2-}
الكبريتيت	SO_3^{2-}
الكبريتات	SO_4^{2-}
ثيوكبريتات	$S_2O_3^{2-}$
نحاس I	Cu^{+}
نحاس II	Cu^{2+}

14. كم مركبًا يمكن أن يتكوَّن من النحاس والكبريت والأكسجين؟ اكتب أسماءَها وصيغها.

أسئلة الإجابات المفتوحة

استعن بالشكل أدناه للإجابة عن السؤال 15.

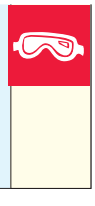


طُلب إليك تحديد ما إذا كانت عينة من الفلز تتكون من الخارصين، أو الرصاص، أو الليثيوم. ولديك المحاليل الآتية: كلوريد البوتاسيوم KCl، كلوريد الألومنيوم $AlCl_3$ III، كلوريد الحديد $FeCl_3$ III، كلوريد النحاس (II).

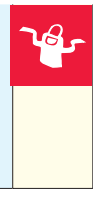
15. وضح كيف تستخدم المحاليل في معرفة نوع الفلز الذي تتكون منه العينة؟

رموز السلامة في المختبر

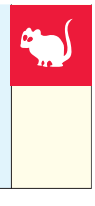
رموز السلامة	المخاطر	الأمثلة	الاحتياطات	العلاج
التخلص من المواد	يجب اتباع خطوات التخلص من المواد.	بعض المواد الكيميائية، والمخلوقات الحية.	لا تتخلص من هذه المواد في المغسلة أو في سلة المهملات.	تخلص من النفايات وفق تعليمات المعلم.
مواد حيّة	مخلوقات ومواد حية قد تسبّب ضررًا للإنسان.	البكتيريا، الفطريات، الدم، الأنسجة غير المحفوظة، المواد النباتية.	تجنب ملامسة الجلد لهذه المواد، والبس قناعًا (كمامة) وقفازات.	أبلغ معلمك عند حدوث ملامسة للجسم، واغسل يديك جيدًا.
درجة حرارة مرتفعة أو منخفضة	الأشياء التي قد تحرق الجلد بسبب حرارتها أو برودتها الشديدتين.	غليان السوائل، السخانات الكهربائية، الجليد الجاف، النيتروجين السائل.	استعمال قفازات واقية.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
الأجسام الحادة	استعمال الأدوات والزجاجيات التي تجرح الجلد بسهولة.	المقصات، الشفرات، السكاكين، الأدوات المدبّبة، أدوات التشريح، الزجاج المكسور.	تعامل بحكمة مع الأداة، واتبع إرشادات استعمالها	اذهب إلى معلمك طلبًا للإسعاف الأولي.
الأبخرة	خطر محتمل على الجهاز التنفسي من الأبخرة	الأمونيا، الأسيتون، الكبريت الساخن، كرات العث (النفثالين).	تأكد من وجود تهوية جيدة، ولا تشم الأبخرة مباشرة، وارتد قناعًا (كمامة).	اترك المنطقة، وأخبر معلمك فورًا.
الكهرباء	خطر محتمل من الصعقة الكهربائية أو الحريق	تأريض غير صحيح، سوائل منسكبة، أسلاك معرّاة.	تأكد من التوصيلات الكهربائية للأجهزة بالتعاون مع معلمك.	لا تحاول إصلاح الأعطال الكهربائية، وأخبر معلمك فورًا.
المواد المهيّجة	مواد قد تهيج الجلد أو الغشاء المخاطي للقناة التنفسية.	حبوب اللقاح، كرات العث، سلك المواعين، ألياف الزجاج، برمنجنات البوتاسيوم.	ارتد قناعًا (كمامة) واقيًا من الغبار وقفازات، وتصرف بحذر شديد عند تعاملك مع هذه المواد.	اذهب إلى معلمك طلبًا للإسعاف الأولي.
المواد الكيميائية	المواد الكيميائية التي يمكن أن تتفاعل مع الأنسجة والمواد الأخرى وتتلفها.	المبيضات، مثل فوق أكسيد الهيدروجين والأحماض كحمض الكبريتيك، والقواعد كالأمونيا وهيدروكسيد الصوديوم.	ارتد نظارات واقية، وقفازات، والبس معطف المختبر.	اغسل المنطقة المصابة بالماء، وأخبر معلمك بذلك.
المواد السامة	مواد تسبب التسمم إذا ابتُلعت أو استُنشقت أو لمست.	الزئبق، العديد من المركبات الفلزية، اليود، النباتات السامة.	اتبع تعليمات معلمك.	اغسل يديك جيدًا بعد الانتهاء من العمل، واذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
مواد قابلة للاشتعال	بعض الكيماويات التي يسهل اشتعالها باللهب، أو الشرر، أو عند تعرضها للحرارة.	الكحول، الكيروسين، الأسيتون، برمنجنات البوتاسيوم، الملابس، الشعر.	تجنب مناطق اللهب المشتعل عند استخدام هذه الكيماويات.	أبلغ معلمك فورًا، واستعمل طفاية الحريق.
اللهب المشتعل	ترك اللهب مفتوحًا يسبب الحريق.	الشعر، الملابس، الورق، المواد القابلة للاشتعال.	اربط الشعر إلى الخلف، ولا تلبس الملابس الفضفاضة، واتبع تعليمات المعلم عند إشعال اللهب أو إطفائه.	اغسل يديك جيدًا بعد الاستعمال. واذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.



