الكيمياء

كتاب الطالب

المستوى العاشر

CHEMISTRY
STUDENT BOOK

GRADE
10

الفصل الدراسي الأول - الجزء الثاني
FIRST SEMESTER - PART 2
2021 - 2022

(نسخة تجريبية - Trial version)

© وزارة التعليم والتعليم العالي في دولة قطر

يخضع هذا الكتاب لقانون حقوق الطباعة والنشر، ويخضع للاستثناء التشريعي المسموح به قانونًا ولأحكام التراخيص ذات الصلة.

لا يجوز نسخ أي جزء من هذا الكتاب من دون الحصول على الإذن المكتوب من وزارة التعليم والتعليم العالي في دولة قطر.

تمّ إعداد الكتاب بالتّعاون مع شركة تكنولاب.

التأليف: فريق من الخبراء بقيادة الدكتور توم سو وبالتّعاون مع شركة باسكو العلميّة.

التّرجمة: مطبعة جامعة كامبريدج.

الطبعة التجريبية 2022-2021 م

النشيد الوطني

قَسَـمًا بِمَـنْ رَفَـعَ السَّـمَاءْ قَسَـمًا بِمَـنْ نَشَـرَ الضِّـيَاءْ
قَطَـرٌ سَتَبْـقَى حُـرَّةً تَسْمُـو بِـرُوحِ الأَوْفِـيَـاءْ
سِـيرُوا عَـلَى نَـهْـجِ الأُلَـى وَعَـلَى ضِيَـاءِ الأَنْبِـيَاءْ
قَطَـرٌ بِقَـلْـبِي سِـيرَةٌ عِـزٌّ وَأَمْجَـادُ الإِبَـاءْ
قَطَـرُ الرِّجَـالِ الأَوَّلِـين حُمَـاتُنَـا يَـوْمَ النِّـدَاءْ
وَحَمَـائِـمٌ يَـوْمَ السَّـلاَمْ جَـوَارِحٌ يَـوْمَ الفِـدَاءْ

المراجعة والتّدقيق العلميّ والتّربويّ:

إدارة التوجيه التربوي

خبرات تربويّة وأكاديميّة من المدارس

الإشراف العلميّ والتربويّ:

إدارة المناهج الدّراسيّة ومصادر التّعلّم

الكيمياء

الصّفّ 10

الفصل الدّراسي 1

المقدّمة

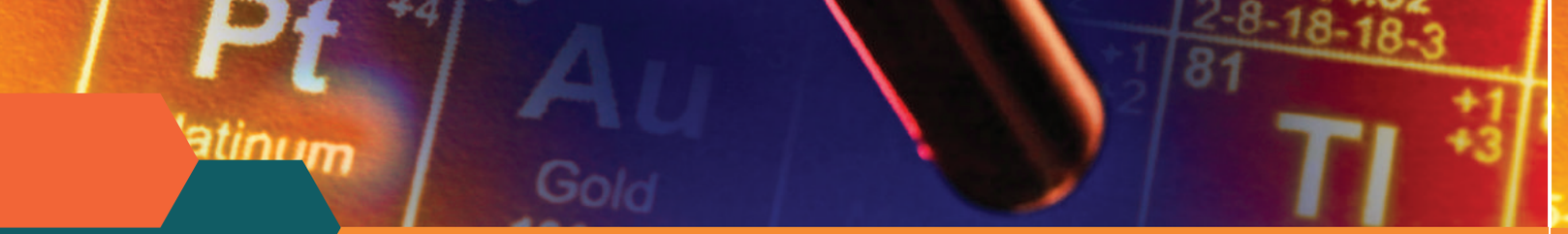
يعدّ كتاب الطّالب مصدرًا مثيرًا لاهتمام الطلّاب من ضمن سلسلة كتب العلوم لدولة قطر، فهو يستهدف جميع المعارف والمهارات الّتي يحتاجها الطلّاب للنّجاح في تنمية المهارات الحياتيّة وبعض المهارات في الموادّ الأخرى.

وبما أنّنا نهدف إلى أن يكون طلّابنا مميّزين، نودّ منهم أن يتّسموا بما يأتي:

- البراعة في العمل ضمن فريق.
- امتلاك الفضول العلميّ عن العالم من حولهم، والقدرة على البحث عن المعلومات وتوثيق مصادرها.
- القدرة على التّفكير بشكلٍ ناقدٍ وبنّاء.
- الثّقة بقدرتهم على اتّباع طريقة الاستقصاء العلميّ، عبر جمع البيانات وتحليلها، وكتابة التّقارير، وإنتاج الرّسوم البيانيّة، واستخلاص الاستنتاجات، ومناقشة مراجعات الزّملاء.
- الوضوح في تواصلهم مع الآخرين لعرض نتائجهم وأفكارهم.
- التّمرّس في التّفكير الإبداعيّ.
- التّمسّك باحترام المبادئ الأخلاقيّة والقيم الإنسانيّة.

يتجسّد في المنهج الجديد العديد من التّوجّهات مثل:

- تطوير المنهج لجميع المستويات الدّراسيّة بطريقة متكاملة، وذلك لتشكيل مجموعة شاملة من المفاهيم العلميّة الّتي تتوافق مع أعمار الطّلاب، والّتي تسهم في إظهار تقدّمهم بوضوح.
- مواءمة محتوى المصادر الدّراسيّة لتتوافق مع الإطار العامّ للمنهج الوطنيّ القطريّ بغية ضمان حصول الطّلّاب على المعارف والمهارات العلميّة وتطوير المواقف (وهو يُعرف بالكفايات) ما يجعل أداء الطّلاب يصل إلى الحدّ الأقصى.
- الانطلاق من نقطة محوريّة جديدة قوامها مهارات الاستقصاء العلميّ، ما أسّس للتّنوّع في الأنشطة والمشاريع في كتاب الطّالب.
- توزّع المعرفة والأفكار العلميّة المخصّصة لكلّ عام دراسيٍّ ضمن وحدات بطريقة متسلسلة مصمّمة لتحقيق التّنوّع والتّطوّر.
- تعدّد الدّروس في كلّ وحدة، بحيث يعالج كلّ درس موضوعًا جديدًا، منطلقًا ممّا تمّ اكتسابه في الدّروس السّابقة.
- إتاحة الفرصة للطّلّاب، في كلِّ درسٍ، للتّحقّق الذّاتيّ من معارفهم ولممارسة قدرتهم على حلّ المشكلات.



- احتواء كلّ وحدة على تقويم للدّرس وتقويم للوحدة، وهو ما يمكّن الطّلّاب والأهل والمدرّسين من تتبّع التّعلّم والأداء.

العلوم مجموعة من المعارف الّتي تشمل الحقائق والأشكال والنّظريّات والأفكار. ولكنَّ العالِم الجيّد يفهم أنّ «طريقة العمل» في العلوم أكثر أهمّيّة من المعرفة الّتي تحتويها.

سوف يساعد هذا الكتاب الطُّلّاب على تقدير جميع هذه الأبعاد واعتمادها ليصبحوا علماء ناجحين وليواجهوا مجموعة واسعة من التّحدّيات في حياتهم المهنيّة المستقبليّة.

مفتاح كفايات الإطار العام للمنهج التّعليمي الوطني لدولة قطر

- الاستقصاء والبحث
- التّعاون والمشاركة
- التّواصل
- التّفكير الإبداعيّ والناقد
- حلّ المشكلات
- الكفاية العددية
- الكفاية اللغويّة

الكيمياء

ماذا ستتعلّم من هذا الكتاب

عندما تنظر إلى الأشياء من حولك، يُحتمَل أن تشاهد أكثر من 1000 نوع من المواد المختلفة: مثل الحجارة، والخشب، والطلاء، والفولاذ، والجلد، والشعر، والمطّاط، والأسفلت، والماء... والقائمة تطول. تسعى بعض الأفكار القديمة في العلوم إلى توضيح هذا التنوُّع المُذهل للمواد. وقد تمكّن الفيلسوف أرسطو من تكوين الفكرة الصائبة عنها؛ وهي أن المادة تتكوّن من عناصر بسيطة بتراكيب مختلفة، مع أنّ تلك العناصر لم تكن بمتناول يده. وقد أصبحنا في الوقت الحاضر نعرف أن التنوُّع غير المحدود واللانهائي للمواد مكوّن من 92 عنصرًا مختلفًا تقريبًا. يشبه هذا التنوّع الهائل كمّ الكلمات التي يمكن أن نركّبها من الحروف الأبجدية المحدودة.

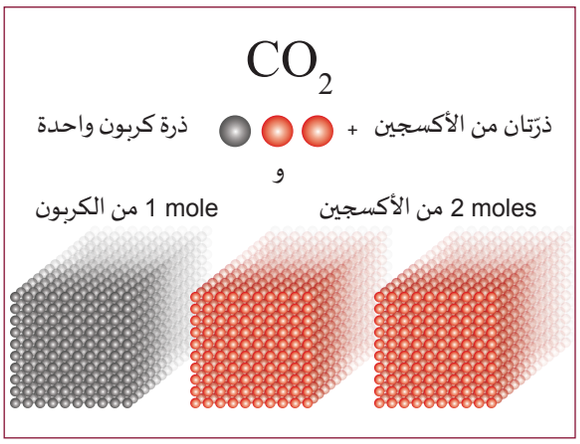
تبدأ الوحدة الأولى لهذا الفصل الدراسي بتطوُّر الجدول الدوري الحديث الذي نشره العالم الروسي مندليف عام 1869م، والذي يُنظّم العناصر في صفوف (دورات) استنادًا إلى الازدياد في أعدادها الذرّية، وفي أعمدة (مجموعات) استنادًا إلى خواصّها الكيميائية، مثل الآليّة التي تتّحد بها العناصر مع الأكسجين.

ونحن نعلم الآن أن تفسير السلوك الكيميائي يكمن في تنظيم الإلكترونات داخل الذرّات. فالهيدروجين، والليثيوم، والصوديوم، والبوتاسيوم، تتشابه في توزيعها الإلكتروني.

وتهتمّ الوحدة الثانية لهذا الفصل الدراسي بالتطبيق الكمّي للكيمياء، والذي يُسمّى الحسابات الكيميائية. وهي الآليّة التي نحصل بها على الخواص المجهرية للذرّات وصولًا إلى الكمّيات العينية بوحدات الجرام، واللتر، والمول. تبدأ هذه الوحدة بالكتل الذرّية للعناصر، ثمَّ تُطوّر مفهوم المعادلات الكيميائية الموزونة، لتختم بالمول، وحسابات الكمّيات من المعادلات الكيميائية الموزونة. كما تتناول هذه الوحدة كيفية حساب تركيز المحلول والطريقة العملية لتحضير المحاليل المختلفة.

1	2		13	
Li_2O	BeO		B_2O_3	
Na_2O	MgO		Al_2O_3	
K_2O	CaO		Ga_2O_3	

تتّحد عناصر H، و Li، و Na، و K جميعها مع الأكسجين بنسبة مقدارها 2:1 أما العناصر Be، و Mg، و Ca فتتّحد معه بنسبة 1:1.

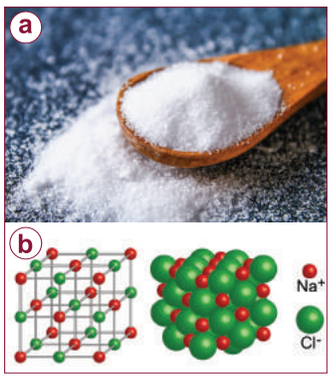


تُعبّر الصيغة الكيميائية عن أمرَين، هما: نسبة الذرّات بعضها إلى بعض، ونسبة مولات الذرّات بعضها إلى بعض.

بعض أقسام هذا الكتاب

الرّسوم التّوضيحيّة

مفاهيم مهمّة وبيانات وأمثلة على كل فكرة جديدة معروضة من خلال الإيضاحات المُفصَّلة والشروحات.



أسئلة للمناقشة

ابحث في الجدول الدوري عن العناصر المُدرجة في الجدول 9-2، وقارن بين معلومات الجدولَين.
ما كتلة الفضة (Ag) التي يجب أن تحتوي على 6.02 × 1023 من الذرّات؟

أسئلة المناقشة تزوّد طلّاب الصفّ بفرصة مناقشة المفاهيم والمعلومات.

شريط الأفكار المهمّة

درجة الحرارة القياسية تساوي 0°C (273 K)، والضغط القياسي يساوي 1 ضغط جوي، atm، (101.3 kPa).

تحديد النقاط الرّئيسة وتذكُّرها.

العلاقات والمعادلات

5-2	عدد مولات المادة		
$n = \frac{m}{M_m}$		n	عدد المولات
		m	الكتلة (g)
		M_m	الكتلة المولية للمادة (g/mol)

مُثِّلت علاقات الكمّيّات الفيزيائيّة من خلال المُتغيّرات ووحدات قياسها بشكل واضح.

الأمثلة

مثال 13

ما الصيغة الكيميائية لأكسيد البوتاسيوم؟

الحل:

K^{+} O^{2-} → K_2O

يكوّن البوتاسيوم أيون (K^+)، ويكوّن الأكسجين أيون (O^{2-})، وللحصول على مُركّب متعادل؛ يجب أن يكون هنالك ذرتا بوتاسيوم لكل ذرّة أكسجين، لذا، فالصيغة الكيميائية لأكسيد البوتاسيوم هي K_2O.

مثال 14

ما الصيغة الكيميائية لهيدروكسيد المغنيسيوم؟

الحل:

Mg^{2+} $(OH)^{-}$ → $Mg(OH)_2$

تُظهر الأمثلة جميع خطوات الحلّ والتفسير للحصول على حسابات صحيحة.

العلم والعلماء

إضاءة على عالِم

أميدو أفوجادرو Amedeo Avogadro: 1776-1856

وُلد لورنزو رومانو أميدو كارل أفوجادرو في مدينة تورين بمملكة سردينيا (والتي تُعدّ الآن جزءًا من إيطاليا) في 9 أغسطس 1776م. وهو يتحدّر من عائلة نبيلة، فقد كان والده الكونت فيليبو أفوجادرو، ووالدته آنا فيرسيلون. حصل أميدو أفوجادرو على درجة الدكتوراه في القانون عام 1796م وكان عمره 20 عامًا، وكان قد بدأ بممارسة المحاماة. إلا أنه ما لبث أن أصبح مولعًا بالعلوم. بدأ عام 1800م بتلقّي دروس خاصّة في الرياضيات والفيزياء والكيمياء؛ وفي العام 1809م، تخلّى عن ممارسة المحاماة، وبدأ بتدريس مواد العلوم والرياضيات للمرحلة الثانوية في إحدى مدارس مدينة تورين. وفي العام

تمّ تطوير معارفنا العلميّة على مدى أكثر من ثلاثة آلاف عام. تُطلعُنا هذه المقالات على إلهام الإنسان وتبصُّرِه في التعامُل مع العلم والتكنولوجيا.

الكيمياء

الأنشطة والمراجعة والتّقويم

الأنشطة

التدرُّب العملي من خلال المُختبر والمشاريع البحثيّة وسواهما من الأنشطة التي تُرسّخ معاني الأفكار الجديدة وتطوُّر العمل المخبري.

نشاط a2-2 الحسابات الكيميائية

سؤال الاستقصاء	هل يمكن توقّع كتلة مادة ناتجة عن تفاعُل كيميائي بإجراء الحسابات الكيميائية؟
المواد المطلوبة	محلول HCl تركيزه 1 M، ومحلول $NaHCO_3$ تركيزه 1 M، ميزان إلكتروني، ملعقة، موقد، حامل معدني حلقي، شبكة تسخين معدنية، طبق تبخير، طبق زجاجي شفّاف، نظّارة واقية.

مقدمة

سوف تنفّذ في هذا النشاط تفاعُلًا يحدث بين صودا الخبيز، $NaHCO_3$، وحمض الهيدروكلوريك، HCl. وقد وُضّح هذا التفاعُل في المعادلة الكيميائية غير الموزونة الآتية:

تقويم الدّرس

يتميّز كل درس بعرض يحتوي على الأسئلة التي تُغطّي جميع المفاهيم والمعلومات في هذا الدرس.

تقويم الدرس 2-3

1. أي من العبارات الآتية تصف معنى عدد أفوجادرو، N_A بالشكل الأفضل؟
   a. عدد الجرامات في وحدة كتلة ذرّية واحدة (amu)
   b. عدد الذرّات في جرام واحد من مادة ما.
   c. عدد الجُسيمات في مول واحد من أي شيء.
   d. عدد المولات في جرام واحد من المادة.
2. أيٌّ ممّا يأتي يُمثّل تعريف المولارية؟
   a. كتلة المادة المذابة لكل لتر من المذيب.
   b. كتلة المادة المذابة لكل لتر من المحلول.

مراجعة الوحدة

ملخّص قصير عند نهاية كل وحدة، وهو مرجع سريع للأفكار والمُصطلحات الرئيسية.

الوحدة 2

مراجعة الوحدة

الدرس 2-1: كتلة الذرّات والمُركّبات الكيميائية

- يحدد العدد الذرّي Atomic number, (Z) هوية العنصر. يُستخدَم العدد الكتلي Mass number, (A) لحساب الكتلة النظائرية Isotopic mass, لذرّات نظائر Isotopes مُحدّدة.
- تستند الكتلة النظائرية لذرّة ما إلى كتلة ذرّة C-12.
- تُحسب الكتلة الذرّية النسبية Relative atomic mass, (m) لعنصر ما من النسبة المئوية للوفرة والكتلة النظائرية لنظائر ذلك العنصر جميعها الموجودة بشكل طبيعي.
- تُحسب الكتلة الجُزيئية النسبية Relative molecular mass, (M_r) لمركّب تساهمي عن طريق جمع الكتل الذرّية

تقويم الوحدة

زوّدت كل وحدة بمجموعة من الأسئلة ذات الخيارات المتعدّدة كعيّنة تحضّر الطالب لاختبار نموذجي.

تقويم الوحدة

7. ما عدد المولات الموجودة في 16.0 g من الميثانول، CH_3OH، إذا علمت أن الكتلة المولية للميثانول، (M_m)، تساوي 32.0 g/mol؟
   a. 512 mol
   b. 1.00 mol
   c. 2.00 mol
   d. 0.500 mol

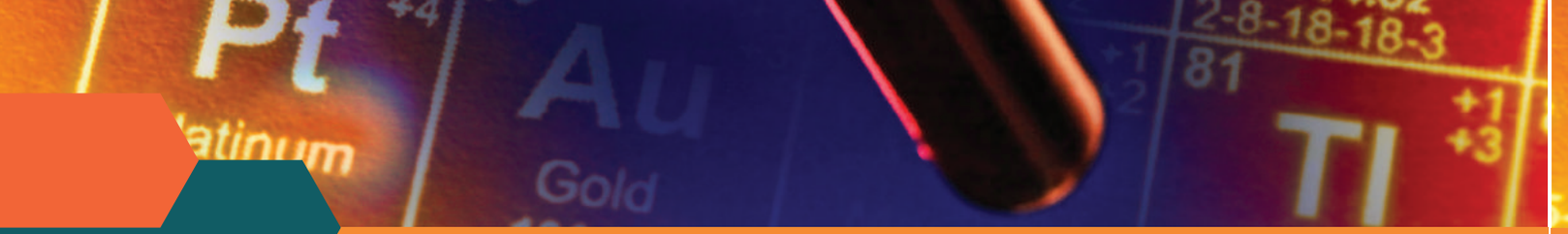
أسئلة الإجابة القصيرة

أسئلة الإجابة القصيرة وأسئلة الإجابة المطوّلة بُنيتا على مُستويات ثلاثة من الصعوبة في نهاية كل وحدة.

تقويم الوحدة

الدرس 2-1: كتلة الذرّات والمُركّبات الكيميائية

17. اكتب رمزين يمثّلان ذرّة تحتوي على 15 بروتونًا، و 18 نيوترونًا، و15 إلكترونًا.
18. احسب الكتلة الذرّية النسبية، (m_r)، لعنصر الإريديوم (Ir)، إذا علمت أن نظيرَيه اللذَين يوجدان بشكل طبيعي، هما Ir-191، وIr-193، وأنّ لهما نسبة مئوية للوفرة تساوي 37.3% و 62.7% على التوالي.
19. ما الكتلة الجُزيئية النسبية، (M_r)، لمركّب ثنائي إيثيل إيثر ($C_2H_5OC_2H_5$).



مخطّط المادّة

الوحدة 2 مفهوم المول والحسابات الكيميائية

تصف الكيمياء كيف تتّحد الذرّات معًا لتكوين المُركّبات، رُغم أن الذرّات مُتناهية في الصغر ويكاد يستحيل عدّها. وعوضًا عن حساب عدد الجُسيمات بشكل فردي، تحسب الكيمياء العملية الجُسيمات بوحدة المولات، إذ يحتوي المول الواحد على 6.02×10^{23} من الجُسيمات، وهذا مساوٍ لكتلة جرام واحد من الهيدروجين تقريبًا. نبدأ هذه الوحدة بمُعاينة كتلة الذرّات والمُركّبات، في حين يهتمّ الدرس الثاني بالمعادلات الكيميائية، وكيف تتمّ موازنتها، بما فيها المعادلات الأيونية النهائية. أما الدرس الثالث، فيبدأ بعدد أفوجادرو، ومفهوم المول. ليُصار بعد ذلك إلى تطوير طرائق الحسابات الكيميائية لحساب كمّيات المتفاعلات والنواتج الداخلة في التفاعُل الكيميائي، حيث نوقشت طرائق الحسابات لكل من المواد الصلبة، والسائلة، والغازيّة، والمحاليل، بما فيها مفهوم تركيز المحلول (المولارية، والنسبة المئوية بالكتلة)، إضافة إلى تحضير المحاليل البسيطة.

جدول المحتويات

الوحدة 2 مفهوم المول والحسابات الكيميائية 50

الدرس 1-1 كتلة الذرّات والمُركّبات الكيميائية 52

الدرس 1-2 المعادلات الكيميائية 65

الدرس 1-3 الحسابات الكيميائية 78

الوحدة 2

مفهوم المول والحسابات الكيميائية

The Mole Concept and Stoichiometry

في هذه الوحدة

C1001

الدرس 2-1: كتلة الذرّات والمُركّبات الكيميائية

الدرس 2-2: المعادلات الكيميائية

الدرس 2-3: الحسابات الكيميائية

الوحدة 2

مقدّمة الوحدة

يصف علم الكيمياء كيف تترابط الذرّات لتكوين المُركّبات، مع أنّ الذرّات أصغر بكثير من أن تُعدّ. وبدلاً من عدّ الجُسيمات بشكل منفرد، تقوم الكيمياء العملية بحساب عدد الجُسيمات في هيئة حُزم (سُمّيت المولات) بحيث يحتوي المول الواحد على 6.02×10^{23} جُسَيْم. وتكون كتلة مول واحد من ذرّات الهيدروجين مثلاً مساوية تقريبًا لكتلة جرام واحد من الهيدروجين، الذي يُعدّ العنصر الأخفّ بين العناصر جميعها.

يمثّل الدرس 2-1 مقدّمة لمفهوم الكتل النسبية للذرّات، وكيف تُستخدم هذه الكتل لحساب الكتلة الجزيئية النسبية وكتلة الصيغة النسبية الى جانب النسبة المئوية بالكتلة للعناصر المُكوّنة للمُركّبات.

وتتمّ في الدرس 2-2 دراسة موازنة المعادلات الكيميائية وكتابة المعادلات الأيونية النهائية.

ويناقش الدرس 2-3 عدد أفوجادرو، ومفهوم المول الذي سيُستخدم فيما بعد «لحساب» الأعداد الكبيرة من الجُسيمات عن طريق قياس الكتلة والحجم. ويوضّح أيضًا طرائق الحسابات الكيميائية المستخدمة لتوقُّع كمّيات المواد المُتفاعِلة والمواد الناتجة في التفاعُلات الكيميائية.

تُستخدم طرائق الحسابات الكيميائية لحساب كميات المواد الصلبة والسائلة والغازية والمحاليل، بما في ذلك تراكيز المحاليل (المولارية والنسبة المئوية بالكتلة). كما يبيّن هذا الدرس أخيرًا طريقة تحضير محاليل بسيطة.

الأنشطة والتجارب

2-2 موازنة المعادلات الكيميائية

a3-2 الحسابات الكيميائية

b3-2 تحضير المحاليل

الدرس 2-1

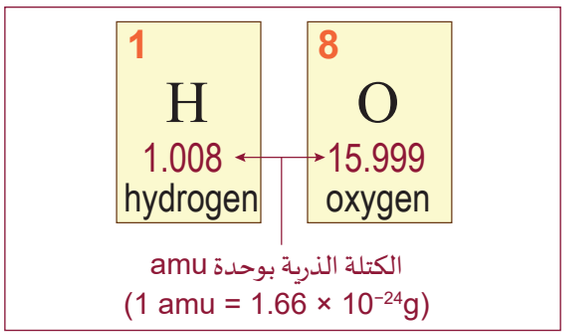
كتلة الذرّات والمُركّبات الكيميائية

The Mass of Atoms and Compounds

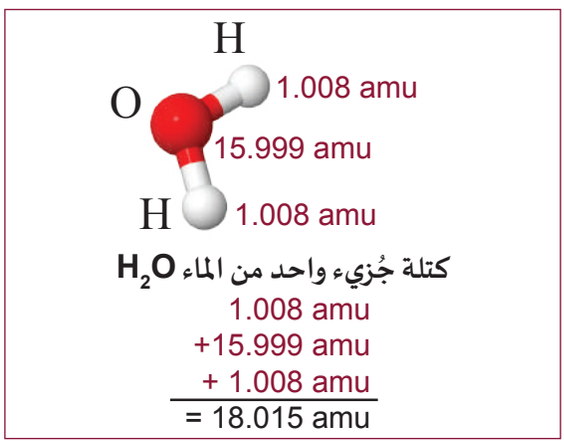
يهتم علم الكيمياء بشرح كيفية ترابُط الذرّات لتكوين المُركّبات. أبسط مثال على ذلك، هو كيفية ترابُط ذرّات الهيدروجين والأكسجين لتكوين جُزيئات الماء. إذ نلاحظ أنّ كل جزيء ماء يحتوي على ذرتي هيدروجين مقابل ذرة أكسجين واحدة. ولكننا خلال التطبيقات العملية لا يمكننا استخدام أعداد الذرات لتحضير المركبات المطلوبة بل نستخدم وحدات الكتلة للعناصر المكوّنة لهذه المركبات ليسهل التعامل معها.

وتمثّل كتلة كل عنصر من العناصر الواردة في الجدول الدوري كتلته الذرّية النسبية بوحدة الكتلة الذرّية (amu) كما يبيّن **الشكل 2-1**. حيث أنّ كل وحدة كتلة ذرّية (amu) تساوي 1.66×10^{-24} g أي أقلّ بقليل من كتلة ذرّة هيدروجين واحدة.

عندما ترتبط ذرّتا هيدروجين بذرّة أكسجين لتكوين جُزيء الماء، فإن الكتل الذرّية تُجمع معًا، كما يبيّن **الشكل 2-2**، لنحصل على كتلة جُزيء واحد من الماء.



الشكل 2-1 الكتلة الذرّية لكل من عُنصرَي الهيدروجين والأكسجين بوحدة amu.



الشكل 2-2 كتلة جُزيء واحد من الماء (H_2O) بوحدة amu.

مخرجات التّعلُّم

C1001.2 يعرّف المقصود بالمصطلحات: الكتلة الذرّية النسبية، m_r، والكتلة الجُزيئية النسبية، M_r، ويحسب الكتلة الجُزيئية النسبية وكتلة الصيغة النسبية كمجموع الكتل الذرّية النسبية. ويحسب النسبة المئوية لكتلة عنصر ما في المركّب باستخدام البيانات المناسبة.

C1001.3 يعرّف المقصود بمصطلح الكتلة النظائرية النسبية على أساس مقياس الكربون (^{12}C)، ويحسب الكتلة الذرّية النسبية لعنصر معين باستخدام الوفرة النسبية لنظائر العنصر.