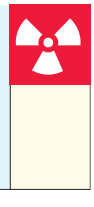
سلامة العين
يجب دائمًا ارتداء نظارات واقية عند العمل في المختبر.



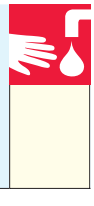
وقاية الملابس
يظهر هذا الرمز على عبوات المواد التي يمكن أن تبقع الملابس أو تحرقها.



سلامة الحيوانات
يشير هذا الرمز إلى التأكيد على سلامة الحيوانات.



نشاط إشعاعي
يظهر هذا الرمز عندما تستعمل مواد مشعة.



غسل اليدين
اغسل يديك بعد كل تجربة بالماء والصابون قبل نزع النظارات الواقية.

المصطلحات

(أ)

الأيون المتفرج Spectator Ion الأيون الذي لا يشارك في التفاعل.

(ب)

البروتون Proton جسيم من مكونات نواة الذرة، شحنته موجبة (+1).

(ت)

التركيب النسبي المئوي Percent Composition النسبة المئوية الكتلية لكل عنصر في المركب.

تفاعل الاحتراق Combustion Reaction تفاعل مادة مع الأكسجين، ينتج عنه طاقة في صورة ضوء وحرارة.

تفاعل الإحلال البسيط Single - Replacment Reaction تفاعل كيميائي ينتج عندما تحل ذرات أحد العناصر محل ذرات عنصر آخر في مركب.

تفاعل الإحلال المزدوج Double - Replacment Reaction تفاعل كيميائي ينتج عن تبادل أيونات مادتين، وينشأ عنه غاز، أو راسب، أو ماء.

تفاعل التفكك Decomposition Reaction تفاعل يحدث نتيجة تفكك أحد المركبات إلى عنصرين أو أكثر أو إلى مركبات جديدة.

تفاعل التكوين Synthesis Reaction تفاعل مادتين أو أكثر لإنتاج مادة واحدة.

التفاعل النووي Nuclear Reaction تفاعل يتضمن التغير في نواة الذرة.

(ج)

الجدول الدوري Periodic Table جدول ينظم كل العناصر المعروفة تصاعديًّا بحسب العدد الذري في شبكة من الصفوف الأفقية (دورات) والصفوف العمودية (مجموعات من العائلات).

(ر)

الراسب Precipitate مادة صلبة تتكون خلال التفاعل الكيميائي.

(ص)

الصيغة الأولية Empirical Formula صيغة تبين أصغر نسبة عددية صحيحة لمولات العناصر في المركب.

الصيغة الجزيئية Molecular Formula صيغة تعطي العدد الفعلي للذرات من كل عنصر في جزيء واحد من المادة.

(ع)

عدد أفوجادرو Avogadro's Number هو 6.0221367×10^{23}، وهو عدد الجسيمات في مول واحد، ويمكن تقريب هذه القيمة إلى ثلاثة منازل 6.02×10^{23}.

(ك)

الكتلة المولية Molar Mass الكتلة بالجرامات لمول واحد من أي مادة نقية.

(م)

المتفاعلات Reactants مواد يبدأ بها التفاعل الكيميائي.

المحلول المائي Aqueous Solution محلول يحتوي على مادة أو أكثر مذابة في الماء.

المذاب Solute مادة أو أكثر مذابة في محلول.