المفردات

العدد الذرّي (Z)	Atomic number (Z)
وحدة الكتلة الذرّية (amu)	Atomic mass unit (amu)
العدد الكتلي (A)	Mass number (A)
النظائر	Isotopes
الكتلة النظائرية (I)	Isotopic mass (I)
الكتلة الذرّية النسبية (m_r)	Relative atomic mass (m_r)
الكتلة الجُزيئية النسبية (M_r)	Relative molecular mass (M_r)
كتلة الصيغة النسبية(M_r)	Relative formula mass (Mr)

كتلة الجُزيئات

ما المعلومات التي يمكننا الحصول عليها من الصيغة الكيميائية؟

كيف نستخدم الكتلة المُدرجة في الجدول الدوري للعناصر؟

تستخدم الحسابات الكيميائية، التي تُركّز عليها هذه الوحدة، الكتل المعلومة للذرّات؛ وذلك لتحديد كمّيات المُركّبات. وتتمثّل أفضل طريقة لتصوُّر العلاقة بين الصيغة الكيميائية والكتلة في بناء نماذج للجُزيئات المختلفة، فيسهل علينا معرفة عدد ونوع الذرات في الجزيء ثم يمكننا الإستعانة **بالجدول 2-1** لتحديد كتل الذرات المعطاة بوحدة (amu).

الجدول 2-1 مفتاح ألوان الذرّات في النموذج الجزيئي والكتل الذرّية النسبية للعناصر.

لون النموذج	العنصر	الكتلة الذرية النسبية (amu)
أسود	كربون	12.011
أحمر	أكسجين	15.999
أبيض	هيدروجين	1.008
أخضر	كلور	35.453
أزرق	نيتروجين	14.007
أصفر	كبريت	32.065
برتقالي	فوسفور	30.974
بنفسجي	صوديوم	22.990

نشاط

1. اعمل في مجموعة ثنائية من أجل بناء نماذج لكل جُزيء من الجُزيئات المُدرجة في الجدول 2-2.
2. استخدم جدول البيانات 2-2 لتسجيل نوع كل ذرّة وعددها في كل جزيء.
3. استخدم البيانات المُسجّلة في الجدول 2-1 لحساب الكتلة الجُزيئية النسبية لكل جُزيء.

الجدول 2-2 الجُزيئات المطلوب بناء نماذج لها.

الصيغة الكيميائية للجزيء	عدد الذرّات					الكتلة الجزيئية النسبية (amu)
	C	H	O	N	S	
CH_4						
NH_3						
NH_4OH						
CH_3CH_2OH						
H_2S						

لاحظ توفُّر طرائق عديدة ومختلفة لبناء بعض نماذج الجُزيئات، وتعد الطريقة التي تُكتب بها الصيغة الكيميائية تلميحًا لكيفية ترابط الذرّات معًا. كأن تعني الصيغة CH_3CH_2 أن مجموعة CH_3 مرتبطة بمجموعة CH_2، ارتباطًا مُباشرًا، أي أن ذرّتَي الكربون تربط بينهما رابطة تساهُمية أحادية.

يستخدم العلماء الذين يقومون ببناء النماذج الجُزيئية كرات خضراء اللون لتمثيل كل من الفلور والكلور. وضّح لماذا يُعدّ ذلك اختيارًا منطقيًا؟

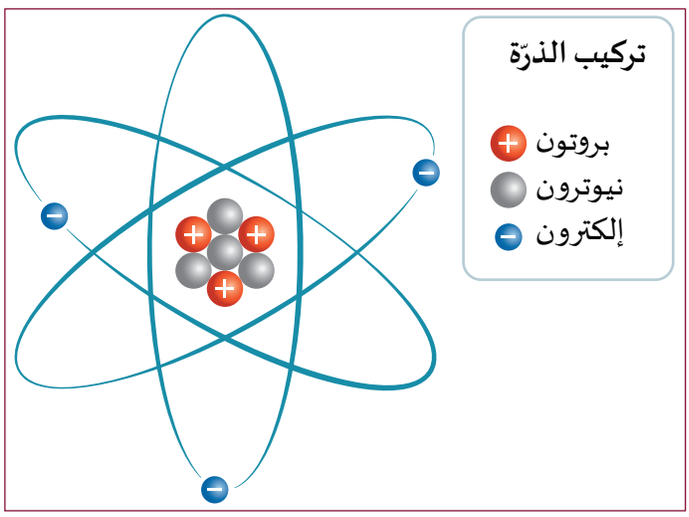
ما العناصر التي يمكن أن يمثّلها الجسم الكروي البنفسجي، بالإضافة إلى الصوديوم؟

الذرّات

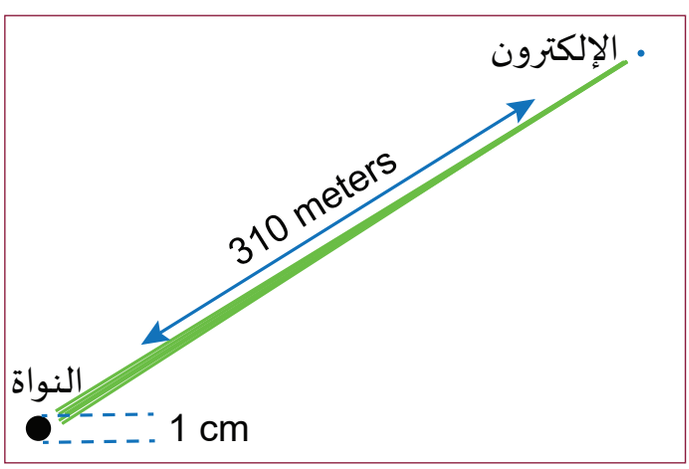
تذكّر بأنَّ الذرّات هي وحدات البناء الأساسية للمادة، فهي الجُسيمات الأصغر التي تُحدّد هوية العنصر. وتذكَّر أيضًا أن العنصر هو المادة التي لا يمكن أن تتفكّك إلى مادة أخرى أبسط منها بواسطة أيّ تغيّر كيميائي. ومعلوم أنّ الذرّات تتكوّن من ثلاثة جُسَيْمات أساسية، هي: البروتونات، والنيوترونات، والإلكترونات.

وفي حين أنّ البروتونات والنيوترونات تقع داخل نواة الذرّة المتناهية في الصغر، والتي تمثّل معظم كتلة الذرّة، تقع الإلكترونات على مسافة كبيرة نسبيًا من النواة، بل كبيرة جدًا إلى درجة يبدو عندها أن معظم حجم الذرّة فراغ. يبيّن **الشكل 2-3** أحد النماذج المُستخدمة لتمثيل الذرّات، غير أنّ المسافة بين النواة والإلكترونات أكبر نسبيًا بكثير مما يُظهره النموذج. يبيّن أحد التقديرات لذرّة الهيدروجين مثلاً أنَّ نصف قطر النواة يبلغ 0.84 pm (والبيكوميتر (pm) وحدة قياس للأطوال الصغيرة جدًا ($1\ pm = 10^{-12}\ m$))، ونصف قطر الذرّة فيبلغ 52.9 pm؛ فإذا تم بناء نموذج لهذه الذرّة ليكون قطر النواة يساوي 0.01 m (1 cm)، فإنَّ متوسّط المسافة ما بين النواة والإلكترون سيبلغ 310 m! وسيكون مابينهما حيّز فارغ (**الشكل 2-4**).

يحتوي **الجدول 2-3** على بعض الخصائص المميّزة للجُسَيْمات الذرّية المكوّنة للذرّات.



الشكل 2-3 نموذج الذرّة.



الشكل 2-4 تفصل بين النواة والإلكترونات المكوّنة للذرّات مسافة كبيرة جدًّا.

الجدول 2-3 كتلة وشحنة الجُسيمات الذرّية المُكوّنة للذرّات.

الجُسَيْم الذرّي	الكتلة (g)	الشحنة (coulomb)
البروتون	1.6726×10^{-24}	$+1.602 \times 10^{-19}$
النيوترون	1.6726×10^{-24}	0
الإلكترون	9.1094×10^{-28}	-1.602×10^{-19}

العدد الذرّي (Z) والعدد الكتلي (A)

يحتوي كل عنصر محدّد على نوع مميّز من الذرّات وفقًا لعدد البروتونات في أنويتها. فعنصر الكربون مثلًا، تمتلك جميع ذرّاته عدد البروتونات نفسه، ويُطلق على عدد البروتونات في نواة ذرّة العنصر اسم **العدد الذرّي (Z) Atomic number**.

أمّا **العدد الكتلي (A) Mass number** فيمثِّل مجموع أعداد البروتونات والنيوترونات في نواة كل عنصر. وهنا لا بدّ لنا من التذكير بالنقطتين الآتيتين:

- لذرات العنصر الواحد نفس العدد الذري لأن لها نفس عدد البروتونات.
- قد يكون لذرّات العنصر نفسه عدد كتلي مختلف، لأنّها قد تحتوي على عدد نيوترونات مختلف.

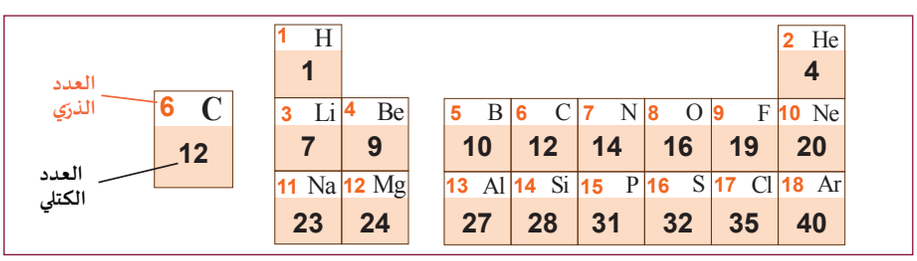
العدد الذرّي، Z، هو عدد البروتونات في أنوية ذرّات عنصر محدّد.

العدد الكتلي، A، هو عدد البروتونات + عدد النيوترونات في نواة ذرّة العنصر.

تربط **العلاقة 2-1** بين عدد البروتونات (العدد الذري Z) وعدد النيوترونات والعدد الكتلي (A)، علمًا أن في الذرّة المتعادلة يكون عدد الإلكترونات فيها مُساويًا لعدد البروتونات.

2-1	العدد الكتلي	A	العدد الكتلي
$A = Z + N$		Z	العدد الذرّي (عدد البروتونات)
		N	عدد النيوترونات

يبيّن **الشكل 2-5** جزءًا من الجدول الدوري يتضمّن العدد الذرّي والعدد الكتلي لبعض العناصر.



الشكل 2-5 جزء من الجدول الدوري يبيّن العدد الذري والعدد الكتلي للنظير الأكثر شيوعًا لبعض العناصر المستقرّة (غير المشعّة).

مثال 1

استخدم الشكل 2-5 لتحدد عدد البروتونات والإلكترونات والنيوترونات في ذرة الأكسجين (O).

الحلّ:

من الشكل 2-5 يمكن تحديد العدد الذري والعدد الكتلي لعنصر الأكسجين. العدد الذري لذرة الأكسجين يساوي 8، لذلك تحتوي نواة ذرة هذا العنصر على 8 بروتونات. وبما أن الذرة متعادلة الشحنة لذلك عدد البروتونات مساو لعدد الإلكترونات (8 إلكترونات) نستخدم المعادلة 2-1 لحساب عدد النيوترونات:

$A = Z + N$

$16 = 8 + N$

$N = 16 - 8 = 8$ عدد النيوترونات في نواة ذرة الأكسجين هو 8 نيوترونات.

النظائر والكتلة النظائرية

تسمّى ذرّات العنصر نفسه التي تحتوي على أعداد مختلفة من النيوترونات **النظائر Isotopes**. فعلى سبيل المثال، للكربون نظيران في الطبيعة مُستقرّان (غير مُشعَّين): يبلغ العدد الذرّي للنظير الأوّل (Z = 6) ويبلغ عدده الكتلي (A = 12). أما النظير الثاني فيبلغ عدده الذرّي (Z = 6) وعدده الكتلي (A = 13). يُكتب هذان النظيران عادة بطريقتَين (كما في **الشكل 6-2** (a) ، (b)). أما النظير الثالث للكربون C-14 فيوجد في الطبيعة أيضًا، ولكنه غير مُستقرّ (مُشعّ).

رمز العنصر	C–12	(a)
العدد الكتلي	C–13	
العدد الذرّي	$^{12}_{6}C$ $^{13}_{6}C$	(b)

الشكل 6-2 طريقتان لكتابة رموز النظائر.

النظائر هي ذرّات للعنصر الواحد لها العدد الذرّي نفسه ولكنها تمتلك أعداداً مختلفة من النيوترونات وبالتالي تختلف في أعدادها الكتلية.

تتميّز كتلة الذرّات بأنّها متناهية في الصغر، فكتلة ذرّة الكربون-12 مثلًا تساوي 1.9932×10^{-23} g. ولكي يكون التعامُل مع الكتل الذرّية أكثر سهولة، نستخدم ما يسمّى **وحدة الكتلة الذرّية Atomic mass unit (amu)**. فكتلة وحدة كتلة ذرّية واحدة تساوي 1.66×10^{-24} g، وهي تساوي $\frac{1}{12}$ من كتلة ذرّة كربون-12 واحدة والتي اعتمدها العلماء كمقياس لحساب كتل الذرات الأخرى. أما **الكتلة النظائرية Isotopic mass (I)** فهي كتلة ذرة واحدة مفردة للنظير الأكثر وفرة مقاسة بوحدة الكتلة الذرّية (amu).

وإذا أردتَ مثلًا تحديد الكتلة النظائرية للكربون-12، خذ كتلة C-12 التي تساوي (1.9932×10^{-23} g)، ثم اقسمها على قيمة 1 amu بوحدة الجرام.

$$I = \frac{1.9932 \times 10^{-23}\ g}{1}\left(\frac{1\ amu}{1.66 \times 10^{-24}\ g}\right) = 12.000\ amu$$

لاحظ الحقيقتَين المهمتَين الآتيتَين:

1. أنّ الكتلة النظائرية تعتمد على النظير المحدَّد.
2. أنّ الكتلة النظائرية بوحدة amu تساوي تقريبًا العدد الكتلي للنظير.

وهكذا، فإن 1 amu تساوي تماما $\frac{1}{12}$ من كتلة نظير الكربون-12. وبيَّنت التجارب العلمية أن لذرة الهيدروجين-1 كتلةً ذريّةً تساوي تقريبًا $\frac{1}{12}$ من كتلة ذرة كربون-12 أو 1 amu.

أما القيمة الدقيقة لكتلة ذرة الهيدروجين -1 فتساوي 1.007825 amu. كما أنَّ كتلة ذرة الأكسجين-16 تساوي تقريبًا $\frac{16}{12}$ من كتلة ذرة الكربون-12، أي إنَّ كتلتها الذرية تساوي 16 amu تقريبًا . وتبيَّن القياسات الدقيقة أن كتلة ذرة الأكسجين -16 تساوي 15.994915 amu.

ابحث سبب إعتماد ذرة الكربون-12 من قبل العلماء كمقياس لوحدة الكتلة الذرية.

لماذا القيمة الدقيقة لكتلة الأكسجين-16 ليست 16 amu بالضبط؟

مثال 2

حدّد الكتلة النظائرية التقريبية للنيتروجين-15 بوحدة amu، وبوحدة g.

الحلّ:

يبلغ العدد الكتلي لنظير النيتروجين هذا A = 15، لذلك فإن كتلته النظائريّة تساوي 15 amu تقريبًا.

$$\text{الكتلة النظائرية (g)} = \frac{15\ \text{amu}}{1}\left(\frac{1.66 \times 10^{-24}\ \text{g}}{1\ \text{amu}}\right) = \boxed{2.491 \times 10^{-23}\ \text{g}}$$

مثال 3

حدّد عدد البروتونات والنيوترونات والإلكترونات في ذرّات كل من:

a. $^{60}_{29}Cu$ **b.** Au-198

الحلّ:

a. نستنتج من الرمز $^{60}_{29}Cu$ أنّ العدد الذري Z = 29 والعدد الكتلي A = 60.

عدد البروتونات = العدد الذري= 29 وبما أن الذرة متعادلة فإنّ عدد الإلكترونات= عدد البروتونات = 29.

نستخدم العلاقة 2-1 لتحديد عدد البروتونات: A = N + Z.

N = A – Z = 60 – 29 = 31

يمتلك هذا النظير 29 بروتونًا و 29 إلكترونًا و 31 نيوترونًا.

b. Au-198 يبلغ العدد الكتلي لذرّة عنصر الذهب هو A = 198 نستخدم الجدول الدوري لنجد أن العدد الذري لعنصر الذهب هو Z = 79. عدد البروتونات = العدد الذري= 79 وبما أن الذرة متعادلة فإنّ عدد الإلكترونات = عدد البروتونات= 79 إلكترونًا. نستخدم العلاقة 2-1 لتحديد عدد النيوترونات: N = A – Z = 198 – 79 = 119

يمتلك هذا النظير 79 بروتونًا و 79 إلكترونًا و 119 نيوترونًا.

مثال 4

احسب الكتلة النظائرية (I)، للحديد-56، (Fe-56)، إذا علمت أن كتلة ذرته تساوي 9.288×10^{-23}g.

الحلّ:

لحساب الكتلة النظائرية للحديد يجب إجراء عملية قسمة كتلة ذرّة الحديد-56 (Fe-56) على 1.66×10^{-24} g/amu.

$$I = \frac{9.288 \times 10^{-23}\ \cancel{g}}{1}\left(\frac{1\ \text{amu}}{1.66 \times 10^{-24}\ \cancel{g}}\right) = \boxed{55.92\ \text{amu}}$$

الكتلة النظائرية تساوي 56 amu تقريبًا.

مثال 5

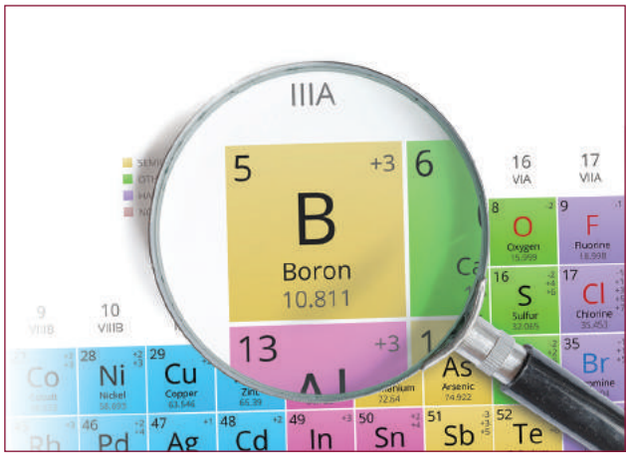
الكتلة النظائرية لذرّة نظير ما تساوي 28 amu. والشحنة النووية لهذه الذرة تساوي 14+. حدّد هذا النظير.

الحلّ:

تدلّنا الكتلة النظائرية على أن العدد الكتلي لهذا النظير يبلغ A = 28. أما الشحنة النووية فتدلّنا على أنّ عدد البروتونات في نواة ذرّة النظير يبلغ 14، وبالتالي يبلغ العدد الذري لهذا النظير 14. هذا النظير هو السليكون Si-28.

الكتلة الذرّية النسبية، (m_r)، للعنصر

لا تكون قيَم الكتل الذرّية للعناصر الواردة في الجدول الدوري أعدادًا صحيحة في الغالب، لأن العناصر الموجودة بشكل طبيعي تكون في هيئة خليط من نظائر مختلفة. تُعرف **الكتلة الذرّية النسبية (m_r) Relative atomic mass** بأنّها متوسّط كتلة النظائر الموجودة في الطبيعة مع مراعاة الوفرة الطبيعية لكل نظير، كما تبيّنه **العلاقة 2-2**. ومن الأمثلة على ذلك أنّ قيمة الكتلة الذرّية المُدرجة في الجدول الدوري لعنصر البورون، B. (**الشكل 2-7**) تساوي 10.811 amu، في حين أنّ عنصر البورون يوجد في هيئة خليط مكوّن من 19.8% من بورون-10، و 80.2% بورون-11.



الشكل 2-7 الكتلة الذرّية النسبية.

وبالتالي: الكتلة الذرية النسبية = $\frac{\text{الوفرة النسبية 1} \times \text{الكتلة النظائرية 1} + \text{الوفرة النسبية 2} \times \text{الكتلة النظائرية 2} \ldots}{100}$

2-2	الكتلة الذرّية النسبية		
$m_r = \frac{\%_1 I_1 + \%_2 I_2 + \%_3 I_3 + \ldots}{100}$		m_r	الكتلة الذرّية النسبية (amu)
		$\%_A$	الوفرة النسبية للنظير (A) طبيعيًا
		I_A	الكتلة النظائرية (amu)

تُمثّل النسبة الظاهرة في العلاقة 2-2 الوفرة النسبية للنظير الذي يمتلك الكتلة الذرّية(A) . وغالبًا ما تكون هذه الوفرة النسبية رقمًا يتراوح ما بين الصفر والمئة. ومثال ذلك أنّ الوفرة النسبية للنظير الذي يمثّله البورون-10 تساوي (19.8%) أما الوفرة النسبية للنظير الذي يمثّله البورون-11 فتساوي (80.2%). وتساوي الكتلة الذرّية مُتوسّط كتلة كل نظير مضروبًا في نسبة وفرته في الطبيعة . وغالبًا ما تكون قيمة الكتلة الذرّية قريبة من كتلة النظير الأكثر وفرة في الطبيعة.

الكتلة الذرّية النسبية، (m_r)، هي متوسّط الكتلة لنظائر عنصر موجودة في الطبيعة.

يُستخدم في المختبرات جهاز مطياف الكتلة لتحديد الكتلة الذرّية للنظائر. فهو يُحدّد كتلة كل نظير ووفرته الطبيعية النسبية، مثل تلك المعلومات المتعلّقة بعنصر البورون الواردة في **الجدول 2-4**.

الجدول 2-4 نظائر البورون (B) الموجودة في الطبيعة.

النظير الموجود بشكل طبيعي	الكتلة النظائرية، I (amu)	الوفرة النسبية (%)
B-10	10.01	19.80
B-11	11.01	80.20

و بالتالي لحساب الكتلة الذرّية (m_r) لعنصر البورون نطبق العلاقة 2-2:

$$m_r = \frac{(10.01\ \text{amu})(19.80) + (11.01\ \text{amu})(80.20)}{100} = 10.811\ \text{amu}$$

ملاحظة: عندما يكون للعنصر أربعة نظائر موجودة بشكل طبيعي، فسوف يكون هناك أربعة نواتج جمع عند إجراء الحسابات.

مثال 6

للأرجون، Ar، ثلاثة نظائر موجودة بشكل طبيعي، مُبيّنة في الجدول المقابل:

a. احسب الكتلة الذرّية النسبية (m_r)، للأرجون (Ar).

b. استنادًا إلى قيَم الوفرة النسبية، هل تبدو لك القيمة المحسوبة منطقية؟ وضّح إجابتك.

النظير	الكتلة النظائرية، I	الوفرة النسبية (%)
Ar-36	35.97 amu	0.34
Ar-38	37.96 amu	0.06
Ar-40	39.96 amu	99.6

الحلّ:

a. بما أنّ هناك ثلاثة نظائر موجودة بشكل طبيعي للأرجون، فسوف يكون هناك ثلاثة نواتج لعمليات الجمع عند إجراء الحسابات:

$$m_r = \frac{(35.97)(0.34) + (37.96)(0.06) + (39.96)(99.6)}{100} = \boxed{39.95\ \text{amu}}$$

b. القيمة المحسوبة، 39.95 amu، للكتلة الذرّية للأرجون منطقية، لأنّ النظير الأكثر وفرة (99.6%) لعنصر الأرجون هو النظير Ar-40، والذي يمتلك كتلة نظائرية تساوي 39.96 amu. بالإضافة إلى أنّ المتوقّع أن تكون قيمة الكتلة الذرية للأرجون أقلّ بشكل ضئيل من الكتلة النظائرية للنظير Ar-40، لأن النظيرين الآخرين الموجودَيْن بشكل طبيعي للأرجون لهما كتلة نظائرية أقلّ من تلك التي يمتلكها النظير Ar-40.

مثال 7

إذا علمتَ أنّ قوة إطارات المغنيسيوم (**الشكل 2-8**) تساوي قوّة إطارات الألومنيوم، إلا أنها أخفّ بمقدار 5.1 مرّات منها، وأنّ المغنيسيوم يوجد في هيئة خليط مكوّن من ثلاثة نظائر موجودة بشكل طبيعي، هي: Mg-24، و Mg-25، و Mg-26.

الشكل 2-8 إطار معدني لإطارات السيارات مصنعة من المغنيسيوم.

احسب الكتلة الذرّية النسبية (m_r)، للمغنيسيوم، علمًا أن نسبة وفرة كل نظير مبيّنة في الجدول الآتي.

النظير	الكتلة النظائرية، I	الوفرة النسبية (%)
Mg-24	23.99 amu	78.9
Mg-25	24.99 amu	10.0
Mg-28	25.98 amu	11.1

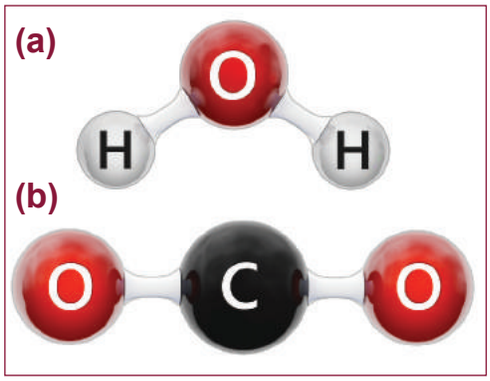
الحلّ:

$$m_r = \frac{(78.9)(23.99\ \text{amu}) + (10.0)(24.99\ \text{amu}) + (11.1)(25.98\ \text{amu})}{100} = \boxed{24.31\ \text{amu}}$$

إذا علمتَ أنّ للكلور، Cℓ، نظيرَين موجودَين بشكل طبيعي، هما: Cℓ-35، و Cℓ-37، ويمتلك عنصر الكلور كتلة ذرّية نسبية تساوي 35.45 amu، فأيٌّ من النظيرَين يوجد بأكبر نسبة وفرة مئوية؟ وضّح ذلك من حيث الكتل النظائرية (I) للكلور.

الكتلة الجُزيئية النسبية، M_r

يتكوّن الجزيء من مجموعة ذرّات مُرتبطة معًا بروابط تساهمية. وتتأثّر خصائص المواد الجُزيئية، كدرجة الانصهار، ودرجة الغليان، والكثافة، بكتلة الجُزيئات. حتى وإن كان هناك جُزيئان مختلفان لهما العدد نفسه من الذرّات، مثل الماء (H_2O) وثاني أكسيد الكربون (CO_2) الموضّحَين في **الشكل 2-9**، فسوف يكون لهما كتلتان مختلفتان.



الشكل 2-9 الماء (a)، وثاني أكسيد الكربون (b) كل منهما يمتلك ثلاث ذرّات.

الكتلة الجزيئية النسبية Relative molecular mass, M_r، هي الكتلة الكلّية للذرّات جميعها التي تكون مرتبطة معًا في الجُزيء (**المعادلة 2-3**). أي:

الكتلة الجزيئية النسبية = عدد ذرات العنصر 1 × كتلته الذرية النسبية + عدد ذرات العنصر 2 × كتلته الذرية النسبية

تبين العلاقة 2-3 كيفية حساب الكتلة الجزيئية النسبية.

2-3	الكتلة الجُزيئية النسبية		
	$M_r = n_1m_1 + n_2m_2 + n_3m_3 + \ldots$	M_r	الكتلة الجُزيئية النسبية (amu)
		n	عدد الذرّات (الأرقام التي تمثل عدد الذرات أسفل رمز كل عنصر في الصيغة الكيميائية)
		m	الكتلة الذرّية النسبية للذرّة (amu)

مثال 8

احسب الكتلة الجُزيئية لغاز ثاني أكسيد الكربون، CO_2.

الحلّ:

1. باستخدام الجدول الدوري، جد الكتلة الذرية النسبية لكل عنصر في الصيغة الكيميائية CO_2، فغاز ثاني أكسيد الكربون يحتوي على الكربون، (m_C = 12.01 amu)، والأكسجين، (m_O = 15.999 amu).

1
C: $m_C = 12.011$ amu
O: $m_O = 15.999$ amu

2. حدِّد عدد كل نوع من الذرّات الواردة في الصيغة الكيميائية، فثاني أكسيد الكربون يحتوي على ذرّتَي أكسجين، وذرّة كربون واحدة.

2
ذرّة كربون واحدة
↓
CO_2
↑
ذرّتا أكسجين

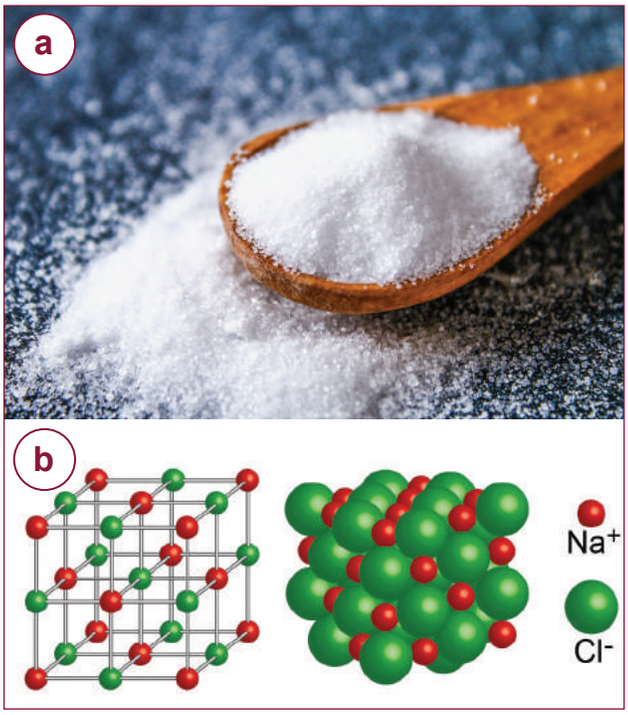
3. اضرب عدد ذرّات كلّ عنصر في كتلته الذرّيةالنسبية، عندئذ ستكون الكتلة الجُزيئية للجزيء تساوي مجموع ما يساهم به كل عنصر.

3
$$\begin{aligned}&(1)(12.011\text{ amu})\\ &+(2)(15.999\text{ amu})\\ \hline &=40.021\text{ amu}\end{aligned}$$

الكتلة الجُزيئية لمُركّب ثاني أكسيد الكربون تساوي 40.021 amu.

كتلة الصيغةالنسبية (M_r)

ليس هناك ما يُسمّى الكتلة الجُزيئية لكلوريد الصوديوم NaCℓ (ملح الطعام) (**الشكل 2-10a**) لأن ملح الطعام، NaCℓ، ليس جُزيئيًا (ليس مركباً تساهمياً). تذكّر أنّ ارتباط الفلزّات، مثل الصوديوم (Na)، باللافلزّات، مثل الكلور (Cℓ)، يكوّن روابط أيونية، فالمركّبات الأيونية، لا تكوّن جُزيئات، بل تكوّن شبكة بلّورية من الأيونات (**الشكل 2-10b**)، بحيث تُظهر الصيغة الكيميائية للمركّبات الأيونية أبسط نسبة للأيونات في المركّب الأيوني. لذلك يمكن استخدام الصيغة الكيميائية للمركّبات الأيونية، مثلها في ذلك مثل الصيَغ الكيميائية للمركّبات الجُزيئية، لتحديد الكتلة. ويُشار إلى كتلة المُركّبات الأيونية على أنها **كتلة الصيغة النسبية Relative Formula mass, (M_r)**، عوضًا عن الكتلة الجُزيئية، حيث تُحسب بالطريقة نفسها التي تُحسب بها الكتلة الجُزيئية وتعطى الرمز نفسه (M_r)



الشكل 2-10 (a) ملح الطعام، NaCℓ، و (b) تركيبه البلّوري الأيوني.

مثال 9

صودا الخبيز هي مُركّب كربونات الصوديوم الهيدروجينية (بيكربونات الصوديوم)، $NaHCO_3$. احسب كتلة الصيغة النسبية، (M_r)، لها.

الحلّ:

1. باستخدام الجدول الدوري، جد الكتلة الذرية النسبية لكل عنصر في الصيغة الكيميائية $NaHCO_3$.

1
Na: $m_{Na} = 22.990$ amu
H: $m_H = 1.008$ amu
C: $m_C = 12.011$ amu
O: $m_O = 15.999$ amu

2. حدّد عدد ذرّات كل عنصر من الصيغة الكيميائية. فمركب كربونات الصوديوم الهيدروجينية يحتوي على ذرة واحدة من كل من العناصر الصوديوم والهيدروجين والكربون كما يحتوي على ثلاثة ذرات أكسجين.

2
Na, H, C ذرّة واحدة لكل من
↓ ↓ ↓
$NaHCO_3$
↑
ثلاث ذرّات أكسجين

3. اضرب عدد الذرّات أو الأيونات في كتلها الذرّية، ثم اجمع كتل العناصر الكلّية.

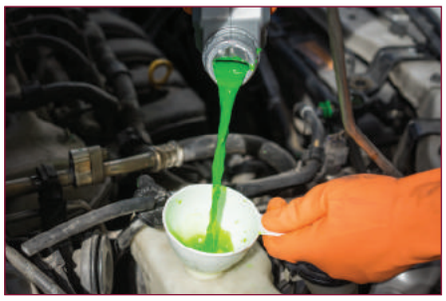
3
$$\begin{aligned} &(1)(22.990 \text{ amu}) \\ +\ &(1)(1.008 \text{ amu}) \\ +\ &(1)(12.011 \text{ amu}) \\ +\ &(3)(15.999 \text{ amu}) \\ \hline &= 84.006 \text{ amu} \end{aligned}$$

تبلغ كتلة الصيغة النسبية لمُركّب كربونات الصوديوم الهيدروجينية:

84.006 amu

مثال 10

الإيثيلين جلايكول سائل زيتي صافٍ عديم اللون، يُستخدم كسائل تبريد في السيارات. أما اللون الأخضر لهذا السائل المُبرِّد فناتج عن إضافة صبغة. (**الشكل 2-11**). احسب الكتلة الجُزيئية لمُركّب الإيثيلين جلايكول، $C_2H_4(OH)_2$.



الشكل 2-11 سائل تبريد الإيثيلين جلايكول.

الحلّ:

1. أوجد الكتلة الذرّية النسبية لكل عنصر في الصيغة الكيميائية مستخدمًا الجدول الدوري.

1
C: $m_C = 12.011$ amu
H: $m_H = 1.008$ amu
O: $m_O = 15.999$ amu

2. أوجد عدد ذرّات كل عنصر في الصيغة الكيميائية. يُشير الرمز "$(OH)_2$" في هذا المثال إلى وجود مجموعتَين من "OH"، لذلك يُمثّل هذا الرمز ذرّتَيْ أكسجين، وذرّتَيْ هيدروجين. هناك أيضًا أربع ذرّات هيدروجين إضافية، ما يجعل العدد الكلّي لذرّات الهيدروجين يساوي 6. وهناك ذرّتا كربون.

2
2C 4H
$C_2H_4(OH)_2$
OH + OH

3. اضرب عدد الذرّات في كتلها الذرّية، ثم اجمع كتل العناصر الكلّية.

3
$$\begin{aligned} &(2)(12.011\text{ amu}) \\ +\ &(6)(1.008\text{ amu}) \\ +\ &(2)(15.999\text{ amu}) \\ \hline &= 62.068\text{ amu} \end{aligned}$$

تبلغ الكتلة الجُزيئية لمُركّب الإيثيلين جلايكول $\boxed{62.068\text{ amu}}$.

مثال 11

احسب كتلة الصيغة النسبية لمُركّب كبريتات الكروم (III)، $Cr_2(SO_4)_3$.

الحلّ:

1. أوجد الكتلة الذرّية النسبية لكل عنصر في الصيغة الكيميائية.

1
Cr: $m_{Cr} = 51.996$ amu
S: $m_S = 32.065$ amu
O: $m_O = 15.999$ amu

2. أوجد عدد ذرّات كل عنصر في الصيغة الكيميائية. يُشير

الرمز "$(SO_4)_3$" في هذا المثال إلى وجود 3 مجموعات من الكبريتات "SO_4"، وبناء على ذلك يحتوي المركب على 3 ذرّات كبريت، و 12 ذرّة أكسجين بالإضافة الى ذرتين من الكروم.

2
2Cr
$Cr_2(SO_4)_3$
$SO_4 + SO_4 + SO_4$

3. اضرب عدد الذرّات أو الأيونات في كتلها الذرّية النسبية، ثم اجمع كتل العناصر الكلّية. وهكذا نجد أنّ كتلة الصيغة النسبية للمُركّب الأيوني كبريتات الكروم (III) تساوي $\boxed{392.175\text{ amu}}$.

3
$$\begin{aligned} &(2)(51.996\text{ amu}) \\ +\ &(3)(32.065\text{ amu}) \\ +\ &(12)(15.999\text{ amu}) \\ \hline &= 392.175\text{ amu} \end{aligned}$$

النسبة المئوية لكتلة العنصر في المُركّب

تُعدّ عملية قياس الكتل وحسابها طريقة فعّالة لتحليل المواد الكيميائية، حيث يمكن استخدامها لمعرفة النسبة المئوية لكتلة عنصر في مركّب.

تبين **العلاقة 2-4** معادلة النسبة المئوية بالكتلة للعنصر في المركّب.

4-2	النسبة المئوية بالكتلة لتركيب مُركّب ما	%	النسبة المئوية بالكتلة للعنصر

$$\text{النسبة المئوية بالكتلة للعنصر (\% بالكتلة للعنصر)} = \frac{\text{الكتلة الذرّية الكلية للعنصر}}{\text{كتلة المركّب}} \times 100$$

أما القيّم اللازمة لحساب نسبة العناصر المئوية بالكتلة للمُركّب فيمكن تحديدها من خلال حساب الكتلة الجُزيئية النسبية أو كتلة الصيغة النسبية لذلك المُركّب، بعد تحديد الكتلة الذرّية النسبية للعناصر المُكوّنة لهذا المُركّب باستخدام الجدول الدوري.

مثال 12

احسب النسبة المئوية بالكتلة لكل عنصر من عناصر مركّب كبريتات الكروم (III)، $Cr_2(SO_4)_3$.

الحلّ:

1. احسب كتلة الصيغة النسبية للمُركّب $Cr_2(SO_4)_3$ (وقد تم ذلك في المثال 11)

1
$$\begin{aligned} Cr: 2 \times 51.996 &= 103.992 \\ S: 3 \times 32.065 &= 96.195 \\ O: 12 \times 15.999 &= 191.988 \\ \hline \text{كتلة الصيغة النسبية} \longrightarrow & \ 392.175 \text{ amu} \end{aligned}$$

2. لحساب النسبة المئوية بالكتلة لعنصر الكروم %Cr، استخدم كتلته الكلّية من حساب كتلة الصيغة، ثم اقسمها على كتلة الصيغة النسبية لمُركّب $Cr_2(SO_4)_3$.

2
$$\%Cr = \frac{103.992}{392.175} \times 100 = 26.51\%$$

3. كرّر ذلك باستخدام الكتلة الكلّية للكبريت (S)، والأكسجين (O) لحساب %S و %O.

3
$$\%S = \frac{96.195}{392.175} \times 100 = 24.53\%$$

$$\%O = \frac{191.998}{392.175} \times 100 = 48.95\%$$

إذا تمّ حساب النسبة المئوية بالكتلة لكل عنصر من عناصر المركّب، فيجب عند جمع النسب المئوية جميعها الحصول على النسبة 100%. لاحظ في هذا المثال أن مجموع النسب المئوية (26.51% + 24.53% + 48.95%) يساوي 99.9%، وبما أنّ النسب المئوية قد تمّ تقريبها، فإنَّ مجموع النسب المئوية يساوي في بعض الأحيان ± 0.1% من النسبة 100%.

تقويم الدرس 2-1

1. أيٌّ من الآتي يجب أن يكون مختلفًا بين ذرّتَيْن لعنصرَيْن مختلفَيْن؟
   a. الكتلة الذرّية
   b. العدد الذرّي
   c. عدد النيوترونات
   d. عدد الإلكترونات والنيوترونات

2. أيٌّ من النظائر الآتية يُستخدَم كمقياس (مرجع) للكتلة الذرّية؟
   a. H-1
   b. C-12
   c. C-14
   d. O-16

3. ما الكتلة النظائرية التقريبية، I، للعنصر $^{125}_{53}I$ ؟
   a. 53 amu
   b. 72 amu
   c. 125 amu
   d. 127 amu

4. أيٌّ من الكتل الآتية تُستخدم لحساب الكتلة الذرّية النسبية للعنصر؟
   a. نظائر العنصر المعلومة جميعها.
   b. أكثر نظائر العنصر وفرة.
   c. نظائر العنصر الموجودة بشكل طبيعي جميعها.
   d. النظيران الأكثر وفرة والموجودان بشكل طبيعي للعنصر.

5. الكتلة الجزيئية النسبية لمركب غاز الأمونيا (NH_3) هي:
   a. 10 amu
   b. 1.008 amu
   c. 17.031 amu
   d. 14.007 amu

6. يمتلك الأنتيمون (Sb) نظيرَيْن موجودَيْن بشكل طبيعي. وقد أُدرجت الكتل النظائرية والوفرة النسبية في الجدول أدناه. حدّد الكتلة الذرّية النسبية لعنصر الأنتيمون، مُبيّنًا طريقة الحل.

النظير	الكتلة النظائرية، I	الوفرة النسبية (%)
Sb-121	120.9 amu	57.3
Sb-123	122.9 amu	42.7

7. استخدم الجدول الدوري لحساب كتلة الصيغة النسبية (M_r)، للمركّب Cu_2CO_3.

8. احسب النسبة المئوية بالكتلة لعنصر الكربون الموجود في مُركَّب البروبان، C_3H_8، إذا علمت أن الكتلة الجُزيئية النسبية (M_r)، للبروبان تساوي 44.097 amu. حسب القيم الآتية:

$H : m_H = 1.008$ amu

$C : m_C = 12.011$ amu

الدرس 2-2

المعادلات الكيميائية
Chemical Equations

في علم الرياضيات نستخدم المعادلات لنصف العمليات الحسابية. كأن نمثّل عملية جمع رقمين على النحو الآتي: $22 + 11 = 33$.

أمّا في علم الكيمياء فنستخدم المعادلات الكيميائية لنصف التفاعُلات الكيميائية، فمثلاً: عند إضافة كربونات الصوديوم الهيدروجينية $NaHCO_3$ إلى الخل، يحدث تفاعُل بين كربونات الصوديوم الهيدروجينية وحمض الأستيك في الخل، لينتج أسيتات الصوديوم والماء ويتصاعد غاز ثاني اكسيد الكربون (**الشكل 2-12**). نمثّل هذا التفاعُل بالمعادلة الكيميائية الآتية:

الشكل 2-12 تكوّن غاز ثاني أكسيد الكربون الناتج من تفاعل صودا الخبيز (كربونات الصوديوم الهيدروجينية) مع الخلّ.

$$NaHCO_{3\,(s)} + CH_3COOH_{(aq)} \rightarrow H_2O_{(l)} + CO_{2\,(g)} + CH_3COONa_{(aq)}$$

كما درست سابقًا، هناك أدلة عديدة تشير إلى حدوث تفاعل كيميائي. فمثلاً يمكن أن يتصاعد غاز (كما في **الشكل 2-12**)، أو تتكوّن مادة صلبة (راسب) (كما في **الشكل 2-13**). كما يمكن لمادة صلبة أن تتفاعل لتتحوّل لمادة أخرى ذائبة في المحلول.

الشكل 2-13 تكوّن مركّب هيدروكسيد النحاس (II) الأزرق الصلب أثناء تفاعُل كيميائي.

سوف تتعلّم في هذا الدرس، كيف تكتب المعادلات الكيميائية التي تصف حدوث التفاعُلات الكيميائية بشكل كمّي ونوعي.

مخرجات التّعلُّم

C1001.1 يكتب معادلات كيميائية موزونة تتضمّن رموز الحالة (s, l, g, aq) بما في ذلك المعادلات الأيونية.

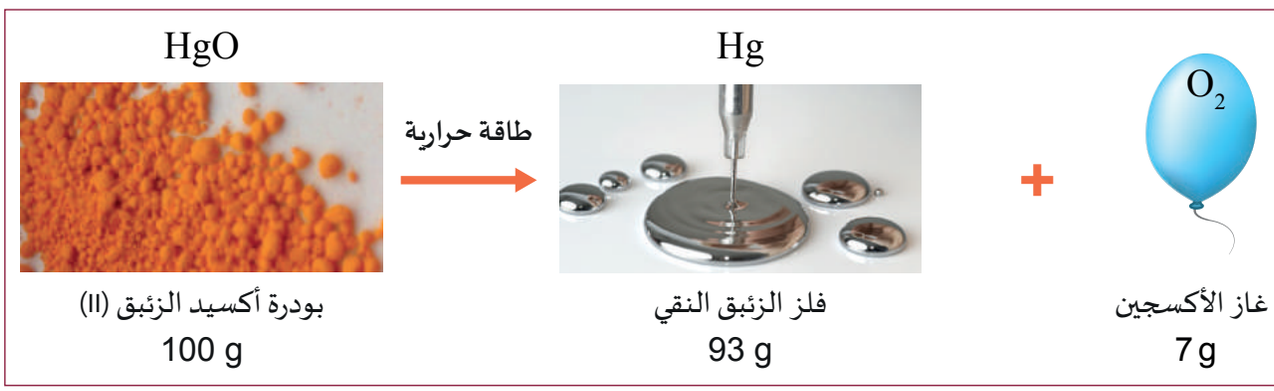
المفردات

المعادلة الكيميائية	Chemical equation
أيونات متعددة الذرات	Polyatomic ions
الأيونات المتفرّجة	Spectator ions
المعادلة الأيونية النهائية	Net ionic equation

حفظ الكتلة أثناء حدوث التفاعُلات الكيميائية

يتفكّك أكسيد الزئبق (II)، HgO، عند تسخينه تفكُّكًا كيميائيًّا إلى غاز الأكسجين (O_2)، وفلز الزئبق السائل (Hg). فإذا كنت تستطيع جمع غاز الأكسجين الناتج، تستطيع أن تجد أن كتلة أكسيد الزئبق (II) الذي تمّ تسخينه تساوي مجموع كتلتَي الزئبق السائل وغاز الأكسجين المُتصاعد (**الشكل 2-14**).

ولا بدّ، أثناء حدوث التفاعُلات الكيميائية جميعها، من تحقيق قانون حفظ الكتلة، الذي ينصّ على أنّه عند حدوث أي تفاعل كيميائي فإنّ مجموع كتل المواد المتفاعلة يساوي مجموع كتل المواد الناتجة عن هذا التفاعل. وسوف يزوّدك النشاط الآتي بدليل يدعم هذا القانون.



الشكل 2-14 قانون حفظ الكتلة: كتلة أكسيد الزئبق (II) الذي تفكك تساوي مجموع كتلتَي الزئبق النقي وغاز الأكسجين المُتصاعد.

نشاط

اعمل في مجموعة ثنائية.

1. ضع 10 mL من محلول نيترات الرصاص (II)، $Pb(NO_3)_2$، في كأس زجاجية مُدرّجة سعتها 50 mL.
2. ضع 10 mL من محلول يوديد البوتاسيوم، KI، في كأس زجاجية مُدرّجة أخرى سعتها 50 mL.
3. ضع كلتا الكأسَين على الميزان، وسجّل الكتلة.
4. أبعد كلتا الكأسين عن الميزان.
5. صبّ محلول يوديد البوتاسيوم في الكأس التي تحتوي على محلول نيترات الرصاص (II)، ثم ضع كلتا الكأسَين على الميزان مرة أخرى.
6. بعد مضي دقيقة، سجّل ملاحظاتك.
7. سجّل كتلة كلتا الكأسَين.

الشكل 2-15 عند تفاعل محلول يوديد البوتاسيوم مع محلول نيترات الرصاص (II)، يتكوّن الراسب يوديد الرصاص (II) الأصفر اللون.

الأسئلة

a. ما الدليل على حدوث تفاعُل كيميائي؟

b. هل تغيّرت الكتلة بعد حدوث التفاعُل؟

c. هل تمّ تحقيق قانون حفظ الكتلة؟ وضّح إجابتك.

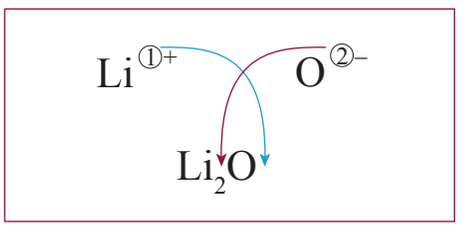
كتابة الصيَغ الكيميائية

تُشير الصيغة الكيميائية إلى مكوّنات المُركّب، وتأتي في هيئة نسب للعناصر المختلفة. فالصيغة الكيميائية للميثان، CH_4، مثلًا، تشير إلى أنّه يحتوي على أربع ذرّات هيدروجين لكل ذرّة كربون واحدة. ويعد الميثان مُركّبًا جزيئيًا، بحيث يتضمّن "جزيء" واحد منه ذرّة كربون واحدة مرتبطة بأربع ذرّات هيدروجين.

أما المُركّبات الأيونية، فغالبًا ما يمكن استخلاص صيغها الكيميائية من أسمائها، وأفضل مثال على ذلك كلوريد البوتاسيوم، $KC\ell$. فالأيونان المُكوّنان لمُركّب $KC\ell$ هما أيون البوتاسيوم (K^+)، وأيون الكلوريد ($C\ell^-$)، بحيث يندمجان معًا بنسبة مقدارها 1:1؛ لأن مجموع الشحنتَين $(+1 + (-1) = 0)$ يساوي صفرًا.

ومن أجل كتابة الصيغة الكيميائيّة للمركبات الأيونية نتبع الخطوات الآتية:

1. نكتب رموز الأيونات وعادة ما يكتب رمز أيون الفلزّ (الأيون الموجب) إلى اليسار ورمز أيون اللافلزّ (الأيون السالب) إلى اليمين.
2. نكتب عدد شحنات كل أيون وندوّنه أسفل الرمز الخاص به.
3. نُبدّل عدد الشحنات ونختصر الارقام إذا أمكن ذلك.
4. نكتب الصيغة الكيميائية النهائية باستخدام أرقام تكتب أسفل يمين الرمز. **الشكل 2-16**.

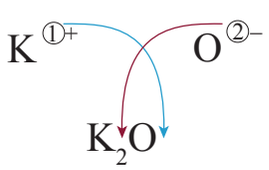


الشكل 2-16 طريقة التقاطع لكتابة الصيغة الكيميائية لمركب أكسيد الليثيوم.

تتضمّن الكثير من المُركّبات أيونات متعدّدة الذرّات. نكتب الصيغة الكيميائية للمُركّب الذي يحتوي على أيون متعدّد الذرّات باستخدام القواعد نفسها، ونعامل هذا الأيون على أنه جُسيم منفرد بذاته. تكون الصيغة الكيميائية لكبريتات الصوديوم مثلًا Na_2SO_4؛ لأن أيونَي الصوديوم (Na^+) يعملان على موازنة شحنة (-2) الموجودة على أيون الكبريتات (SO_4^{2-}).

مثال 13

ما الصيغة الكيميائية لأكسيد البوتاسيوم؟

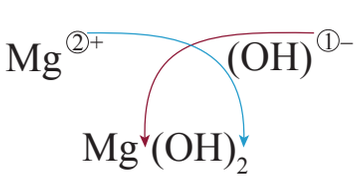


الحلّ:

يكوّن البوتاسيوم أيون (K^+)، ويكوّن الأكسجين أيون (O^{2-})، وللحصول على مُركّب متعادل؛ يجب أن يكون هنالك ذرتا بوتاسيوم لكل ذرّة أكسجين، لذا، فالصيغة الكيميائية لأكسيد البوتاسيوم هي K_2O.

مثال 14

ما الصيغة الكيميائية لهيدروكسيد المغنيسيوم؟



الحلّ:

يكوّن المغنيسيوم أيون (Mg^{2+})، أما صيغة أيون الهيدروكسيد فهي (OH^-). وللحصول على مُركّب متعادل، يجب أن يكون هناك أيونا هيدروكسيد لكل أيون مغنيسيوم، لذلك تكون الصيغة الكيميائية لهيدروكسيد المغنيسيوم $Mg(OH)_2$.

لاحظ أن الرقم السفلي خارج القوسَين يشير إلى وجود أيونَي هيدروكسيد مُتعدّد الذرّات.

المعادلات الكيميائية

يمثّل العلماء التفاعُلات الكيميائية **بمعادلات كيميائية Chemical Equations**، تُسمّى فيها المواد الابتدائية "بالمواد المُتفاعلة"، وتُكتب أوّلًا مع وجود إشارة "+" بين كل مادة مُتفاعلة وأخرى. وقد يحتوي التفاعُل الكيميائي على مادة مُتفاعلة واحدة أو أكثر، ثم تُتبَع المواد المُتفاعلة برمز سهم "→"، متَّجه نحو المواد الناتجة التي تكوّنت أثناء حدوث التفاعُل، وقد ينتج عن التفاعُل مادة واحدة أو أكثر. يبيّن **الشكل 2-17** المعادلة الكيميائية العامة لتفاعُل يحتوي على مادتَين متفاعلتَين ومادتَين ناتجتَين.

مادة مُتفاعلة 1 + مادة مُتفاعلة 2 ⟶ مادة ناتجة 1 + مادة ناتجة 2

الشكل 2-17 معادلة كيميائية عامة.

تُكتب المعادلات الكيميائية في العادة باستخدام الصيَغ الكيميائية التي تمثّل المواد المُتفاعلة والمواد الناتجة. أما الحالة الفيزيائية للمواد فتكون موضّحة برموز وموضوعة بين قوسَين، تُكتب أسفل يمين الصيَغ الكيميائية الواردة في المعادلة. على سبيل المثال يشير مصطلح محلول مائي (aqueous) أنّ المادة الكيميائية مذابة في الماء. يبيّن **الجدول 2-7** الرموز التي تستخدم في المعادلات الكيميائية.

الجدول 2-7 الرموز التي تستخدم في المعادلات الكيميائية.

الرمز	الشرح	الرمز	الشرح
→	"ينتج" ويدلُّ على نتيجة التفاعل في التفاعلات غير الإنعكاسية.	↑	ينوبُ عن (g)، لكنه يستخدم فقط للنواتج الغازية وليس للمتفاعلات
⇆	يستعمل السهمين بدل السهم الواحد ليدل على تفاعل انعكاسي.	$\xrightarrow{\Delta}$	تُسخَّن المتفاعلات (تفاعل يحتاج إلى حرارة)
↓	ينوبُ عن (s)، لكنه يستخدم فقط ليدلَّ على راسب.	$\xrightarrow{1\ atm}$	الضغط الجوي الذي يحدث عنده التفاعل.
(s)	متفاعل أو ناتج في الحالة الصلبة، ويستعمل كذلك ليدلَّ على راسب	$\xrightarrow{\text{ضغط}}$	الضغط الذي يحدث عنده التفاعل ويتجاوز الضغط الجوي العادي
(*l*)	متفاعل أو ناتج في الحالة السائلة	$\xrightarrow{300°C}$	درجة الحرارة التي يحدث عندها التفاعل.
(*aq*)	محلول مائي لمتفاعل أو ناتج	$\xrightarrow{\text{حفاز}}$	صيغة العامل الحفّاز المستخدم لزيادة سرعة التفاعل.
(*g*)	متفاعل أو ناتج في الحالة الغازية	$\xrightarrow{\text{كهرباء}}$	تحليل كهربائي باستخدام التيار الكهربائي.

يبيّن **الشكل 2-18** المعادلة الكيميائية لتفاعُل الحجر الجيري(كربونات الكالسيوم) مع حمض الهيدروكلوريك. لاحظ كيف تم توضيح الحالات الفيزيائية للمواد الكيميائية.

$$CaCO_{3(s)} + HC\ell_{(aq)} \rightarrow CaC\ell_{2(aq)} + H_2O_{(l)} + CO_{2(g)}$$

الشكل 2-18 معادلة تفاعل كربونات الكالسيوم $CaCO_{3(s)}$ مع حمض الهيدروكلوريك $HC\ell_{(aq)}$.

على الرغم من أنّ المعادلة الكيميائية المُدرجة في الشكل 2-18 تصف التفاعُل الكيميائي الذي يحدث بشكل صحيح، إلا أنّ هنالك خطأ في الطريقة التي كُتبت بها. ففي أثناء حدوث التفاعُل الكيميائي، لا يمكن أن يتغيّر عدد الذرّات؛ لأن ما يحدث في التفاعُل هو إعادة ترتيب للذرّات عن طريق كسر الروابط الكيميائية للمواد المُتفاعلة، وإعادة تكوين روابط جديدة للمواد الناتجة.