المذيب Solvent مادة تذيب المذاب وتحتويه.

المعادلة الأيونية الكاملة Complete Ionic Equation معادلة أيونية تظهر كافة الأيونات في المحلول بصورتها الواقعية.

المعادلة الأيونية النهائية Net Ionic Equation معادلة أيونية تشتمل فقط على الجسيمات المشاركة في التفاعل.

المعادلة الكيميائية Chemical Equation جملة تستعمل فيها الصيغ الكيميائية لتحديد المواد المشاركة في التفاعل وكميات المواد المتفاعلة والناتجة.

المعامل Coeffcient رقم يكتب قبل صيغة المادة المتفاعلة أو الناتجة في المعادلة الكيميائية الموزونة. وتصف المعاملات في المعادلة الموزونة أبسط نسبة عددية صحيحة لكميات كل من المتفاعلات والنواتج.

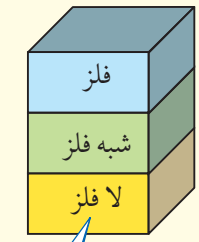
الملح المائي Hydrates مادة أيونية صلبة يرتبط بذراتها عدد محدد من جزيئات الماء.

المول Mole وحدة نظام عالمي تستعمل في قياس كمية المادة، وهو عبارة عن عدد ذرات الكربون الموجودة في 12 g من الكربون، والمول الواحد كمية من المادة النقية تحتوي على 6.02×10^{23} من الجسيمات.

(ن)

النواتج Products مواد تتكون خلال التفاعل الكيميائي.

الجدول الدوري للعناصر



يدل لون صندوق كل عنصر على ما إذا كان فلزًّا أو شبه فلز أو لافلزًّا.

10	11	12	13	14	15	16	17	18
								Helium 2 He 4.003
			Boron 5 B 10.811	Carbon 6 C 12.011	Nitrogen 7 N 14.007	Oxygen 8 O 15.999	Fluorine 9 F 18.998	Neon 10 Ne 20.180
			Aluminum 13 Al 26.982	Silicon 14 Si 28.086	Phosphorus 15 P 30.974	Sulfur 16 S 32.065	Chlorine 17 Cl 35.453	Argon 18 Ar 39.948
Nickel 28 Ni 58.693	Copper 29 Cu 63.546	Zinc 30 Zn 65.409	Gallium 31 Ga 69.723	Germanium 32 Ge 72.64	Arsenic 33 As 74.922	Selenium 34 Se 78.96	Bromine 35 Br 79.904	Krypton 36 Kr 83.798
Palladium 46 Pd 106.42	Silver 47 Ag 107.868	Cadmium 48 Cd 112.411	Indium 49 In 114.818	Tin 50 Sn 118.710	Antimony 51 Sb 121.760	Tellurium 52 Te 127.60	Iodine 53 I 126.904	Xenon 54 Xe 131.293
Platinum 78 Pt 195.078	Gold 79 Au 196.967	Mercury 80 Hg 200.59	Thallium 81 Tl 204.383	Lead 82 Pb 207.2	Bismuth 83 Bi 208.980	Polonium 84 Po (209)	Astatine 85 At (210)	Radon 86 Rn (222)
Darmstadtium 110 Ds (281)	Roentgenium 111 Rg (272)	Ununbium * 112 Uub (285)	Ununtrium * 113 Uut (284)	Ununquadium * 114 Uuq (289)	Ununpentium * 115 Uup (288)	Ununhexium * 116 Uuh (291)		Ununoctium * 118 Uuo (294)

* أسماء رموز العناصر 112، 113، 114، 115، 116، 118 مؤقتة، سيتم اختيار أسماء نهائية لها عند التأكد من اكتشافها.

Europium 63 Eu 151.964	Gadolinium 64 Gd 157.25	Terbium 65 Tb 158.925	Dysprosium 66 Dy 162.500	Holmium 67 Ho 164.930	Erbium 68 Er 167.259	Thulium 69 Tm 168.934	Ytterbium 70 Yb 173.04	Lutetium 71 Lu 174.967
Americium 95 Am (243)	Curium 96 Cm (247)	Berkelium 97 Bk (247)	Californium 98 Cf (251)	Einsteinium 99 Es (252)	Fermium 100 Fm (257)	Mendelevium 101 Md (258)	Nobelium 102 No (259)	Lawrencium 103 Lr (262)

جداول مرجعية