موازنة المعادلات الكيميائية

في معادلة الشكل 2-18، إذا أجرينا عملية مُقارنة لأعداد الذرّات الموجودة في المواد المُتفاعلة والمواد الناتجة فسوف نجد أن عدد ذرّات الهيدروجين والكلور قد زادت من ذرّة واحدة إلى ذرّتَين لكل منها (**الشكل 2-19**)، وهذا لا يمكن أن يحدث بحسب قانون حفظ الكتلة الذي ينص على أنَّ المادةَ لا تَفنى ولا تُستحدثُ من العدمِ؛ وبالتالي يكونُ مجموعُ كُتَلِ الموادِّ المتفاعلةِ مساويًا لمجموعِ كُتلِ الموادِّ الناتجةِ.

ذرّات المواد المُتفاعلة					ذرّات المواد الناتجة				
Ca	C	O	H	Cℓ	Ca	C	O	H	Cℓ
1	1	3	1	1	1	1	3	2	2

الشكل 2-19 مقارنة أعداد الذرّات لتفاعُل كربونات الكالسيوم مع حمض الهيدروكلوريك

ولكي يتحقَّق قانون حفظ الكتلة الذي ينص على أنّ عدد كل نوع من الذرّات المكوّنة للمواد المُتفاعلة يجب أن يساوي عدد نفس النوع من الذرّات المكوّنة للمواد الناتجة ولذلك يمكننا فقط تغيير نسب المواد الكيميائية المُتفاعلة والناتجة ، إذ لا يمكننا تغيير الأرقام السفلية التي تُمثّل عدد الذرات في الصيغة الكيميائية. وهذه العملية تُسمّى "موازنة" معادلة التفاعُل الكيميائي.

عندما نضيف جُزيء $HC\ell$ آخر إلى جانب المواد المُتفاعلة، ونجري مقارنة لأعداد الذرّات، فسوف نلاحظ أن عدد كل نوع من الذرّات الموجودة إلى جانب المواد المُتفاعلة وجانب المواد الناتجة قد تمّت موازنته (**الشكل 2-20**).

$$CaCO_{3(s)} + HC\ell_{(aq)} + HC\ell_{(aq)} \rightarrow CaC\ell_{2(aq)} + H_2O_{(l)} + CO_{2(g)}$$

ذرّات المواد المتفاعلة					ذرّات المواد الناتجة				
Ca	C	O	H	Cℓ	Ca	C	O	H	Cℓ
1	1	3	2	2	1	1	3	2	2

الشكل 2-20 موازنة بين عدد ذرّات كل عنصر في تفاعُل كربونات الكالسيوم مع حمض الهيدروكلوريك.

نمثّل جزيئَيْ $HC\ell$ بوضع العدد "2" قبل الصيغة الكيميائية (**الشكل 2-21**)، وهذا العدد الذي يوضع قبل الصيغة الكيميائية عند إجراء موازنة للمعادلة الكيميائية يُسمّى "المُعامِل". وعندما لا يكون هناك مُعامِل مكتوب قبل الصيغة الكيميائية، فهذا يعني أن المُعامِل يساوي "1" ضمنيًا.

$$CaCO_{3(s)} + 2\,HC\ell_{(aq)} \rightarrow CaC\ell_{2(aq)} + H_2O_{(l)} + CO_{2(g)}$$

الشكل 2-21 المعادلة الكيميائية الموزونة لتفاعُل كربونات الكالسيوم مع حمض الهيدروكلوريك.

تُستخدم المعادلة الكيميائية الموزونة مُعامِلات ذات أصغر عدد صحيح؛ لذلك يتوجّب عليك بعد موازنة المعادلة الكيميائية، أن تتحقّق من نسبة مُعامِلات كل من المواد المُتفاعلة والمواد الناتجة، وتختصر النسبة إلى نسبة ذات أصغر عدد صحيح إذا كان ذلك ممكنًا. فمعامِلات المادة المُتفاعلة والمادة الناتجة في المعادلة المُدرجة في **الشكل 2-21** تُحقِّق نسبتها 1:2:1:1:1، وهذه النسبة لا يمكن اختصارها بمُعامِلات ذات عدد صحيح أصغر منها.

$$1\,CaCO_{3(s)} + 2HC\ell_{(aq)} \rightarrow 1CaC\ell_{2(aq)} + 1H_2O_{(l)} + 1CO_{2(g)}$$

الشكل 2-22 نسبة مُعامِلات المعادلة الكيميائية الموزونة لتفاعُل كربونات الكالسيوم مع حمض الهيدروكلوريك.

تابع - موازنة المعادلات الكيميائية

استخدم جدول المقارنة

يُعدّ استخدام جدول المقارنة وموازنته، كما تم توضيحه في المثال السابق، استراتيجية مفيدة لموازنة المعادلات الكيميائية. فعند موازنة المعادلة الكيميائية، نستخدم المُعامِلات المناسبة للموازنة بين عدد ذرّات المواد المُتفاعلة و الناتجة وذلك بضرب الصيَغ الكيميائية في أصغر عدد صحيح ليتساوى عدد ذرّات عنصر معيّن.

مثال 15

وازن المعادلة الكيميائية الآتية: $___As_{(s)} + ___C\ell_{2(g)} \rightarrow ___As_2C\ell_{3(s)}$

الحلّ:

- أنشئ جدول المقارنة للعناصر الموجودة في طرف المواد المُتفاعلة وطرف المواد الناتجة للمعادلة، واعمل على المقارنة بين عدد كل نوع من الذرّات على طرفَي المعادلة. لاحظ أن هذه الذرّات غير موزونة

$\underline{1}\ As_{(s)} + \underline{1}\ C\ell_{2(g)} \rightarrow \underline{1}\ As_2C\ell_{3(s)}$

ذرّات المادة المتفاعلة		ذرّات المادة الناتجة	
As	Cℓ	As	Cℓ
1	2	2	3

- اضرب قيمة المُعامِل الذي يسبق "$As_{(s)}$" في القيمة "2" لموازنة As.

$\underline{2}\ As_{(s)} + \underline{1}\ C\ell_{2(g)} \rightarrow \underline{1}\ As_2C\ell_{3(s)}$

ذرّات المادة المتفاعلة		ذرّات المادة الناتجة	
As	Cℓ	As	Cℓ
2	2	2	3

- لموازنة "Cℓ"، لاحظ أن ذرّات الكلور سوف تزداد بمضاعفات "2" ($C\ell_{2(g)}$) في طرف المواد المُتفاعلة، وبمضاعفات "3" ($As_2C\ell_{3(s)}$) في طرف المواد الناتجة. نجد أنّ أصغر مضاعفات العددَين 2 و3 هو العدد 6. لذلك عليك أن تضرب قيمة المُعامِلات لتحصل على 6 ذرّات "Cℓ" في كل طرف من طرفَي المعادلة. لاحظ الآن أن "As" لم يعد موزونًا، وهذا يحدث أحيانًا. فعند موازنة أحد العناصر، سوف يصبح العنصر الذي تمّت موازنته من قبل غير موزون.

$\underline{2}\ As_{(s)} + \underline{3}\ C\ell_{2(g)} \rightarrow \underline{2}\ As_2C\ell_{3(s)}$

ذرّات المادة المتفاعلة		ذرّات المادة الناتجة	
As	Cℓ	As	Cℓ
2	6	4	6

- اضرب قيمة مُعامِل "As" في طرف المواد المُتفاعلة في "4" لموازنة "As".

$\underline{4}\ As_{(s)} + \underline{3}\ C\ell_{2(g)} \rightarrow \underline{2}\ As_2C\ell_{3(s)}$

ذرّات المادة المتفاعلة		ذرّات المادة الناتجة	
As	Cℓ	As	Cℓ
4	6	4	6

ناقش: هل يمكن أن تحتوي معادلة كيميائية على أنواع من العناصر في طرف المواد الناتجة تكون مختلفة عما هي عليه في طرف المواد المُتفاعلة؟

تابع - موازنة المعادلات الكيميائية

حدّد الأيونات متعددة الذرّات

تُمثّل **الأيونات متعددة الذرّات Polyatomic ions** مجموعات من الذرّات ترتبط معًا بروابط تساهمية وتحمل شحنة؛ يزوّدنا **الجدول 2-8** ببعض الأيونات متعددة الذرّات الشائعة. وغالبًا ما تبقى الأيونات متعددة الذرّات كما هي أثناء حدوث التفاعُل الكيميائي. وتكون موازنة المعادلات التي تصف مثل هذه التفاعُلات أسهل، إذا تمّ وضع الأيون متعدد الذرّات في جدول المقارنة كجُسَيْم ذي وحدة واحدة عوضًا عن فصلها إلى ذرّاتها المكوّنة لها. وبدلاً من معاملة أيون الكبريتات، (SO_4^{2-})، مثلاً، على أنه يتكوّن من ذرّة كبريت واحدة وأربع ذرّات أكسجين، نُعامله كجُسَيم كبريتات، (SO_4^{2-})، واحد في عمود جدول المقارنة.

الجدول 2-8 بعض الأيونات متعددة الذرّات الشائعة.

الصيغة	الاسم
NH_4^+	الأمونيوم
CN^-	السيانيد
CO_3^{2-}	الكربونات
CH_3COO^-	الأسيتات
$C\ell O_3^-$	الكلورات
CrO_4^{2-}	الكرومات
SO_4^{2-}	الكبريتات

الصيغة	الاسم
HCO_3^-	الكربونات الهيدروجينية
HSO_4^-	الكبريتات الهيدروجينية
MnO_4^-	البرمنجنات
NO_2^-	النيترايت
NO_3^-	النيترات
OH^-	الهيدروكسيد
PO_4^{3-}	الفوسفات

مثال 16

وازن المعادلة الكيميائية الآتية:

$$___ NaC\ell_{(aq)} + ___ AgNO_{3(aq)} \rightarrow ___ NaNO_{3(aq)} + ___ AgC\ell_{(s)}$$

الحلّ:

الأيون "NO_3^-" موجود، ويبقى كما هو في أثناء حدوث التفاعُل؛ وبناء على ذلك نعامله كجُسيم منفرد بذاته. وهذا التفاعُل موزون بالفعل، بحيث تكون المُعامِلات جميعها تساوي "1".

$$NaC\ell_{(aq)} + Ag\,NO_{3(aq)} \rightarrow NaNO_{3(aq)} + AgC\ell_{(s)}$$

ذرات المواد المتفاعلة				ذرات المواد الناتجة			
Na	Cℓ	Ag	NO_3	Na	Cℓ	Ag	NO_3
1	1	1	1	1	1	1	1

نفّذ هذا التفاعُل في أنبوب اختبار صغير باستخدام 5 نقاط من كل مادة مُتفاعلة.

هل يمكنك مشاهدة أي دليل على تكوُّن مركّب $AgC\ell$ الصلب؟

تقنيات إضافية لموازنة المعادلات الكيميائية

يجب مراعاة الأمور الآتية عند القيام بعملية موازنة لمعادلة كيميائية:

1. نظرًا لوجود الكثير من الغازات (باستثناء الغازات النبيلة) في الطبيعة كجُزيئات ثنائية الذرة، تكتب في المعادلات الكيميائية كجُزيئات ثنائية الذرّة مثل: غاز الأكسجين(O_2) وغاز النيتروجين(N_2) وغاز الكلور($C\ell_2$) وغاز الهيدروجين (H_2).
2. عندما لا تتمّ موازنة الجُسَيْم في جدول المقارنة بسهولة، فإنّنا نتخطّاه، ولكن بشكل مؤقّت. وغالبًا ما تتمّ موازنة هذا الجُسَيْم الذي تصعب موازنته تلقائيًا، وذلك عند موازنة الجُسيمات الأخرى.
3. عندما يكون الماء على أحد طرفَي المعادلة الكيميائية، وأيون الهيدروكسيد متعدد الذرّات (OH^-) على الطرف الآخر من هذه المعادلة، فعامِل الماء على أنه H(OH)، أي ذرّة هيدروجين "H" واحدة، وأيون هيدروكسيد "OH" واحد بدلاً من ذرّتَي هيدروجين "H" 2 وذرّة أكسجين "O" 1.
4. في بعض تفاعلات الاحتراق، حيث يتفاعل فيها الوقود مع غاز الأكسجين (O_2) لإنتاج CO_2 و H_2O، وازنْ ذرّات الأكسجين في النهاية، ثم استخدم معاملًا في هيئة عدد كسري لموازنة ذرّات الأكسجين إذا لزم الأمر. أخيرًا، ضاعف المعاملات جميعها لتجعل المعاملات جميعها في هيئة عدد صحيح.

مثال 17

وازن المعادلة الكيميائية الآتية: $___Na_{(s)} + ___H_2O_{(l)} \rightarrow NaOH_{(aq)} + ___H_{2(g)}$

الحلّ:

1. أعِدْ كتابة المعادلة باستخدام تلميح المساعدة #3، ثم احسب عدد ذرات المواد المتفاعلة و الناتجة.

$_1_Na + _1_H(OH) \rightarrow _1_NaOH + _1_H_2$

1

ذرّات المواد المتفاعلة			ذرّات المواد الناتجة		
Na	H	OH	Na	H	OH
1	1	1	1	2	1

2. وازن "H" باستخدام مُعامِل قيمته "2" للمُركّب "H(OH)".

$_1_Na + _2_H(OH) \rightarrow _1_NaOH + _1_H_2$

2

ذرّات المواد المتفاعلة			ذرّات المواد الناتجة		
Na	H	OH	Na	H	OH
1	2	2	1	2	1

3. وازن "OH" باستخدام مُعامِل قيمته "2" وضعه قبل "NaOH"، ولاحظ أن هذا لا يجعل ذرات "Na" موزونة.

$_1_Na + _2_H(OH) \rightarrow _2_NaOH + _1_H_2$

3

ذرّات المواد المتفاعلة			ذرّات المواد الناتجة		
Na	H	OH	Na	H	OH
1	2	2	2	2	2

4. وازن "Na" باستخدام مُعامِل قيمته "2" وضعه قبل "Na".

$_2_Na + _2_H_2O \rightarrow _2_NaOH + _1_H_2$

4

ذرّات المواد المتفاعلة			ذرّات المواد الناتجة		
Na	H	OH	Na	H	OH
2	2	2	2	2	2

تحقَّقْ، ولاحظ أن المعادلة الآن موزونة، والمُعامِلات في هيئة أصغر نسبة عدد صحيح على النحو الآتي: 2:2:2:1.

مثال 18

وازن المعادلة الكيميائية الآتية: $__C_2H_{6(g)} + __O_{2(g)} \rightarrow __CO_{2(g)} + __H_2O_{(g)}$

الحلّ:

$\underline{1}\,C_2H_6 + \underline{1}\,O_2 \rightarrow \underline{1}\,CO_2 + \underline{1}\,H_2O$

1. احسب عدد ذرات المواد المتفاعلة و المواد الناتجة. هذه معادلة احتراق. لذلك سوف نوازن الأكسجين في النهاية. ابدأ بمعامل قيمته 1. (تلميح المساعدة #4)

1

ذرّات المواد المتفاعلة			ذرّات المواد الناتجة		
C	H	O	C	H	O
2	6	2	1	2	3

$\underline{1}\,C_2H_6 + \underline{1}\,O_2 \rightarrow \underline{2}\,CO_2 + \underline{1}\,H_2O$

2. وازنْ "C" بوضع مُعامِل قيمته "2" قبل "CO_2"، لكنَّ هذا سيزيد عدد "O" في طرف المواد الناتجة إلى 5.

2

ذرّات المواد المتفاعلة			ذرّات المواد الناتجة		
C	H	O	C	H	O
2	6	2	2	2	5

$\underline{1}\,C_2H_6 + \underline{1}\,O_2 \rightarrow \underline{2}\,CO_2 + \underline{3}\,H_2O$

3. وازنْ "H" بوضع مُعامِل قيمته "3" قبل "H_2O"؛ لكن هذا سيزيد عدد "O" في طرف المواد الناتجة إلى 7.

3

ذرّات المواد المتفاعلة			ذرّات المواد الناتجة		
C	H	O	C	H	O
2	6	2	2	6	7

$\underline{1}\,C_2H_6 + \underline{\frac{7}{2}}\,O_2 \rightarrow \underline{2}\,CO_2 + \underline{3}\,H_2O$

4. وازنْ "O" باستخدام تلميح المساعدة #4، واستخدمْ مُعامِلًا في هيئة كسر قيمته "$\frac{7}{2}$" وضعْه قبل "O_2". و بالتالي نحسب عدد ذرات الاكسجين كما يلي:

$$\frac{7}{2} \times O_2 = 7\ \text{"O"}$$

أصبح التفاعُل موزونًا، ولكن ليست جميع المعاملات أعدادًا صحيحة.

4

ذرّات المواد المتفاعلة			ذرّات المواد الناتجة		
C	H	O	C	H	O
2	6	7	2	6	7

$\underline{2}\,C_2H_6 + \underline{7}\,O_2 \rightarrow \underline{4}\,CO_2 + \underline{6}\,H_2O$

5. ضاعفِ المُعامِلات جميعها (أي اضرب جميع المعاملات في 2) للتخلّص من المُعامِل ذي العدد الكسري.

5

ذرّات المواد المتفاعلة			ذرّات المواد الناتجة		
C	H	O	C	H	O
4	12	14	4	12	14

أخيرًا، تحقَّق، ولاحظ أن المُعامِلات هي في هيئة أصغر نسبة عدد صحيح، وعلى النحو الآتي: 2:7:4:6، ولا يمكن تبسيطها إلى أية مجموعة مساوية لها تكون في هيئة أصغر نسبة لعدد صحيح.

من المفيد جدًا استخدام النماذج الجُزيئية لتمثيل معادلة كيميائية كالتي تمّت موازنتها في المثال 18. صمّم نموذجًا جُزيئيًّا لكل من الإيثان(C_2H_6) والأكسجين (O_2) وحاول أن تفكّكها لتصمّم النواتج، أي الماء (H_2O) وغاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2). لماذا لا تستطيع ذلك؟ لكن استخدمتَ معادلة كيميائية موزونة تستطيع ذلك، لأنّها تحفظ عدد الذرّات في المُتفاعلات والنواتج.

المعادلات الأيونية

تبيّن الأمثلة السابقة للمعادلات الكيميائية الصيَغ الكيميائية الكاملة للمواد المُتفاعلة والمواد الناتجة. يُعرَف هذا النوع من المعادلات باسم "المعادلات الجُزيئية".

$$NaC\ell_{(aq)} + AgNO_{3(aq)} \rightarrow NaNO_{3(aq)} + AgC\ell_{(s)}$$

(معادلة جُزيئية)

الشكل 2-23 تستخدم المعادلات الجُزيئية الصيَغ الكيميائية الكاملة.

ويُعدّ تفاعُل المحاليل المائية لكلوريد الصوديوم ($NaC\ell$) ونيترات الفضّة ($AgNO_3$) الموضّح في **الشكل 2-23**، مثالًا على ذلك، حيث يُطبَّق مصطلح "المعادلة الجُزيئية" حتى وإن كانت المواد المُتفاعلة والمواد الناتجة جميعها أيونية. ومن المعلوم أنّ المُركّبات الأيونية القابلة للذوبان تتفكّك إلى أيونات في الماء (تتأيّن)،وكذلك تتأيَّن الأحماض القوية بشكل كامل في الماء. ونكون أحيانًا في حاجة إلى توضيح تفكّك المُركّبات الأيونية أو تأيّن الجُزيئات في المعادلات الكيميائية، للتعرّف إلى الأيونات الموجودة في المحلول. تُعرَف مثل هذه المعادلات باسم "المعادلات الأيونية الكاملة" و هي المُعادلةُ التي تَظهرُ فيها جميعُ الأيوناتِ التي تُوجَدُ في المحلولِ المائي. وقد تمّ توضيح المعادلة الأيونية الكاملة للتفاعُل الذي يحدث بين المحاليل المائية لكلوريد الصوديوم ($NaC\ell$) ونيترات الفضة ($AgNO_3$) في **الشكل 2-24**.

$$Na^{+}_{(aq)} + C\ell^{-}_{(aq)} + Ag^{+}_{(aq)} + NO^{-}_{3(aq)} \rightarrow Na^{+}_{(aq)} + NO^{-}_{3(aq)} + AgC\ell_{(s)}$$

(معادلة أيونية كاملة)

الشكل 2-24 تُظهر المعادلة الأيونية الكاملة الأيونات جميعها الموجودة في المحلول.

كلوريد الصوديوم ($NaC\ell$)، ونيترات الفضة ($AgNO_3$)، ونيترات الصوديوم ($NaNO_3$) جميعها مركّبات أيونية قابلة للذوبان في الماء وهي لهذا السبب تتفكّك إلى أيوناتها المكوّنة لها، أما كلوريد الفضة ($AgC\ell$) فغير قابل للذوبان في الماء. وهذا يعني أن أيونات الفضة (Ag^+) وأيونات الكلوريد ($C\ell^-$) لا تتفكّك، بل تبقى مُرتبطة معًا لتكوّن المادة الصلبة التي تترسّب في المحلول.

لاحظ أن كلًا من أيونات الصوديوم (Na^+) وأيونات النيترات (NO_3^-) موجودة في المواد المُتفاعلة والمواد الناتجة في المعادلة الأيونية الكاملة، وهذا يعني أن هذه الأيونات لا تخضع لأيّ تغيُّر كيميائي، وتُعرف مثل هذه الأيونات باسم **الأيونات المتفرّجة Spectator ions**. لكن بما أنها لا تخضع لأيّ تغيّرات كيميائية، يتمّ اختصارها من المعادلة الأيونية؛ وعند إزالة هذه الأيونات المتفرّجة من المعادلة الأيونية الكاملة، فإنَّ المعادلة الناتجة تُعرف بأنها **معادلة أيونية نهائية Net ionic equation** و هي المُعادلةُ التي تَظهرُ فيها الأيوناتُ المُتفاعلةُ فقط وقد تمّ توضيح المعادلة الأيونية النهائية للتفاعُل الذي يحدث بين المحاليل المائية لكلوريد الصوديوم ($NaC\ell$) ونيترات الفضة ($AgNO_3$) في **الشكل 2-25**.

$$\cancel{Na^{+}}_{(aq)} + C\ell^{-}_{(aq)} + Ag^{+}_{(aq)} + \cancel{NO_3^{-}}_{(aq)} \rightarrow \cancel{Na^{+}}_{(aq)} + \cancel{NO_3^{-}}_{(aq)} + AgC\ell_{(s)}$$

(معادلة أيونية كاملة)

$$Ag^{+}_{(aq)} + C\ell^{-}_{(aq)} \rightarrow AgC\ell_{(s)}$$

(معادلة أيونية نهائية)

الشكل 2-25 المعادلة الأيونية النهائية لا تُظهر الأيونات المتفرّجة الموجودة في المحلول.

موازنة المعادلات الأيونية

ملخّص لكتابة معادلة أيونية نهائية موزونة:

1. وازن المعادلة الجُزيئية.
2. اكتب المعادلة الأيونية الكاملة الموزونة، وذلك بفصل المُركّبات الأيونية الذائبة في الماء والأحماض القوية والقواعد القوية إلى أيوناتها المكوّنة لها ، وبيّن جميع الجُزيئات والذرّات الأخرى والمُعامِلات والحالات الفيزيائية لجميع المواد المُتفاعلة والمواد الناتجة التي تتضمّنها المعادلة.
3. احذف الأيونات المتفرّجة من طرف المواد المُتفاعلة ومن طرف المواد الناتجة.
4. اكتب المعادلة الأيونية النهائية التي تشمل الأيونات المُتفاعلة التي ينتج عن تفاعُلها راسب صلب أو غاز أو سائل إضافة إلى الجُسيمات الأخرى التي يتضمّنها التفاعُل.

مثال 19

اكتب المعادلة الأيونية النهائية للمعادلة الكيميائية الآتية:

$$__AgNO_{3(aq)} + __CaC\ell_{2(aq)} \rightarrow __AgC\ell_{(s)} + __Ca(NO_3)_{2(aq)}$$

الحلّ:

1. عامل الأيون "NO_3^-" على أنه جُسَيْم واحد منفرد. وازن "NO_3^-" باستخدام مُعامل 2 قبل "$AgNO_3$".

$$2\ AgNO_3 + 1\ CaC\ell_2 \rightarrow 1\ AgC\ell + 1\ Ca(NO_3)_2$$

1

ذرّات المواد المتفاعلة

Ag	NO_3	Ca	$C\ell$
2	2	1	2

ذرّات المواد الناتجة

Ag	NO_3	Ca	$C\ell$
1	2	1	1

2. وازنْ "Ag" باستخدام مُعامِل قيمته "2" وضعْه قبل "$AgC\ell$"، فهذا يوازن المعادلة.

$$2\ AgNO_3 + 1\ CaC\ell_2 \rightarrow 2\ AgC\ell + 1\ Ca(NO_3)_2$$

2

ذرّات المواد المتفاعلة

Ag	NO_3	Ca	$C\ell$
2	2	1	2

ذرّات المواد الناتجة

Ag	NO_3	Ca	$C\ell$
2	2	1	2

3. $Ca(NO_3)_2$، و $CaCl_2$، و $AgNO_3$ جميعها مركّبات أيونية، وجميعها يمكنها أن تتفكّك في المحلول المائي. فاكتب إذن المعادلة الأيونية الكاملة.

3

$$2AgNO_3 \rightarrow 2Ag^+ + 2NO_3^-$$
$$CaC\ell_2 \rightarrow Ca^{2+} + 2C\ell^-$$
$$Ca(NO_3)_2 \rightarrow Ca^{2+} + 2NO_3^-.$$

$$2Ag^+_{(aq)} + 2NO^-_{3(aq)} + Ca^{2+}_{(aq)} + 2C\ell^-_{(aq)} \rightarrow 2AgC\ell_{(s)} + Ca^{2+}_{(aq)} + 2NO^-_{3(aq)}$$

4. اكتب المعادلة الأيونية النهائية، باختصار الأيونات المتفرّجة، وهي أيون Ca^{2+} واحد وأيونان NO_3^- اثنان التي يتضمّنها طرف المواد المُتفاعلة وطرف المواد الناتجة للمعادلة وبناء على ذلك تُعدّ أيونات متفرّجة.

$$2Ag^+_{(aq)} + \cancel{2NO^-_{3(aq)}} + \cancel{Ca^{2+}_{(aq)}} + 2C\ell^-_{(aq)} \rightarrow 2AgC\ell_{(s)} + \cancel{Ca^{2+}_{(aq)}} + \cancel{2NO^-_{3(aq)}}$$

المعادلة الأيونية النهائية

$$2Ag^+_{(aq)} + 2C\ell^-_{(aq)} \rightarrow 2AgC\ell_{(s)}$$

ملاحظة: يُعد مبدأ حفظ الشحنة أحد المُتطلّبات اللازمة لوجود معادلة أيونية نهائية موزونة بشكل صحيح. فالشحنة الكلّية التي يتضمّنها طرف المواد المُتفاعلة يجب أن تساوي الشحنة الكلّية التي يتضمّنها طرف المواد الناتجة. وهكذا تُبيّن المعادلة الأيونية النهائية المذكورة أعلاه مبدأ حفظ الشحنة هذا: $2 \times (+1) + 2 \times (-1) = 0$.

نشاط 2-2 موازنة المعادلات الكيميائية

سؤال الاستقصاء	هل يتحقق مبدأ حفظ الكتلة في جميع التفاعُلات الكيميائية؟
الموادّ المطلوبة	مجموعة النماذج الجُزيئية، ورقة عمل

اعمل ضمن مجموعة ثنائية لتنفيذ هذا النشاط.

الجزء 1: موازنة المعادلات

وازن المعادلات الكيميائية الآتية:

a) $___ H_{2(g)} + ___ O_{2(g)} \rightarrow ___ H_2O_{(g)}$

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

c) $___ CH_3OH_{(l)} + ___ O_{2(g)} \rightarrow ___ CO_{2(g)} + ___ H_2O_{(g)}$

d) $___ P_{(s)} + ___ O_{2(g)} \rightarrow ___ P_2O_{5(s)}$

الجزء 2: بناء نموذج ومبدأ حفظ الكتلة

لا بدّ من أن تكون الكتلة محفوظة أثناء حدوث التفاعُل الكيميائي، وأن يكون عدد كل نوع من أنواع الذرّات التي يتضمّنها طرف المواد المُتفاعلة للمعادلة الكيميائية مساويًا لعدد نفس النوع من أنواع الذرّات التي يتضمّنها طرف المواد الناتجة للمعادلة الكيميائية. تحقّق من كل معادلة وموازنتها في الجزء 1 لكي تتأكد ما إذا كانت موزونة أم غير موزونة، وأن الكتلة محفوظة، وذلك عن طريق بناء نماذج جُزيئية باتباع الخطوات الآتية:

1. استخدم مجموعة النماذج الجُزيئية لبناء جُزيء لكل مادة من المواد المُتفاعلة (وليس المواد الناتجة)، وابنِ جُزيئات إضافية للمواد المُتفاعلة بحسب المُعامِلات التي حدَّدتَها للمعادلة الكيميائية الموزونة. فإذا كان المُعامِل الذي يسبق جُزيء "O_2" يساوي "4"، مثلًا، فابنِ أربعة جُزيئات O_2.
2. فكّك جُزيئات المواد المُتفاعلة جميعها.
3. استخدم الذرّات من جُزيئات المواد المُتفاعلة جميعها فقط، لتبني جُزيئات لكل مادة ناتجة، وجُزيئات إضافية للمواد الناتجة بحسب المُعامِلات التي حدَّدتَها.
4. هل استخدمت الذرّات جميعها من المواد المُتفاعلة؟ هل تبقّى لديك أيُّ شيء منها؟
5. إذا لم يكن لديك ذرّات كافية، أو تبقّى لديك بعض منها، لا يكون التفاعُل موزونًا بالشكل الصحيح. ويتوجّب عليك إعادة موازنة المعادلة.

كرّر هذه الخطوات للمعادلات الكيميائية جميعها الواردة في الجزء 1.

تقويم الدرس 2-2

1. أيٌّ من التالي تعتبر أيونات متفرجة في المعادلة الكيميائية الآتية؟

$$2NaOH_{(aq)} + H_2SO_{4(aq)} \rightarrow 2Na_2SO_{4(aq)} + H_2O_{(l)}$$

a. Na^+ , SO_4^{2-}
b. H^+ , OH^-
c. Na^+ , H^-
d. SO_4^{2-} , H^+

2. عدِّد ثلاثة غازات ثنائية الذرّة عندما تكون في الطبيعة بهيئتها النقية.

3. اكتب الصيغة الكيميائية للمركّبات الأيونية الناتجة عن ارتباط الأيونات كما في مثال هيدروكسيد الألومنيوم، $Al(OH)_3$.

	NH_4^+	Al^{3+}	Mg^{2+}	Na^+
OH^-		$Al(OH)_3$		
NO_3^-				
CO_3^{2-}				
SO_4^{2-}				

4. اكتب الصيغة الكيميائية لهيدروكسيد الكالسيوم.

5. a. اكتب في الجدول أدناه عدد ذرّات كل عنصر في التفاعُل أدناه.
b. استخدم الجدول لتحديد أيٌّ من هذه العناصر غير موزون.
c. وازن المعادلة.

$$__ C_2H_5OH + __O_2 \rightarrow __H_2O + __CO_2$$

المواد المتفاعلة

C	O	H

المواد الناتجة

C	O	H

6. ما الفرق الرئيس بين الأيون متعدد الذرّات، والجزيء؟

7. وازن المعادلة الكيميائية الآتية ثم استنتج المعادلة الأيونية النهائية مُحدِّدًا الأيونات المُتفرّجة.

$$Zn_{(s)} + FeCl_{3(aq)} \rightarrow Fe_{(s)} + ZnCl_{2(aq)}$$

8. يتمّ ارتكاب خطأ شائع عند موازنة المعادلات الكيميائية، وهو تغيير الأرقام السفلية للصيغة الكيميائية لإحدى المواد لجعل المعادلة موزونة. وضّح لماذا يعدّ تغيير الرقم السفلي إجراءً غير صحيح.

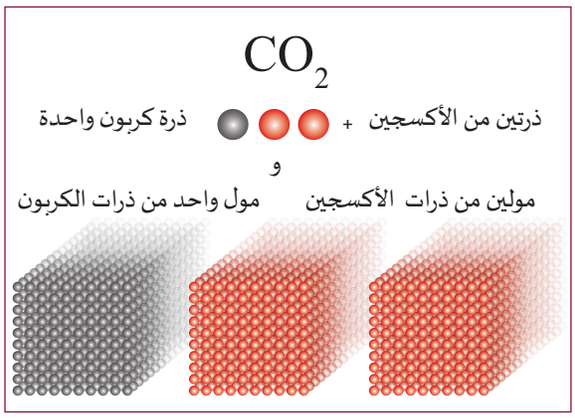
9. أكتب المعادلة الكيميائية الموزونة للمعادلات اللفظية الآتية:
a. كلوريد الباريوم الصلب + حمض النيتريك ⟵ محلول نيترات الباريوم + حمض الهيدروكلوريك
b. هيدروكسيد الالمنيوم+ كلوريد الصوديوم ⟵ كلوريد الالمنيوم+ هيدروكسيد الصوديوم
c. ⟵ كربونات الكالسيوم الصلب + حمض الهيدروكلوريك
محلول كلوريد الكالسيوم + غاز ثاني أكسيد الكربون + الماء السائل

10. يتفاعل فلز الصوديوم مع الماء بعنف لينتج محلول هيدروكسيد الصوديوم وغاز الهيدروجين .
a. اكتب المعادلة اللفظية للتفاعل.
b. اكتب المعادلة الكيميائية الرمزية الموزونة للتفاعل.

الدرس 2-3

الحسابات الكيميائية
Stoichiometry

عند إجراء تفاعلات كيميائية في المختبر لإنتاج مادة معينة لا بد من استخدام كميات قابلة للقياس كاستخدام كتلة المواد بوحدة الجرام. ولمّا كانت الذرّات، والجُزيئات المنفردة تمتلك كتلًا متناهية في الصغر تصل إلى 10^{-23} g، فكان لا بدَّ من إيجاد طريقة مناسبة لتحويل الكتلة الذرية الى كتلة بالجرامات، لذا عمد الكيميائيون إلى التعامُل مع "حزم" من الجُسيمات تسمّى المولات عوضًا عن الذرّات المنفردة (كما في **الشكل 2-26**).



الشكل 2-26 الذرّات والمولات.

فعلى سبيل المثال، إذا كان لديك كمية من ثمار البلح منزوعة النوى كتلة الواحدة 24g، وعلبة تحتوي على 240 g من ثمار بلح منزوعة النوى، فهل تعلم كم بلحة منزوعة النوى وُضعت في العلبة؟ الإجابة سهلة جدًا، وهي عشر حبات من البلح. وهكذا وعلى المبدأ نفسه تتضمّن وحدة 1 mole الكيميائية ما مقداره 6.02×10^{23} جُسيم. صحيح أنّ الرقم كبير جدًا، ولكن الفكرة هي نفسها، فأنت تقيس كمية المادة بوحدة المولات تمامًا، كما تشتري البلح بالعلبة.

مخرجات التّعلُّم

C1001.4 يذكر ويستخدم تعريف ثابت أفوجادرو (بالصيغة القياسية) والمول.

C1001.5 يوضح العلاقة بين كتلة مادة معينة وكمية هذه المادة بالمولات (عدد المولات) والعكس.

C1001.6 يحل مسائل كيميائية حسابية تتضمّن كتل المواد المُتفاعلة، وحجوم الغازات (حجم مول واحد من الغاز يساوي 22.4 L عند درجة الحرارة والضغط القياسيين).

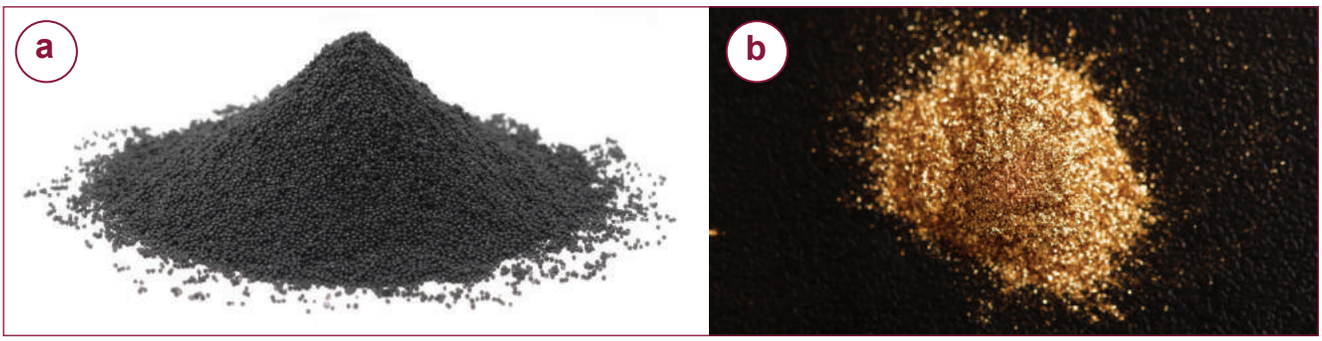
C1001.7 يوضح علاقة كتلة المادة المذابة وحجم المحلول بتركيز المحلول.

المفردات

عدد أفوجادرو، N_A	Avogadro's number, N_A
الكتلة المولية (M_m)	Molar mass (M_m)
فرضية أفوجادرو	Avogadro's hypothesis
درجة الحرارة والضغط القياسيّان	Standard temperature and pressure, STP
الحجم المولي (V_m)	Molar volume (V_m)
النسبة المولية	Mole ratio
المولارية	Molarity

العلاقة بين الكتلة وعدد الذرّات

تحتوي كتلة مقدارها 12 g من الكربون (**الشكل 2-27a**) على 6.02×10^{23} ذرّة كربون، كذلك تحتوي كتلة مقدارها 197 g من الذهب (**الشكل 2-27b**) على 6.02×10^{23} ذرّة ذهب. سوف تتعلّم في هذا الدرس كيف تربط بشكل سريع بين كتلة العنصر وعدد ذرّاته. وتعرف السبب الذي يجعل إجراء ذلك أمرًا ممكنًا. يُعدّ الميزان الإلكتروني أحد أكثر الأجهزة دقّة المتوفّرة في مختبر الكيمياء، إضافة إلى أنه سريع نسبيًا في قياس كتلة المواد. يعني ذلك أنّ استخدام كتلة المادة "لحساب" عدد ذرّاتها يُعدّ معلومة قيّمة في مختبر الكيمياء.



الشكل 2-27 (a) 12 g من الكربون تحتوي على 6.02×10^{23} من الذرّات، و (b) 197 g من الذهب تحتوي على 6.02×10^{23} من الذرّات.

نشاط

اعمل في مجموعة ثنائية. سيتمّ تزويدك بميزان، وكأس زجاجية مدرجة، وملعقة، وعبوات، و 4 فلزّات.

1. استخدم المعلومات المُدرجة في **الجدول 2-9**، لتبتكر طريقة تحسب بها كتل الذرّات الواردة في **الجدول 2-10**.
2. وضّح طريقتك في إجراء الحسابات لكل عيّنة.
3. قس كل كتلة باستخدام الكأس الزجاجية.
4. اعرض طريقتك في إجراء الحسابات، للحصول على تغذية راجعة بعد كل عملية قياس.

الجدول 2-9 كتلة عناصر مختارة يحتوي كل منها على 6.02×10^{23} من الذرّات.

العنصر (رمزه)	الكتلة التي تحتوي على 6.02×10^{23} من الذرّات
المغنيسيوم (Mg)	24.30 g
الحديد (Fe)	55.85 g
النحاس (Cu)	63.55 g
الخارصين (Zn)	65.39 g

الجدول 2-10 حساب كتل هذه الأعداد من الذرّات.

العنصر	الذرّات	الكتلة المتوقعة
المغنيسيوم	3.01×10^{23} ذرّة	
الحديد	6.02×10^{22} ذرّة	
النحاس	1.85×10^{23} ذرّة	
الخارصين	8.75×10^{22} ذرّة	

ابحث في الجدول الدوري عن العناصر المُدرجة في الجدول 2-9، وقارن بين معلومات الجدولَين.

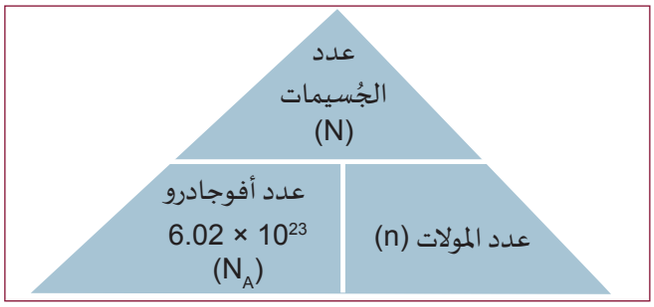
ما كتلة الفضة (Ag) التي يجب أن تحتوي على 6.02×10^{23} من الذرّات؟

المول وعدد أفوجادرو، N_A

تشير كلمة الدزّينة أو الدرزن إلى 12 شيئًا، وهي تُستخدم لتقليل عدد الأشياء التي نقصدها إلى عدد أصغر. فمثلاً يتم شراء البيض بوحدة الدزينة لأنها تعتبر طريقة عملية ومناسبة (**الشكل 2-28**).

الشكل 2-28 يتمّ شراء البيض بوحدة الدزينة.

وبما أنّ المادة تتكوّن من عدد هائل من الوحدات البنائية كالذرّات أو الجزيئات أو الأيونات، استخدم الكيميائيون مفهوم المول(mole) كوحدة قياس لكمية المادة، ويُعرّف المول الواحد بأنه يساوي $6.02214076 \times 10^{23}$ بالضبط. وتُجرى معظم الحسابات في الكيمياء باستخدام وحدة المول عوضًا عن الذرّات المنفردة. يساعدك **الشكل 2-29** في إجراء الحسابات الكيميائية التي تربط بين عدد المولات وعدد جُسيمات المادة. يمكن ان نستنتج العلاقة الآتية: $N = n \times N_A$



الشكل 2-29 مخطّط مفيد لحسابات المول.

وقد سُمّيت قيمة المول الواحد (1 mole) **عدد أفوجادرو Avogadro's number, N_A**، تكريمًا للعالم الإيطالي أميدو أفوجادرو.

عدد أفوجادرو، N_A، هو عبارة عن 1 mole من الجُسيمات، يحتوي على 6.02×10^{23} جُسَيم تقريبًا.

إذ يحتوي 1 مول (1 mol) من أي مادة على 6.02×10^{23} جُسَيم (**الشكل 2-29**).

واحد مول (1 mole) من ذرّات C = 6.02×10^{23} ذرّة C

واحد مول (1 mole) من جُزيئات H_2O = 6.02×10^{23} جُزيء H_2O

واحد مول (1 mole) من أيونات SO_4^{2-} = 6.02×10^{23} أيون SO_4^{2-}

الشكل 2-30 واحد مول (1 mole) من أي مادة، يساوي تقريبًا 6.02×10^{23} جُسَيم.

مثال 20

كم عدد الجزيئات الموجودة في 4 مول (4 mol) من CO_2؟

الحلّ:

نستخدم العلاقة الآتية:

$N = n \times N_A$

لحساب عدد الجزيئات الموجودة في 4 مول من غاز ثاني أكسيد الكربون.

$N = 4 \text{ mol } CO_2 \times 6.02 \times 10^{23} \text{ molecule/mol} = \boxed{2.408 \times 10^{24}}$ جُزيء CO_2

الكتلة المولية

الكتلة المولية Molar mass (M_m) هي كتلة مول واحد من الجُسيمات مُقدرة بالجرام. وترتبط وحدة الكتلة الذرّية (amu) بعدد جُسيمات المول الواحد بحسب العلاقة الآتية:

$$1\ \text{amu} \qquad 1.6618 \times 10^{-24}\ \text{g} \times \frac{6.022 \times 10^{23}}{\text{mole}} = 1\ \text{g/mol}$$

ويمكن تفسير الكتلة المُدرجة في الجدول الدوري بطريقتَين، هما:

1. أنها عبارة عن كتلة ذرّة واحدة تقاس بوحدة amu.
2. أنها عبارة عن الكتلة المولية لمول واحد من الذرّات، والتي تقاس بوحدة g/mol.

ويصحّ ذلك على أيّ ذرّة أو جُزيء. لأن مُعامِل تحويل وحدة الكتلة الذرّية إلى جرام هو معكوس عدد الجُسيمات لكل مول واحد.

الكتلة المولية للعنصر تساوي عددياً كتلته الذرية ووحدتها g/mol (1 amu/atom = 1 g/mol)

يدرج في الجدول الدوري الكتلة المولية لكل عنصر كما يبين **الشكل 2-31**. كذلك فإنّ الكتلة المولية لأي مركب أو جزيء هي مجموع الكتل المولية للعناصر الداخلة في تركيبه معبّراً عنها بوحدة g/mol.

5	6	7	8	9	10
B	C	N	O	F	Ne
10.811	12.011	14.007	15.999	18.998	20.180
بورون	كربون	نيتروجين	أكسجين	فلور	نيون

الكتلة المولية لكل عنصر بوحدة g/mol

الشكل 2-31 يبين الجدول الدوري الكتلة المولية لكل عنصر.

مثال 21

استخدم **الشكل 2-31** لحساب الكتلة المولية للجزيئين الآتيين:

a. NO_2

b. F_2

الحلّ: من جزء الجدول الدوري المبين بالشكل 2-31 نستطيع تحديد الكتلة المولية لكل عنصر مكوّن للجزيئين.

a. الكتلة المولية للجزيء NO_2 تساوي:

$$M_m = M(N) + 2M(O) = 14.007\text{g/mol} + 2 \times 15.999\text{g/mol} = \boxed{46.005\text{g/mol}}$$

b. الكتلة المولية للجزيء F_2 تساوي:

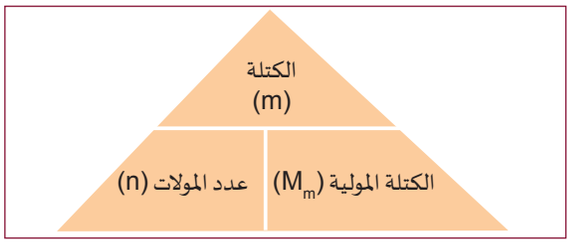
$$M_m = 2M(F) = 2 \times 18.998\text{g/mol} = \boxed{37.997\text{g/mol}}$$

الحسابات باستخدام الكتلة المولية

معلوم أنّ عدد مولات مادة ما (n) يُساوي كتلة هذه المادة (m) مقسومة على كتلتها المولية (M_m) بحسب المعادلة **5-2** الآتية:

5-2	عدد مولات المادة		
$n = \frac{m}{M_m}$		n	عدد المولات
		m	الكتلة (g)
		M_m	الكتلة المولية للمادة (g/mol)

تتطلّب الكثير من الأمثلة تحويل الكمّيات المعطاة فيها بوحدة المولات إلى وحدة الجرامات، كما تتطلب العكس أيضًا، أي أن الكمّيات المعطاة بوحدة الجرامات يتم تحويلها إلى وحدة المولات. ويبيّن **الشكل 2-32** مخطّطًا مفيدًا لإجراء مثل تلك الحسابات.



الشكل 2-32 مخطّط مفيد للحسابات التي تتضمّن الكتلة المولية.

فلكي تحسب مثلًا عدد مولات جُزيئات الميثان، CH_4، الموجودة في عيّنة كتلتها 45.7 g من الميثان:

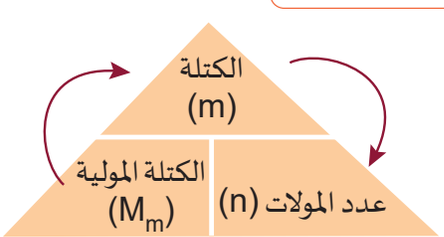
1. احسب الكتلة المولية للميثان من صيغته الكيميائية، CH_4.

1
$$\begin{array}{lrcrcr} C: & 1 & \times & 12.0 & = & 12.0 \\ H: & 4 & \times & 1.0 & = & 4.0 \\ \hline & & & & & 16.0\ g/mol \end{array} +$$

2. استخدم المعادلة 2-5 لحساب عدد مولات الميثان الموجودة في العينة المطلوبة.

2
$$n = \frac{m}{M_m} = \frac{45.7\ g}{16\ g/mol}$$
$$= \boxed{2.86\ mol\ CH_4}$$

ملاحظة: عند إجراء أيّ نوع من الحسابات، يكون من المفيد دائمًا أن تسأل نفسك: "هل القيمة التي حسبتها كانت منطقية؟". وأنت في هذا المثال، سوف تعرف من الكتلة المولية أن كتلة كل 1 mole من CH_4 تساوي 16.0 g.



تمّ إعطاء 45.7 g من CH_4 وهي تساوي كتلة أكثر من مولين من CH_4 (32.0 g). إلا أن قيمة هذه الكتلة تقلّ عن 3 مولات من CH_4 (48.0 g). لذلك لا بدّ للعيّنة التي تبلغ كتلتها 45.7 g أن تكون أكثر من مولين وأقلّ من 3 مولات؛ وهكذا نجد أنّ القيمة 2.86 mole منطقية.

مثال 22

ما كتلة 8.325 mol من الكربون؟

الحلّ:

$$m = n \times M_m$$

$$m_C = 8.325\ mol \times 12.011\ g/mol = 100\ gC$$

تابع: الحسابات باستخدام الكتلة المولية

مثال 23

احسب عدد مولات نيترات الألومنيوم، $Al(NO_3)_3$، الموجودة في عيّنة كتلتها 25.0 g من نيترات الألومنيوم.

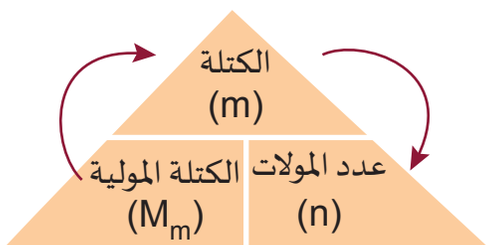
الحلّ:

1. احسب الكتلة المولية لنيترات الألومنيوم من صيغتها الكيميائية، $Al(NO_3)_3$.
2. استخدم المعادلة 2-5 لحساب عدد مولات $Al(NO_3)_3$ الموجودة في العيّنة المطلوبة

$$Al(NO_3)_3 \rightarrow Al^{3+} + NO_3^- + NO_3^- + NO_3^-$$

1
$$\begin{array}{lrcrcr} Al: & 1 & \times & 27.0 & = & 27.0 \\ N: & 3 & \times & 14.0 & = & 42.0 \\ O: & 9 & \times & 16.0 & = & 144.0 \\ \hline & & & & & 213.0\ g/mol \end{array}$$

2
$$n = \frac{m}{M_m} = \frac{25.0\ g}{213.0\ g/mol} = 0.117\ moles\ Al(NO_3)_3$$



مثال 24

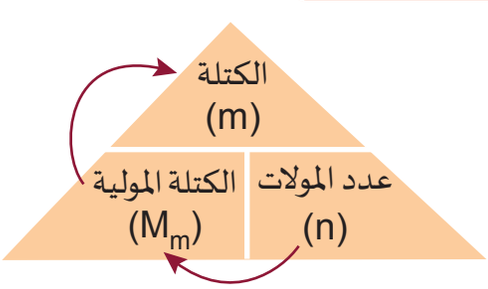
احسب كتلة 10 moles من الجلوكوز $C_6H_{12}O_6$ الجُزيء المهم جدًا في علم الأحياء والذي يسمّى سُكَّر الدم.

الحلّ:

1. احسب الكتلة المولية لمُركّب الجلوكوز من صيغته الكيميائية: $C_6H_{12}O_6$.
2. أعد ترتيب المعادلة 2-5 لحساب كتلة الجلوكوز من عدد المولات المعطى والكتلة المولية المحسوبة. يمكنك الاستعانة بالشكل للتأكّد من صحّة العلاقة المستخدمة..

1
$$\begin{array}{lrcrcr} C: & 6 & \times & 12.0 & = & 72.0 \\ H: & 12 & \times & 1.0 & = & 12.0 \\ O: & 6 & \times & 16.0 & = & 96.0 \\ \hline & & & & & 180.0\ g/mol \end{array}$$

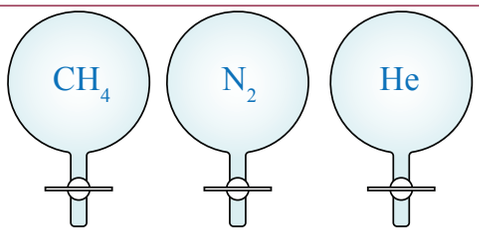
2
$$n = \frac{m}{M_m} \rightarrow m = nM_m$$
$$m = 10 \times 180.0 = 1800\ g\ C_6H_{12}O_6$$



الحجم المولي (V_m)

تفيد نظرية أميدو أفوجادرو بأن الحجوم المتساوية للغازات المختلفة عند درجة الحرارة نفسها والضغط نفسه تحتوي على أعداد متساوية من الجُزيئات (**الشكل 2-33**)، وتُعرف هذه النظرية باسم **فرضية أفوجادرو Avogadro's hypothesis**.

تُعدّ هذه الفرضية مقاربة جيدة، لأن الجُزيئات في عيّنة الغاز مُتباعدة نسبيًا، إذا ما قورنت بالجُزيئات في الحالتَين الصلبة والسائلة.



	He	N_2	CH_4
الحجم	22.4 L	22.4 L	22.4 L
درجة الحرارة	0ºC	0ºC	0ºC
الضغط	1 atm	1 atm	1 atm
الكتلة المولية للغاز	4.0 g/mol	14.0 g/mol	16.0 g/mol
عدد جُزيئات الغاز	6.02×10^{23} جزيء	6.02×10^{23} جزيء	6.02×10^{23} جزيء

الشكل 2-33 الحجوم المتساوية للغازات المختلفة عند درجة الحرارة والضغط أنفسهما تحتوي على أعداد متساوية من الجُزيئات.

تُسمّى الظروف الملائمة التي تُستخدم في الكيمياء **درجة الحرارة والضغط القياسيين Standard temperature and pressure, STP**. وتُعرف درجة الحرارة القياسية بأنها تساوي 0ºC (273 K)، ويُعرف الضغط القياسي بأنه يساوي 1 ضغط جوي، atm، (101.3 kPa).

درجة الحرارة القياسية تساوي 0ºC (273 K)، والضغط القياسي يساوي 1 ضغط جوي، atm، (101.3 kPa).

وبذلك عرّف أفوجادرو أن **الحجم المولي Molar volume (V_m)** لأيّ غاز هو حجم مول واحد من الغاز عند درجة الحرارة والضغط القياسيين، STP، ويساوي 22.4 L، أي $22.4\ dm^3$.

يمكن استخدام **المعادلة 6-2** للتحويل بين عدد مولات الغاز وحجمه عند الظروف القياسية، STP.

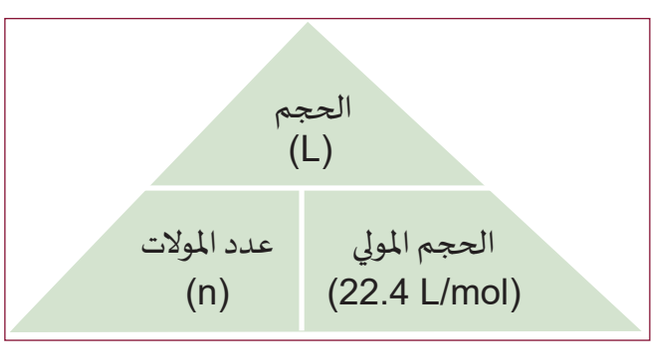
الحجم المولي لأيّ غاز عند درجة الحرارة والضغط القياسيين، STP، يساوي 22.4 L.

6-2 عدد مولات الغاز

$$n = \frac{V}{V_m}$$

n	عدد المولات	
V	حجم الغاز عند STP (L)	
V_m	الحجم المولي (22.4 L/mol)	

تحتاج مسائل كثيرة إلى معرفة عدد مولات الغاز من حجمه أو العكس. يُعدّ المخطّط المبيَّن في **الشكل 2-34** مفيدًا جدًا لإجراء حسابات كهذه.



الشكل 2-34 مخطّط مفيد جدًا يساعد على حل مسائل الحجم المولي.

أمثلة على الحسابات باستخدام الحجم المولي عند الظروف القياسية STP

مثال 25

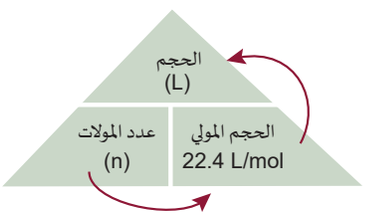
ما حجم 3.75 mol من غاز الهيدروجين، H_2، عند الظروف القياسية، STP؟

الحلّ:

استخدم المعادلة 2-6 لتحسب حجم 3.75 mol من غاز الهيدروجين، علمًا أن الحجم المولي لأيّ غاز يساوي 22.4 L عند الظروف القياسية.

$$n = \frac{V}{V_m} \longrightarrow V = nV_m$$

$$V = 3.75\ \text{mol} \times 22.4\ \text{L/mol} = \boxed{84.0\ \text{L}}$$



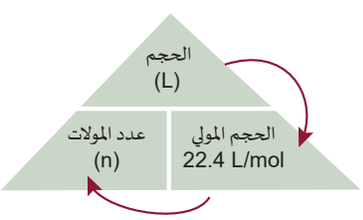
مثال 26

ما عدد مولات غاز الهيليوم، He، في 10.0 L من الهيليوم عند الظروف القياسية، STP؟

الحلّ:

نستخدم المعادلة 2-6 لحساب عدد مولات غاز الهيليوم في الحجم المُحدّد، وذلك بقسمة حجمه على الحجم المولي عند STP .

$$n = \frac{V}{V_m} = \frac{10\ \text{L}}{22.4\ \text{L/mol}} = \boxed{0.446\ \text{mol}}$$



أمثلة على حسابات الكتلة والحجم عند الظروف القياسية، STP

إذا كان المثال يتضمّن عملية تحويل بين كتلة الغاز وحجمه عند الظروف القياسية، STP، فإنّ بالإمكان استخدام الكتلة المولية للغاز وحجمه المولي عند الظروف القياسية، STP، لحلّ هذا المثال.

مثال 27

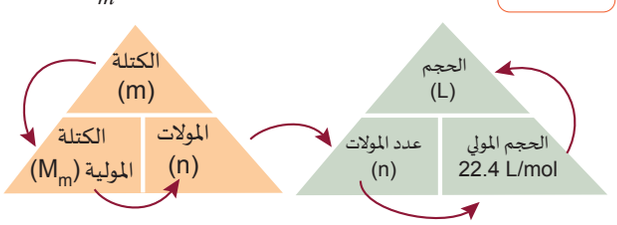
ما حجم عيّنة من غاز النيون، Ne، كتلتها 90.0 g عند الظروف القياسية، STP؟

الحلّ:

يحتاج حلّ هذا المثال إلى علاقتَين رياضيّتين: تُستخدم الكتلة المولية لغاز Ne لتحويل كتلته بوحدة الجرامات إلى عدد مولات، ثم يُستخدم حجمه المولي عند الظروف القياسية، STP، لتحويل عدد مولات Ne إلى حجمه المطلوب بوحدة L.

$$n = \frac{m}{M_m} = \frac{90\ \text{g}}{20.18\ \text{g/mol}} = 4.46\ \text{mol}$$

$$V = nV_m = 4.46\ \text{mol} \times 22.4\ \text{L/mol} = \boxed{99.90\ \text{L}}$$



الحسابات الكيميائية

تُشكّل الحسابات الكيميائية Stoichiometry دراسة للعلاقات الكمّية التي تشير إليها مُعامِلات المعادلة الكيميائية الموزونة. ولمّا كانت معاملات المعادلة الكيميائية الموزونة هي نسبة عدد الجُسيمات، فيمكن أن تُمثل هذه النسبة أيضًا النسبة من حيث عدد مولات الجُسيمات.

النسبة المولية Mole ratio هي نسبة أيّ مادتَين (متفاعلة أو ناتجة) في المعادلة الكيميائية الموزونة. وتساوي نسبة مُعامِلات هاتَين المادتَين في المعادلة الكيميائية الموزونة.

لدينا مثلًا المعادلة الكيميائية الموزونة الآتية:

$$4\,As_{(s)} + 3\,C\ell_{2(g)} \rightarrow 2\,As_2C\ell_{3(s)}$$

يمكن استخدام مُعامِلات أيّ مادتين في المعادلة الكيميائية الموزونة لكتابة النسب المولية على النحو الآتي:

- 4 مولات من $As_{(s)}$ سوف تتفاعل مع 3 مولات من $C\ell_{2(g)}$.
- 4 مولات من $As_{(s)}$ سوف ينتج عنها مولان من $As_2C\ell_{3(s)}$.
- 3 مولات من $C\ell_{2(g)}$ سوف ينتج عنها مولان من $As_2C\ell_{3(s)}$.

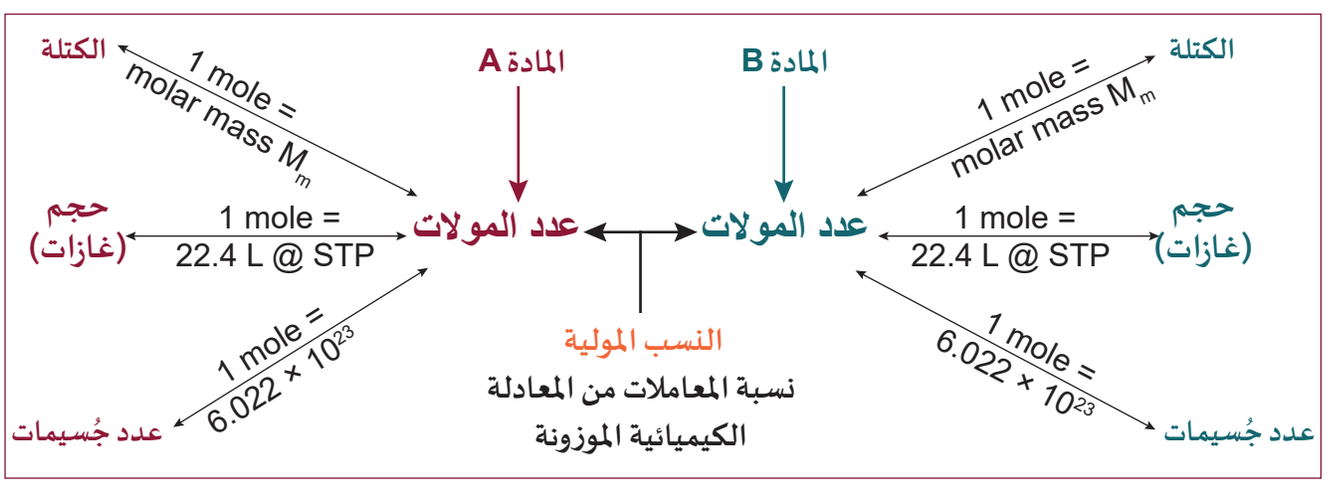
النسب المولية

$$\frac{3C\ell_{2(g)}}{4As_{(s)}} \quad \text{أو} \quad \frac{4As_{(s)}}{3C\ell_{2(g)}}$$

$$\frac{2As_2C\ell_{3(s)}}{4As_{(s)}} \quad \text{أو} \quad \frac{4As_{(s)}}{2As_2C\ell_{3(s)}}$$

$$\frac{3C\ell_{2(g)}}{2As_2C\ell_{3(s)}} \quad \text{أو} \quad \frac{2As_2C\ell_{3(s)}}{3C\ell_{2(g)}}$$

وسوف يُسهم استخدام النسبة المولية لمُعامِلات المعادلة الكيميائية الموزونة في تزويدك الآن بطريقة لربط كتلة أيّة مادة (A)، أو حجمها، أو عدد مولاتها من المعادلة الكيميائية الموزونة بكتلة أيّة مادة أخرى (B)، أو حجمها، أو عدد مولاتها من المعادلة الكيميائية الموزونة نفسها. يبيّن **الشكل 2-35** كيف ترتبط هذه النسب بعضها ببعض.



الشكل 2-35 خريطة الحسابات الكيميائية للمول.

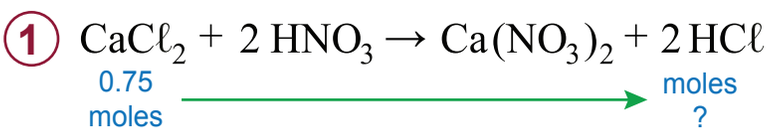
مثال 28

يتفاعل كلوريد الكالسيوم، $CaC\ell_2$، مع حمض النيتريك، $HNO_{3(aq)}$، فينتج خليط من محلول نيترات الكالسيوم، $Ca(NO_3)_{2(aq)}$، وحمض الهيدروكلوريك، $HC\ell$. وقد أُدرِجت المعادلة الكيميائية الموزونة لهذا التفاعُل أدناه. فإذا تفاعل 0.750 mol من $CaC\ell_2$، فما عدد مولات حمض الهيدروكلوريك، $HC\ell$، التي تنتج؟

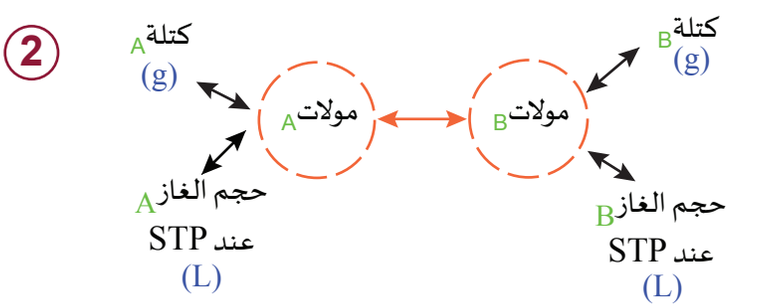
$$CaC\ell_{2(s)} + 2\,HNO_{3(aq)} \rightarrow Ca(NO_3)_{2(aq)} + 2HC\ell_{(aq)}$$

الحلّ:

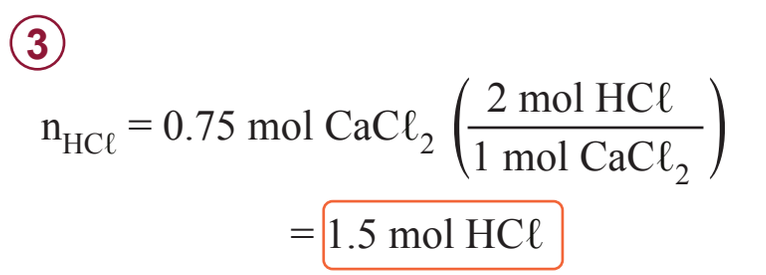
1. نلاحظ أنّنا زُوّدنا بعدد مولات $CaC\ell_2$، الذي يبلغ 0.75 mol، ونريد حساب عدد مولات $HC\ell$.



2. حدّد هذه الكمّيات باستخدام الخريطة المولية المُقابلة.



3. احسب عدد مولات $HC\ell$ مستخدمًا النسب المولية.



$$n_{HC\ell} = 0.75\ mol\ CaC\ell_2 \left(\frac{2\ mol\ HC\ell}{1\ mol\ CaC\ell_2}\right)$$

$$= \boxed{1.5\ mol\ HC\ell}$$

يمكن حلّ هذا المثال في خطوة واحدة فقط باستخدام نسبة مُعامِلات المعادلة الكيميائية الموزونة. لأن النسبة المولية تساوي 2:1 من مركّب $CaC\ell_2$ الذي تفاعل لإنتاج $HC\ell$.

$$CaC\ell_2 + 2\,HNO_3 \rightarrow Ca(NO_3)_2 + 2\,HC\ell$$

1 mol من $CaC\ell_2$	2 mol من $HC\ell$
0.750 mol من $CaC\ell_2$	؟

وبالتالي فإن عدد مولات $HC\ell$ تساوي 1.50 mol

مثال 29

يُطلق على الخليط المكوّن من مسحوق الألومنيوم، $A\ell$، وأكسيد الحديد (III)، Fe_2O_3، اسم "الثيرمايت". ينتج عن اشتعال هذا الخليط كمّية كبيرة من الحرارة (تتجاوز 2000°C)، وينتج عن هذا التفاعُل أكسيد الألومنيوم، $A\ell_2O_3$، والحديد، Fe، في هيئة مصهور (الشكل 2-36).

الشكل 2-36 يتم إجراء عملية لَحْم لقضبان السكك الحديدية باستخدام خليط الثيرمايت.

يُستخدم هذا الخليط في لَحْم قضبان السكك الحديدية. احسب كتلة Fe_2O_3 التي ستتفاعل مع 4.35 mol من $A\ell$، إذا أُعطيت معادلة هذا التفاعُل الموزونة على النحو الآتي:

$$2\,A\ell_{(s)} + Fe_2O_{3(s)} \rightarrow A\ell_2O_{3(l)} + 2\,Fe_{(l)}$$

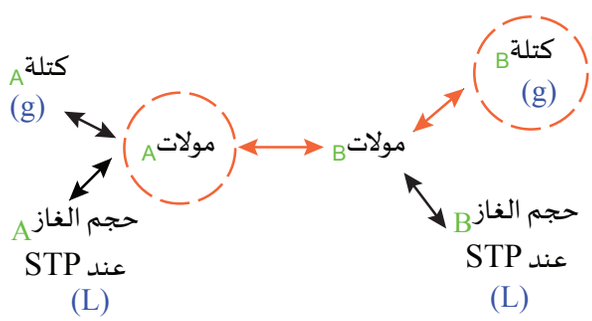
الحلّ:

1. تم تزودينا بعدد مولات $A\ell$ الذي يبلغ 4.35 mol، ونريد حساب كتلة Fe_2O_3.

(1)
$$2\,A\ell + Fe_2O_3 \rightarrow A\ell_2O_3 + 2\,Fe$$
4.35 moles → كتلة ?

2. حدّد هذه الكمّيات باستخدام الخريطة المولية المُقابلة.

(2)



3. احسب عدد مولات Fe_2O_3 مستخدمًا النسب المولية .

(3)
$$n_{Fe_2O_3} = 4.35\ mol\ A\ell \left(\frac{1\ mol\ Fe_2O_3}{2\ mol\ A\ell}\right)$$
$$= 2.175\ mol\ Fe_2O_3$$

4. احسب كتلة Fe_2O_3 مستخدمًا الكتلة المولية للمُركّب أكسيد الحديد (III) التي تساوي 159.6 g/mol. العلاقة 2-5.

(4)
$$n = \frac{m}{M_m}$$
$$m = n \times M_m$$
$$m_{Fe_2O_3} = 2.175\ mol\ Fe_2O_3 \times 159.7\ g/mol\ Fe_2O_3$$
$$= \boxed{347.3\ g\ Fe_2O_3}$$

لتبسيط الحسابات بمكنك أن تدمج الخطوات 3 و 4 و 5 في خطوة واحدة كالآتي:

$$m = \frac{4.35\ \cancel{mol\ Al}}{1} \times \left(\frac{1\ \cancel{mol\ Fe_2O_3}}{2\ \cancel{mol\ Al}}\right) \times \left(\frac{159.7\ g\ Fe_2O_3}{1\ \cancel{mol\ Fe_2O_3}}\right) = \boxed{347.3\ g\ Fe_2O_3}$$

مثال 30

تفاعَل محلول كلوريد الحديد (III) $FeC\ell_3$، مع محلول هيدروكسيد البوتاسيوم، KOH، فنتج عن تفاعلهما محلول كلوريد البوتاسيوم، $KC\ell$، وراسب لمركّب هيدروكسيد الحديد (III)، $Fe(OH)_3$، وفقًا للمعادلة الواردة أدناه. فإذا نتج 20.0 g من $Fe(OH)_3$، فما كتلة $KC\ell$ التي نتجت أيضًا؟

$$FeC\ell_{3(s)} + 3KOH_{(aq)} \rightarrow 3KC\ell_{(aq)} + Fe(OH)_{3(s)}$$

الحلّ:

1. تمّ تزودينا بكتلة مادة واحدة فقط وهي ($Fe(OH)_3$)، ونريد حساب كتلة المادة الناتجة الثانية، وهي ($KC\ell$).

① $FeC\ell_3 + 3\,KOH \rightarrow 3\,KC\ell + Fe(OH)_3$

كتلة 20.0 g ← كتلة ?

2. حدّد الكمّيات الثلاث باستخدام الخريطة المولية المُقابلة.

② كتلة A (g) ↔ مولات A ↔ مولات B ↔ كتلة B (g)

حجم الغاز A عند STP (L) ↔ مولات A

مولات B ↔ حجم الغاز B عند STP (L)

3. احسب عدد مولات $Fe(OH)_3$ باستخدام الكتلة المولية لمُركّب هيدروكسيد الحديد (III) التي تساوي 106.8 g/mol (العلاقة 2-5).

③ $$n_{Fe(OH)_3} = \frac{m}{M_m} = \frac{20.0\ g\ Fe(OH)_3}{106.8 g/mol}$$
$$= 0.187\ mol\ Fe(OH)_3$$

4. احسب عدد مولات $KC\ell$ باستخدام النسب المولية من المعادلة الكيميائية الموزونة.

④ $$n_{KC\ell} = 0.187\ mol\ Fe(OH)_3 \times \left(\frac{3\ mol\ KC\ell}{1\ mol\ Fe(OH)_3}\right)$$
$$= 0.561\ mol\ KC\ell$$

5. احسب كتلة $KC\ell$ مستخدمًا الكتلة المولية للمُركّب كلوريد البوتاسيوم التي تساوي 74.6 g/mol (العلاقة 2-5).

⑤ $$m = n \times M_m$$
$$m_{KC\ell} = 0.561\ mol\ KC\ell \times 74.6\ g/mol\ KC\ell$$
$$= \boxed{41.9\ g\ KC\ell}$$

لتبسيط الحسابات يمكنك أن تدمج الخطوات 3 و 4 و 5 في خطوة واحدة كالآتي:

$$m_{KC\ell} = \frac{20.0\ g\ \cancel{Fe(OH)_3}}{1} \times \left(\frac{1\ \cancel{mol\ Fe(OH)_3}}{106.8\ \cancel{g\ Fe(OH)_3}}\right) \times \left(\frac{3\ \cancel{mol\ KC\ell}}{1\ \cancel{mol\ Fe(OH)_3}}\right) \times \left(\frac{74.6\ g\ KC\ell}{1\ \cancel{mol\ KC\ell}}\right)$$
$$= \boxed{41.9\ g\ KC\ell}$$

مثال 31

يتفاعل غاز ثاني أكسيد الكبريت، $SO_{2(g)}$، مع غاز الأكسجين، $O_{2(g)}$، فينتج ثالث أكسيد الكبريت، $SO_{3(g)}$، كما هو موضّح في المعادلة الكيميائية الموزونة الواردة أدناه. ما حجم غاز $O_{2(g)}$ الذي سيتفاعل مع 100.0 L من غاز $SO_{2(g)}$ عند الظروف القياسية، STP؟

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

الحلّ:

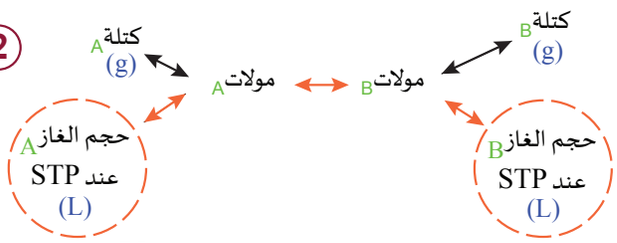
1. تم تزودينا بحجم غاز $SO_{2(g)}$ الذي يبلغ 100.0 L، ونريد حساب حجم غاز $O_{2(g)}$.

(1) $2\ SO_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2\ SO_{3(g)}$

100 L ⟶ الحجم ؟

2. حدّد هذه الكمّيات باستخدام الخريطة المولية المُقابلة.

(2)



3. احسب عدد مولات غاز SO_2 مستخدمًا الحجم المولي. (العلاقة 2-6).

(3) $n = \frac{V}{V_m}$

$$n_{SO_2} = \frac{100\ L\ SO_{2(g)}}{22.4\ mol/L}$$

$$= 4.464\ mol\ SO_{2(g)}$$

4. احسب عدد مولات غاز O_2 مستخدمًا النسب المولية.

(4) $n_{O_2} = 4.464\ mol\ SO_{2(g)} \left(\frac{1\ mol\ O_{2(g)}}{2\ mol\ SO_{2(g)}} \right)$

$$= 2.232\ mol\ O_{2(g)}$$

5. احسب حجم غاز O_2 مستخدمًا الحجم المولي. (العلاقة 2-6).

(5) $n = \frac{V}{V_m} \longrightarrow V = n \times V_m$

$$V_{O_{2(g)}} = 2.232\ mol\ O_2 \times 22.4\ mol/L = \boxed{50\ L\ O_2}$$

تتوفّر طريقة مختصرة لحساب أمثلة حجم الغاز، تتضمّن إيجاد علاقة بين حجمَيْ غازَين. تتمّ هذه الطريقة استنادًا إلى أن حجوم الغازات المتساوية عند درجة الحرارة والضغط نفسَيهما تحتوي على أعداد مولات متساوية أيضًا.

إضافة الى ذلك، ليس هناك ما يفيد بأن يكون الغاز عند الظروف القياسية . STP، وإذا استخدمنا هذا المبدأ ستبدو نسبة الحجم لحلّ المثال 31 على النحو الموضّح في المعادلة المقابلة .

$$V_{O_2} = \frac{100.0\ \cancel{L\ SO_2}}{1} \times \left(\frac{1\ L\ O_2}{2\ \cancel{L\ SO_2}} \right) = \boxed{50.0\ L\ O_2}$$

ملحوظة: يمكن استخدام نسبة حجم إلى حجم عند إجراء عملية المقارنة بين غازَين فقط.

مثال 32

ما حجم غاز الهيدروجين (H_2) الناتج عند الظروف القياسية، STP، عندما يتفاعل 45.0 g من الحديد (Fe) بحسب المعادلة الكيميائية الآتية:

$$2\,Fe_{(s)} + 3\,H_2O_{(l)} \rightarrow 3\,H_{2(g)} + Fe_2O_{3(s)}$$

الحلّ:

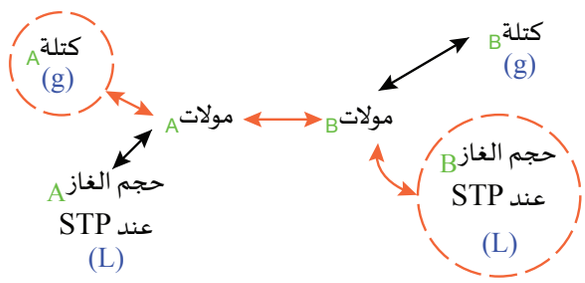
1. تمّ تزودينا بكتلة Fe، ونريد حساب حجم غاز الهيدروجين (H_2) الناتج عند الظروف القياسية، STP.

1 $2Fe_{(s)} + 3\,H_2O_{(l)} \rightarrow 3\,H_{2(g)} + Fe_2O_{3(s)}$

كتلة 45.0 g ⟶ حجم ? L

2. حدّد الكمّيات باستخدام الخريطة المولية الى اليسار.

2



3. احسب عدد مولات الحديد باستخدام الكتلة المولية للحديد (55.8g/mol). (العلاقة 2-5)

3 $$n_{Fe} = \frac{m}{M_m} = \frac{45gFe}{55.8g/mol} = 0.806mol\ Fe$$

4. احسب عدد مولات غاز الهيدروجين باستخدام النسبة المولية المناسبة التي تبين العلاقة بين H_2 و Fe من المعادلة الكيميائية الموزونة.

4 $$n_{H_2} = 0.806\ mol\ Fe\left(\frac{3\ mol\ H_2}{2\ mol\ Fe}\right) = 1.209\ mol H_2$$

5. حوّل عدد مولات H_2 إلى حجم H_2 عند الظروف القياسية، STP؛ ثمّ استخدم الحجم المولي للغاز عند الظروف القياسية، STP. (العلاقة 2-6)

5 $$n = \frac{V}{V_m} \longrightarrow V = n \times V_m$$

$$V_{H_2} = 1.209\ mol\ H_2 \times 22.4\ L/mol = \boxed{27.08\ L\ H_2}$$

لتبسيط الحسابات يمكنك أن تدمج الخطوات 3 و 4 و 5 في خطوة واحدة كالاتي:

$$V_{H_2} = \frac{45.0\ \cancel{g\ Fe}}{1} \times \left(\frac{1\ \cancel{mol\ Fe}}{55.8\ \cancel{g\ Fe}}\right) \times \left(\frac{3\ \cancel{mol\ H_2}}{2\ \cancel{mol\ Fe}}\right) \times \left(\frac{22.4\ L\ H_2}{1\ \cancel{mol\ H_2}}\right) = \boxed{27.08\ L\ H_2}$$

ملحوظة: يمكن استخدام العلاقة الرياضية للحجم المولي لأيّ غاز عند الظروف القياسية، STP (22.4 L / mol) مع الغازات فقط، وليس مع المواد الصلبة، أو السائلة، إذ يمكن استخدامها فقط عندما يحدث التفاعُل عند درجة الحرارة والضغط القياسيين (STP).

نشاط a2-2 الحسابات الكيميائية

سؤال الاستقصاء	هل يمكن توقّع كتلة مادة ناتجة عن تفاعُل كيميائي بإجراء الحسابات الكيميائية؟
الموادّ المطلوبة	محلول $HC\ell$ تركيزه 1 M، ومحلول $NaHCO_3$ تركيزه 1 M، ميزان إلكتروني، ملعقة، موقد، حامل معدني حلقي، شبكة تسخين معدنية، طبق تبخير، طبق زجاجي شفّاف، نظّارة واقية.

مقدمة

سوف تنفِّذ في هذا النشاط تفاعُلًا يحدث بين صودا الخبز، $NaHCO_3$، وحمض الهيدروكلوريك، $HC\ell$. وقد وُضّح هذا التفاعُل في المعادلة الكيميائية غير الموزونة الآتية:

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

سوف تلاحظ أن CO_2 يخرج من المحلول في هيئة فقاعات، ويبقى $NaC\ell$ في المحلول المائي، وسيتمّ تبخير الماء، بحيث يبقى $NaC\ell$ الصلب فقط. ويتمّ قياس كتلة $NaC\ell$، ومقارنتها بكتلة $NaC\ell$ التي يُتوقّع أن تنتج بشكل نظري من خلال إجراء الحسابات الكيميائية.

الخطوات (اعمل في مجموعة ثنائية)

1. قِسْ كتلة طبق التبخير، والطبق الزجاجي الشفّاف (الذي يُستخدم كغطاء) وسجّل كتلتهما، واتركهما على الميزان الإلكتروني.
2. أعِدْ قراءة الميزان إلى الصفر، ثم قِسْ 2.50 g من $NaHCO_3$ بحيث توضع في طبق التبخير (اترك الطبق الزجاجي الشفّاف تحت طبق التبخير على الميزان).
3. قم الآن، بتغطية طبق التبخير مُستخدمًا الطبق الزجاجي الشفّاف، وأضف محلول $HC\ell$ ببطء، ثم احقن ما يقرب من 1 mL من محلول $HC\ell$ على حافة طبق التبخير إلى أن يتفاعل $NaHCO_3$ كلّه (يجب ألّا يحدث فوران).
4. سخّن طبق التبخير إلى أن يتبخّر الماء كلّه من طبق التبخير.
5. دع طبق التبخير ليبرد مدة 10 دقائق، ثم قِسْ كتلته مع المادة الناتجة عن التفاعُل.

التحليل

a. احسبْ كتلة $NaC\ell$ الناتجة عن التجربة من البيانات التي تمّ جمعها.

b. وازن المعادلة الكيميائية للتفاعُل.

c. استخدم المعادلة الكيميائية الموزونة، لتحسب كتلة $NaC\ell$ التي يمكن أن تنتج بشكل نظري عن تفاعُل 2.50 g من $NaHCO_3$.

d. قارن بين كتلة $NaC\ell$ التي حصلت عليها عمليًا وبين كتلة $NaC\ell$ النظرية التي قمت بحسابها.

المولارية (M)

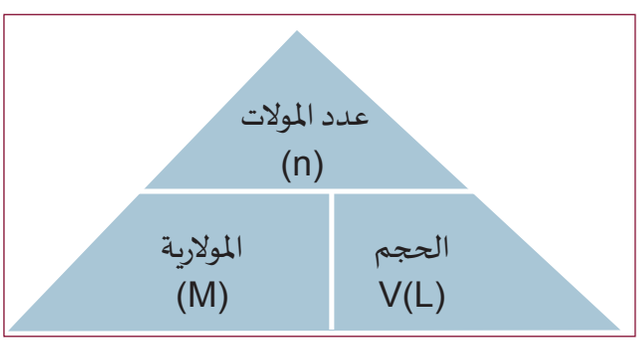
يُعرف **المحلول Solution** بأنّه خليط متجانس مكوّن من مادتَين أو أكثر، وتُستخدم المحاليل المائية بشكل واسع في مختبرات الكيمياء. يتكوّن المحلول المائي من مذيب (solvent) وهو الماء و من مذاب (solute) الذي يمثّل المادة المذابة. وعندما نستخدم محلولًا في أحد التفاعُلات الكيميائية، يكون عدد مولات المادة المذابة هو الذي يتوجّب علينا معرفته في هذا التفاعُل.

استخدم الكيميائيون مصطلح التركيز للتعبير عن كمية المادة المذابة في كمية محددة من المذيب. ونحن في الغالب نعبّر عن تركيز المحلول بأنه نسبة عدد مولات المادة المذابة إلى حجم المحلول. تُسمّى هذه النسبة **مولارية Molarity** المحلول. وتُعرّف بأنها عدد مولات المادة المذابة لكل لتر من المحلول (**المعادلة 2-7**).

7-2	المولارية		
$\text{المولارية } [M] = \dfrac{n_{solute}}{V_{solution}}$		$[M]$	المولارية (mol/L)
		n_{solute}	عدد مولات المادة المذابة
		$V_{solution}$	حجم المحلول (dm^3 أو L)

مولارية المحلول هي عدد مولات المادة المذابة لكل لتر من المحلول.

يُستخدم الرمز "M" لتمثيل تركيز المحلول بالمولارية. فعندما يتمّ وضع عنوان لأحد المحاليل، مثل "0.5 M NaCℓ"، فهذا يعني أنّ المحلول يحتوي على 0.5 mol من المادة المذابة NaCℓ الذائبة في كل لتر (1 L) من المحلول. يعتبر المخطّط المبيّن في **الشكل 2-37** أداة مفيدة للحسابات المتعلّقة بالمولارية.



الشكل 2-37 مخطّط يسهل عملية الحسابات المتعلّقة بالمولارية.

مثال 33

ما مولارية محلول يحتوي على 1.5 mol من كلوريد الصوديوم مذابة في الماء لتحضير 0.5 L من هذا المحلول.

الحلّ:

أُعطيَت كمية المادة المذابة بوحدة (mol)، وحجم المحلول بوحدة (L)، لذلك نطبّق المعادلة 2-7 مباشرة من دون أي تحويل بالوحدات.

$$M_{NaC\ell} = \frac{n_{solute}}{V_{solution}} = \frac{1.5 \text{ mol NaC}\ell}{0.5 \text{ L}} = \boxed{3.0\text{M NaC}\ell}$$

مثال 34

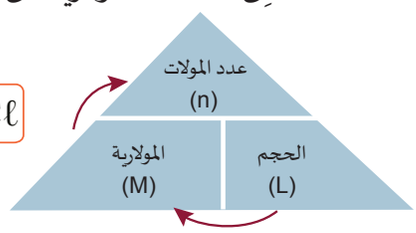
ما عدد مولات مركّب كلوريد البوتاسيوم، $KC\ell$، المذاب في 1.5 L من المحلول تركيزه 0.163M؟

الحلّ:

1. أُعطيَت مولارية، وحجم المحلول بوحدة "L".
2. لذلك نطبِّق معادلة المولارية من دون أيّ تحويل ابتدائي للوحدات.

$$M_{KC\ell} = \frac{n_{solute}}{V_{solution}} \longrightarrow n_{KC\ell} = M_{KC\ell} \times V_{solution}$$

$$n_{KC\ell} = 0.163\ M \times 1.5L = \boxed{0.245\ mol\ KC\ell}$$



مثال 35

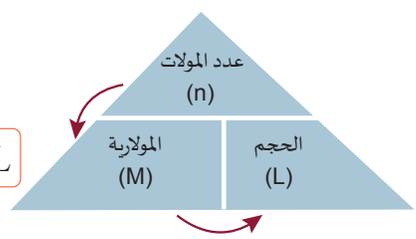
احسب حجم المحلول الناتج من إذابة 0.0625 mol من كبريتات الصوديوم، Na_2SO_4، في كمّية كافية من الماء لتكوين محلول تركيزه 0.125M.

الحلّ:

1. أُعطيَت كمية المادة المذابة بوحدة "mol"، ومولارية المحلول.
2. نستخدم العلاقة 2-7 معادلة المولارية لحساب حجم المحلول بوحدة "L".

$$M_{(Na_2SO_4)} = \frac{n_{solute}}{V_{solution}} \longrightarrow V_{solution} = \frac{n_{Na_2SO_4}}{M}$$

$$V_{solution} = \frac{0.0625\ mol\ Na_2SO_4}{0.125M\ Na_2SO_4} = \boxed{0.5\ L}$$



حساب المولارية عندما تكون كتلة المادة المذابة معلومة

ليس هناك جهاز يُستخدم لقياس عدد المولات بشكل مباشر؛ ومع ذلك، تُعتبر عملية قياس كتلة المادة المذابة في غاية السهولة. في هذا الدرس، تعلّمنا كيفية حساب عدد مولات الجُسيمات في عيّنة من مادّة كتلتها معلومة، وتمّ استخدام كتلتها المولية.

يُستخدم هذا التحويل أيضًا لحساب مولارية محلول تكون كتلة المادة المذابة فيه معلومة بوحدة "الجرامات، g"، وحجم المحلول بوحدة mL، أو L.

$$\text{المولارية} = \frac{\text{كتلة المادة المذابة بالجرام} \longrightarrow \text{المادة المذابة } moles}{\text{حجم المحلول بوحدة } mL \longrightarrow \text{حجم المحلول بوحدة } L}$$

الشكل 2-38 الاستراتيجية المتّبعة لحساب مولارية محلول كتلة المادة المذابة فيه معلومة.

ارسم مخطّطًا للاستراتيجية المتّبعة في حساب مولارية محلول تكون كتلة المادة المذابة فيه معلومة بوحدة "kg"، وحجم هذا المحلول بوحدة "mm^3"، كما هو موضّح في **الشكل 2-38**.

مثال 36

ما مولارية محلول تكوّن عن طريق إذابة 12.95 g من مركّب نيترات النحاس (II)، $Cu(NO_3)_2$، في الماء، لتحضير محلول حجمه 2.00 L؟

الحلّ:

لإيجاد المولارية، نحتاج إلى معرفة عدد مولات المادة المذابة، وحجم المحلول.

1. ابدأ بتحديد الكتلة المولية لمركّب $Cu(NO_3)_2$.

1
$$\begin{array}{lrcrcrl} Cu: & 1 & \times & 63.5\ g/mol & = & 63.5\ g & + \\ N: & 2 & \times & 14.0\ g/mol & = & 28.0\ g & + \\ O: & 6 & \times & 16.0\ g/mol & = & 96.0\ g & \\ \hline & & & & & 187.5\ g/mol & \end{array}$$

2. ثمّ حوّلْ 12.95 g من مركّب $Cu(NO_3)_2$ إلى عدد مولات. (العلاقة 2-5)

2
$$n_{Cu(NO_3)_2} = \frac{m}{M_m} = \frac{12.95\ g\ Cu(NO_3)_2}{187.5\ g/mol}$$
$$= 0.0691\ mol\ Cu(NO_3)_2$$

3. أخيرًا، عوّض هذه القيَم في معادلة المولارية. (العلاقة 2-7)

3
$$\text{المولارية} = \frac{\text{عدد مولات المادة المذابة}}{\text{حجم المحلول } (L)}$$
$$M = \frac{0.0691\ mol\ Cu(NO_3)_2}{2.00\ L}$$
$$= \boxed{0.0346\ M\ Cu(NO_3)_2}$$

مثال 37

تمّت إذابة 1.10 g من كربونات الليثيوم، Li_2CO_3، في الماء لتحضير محلول حجمه 100.0 mL. احسب مولارية محلول كربونات الليثيوم.

الحلّ:

1. ابدأ بتحديد الكتلة المولية لمركّب Li_2CO_3.

1
$$\begin{array}{lrcrcrl} Li: & 2 & \times & 6.9\ g/mol & = & 13.8\ g & + \\ C: & 1 & \times & 12.0\ g/mol & = & 12.0\ g & + \\ O: & 3 & \times & 16.0\ g/mol & = & 48.0\ g & + \\ \hline & & & & & 73.8\ g/mol & \end{array}$$

2. ثمَّ حوّلْ 1.10 g من مركّب Li_2CO_3 إلى عدد مولات باستخدام الكتلة المولية. (العلاقة 2-5)

2
$$n = \frac{m}{M_m}$$
$$n_{Li_2CO_3} = \frac{1.10\ g\ Li_2CO_3}{73.8 g/mol}$$
$$= 0.0149\ mol\ Li_2CO_3$$

3. أخيرًا، حوّلْ حجم المحلول من mL إلى L، وعوّض هذه القيَم في معادلة المولارية.

3
$$\frac{100\ mL}{1} \times \left(\frac{1\ L}{1000\ mL}\right) = 0.100\ L$$
$$\text{المولارية} = \frac{0.0149\ mol\ Li_2CO_3}{0.100\ L}$$
$$[Li_2CO_3] = \boxed{0.149\ M\ Li_2CO_3}$$

تحضير المحاليل

إذا أردنا تحضير محلول له تركيز معلوم أو محدّد بدقة، يتوجّب علينا قياس كتلة المادة المذابة وحجم المحلول بدقّة. يتمّ قياس كتل المواد المذابة لمعظم المحاليل باستخدام الميزان الإلكتروني الذي يقيس الكتلة بوحدة المليجرام (mg)، وتُستخدم دوارق خاصة، تُسمّى "دوارق حجمية"، لقياس حجم المحاليل. تتوفّر هذه الدوارق الحجمية بسعات كثيرة ومتنوّعة (**الشكل 2-39**). وإذا أردنا تحضير محلول ما، فعلينا اختيار سعة الدورق الحجمي، المناسب للمحلول المطلوب من دون أن يكون هناك فائض. علمًا أنّ عنق الدورق الحجمي الطويل يحتوي على خطّ قياس، بحيث يصل المحلول إلى السعة المطلوبة بعد تقعّر سطحه عند مستوى ذلك الخطّ. (**الشكل 2-40**).

الشكل 2-39 تتوفّر الدوارق الحجمية بسعات مختلفة.

الشكل 2-40 تقعُّر المحلول عند مستوى خط القياس الذي يحتوي عليه عنق الدورق الحجمي.

خطوات تحضير محلول، له مولارية وحجم محدّدان

1. حدّد مولارية المحلول وحجمه المطلوبَيْن.
2. اختر دورقًا حجميًا يوفر لك الحجم المطلوب للمحلول.
3. احسب كتلة المادة المذابة اللازمة لإعداد المحلول ذي التركيز المطلوب، وحجم المحلول (سيتمّ وصف هذا في الأمثلة اللاحقة).
4. قِسْ الكتلة المحسوبة للمادة المذابة، وضعْها في الدورق الحجمي الذي اخترته (إضافة المادة المذابة قبل الماء يساعد على إذابة المادة المذابة بشكل أسرع).
5. أضِفْ كمّيات قليلة من الماء المُقطّر إلى الدورق الحجمي. مع هزّه بطريقة دائرية بعد كل إضافة، إلى أن يصل تقعّر سطح المحلول إلى خطّ القياس.
6. غطّ الدورق الحجمي واقلبه عدّة مرّات للتأكّد من الحصول على خليط مُتجانس.

حساب كتل المحاليل وحجومها

يتمثَّل المبدأ الأساسي لحساب كتل المواد المذابة اللازمة، أو حجوم المحاليل المطلوبة من قيمة مولارية معلومة لمحلول ما، باستخدام مولارية المحلول في هيئة نسبة مول إلى حجم، كما تمّ توضيحه في المعادلة 2-2. ويتمّ بعد ذلك استخدام مولارية المحلول للتحويل بين عدد مولات المادة المذابة وحجم المحلول. وتُستخدم الكتلة المولية للمادة المذابة للتحويل بين عدد المولات وكتلة المادة المذابة بوحدة الجرامات. أمّا العلاقات الحجمية فتُستخدم للتحويل بين وحدات قياس الحجم إذا تطلّب الأمر ذلك. يلخّص **الجدول 2-10** تلك الخطوات.

الجدول 2-10 العلاقات المُستخدَمة في حسابات المحاليل.

للتحويل بين	الاستخدام
عدد مولات المادة المذابة وحجم المحلول	المولارية
عدد مولات المادة المذابة وكتلتها بوحدة (g)	الكتلة المولية
وحدات الحجم المختلفة	العلاقات الحجمية

مثال 38

ما كتلة هيدروكسيد البوتاسيوم، KOH، اللازمة لتحضير محلول حجمه 500.0 mL، وتركيزه يساوي 0.100 M؟

الحلّ:

1. حول وحدة الحجم من "mL" الى وحدة "L"

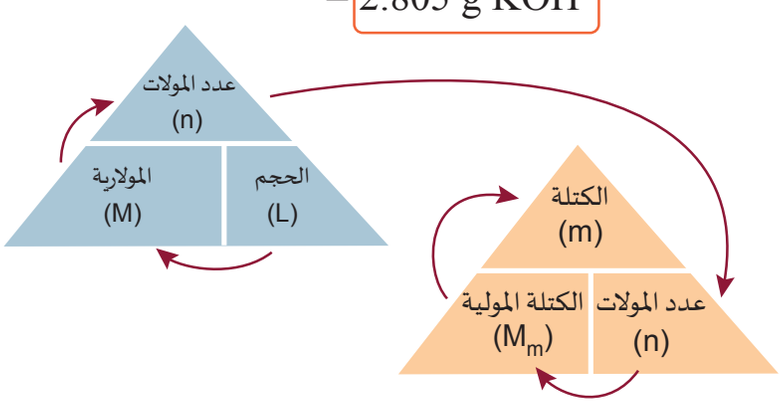
$$\frac{500\ \text{mL}}{1} \times \frac{1\text{L}}{1000\ \text{mL}} = 0.5\text{L}$$

2. استخدم معادلة المولارية لحساب عدد مولات هيدروكسيد البوتاسيوم.

$$n_{\text{KOH}} = MV_{solution\ (L)}$$
$$= (0.5\ \text{L} \times 0.1\ \text{M}) = 0.05\ \text{mol KOH}$$

3. تُستخدَم الكتلة المولية لمركّب KOH للتحويل من عدد مولات KOH إلى كتلة KOH بوحدة الجرامات (g).

$$n = \frac{m}{M_m}$$
$$m = n \times M_m$$
$$n_{\text{KOH}} = 0.05\ \text{mol KOH} \times 56.1\text{g/mol KOH}$$
$$= \boxed{2.805\ \text{g KOH}}$$



مثال 39

ما حجم محلول يوديد البوتاسيوم KI بوحدة (L) تركيزه 2.75 M يحتوي على 1500.0 g من المادة المذابة؟

الحلّ:

1. إبدأ بتحديد الكتلة المولية لمركب يوديد البوتاسيوم

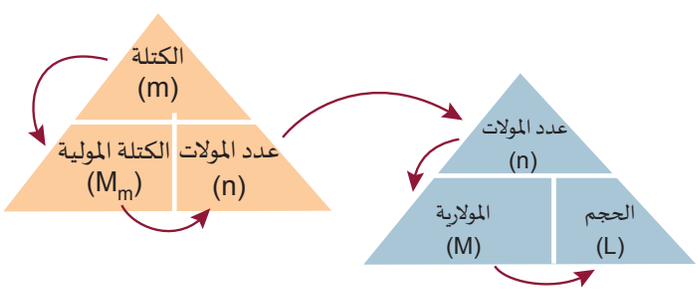
① $K = 1 \times 39.098\ g/mol = 39.098\ g/mol$
$I = 1 \times 126.904 g/mol = 126.904\ g/mol$ +
$= 166.002\ g/mol$

2. استخدم الكتلة المولية ومعادلة عدد المولات لتحسب عدد مولات KI في عيّنة الكتلة المعطاة.

② $n_{KI} = M_m = \frac{1500\ g\ KI}{166.002\ g/mol}$
$= 9.036\ mol\ KI$

3. تُستخدم معادلة المولارية لتحديد حجم المحلول باستخدام مولارية المحلول وعدد مولات KI.

③ $V = \frac{n}{M} = \frac{9.036\ mol\ KI}{2.75M\ KI} = \boxed{3.286\ L}$



مثال 40

كم mL من محلول HCℓ تركيزه 3.40 M سوف يحتوي على 0.880 mol من HCℓ؟

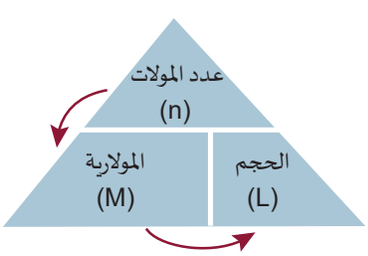
الحلّ:

1. تُستخدَم معادلة المولارية لتحديد حجم المحلول تركيزه 3.40 M ويحتوي على 0.880 mol من HCℓ.

① $V = \frac{n}{M} = \frac{0.880\ mol\ HC\ell}{3.40M\ HC\ell}$
$= 0.259\ L$

2. بما أنّ الحجم المطلوب بوحدة mL، فلا بدّ من تحويل الحجم من وحدة (L) إلى وحدة (mL).

② $V(mL) = 0.259\ L \left(\frac{1000\ mL}{1\ L}\right) = \boxed{259\ mL}$



نشاط b3-2 تحضير المحاليل القياسية

سؤال الاستقصاء	كيف تُعدّ محلولًا قياسياً (أي له تركيز معلوم بدقة)؟
الموادّ المطلوبة	كبريتات النحاس (II) خُماسية الماء ($CuSO_4.5H_2O$)، ماء مُقطّر، دورق حجمي سعته 250 mL مع غطاء أو سدادة زجاجية مصقولة، ميزان إلكتروني يقيس بوحدة المليجرام، ورق وزن، ملعقة معدنية صغيرة.

مقدّمة

سوف تحسب في هذا النشاط كتلة المادة المذابة اللازمة لإعداد محلول له حجم ومولارية معلومان. ثمّ تُعدّ محلولًا، وتعرض على معلّمك المحلول والحسابات التي أجريتها من أجل تقييمها.

المهمة

أعِدَّ محلولًا لمركّب كبريتات النحاس (II) ($CuSO_4$)، حجمه 250.0 mL، وتركيزه 0.0865 M.

الخطوات (اعمل في مجموعة ثنائية)

1. احسب الكتلة المولية لمركّب كبريتات النحاس (II) خُماسية الماء ($CuSO_4.5H_2O$). يشير الجزء "$5H_2O$" الوارد في الصيغة إلى وجود 5 جُزيئات من الماء مرتبطة بكبريتات النحاس (II) ($CuSO_4$). اجمع قيمة الكتلة الجُزيئية لجُزيئات الماء الخمسة، وقيمة الكتلة المولية للصيغة $CuSO_4$ من أجل تحديد الكتلة المولية للمُركّب $CuSO_4.5H_2O$، ووضّح طريقة إجراءاتك للحسابات تحت عنوان "الحسابات a".
2. احسب كتلة المُركّب كبريتات النحاس (II) خُماسية الماء ($CuSO_4.5H_2O$) اللازمة لإعداد محلول حجمه 250.0 mL، وتركيزه 0.0865 M، ووضّح طريقة إجراءاتك للحسابات تحت عنوان "الحسابات b".
3. قِسْ كتلة مُركّب كبريتات النحاس (II) خُماسية الماء ($CuSO_4.5H_2O$) المحسوبة بوضعها على ورقة الوزن وباستخدام الميزان الإلكتروني.
4. ضع الكتلة الموزونة بحذر في دورق حجمي سعته 250.0 mL.
5. أضف كمّيات قليلة من الماء المقطّر إلى الدورق الحجمي وهزّه بشكل دائري بعد كلّ إضافة، إلى أن يصل تقعُّر سطح المحلول إلى خطّ القياس.
6. غطّ الدورق الحجمي واقلبه عدة مرات للتأكّد من اختلاط محتوياته بشكل متجانس.

الحسابات

a. احسب الكتلة المولية لمُركّب كبريتات النحاس (II) خماسية الماء ($CuSO_4.5H_2O$).

b. احسب كتلة مُركّب كبريتات النحاس (II) خُماسية الماء ($CuSO_4.5H_2O$). اللازمة لإعداد محلول حجمه 250.0 mL ، وتركيزه 0.0865 M.

توقّع ما سيحدث للماء (H_2O) الموجود في بلّورات مُركّب $CuSO_4.5H_2O$ عندما تذوب هذه البلورات في الماء الذي أُضيف إليها.

تقويم الدرس 2-3

1. أي من العبارات الآتية تصف معنى عدد أفوجادرو، N_A بالشكل الأفضل؟
   a. عدد الجرامات في وحدة كتلة ذرّية واحدة (amu)
   b. عدد الذرّات في جرام واحد من مادة ما.
   c. عدد الجُسيمات في مول واحد من أي شيء.
   d. عدد المولات في جرام واحد من المادة.

2. أيٌّ ممّا يأتي يُمثّل تعريف المولارية؟
   a. كتلة المادة المذابة لكل لتر من المذيب.
   b. كتلة المادة المذابة لكل لتر من المحلول.
   c. عدد مولات المادة المذابة لكل لتر من المذيب.
   d. عدد مولات المادة المذابة لكل لتر من المحلول.

3. ما كتلة 2 mol من الماء، H_2O؟ (الكتلة المولية للماء تساوي 18.0 g/mol)؟
   a. 9.0 g
   b. 18.0 g
   c. 34.0 g
   d. 36.0 g

4. أيٌّ من أزواج القيَم الآتية يمثّل قيمتَي درجة الحرارة والضغط القياسيَّين، STP؟
   a. 0°C و 1 ضغط جوي.
   b. 100°C و 1 ضغط جوي.
   c. 0°C و 22.4 ضغط جوي.
   d. 100°C و 22.4 ضغط جوي.

5. ما الحجم المولي للغاز عند الظروف القياسية، STP؟

6. انظر إلى المعادلة الكيميائية المُعطاة أدناه. ما عدد مولات الخارصين، Zn، التي سوف تتفاعل لإنتاج 0.250 mol من غاز الهيدروجين، H_2؟

$$Zn_{(s)} + 2\,HC\ell_{(aq)} \rightarrow ZnC\ell_{2(aq)} + H_{2(g)}$$

7. انظر إلى المعادلة الكيميائية المُعطاة أدناه. ما حجم غاز الأكسجين، O_2، الذي سوف يتفاعل مع 2.50 L من غاز الهيدروجين، H_2؟

$$2\,H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2\,H_2O_{(l)}$$

8. احسب كتلة $KC\ell$ (كتلته المولية = 74.6 g/mol) اللازمة لتحضير 1 L من محلول $KC\ell$ تركيزه 1.00 M.

9. احسب كتلة نيترات الخارصين $Zn(NO_3)_2$ (كتلته المولية = 189.4 g/mol) اللازمة لتحضير 2.00 L من محلول $Zn(NO_3)_2$ تركيزه 2.00 M.

إضاءة على عالِم

أميدو أفوجادرو Amedeo Avogadro: 1776-1856

الشكل 2-41 أميدو أفوجادرو (1856 – 1776 م).

وُلِد لورنزو رومانو أميدو كارل أفوجادرو في مدينة تورين بمملكة سردينيا (والتي تُعدّ الآن جزءًا من إيطاليا) في 9 أغسطس 1776م. وهو يتحدّر من عائلة نبيلة، فقد كان والده الكونت فيليبو أفوجادرو، ووالدته أنّا فيرسيلون. حصل أميدو أفوجادرو على درجة الدكتوراه في القانون عام 1796م وكان عمره 20 عامًا، وكان قد بدأ بممارسة المحاماة. إلا أنه ما لبث أن أصبح مولعًا بالعلوم. بدأ عام 1800م بتلقّي دروس خاصّة في الرياضيات والفيزياء والكيمياء؛ وفي العام 1809م، تخلّى عن ممارسة المحاماة، وبدأ بتدريس مواد العلوم والرياضيات للمرحلة الثانوية في إحدى مدارس مدينة تورين. وفي العام 1820م، أصبح أفوجادرو بروفسورًا (يحمل رتبة الأستاذية) في الفيزياء الرياضية بجامعة تورين، حيث بقي فيها حتى تقاعد عام 1850م.

نشر عام 1811م ورقة علمية تحتوي على موضوعَيْن رئيسَيْن متقدّمَيْن في الكيمياء، هما: (1) الحجوم المتساوية للغازات، عند درجة حرارة وضغط ثابتَين تحتوي على أعداد متساوية من الجُزيئات، وهذا ما يُعرف الآن بفرضية أفوجادرو. (2) تتكوّن الغازات الأوّلية، مثل الهيدروجين، والنيتروجين، والأكسجين، من جُزيئات ثنائية الذرّات. اشتقّ أفوجادرو فكرته الثانية لمحاولة توحيد النتائج التي توصّل إليها كل من جون دالتون وجوزيف لويس جاي-لوساك في ذلك الوقت. فقد كان يُظنّ أن تلك الجُزيئات ثنائية الذرّات التي تحتوي على الذرّة نفسها لم يكن لها وجود. لكن حقيقة الأمر أنّ نظرية الذرّات والجُزيئات لم تكن مقبولة بشكل واسع؛ ولهذا السبب وغيره من الأسباب، استغرق عمل أفوجادرو سنوات كثيرة لكي يعترف بهذا العمل معظم المجتمع العلمي.

وعلى الرغم من تسمية "عدد أفوجادرو"، N_A، (6.02×10^{23})، إلا أن عمل أفوجادرو كان ضمنيًا فقط، وقاد جوهان جوزيف لوشمدت في العام 1865م إلى حساب هذا العدد المهم في الكيمياء. وقد كَرّم جان بابتيست بيرن أفوجادرو بتعيين اسمه وتخصيصه لهذا العدد في العام 1909م.

بقي أفوجادرو طوال حياته رجلًا مُميّزًا جدًا، ويميل إلى عائلته، وكان يُجري البحوث وكان قليل التجوُّل. توفّي أفوجادرو في مدينة تورين بتاريخ 9 يوليو 1856م عن عمر يناهز 79 عامًا.

الوحدة 2

مراجعة الوحدة

الدرس 2-1: كتلة الذرّات والمُركّبات الكيميائية

- يحدد **العدد الذرّي Atomic number, (Z)** هوية العنصر. يُستخدَم **العدد الكتلي Mass number, (A)** لحساب **الكتلة النظائرية Isotopic mass,** لذرّات **نظائر Isotopes** مُحدّدة.
- تستند الكتلة النظائرية لذرّة ما إلى كتلة ذرّة C-12.
- تُحسب **الكتلة الذرّية النسبية Relative atomic mass, (m)** لعنصر ما من النسبة المئوية للوفرة والكتلة النظائرية لنظائر ذلك العنصر جميعها الموجودة بشكل طبيعي.
- تُحسب **الكتلة الجُزيئية النسبية Relative molecular mass, (M_r)** لمركّب تساهمي عن طريق جمع الكتل الذرّية النسبية للذرّات جميعها الموجودة في الصيغة الكيميائية لذلك المُركّب.
- تُعدّ **كتلة الصيغة النسبية Relative formula mass, (M_r)** مشابهة للكتلة الجُزيئية، إلا أنها تشير إلى كتلة المُركّبات الأيونية.

الدرس 2-2: المعادلات الكيميائية

- تتمّ موازنة **المعادلات الكيميائية Chemical equations** لكي تُحقِّق قانون حفظ الكتلة عن طريق تغيير مُعامِلات المعادلة الكيميائية وصولًا إلى أن يكون عدد كل ذرّة هو نفسه في طرفَي المواد المُتفاعلة والمواد الناتجة للمعادلة.
- تُغادر **الأيونات المُتفرّجة Spectators ions** **المعادلات الأيونية النهائية Net Ionic Equation**؛ لأنها لا تتعرّض لأيّ تغيّر كيميائي أثناء حدوث التفاعُل.

الدرس 2-3: الحسابات الكيميائية

- يمثّل **عدد أفوجادرو Avogadro's number, (N_A)** عدد الجُسيمات الموجودة في 1 mole من الجُسيمات، وتُساوي قيمته 6.22×10^{23}.
- تُستخدَم **الكتلة المولية Molar mass (M_m)** للتحويل بين عدد مولات الجُسيمات وكتلة الجُسيمات بوحدة الجرام، g.
- تنصّ **فرضية أفوجادرو Avogadro's hypothesis** أن عدد جُسَيْمات الغاز المتساوية على أنّ لها حجومًا متساوية عند درجة حرارة وضغط ثابتَين.
- **الحجم المولي Molar volume (V_m)** لأيّ غاز عند **درجة الحرارة والضغط القياسيين Standard temperature and pressure, STP** يساوي 22.40 L.
- يمكن تفسير مُعامِلات المعادلة الكيميائية الموزونة بأنها **نسب مولية Mole ratio** لأيّة مادة، أو هي نسب حجمية للغازات. يمكن أن تُستخدَم هذه النسب في الحسابات الكيميائية لحساب عدد المولات والكتل والحجوم الخاصّة بالمواد الغازية الموجودة في التفاعُلات الكيميائية.
- **المولارية Molarity** هي عبارة عن تركيز محلول ما، وهي نسبة عدد مولات المادة المذابة إلى حجم المحلول لكل لتر (L).
- تُستخدَم مولارية المحلول لحساب عدد مولات المادة المذابة أو كتلتها أو حجم المحلول.

أسئلة اختيار من متعدّد

1. أيٌّ من الأعداد الآتية تُحدِّد هوية العنصر؟
   a. عدد البروتونات.
   b. عدد النيوترونات.
   c. عدد البروتونات والنيوترونات.
   d. عدد البروتونات والإلكترونات.

2. أيٌّ من مجموعات الجُسيمات الذرّية الآتية تمثّل مُكوّنات ذرّة Na-23؟
   a. 11 بروتونًا، و12 نيوترونًا، و 11 إلكترونًا.
   b. 11 بروتونًا، و23 نيوترونًا، و23 إلكترونًا.
   c. 12 بروتونًا، و12 نيوترونًا، و12 إلكترونًا.
   d. 12 بروتونًا، و23 نيوترونًا، و23 إلكترونًا.

3. ما القيَم التي تُستخدَم لحساب الكتلة الذرّية النسبية، (m_r)، للعنصر؟
   a. العدد الذرّي، والنسبة المئوية للوفرة.
   b. العدد الذرّي، وعدد الكتلة الذرّية.
   c. النسبة المئوية للوفرة، والكتلة النظائرية، I.
   d. النسبة المئوية للمكوّنات، والكتلة النظائرية، I.

4. ما النسبة المئوية بالكتلة لعنصر الهيدروجين (H) الموجود في الأمونيا (NH_3). إذا علمت أن الكتلة المولية للأمونيا تساوي 17.0 g/mol؟
   a. 0.18%
   b. 0.6%
   c. 5.9%
   d. 17.6%

5. ما المُعامِلات التي تكون في هيئة أصغر عدد صحيح لموازنة المعادلة الكيميائية الآتية؟

$$Ca_3(PO_4)_{2(s)} + H_2SO_{4(aq)} \rightarrow CaSO_{4(s)} + H_3PO_{4(aq)}$$

   a. 1:1:1:1
   b. 1:1:1:3
   c. 1:3:3:2
   d. 2:6:6:4

6. أيٌّ ممّا يأتي يُكمل نصّ فرضية أفوجادرو الآتي؟
   "تحتوي الحجوم المتساوية من الغازات عند درجة حرارة وضغط ثابتَين على .....
   a. كتل متساوية".
   b. غازات لها قيَم كثافة متساوية".
   c. أعداد متساوية من الجُسيمات".
   d. أعداد متساوية من النظائر".

7. ما عدد المولات الموجودة في 16.0 g من الميثانول، CH_3OH، إذا علمت أن الكتلة المولية للميثانول، (M_m)، تساوي 32.0 g/mol؟

a. 512 mol
b. 1.00 mol
c. 2.00 mol
d. 0.500 mol

8. ما حجم 4 moles من غاز الهيليوم (He) عند الظروف القياسية، STP؟

a. 4 L
b. 5.6 L
c. 22.4 L
d. 89.6 L

9. ما عدد مولات حمض الكبريتيك ($H_2SO_{4(aq)}$) الذي سيتفاعل مع 0.250 mol من محلول الأمونيا ($NH_{3(aq)}$) بحسب المعادلة الكيميائية الموزونة الآتية؟

$$2\ NH_{3(aq)} + H_2SO_{4(aq)} \rightarrow (NH_4)_2SO_{4(aq)}$$

a. 1.00 mol
b. 0.125 mol
c. 0.250 mol
d. 0.500 mol

10. ما حجم غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) الذي سينتج عندما يتفاعل 11.2 L من أوّل أكسيد الكربون (CO) بحسب المعادلة الكيميائية الموزونة الآتية؟

$$Fe_2O_{3(s)} + 3\ CO_{(g)} \rightarrow 2\ Fe_{(s)} + 3\ CO_{2(g)}$$

a. 3.73 L
b. 11.2 L
c. 22.4 L
d. 67.2 L

11. ما مولارية محلول يحتوي على 0.400 mol من فلوريد الليثيوم (LiF) في محلول حجمه 0.500 L؟

a. 1.25 M
b. 0.20 M
c. 0.80 M
d. 0.0008 M

12. ما مولارية محلول حمض النيتريك الذي يحتوي على 0.160 mol من HNO_3 الموجودة في محلول حجمه 50.0 mL؟

a. 3.20 M

b. 8.00 M

c. 0.313 M

d. 0.0032 M

13. ما عدد مولات كلوريد الكروم (III) ($CrC\ell_3$) الموجودة في محلول من $CrC\ell_3$ حجمه 125 mL، وتركيزه 0.90 M؟

a. 139 mol

b. 0.1125 mol

c. 112.5 mol

d. 0.0072 mol

14. ما حجم محلول هيدروكسيد الكالسيوم ($Ca(OH)_2$) تركيزه 0.02 M، والذي يحتوي على 0.10 mol من هيدروكسيد الكالسيوم؟

a. 200 mL

b. 0.200 mL

c. 5000 mL

d. 0.002 mL

15. ما كتلة يوديد الصوديوم، NaI، (M_m = 149.9 g/mol) اللازمة لإعداد محلول من NaI حجمه 2.00 L، وتركيزه 0.670 M؟

a. 201 g

b. 75.0 g

c. 50.2 g

d. 0.201 g

16. ما حجم محلول هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) الذي يبلغ تركيزه 3.50 M، ويحتوي على 25.0 g من هيدروكسيد الصوديوم (M_m = 40.0g/mol)؟

a. 457 mL

b. 179 mL

c. 3.50 mL

d. 0.178 mL

الدرس 2-1: كتلة الذرّات والمُركّبات الكيميائية

17. اكتب رمزَين يمثّلان ذرّة تحتوي على 15 بروتونًا، و 18 نيوترونًا، و15 إلكترونًا.

18. احسب الكتلة الذرّية النسبية، (m_r)، لعنصر الإريديوم (Ir)، إذا علمت أن نظيرَيْه اللذَين يوجدان بشكل طبيعي، هما Ir-191، وIr-193، وأنّ لهما نسبة مئوية للوفرة تساوي 37.3% و 62.7% على التوالي.

19. ما الكتلة الجُزيئية النسبية، (M_r)، لمركّب ثنائي إيثيل إيثر ($C_2H_5OC_2H_5$).

20. احسب النسبة المئوية بالكتلة لعنصر الأكسجين (O) الموجود في هيدروكسيد الألومنيوم ($Al(OH)_3$)، إذا علمت أن كتلة الصيغة النسبية، (M_r)، لمركّب هيدروكسيد الألومنيوم تساوي 78.0 amu.

21. أعطِ مثال لذرّتَين لديهما العدد الكتلي نفسه ولكنهما يمثّلان عنصرَين مختلفَين.

22. ما كتلة الصيغة النسبية، (M_r)، لمُركّب $(NH_4)_2SO_4$؟

*** 23.** للرصاص (Pb) أربعة نظائر موجودة بشكل طبيعي، وهي: Pb-204، و Pb-206، و Pb-207، و Pb-208، والنسبة المئوية لوفرتها هي: 1.40%، و 24.10%، و 22.10%، و 52.40% على التوالي. احسب الكتلة الذرّية النسبية، (m_r)، للرصاص.

*** 24.** لعنصر الإنديوم، In، نظيران موجودان بشكل طبيعي، هما: In-113، و In-115، والكتلة الذرّية للإنديوم تساوي 114.82 amu. أيُّ نظير منهما هو الأكثر وفرة؟ ادعم إجابتك.

الدرس 2-2: المعادلات الكيميائية

25. وازن المعادلة الكيميائية الآتية باستخدام مُعامِلات ذات أصغر عدد صحيح:

$$AlCl_{3(aq)} + K_3PO_{4(aq)} \rightarrow AlPO_{4(s)} + KCl_{(aq)}$$

26. حدّد الأيونات المُتفرّجة الموجودة في المعادلة الأيونية الكاملة الآتية، ثم استنتج المعادلة الأيونية النهائية.

$$2\,K^+_{(aq)} + 2\,I^-_{(aq)} + Cl_{2(g)} \rightarrow 2\,K^+_{(aq)} + 2\,Cl^-_{(aq)} + I_{2(s)}$$

27. وازن المعادلة الكيميائية الآتية باستخدام مُعامِلات ذات أصغر عدد صحيح:

$$HI_{(aq)} + O_{2(g)} \rightarrow I_{2(aq)} + H_2O_{(l)}$$

*** 28.** يتفاعل فوسفيد الكالسيوم الصلب Ca_3P_2 مع الماء لإنتاج غاز الفوسفين PH_3 ومحلول هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$.

a. اكتب المعادلة الكيميائية اللفظية لهذا التفاعل.

b. اكتب المعادلة الكيميائية الموزونة لهذا التفاعل.

29. اكتب المعادلة الأيونية النهائية الموزونة من المعادلة الكيميائية الموزونة الآتية:

$$(NH_4)_2S_{(aq)} + Pb(NO_3)_{2(aq)} \rightarrow 2\ NH_4NO_{3(aq)} + PbS_{(s)}$$

30. اكتب المعادلة الأيونية النهائية الموزونة من المعادلة الكيميائية الموزونة الآتية:

$$2\ Bi(NO_3)_{3(aq)} + 3\ CaI_{2(aq)} \rightarrow 2\ BiI_{3(s)} + 3\ Ca(NO_3)_{2(aq)}$$

31. اكتب المعادلة الكيميائية الموزونة للتفاعل الذي يحدث بين نترات الفضة وبروميد البوتاسيوم لتكوين محلول نترات البوتاسيوم وراسب كريمي من بروميد الفضة. ثم اكتب المعادلة الأيونية النهائية مع رموز الحالة لكل مواد التفاعل، وحدد الأيونات المتفرجة.

الدرس 2-3: الحسابات الكيميائية

32. وازن المعادلة الكيميائية الآتية، ثم احسب كتلة الأمونيا، NH_3، التي نتجت عند تفاعُل 14.9 g من نيتريد المغنيسيوم، Mg_3N_2، مع كمّية وافرة من الماء.

$$Mg_3N_{2(s)} + H_2O_{(l)} \rightarrow Mg(OH)_{2(s)} + NH_{3(g)}$$

33. يشغل 2.5 mol من غاز الهيدروجين، H_2، حجمًا مقداره 62 L عند درجة حرارة وضغط محدّدَيْن. ما عدد مولات غاز النيتروجين، N_2، الموجودة في حجم مقداره 62 L عند درجة الحرارة والضغط نفسَيهما؟

34. ما الكتلة المولية لمُركّب فوسفات الكالسيوم، $Ca_3(PO_4)_2$؟

35. ما كتلة 0.75 mol من فلز الحديد Fe؟

36. الكتلة المولية لمُركّب كربونات الصوديوم، Na_2CO_3، تساوي 106.0 g/mol. ما عدد مولات كربونات الصوديوم الموجودة في عيّنة كتلتها تساوي 85.5 g؟

37. ما عدد مولات غاز الأكسجين، O_2، الموجودة في حجم من غاز الأكسجين مقداره 100.0 L، عند الظروف القياسية، STP؟

38. استنادًا إلى المعادلة الكيميائية الموزونة الآتية، ما عدد مولات الأمونيا المائية، $NH_{3(aq)}$، التي سوف تتفاعل مع 1.75 mol من أكسيد النحاس (II)، CuO؟

$$3\ CuO_{(s)} + 2\ NH_{3(aq)} \rightarrow 3\ Cu_{(s)} + 3\ H_2O_{(l)} + N_{2(g)}$$

39. ما حجم غاز الأكسجين الذي سوف ينتج عند الظروف القياسية، STP، من تفكّك 0.600 mol من مُركّب $KClO_3$، بحسب المعادلة الكيميائية الموزونة الآتية؟

$$2\ KClO_{3(s)} \rightarrow 2\ KCl_{(s)} + 3\ O_{2(g)}$$

40. استنادًا إلى المعادلة الكيميائية الموزونة الآتية، ما كتلة الألومنيوم (Al) اللازمة للتفاعُل لإنتاج 74.0 g من غاز الهيدروجين، H_2؟

$$2\ Al_{(s)} + 3\ H_2SO_{4(aq)} \rightarrow Al_2(SO_4)_{3(aq)} + 3\ H_{2(g)}$$

41. ما كتلة الحديد، Fe، التي سوف تتفاعل مع 0.115 mol من نيترات النحاس (I)، $CuNO_3$، (M_m = 125.5 g/mol)، بحسب المعادلة الكيميائية الموزونة الآتية؟

$$Fe_{(s)} + 2\ CuNO_{3(aq)} \rightarrow Fe(NO_3)_{2(aq)} + 2\ Cu_{(s)}$$

*42. يعمل حمض الكبريتيك، H_2SO_4، على معادلة هيدروكسيد المغنيسيوم، $Mg(OH)_2$، بحسب المعادلة الكيميائية الموزونة أدناه. ما كتلة حمض الكبريتيك التي سوف تتفاعل مع 12.8 g من هيدروكسيد المغنيسيوم؟

$$Mg(OH)_{2(s)} + H_2SO_{4(aq)} \rightarrow MgSO_{4(aq)} + 2\ H_2O_{(l)}$$

43. ما حجم غاز الأكسجين، O_2، الذي سوف يتفاعل مع 250.0 L من الأمونيا، NH_3، بحسب المعادلة الكيميائية الموزونة الآتية؟

$$4\ NH_{3(g)} + 3\ O_{2(g)} \rightarrow 2\ N_{2(g)} + 6\ H_2O_{(g)}$$

*44. بحسب المعادلة الكيميائية الموزونة الآتية، ما كتلة حمض النيتريك، $HNO_{3(aq)}$، الذي تفاعل، لإنتاج 0.0453 L من غاز الهيدروجين، H_2، عند الظروف القياسية، STP؟

$$Mg_{(s)} + 2\ HNO_{3(aq)} \rightarrow Mg(NO_3)_{2(aq)} + H_{2(g)}$$

45. احسب مولارية محلول يحتوي على 1.0 mol من هيدروكسيد الليثيوم، LiOH، المذاب في الماء لتحضير 1.0 L من المحلول.

46. ما مولارية محلول يحتوي على 0.320 mol من مادة مذابة في الماء لتحضير محلول حجمه 250.0 mL؟

47. تمّت إذابة 30.0 g من $NaNO_3$ (M_m = 85.0 g/mol) في كمّية كافية من الماء لإعداد محلول حجمه 500.0 mL. ما مولارية هذا المحلول؟

48. ما كتلة نيترات الحديد (II)، $Fe(NO_3)_2$، (M_m = 179.8 g/mol) اللازمة لإعداد محلول من $Fe(NO_3)_2$ حجمه 400 L، وتركيزه 0.100 M؟

*49. احسب كتلة كبريتات الأمونيوم، $(NH_4)_2SO_4$، اللازمة لتحضير محلول حجمه 50.0 mL، وتركيزه 0.411 M.

50. ما حجم محلول حمض الكبريتيك، $H_2SO_{4(aq)}$، بوحدة mL، إذا كان تركيزه 1.70 M، ويحتوي على 1.00 mol من H_2SO_4؟

51. ما عدد مولات المادة المذابة في محلول فوسفات البوتاسيوم، K_3PO_4، الذي يبلغ حجمه 2.00 L، وتركيزه 0.100 M؟

*** **52.** تمّ استخدام 5.00 mL من حمض الهيدروكلوريك، $HC\ell_{(aq)}$، الذي يبلغ تركيزه 6.00 M في إحدى التجارب. ما كتلة $HC\ell$ التي كانت في هذا المحلول الذي يبلغ حجمه 5.00 mL؟

*** **53.** ما مولارية محلول تمّ إعداده بإذابة 75.2 g من كلوريد الأمونيوم، $NH_4C\ell$، في محلول حجمه 2000.0 mL؟

54. أعَدَّ أحد الطلبة بشكل دقيق محلولًا من NaOH حجمه 250.0 mL، وتركيزه 0.560 M، ووضع هذا المحلول على أحد الرفوف ليستخدمه فيما بعد. بعد مضيّ أسبوعين، لاحظ هذا الطالب أنه قد نسي إغلاق الدورق الحجمي بالسدادة، وقد تبخّر منه بعض الماء، إلا أن الطالب حدّد التركيز الجديد لهذا المحلول وكان يساوي 0.598 M. ما حجم الماء الذي تبخّر من المحلول في فترة الأسبوعَين؟

55. يتفاعل محلول نيترات الرصاص (II)، $Pb(NO_3)_2$، مع محلول يوديد البوتاسيوم، KI، بحسب المعادلة الكيميائية غير الموزونة الآتية:

$$Pb(NO_3)_{2(aq)} + KI_{(aq)} \rightarrow KNO_{3(aq)} + PbI_{2(s)}$$

وفي إحدى التجارب، كان محلول $Pb(NO_3)_2$ الذي يبلغ تركيزه 0.100 M، ومحلول KI الذي يبلغ تركيزه 0.200 M لازمَيْن للتجربة، وسوف يُستخدَم 25.0 mL من محلول $Pb(NO_3)_2$ الذي يبلغ تركيزه 0.100 M في هذه التجربة. اعمل في مجموعة ثنائية للإجابة عن السؤالَين الآتيَين:

a. احسب حجم محلول KI الذي يبلغ تركيزه 0.200 M، والذي سوف يتفاعل مع 25.0 mL من محلول $Pb(NO_3)_2$ تركيزه 0.100 M.

b. احسب كتلة كل من $Pb(NO_3)_2$، و KI اللذين سيتفاعلان.

الجدول الدوري الحديث للعناصر

العدد الذري — 6
رمز العنصر — C
اسم العنصر — carbon
الكتلة الذرية — 12.011

أرقام المجموعات ↓

1 IA	2 IIA	3 IIIB	4 IVB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8	9	10	11 IB	12 IIB	13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA
1 H Hydrogen 1.008																	2 He Helium 4.002602
3 Li Lithium 6.94	4 Be Beryllium 9.0121831											5 B Boron 10.81	6 C Carbon 12.011	7 N Nitrogen 14.007	8 O Oxygen 15.999	9 F Fluorine 18.998403163	10 Ne Neon 20.1797
11 Na Sodium 22.98976928	12 Mg Magnesium 24.305							VIIIB				13 Al Aluminium 26.9815385	14 Si Silicon 28.085	15 P Phosphorus 30.973761998	16 S Sulfur 32.06	17 Cl Chlorine 35.45	18 Ar Argon 39.948
19 K Potassium 39.0983	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.955908	22 Ti Titanium 47.867	23 V Vanadium 50.9415	24 Cr Chromium 51.9961	25 Mn Manganese 54.938044	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.933194	28 Ni Nickel 58.6934	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.38	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.630	33 As Arsenic 74.921595	34 Se Selenium 78.971	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.798
37 Rb Rubidium 85.4678	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.90584	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.90637	42 Mo Molybdenum 95.95	43 Tc Technetium (98)	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.90550	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.8682	48 Cd Cadmium 112.414	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.710	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.60	53 I Iodine 126.90447	54 Xe Xenon 131.293
55 Cs Caesium 132.90545196	56 Ba Barium 137.327	57 - 71 *Lanthanoids	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.94788	74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.217	78 Pt Platinum 195.084	79 Au Gold 196.966569	80 Hg Mercury 200.592	81 Tl Thallium 204.38	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.98040	84 Po Polonium (209)	85 At Astatine (210)	86 Rn Radon (222)
87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	89 - 103 ** Actinoids	104 Rf Rutherfordium (267)	105 Db Dubnium (268)	106 Sg Seaborgium (269)	107 Bh Bohrium (270)	108 Hs Hassium (269)	109 Mt Meitnerium (278)	110 Ds Darmstadtium (281)	111 Rg Roentgenium (282)	112 Cn Copernicium (285)	113 Nh Nihonium (286)	114 Fl Flerovium (289)	115 Mc Moscovium (289)	116 Lv Livermorium (293)	117 Ts Tennessine (294)	118 Og Oganesson (294)

*	57 La Lanthanum 138.90547	58 Ce Cerium 140.116	59 Pr Praseodymium 140.90766	60 Nd Neodymium 144.242	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.92535	66 Dy Dysprosium 162.500	67 Ho Holmium 164.93033	68 Er Erbium 167.259	69 Tm Thulium 168.93422	70 Yb Ytterbium 173.045	71 Lu Lutetium 174.9668
* *	89 Ac Actinium (227)	90 Th Thorium 232.0377	91 Pa Protactinium 231.03588	92 U Uranium 238.02891	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (266)

- فلزات قلوية
- فلزات قلوية أرضية
- فلزات
- اللانثانيدات
- الأكتينيدات
- أشباه فلزات
- لا فلزات
- هالوجينات
- غازات نبيلة

الشكر والتقدير

جميع الرسوم الفنية الواردة في هذا العمل صمَّمتها شركة تطوير العلوم والتكنولوجيا والهندسة والرياضيات (STEM) في الولايات المتحدة الأميركية. وهي وحدها تملك الحق القانوني لإجازة استخدام تلك الرسوم.

يشكر المؤلفون والناشرون المصادر الآتية على السماح لهم باستخدام ملكياتهم الفكرية كما أنهم ممتنون لهم لموافقتهم على نشر الصور.

Illustration: Muhammad Farouk/Shutterstock; Photo: DnD-Production/Shutterstock; 3D image: FXartist/Shutterstock; Illustration: Alexander Sergeevich/Shutterstock; Stamp art: spatuletail/Shutterstock; Design: unit and lesson spreads: Jane Holland Design Illustration: Designua/Shutterstock; Photo: Rabbitmindphoto/Shutterstcock; Illustration: Andrey Suslov/Shutterstock; Illustration: zffoto/Shutterstock; Photo: Ken Stocker/Shutterstock; Photo: Kobkit Chamchod/ Shutterstock 1218821710; Design: unit and lesson spreads: Jane Holland Design Photo: Nobuhiro Asada/ Shutterstock; Photo: AjayTvm/Shutterstock; 3D Image: ktsdesign/Shutterstock; Photo: Abdelrahman Hassanein/ Shutterstock; 3D image: KateStudio/Shutterstock; Photo illustration: adike/Shutterstock; 3D image: Giovanni Cancemi/ Shutterstock; 3D Illustration: Axel_Kock/Shutterstock; Design: unit and lesson spreads: Jane Holland Design 3D Illustration: Image Craft/Shutterstock; Photo: ThePowerPlant/Shutterstock; Photo: pogonici/Shutterstock; Photo Ton Photographer 7824/Shutterstock; Illustration: elenabsl/Shutterstock; Photo: David Evison/Shutterstock; Photo: Augustine Bin Jumat/Shutterstock; Design: unit and lesson spreads: Jane Holland Design Illustration: Muhammad Farouk/Shutterstock 1800616687, DnD-Production/Shutterstock 278922299, 3D image: VFXartist/Shutterstock 1483410965, illustration: Alexander Sergeevich/Shutterstock 1230374893, Stamp art: spatuletail/Shutterstock 1812900445, Design: unit and lesson spreads: Jane Holland Design, Illustration: Designua/Shutterstock 1472540423, photo: Rabbitmindphoto/Shutterstcok 1487654072, Illustration: Andrey Suslov/Shutterstock 589410938, Illustration: zffoto/Shutterstock 389695105, Photo: Ken Stocker/Shutterstock 1082226821, Design: unit and lesson spreads: Jane Holland Design , Photo: Nobuhiro Asada/Shutterstock, 144455530, Photo: AjayTvm/Shutterstock 757231510, 3D Image: ktsdesign/Shutterstock 430949605, Photo: Abdelrahman Hassanein/Shutterstock 1230989149, 3D image: KateStudio/Shutterstock 1159868263, Photo illustration: adike/Shutterstock 1036533352, 3D image: Giovanni Cancemi/Shutterstock 76423743, 3D Illustration: Axel_Kock/Shutterstock 1625661736, Design: unit and lesson spreads: Jane Holland Design, 3D Illustration: Image Craft/Shutterstock 1466789552, ThePowerPlant/Shutterstock 1652355403, Photo: pogonici/Shutterstock 262939175, Photo Ton Photographer 7824/Shutterstock 1074125777, Illustration: elenabsl/Shutterstock 1567621081, Photo: David Evison/Shutterstock 77061922, Photo: Augustine Bin Jumat/Shutterstock71913914, Design: unit and lesson spreads: Jane Holland Design

Martyn F. Chillmaid / Science Photo Library, Janaka Dharmasena / Shutterstock, Nasky/ Shutterstock, adike/ Shutterstock, Richard Peterson/ Shutterstock, stihii/ Shutterstock, NoPainNoGain/ Shutterstock, Teguh Mujiono/ Shutterstock, Improvisor/ Shutterstock, Jose Luis Calvo/ Shutterstock, Rattiya Thongdumhyu/ Shutterstock, Peter Hermes Furian/ Shutterstock, Sebastian Kaulitzki/ Shutterstock, VectorMine/ Shutterstock, bsd/ Shutterstock, Blamb/ Shutterstock, MikeMartin / Shutterstock, Photographee.eu/ Shutterstock, Jason Boyce/ Shutterstock, Maridav, Eugene Onischenko/ Shutterstock, CI Photos/ Shutterstock, Sergey Nivens, Vasyl Shulga/ Shutterstock, Sea Wave, Tanya Sid/ Shutterstock, belushi, / Shutterstock,Birger Olovson, Dionisvera/ Shutterstock

1.28 sportpoint / Shutterstock,ChrisVanLennepPhoto, Jacob Lund, sattahipbeach,/Shutterstock, Catalin Grigoriu/ Shutterstock, Designua/Shutterstock, LightField Studios/Shutterstock, lotan/Shutterstock, Designua/Shutterstock, Pawel Graczyk/Shutterstock, Studio BKK/Shutterstock, Kateryna Kon/Shutterstock, GraphicsRF/Shutterstock, nayef hammouri/Shutterstock, adike/Shutterstock, Maridav/Shutterstock, Lukas Budinsky , Jacob Lund/Shutterstock, iPreech Studio/Shutterstock, ChiccoDodiFC/Shutterstock, Blazej Lyjak/Shutterstock, design36/Shutterstock, udaix/ Shutterstock, Animashka, electra/Shutterstock, Viktoria_P/Shutterstock, Thomas C. Altman/Altman Science, Emre Terim, Aksanaku/Shutterstock, Blamb/Shutterstock, Tefi/Shutterstock, icsnaps/Shutterstock, Artemida-psy/ Shutterstock, OLESHKO GANNA/ Shutterstock Aninna/Shutterstock, Public Domain/Shutterstock, Public domain/ Shutterstock, Juan Gaertner/Shutterstock, Andrey_Popov/Shutterstock, iambasic_Studio/Shutterstock, Sirirat/ Shutterstock, ibreakstock/Shutterstock, Belish, Arthur Didyk/Shutterstock, Yenyu Shih, Eugene Onischenko/ Shutterstock, Robert Przybysz/Shutterstock, matimix/Shutterstock, Alex Kravtsov/Shutterstock,Babka/Shutterstock, Makalex69/Shutterstock, illustrator graphic/Shutterstock, OSTILL is Franck Camhi, Eugene Onischenko, /Shutterstock, Sergey Nivens/Shutterstock, Alan Freed/Shutterstock, Microgen/Shutterstock,Alfredo Ottonello/Shutterstock, Dmitrydesign/Shutterstock, ZouZou (jumping/Shutterstock, alphaspirit/Shutterstock, George Rudy/Shutterstock, Kati Finell/Shutterstock, haeryung stock images/Shutterstock, sportpoint/Shutterstock, Gwoeli/Shutterstock, Fauad A. Saad/Shutterstock, Oksana Volina/Shutterstock, VectorMine/Shutterstock, sportoakimirka/Shutterstock, Sergii Chemov/ homydesign/ Ivan Sm/Shutterstock, vectorfusionart/Shutterstock, Inspiring/Shutterstock, courtyardpix/ Shutterstock, Designua/Shutterstock, Toa55/ Digital Storm/Shutterstock, David Prahi/ mezzotint/ brizmaker/ Shutterstock, Fauad A. Saad/Shutterstock, yanik88/ sportpoint/ Andrea Izzotti/Shutterstock, sezer66/ Thomas C. Altman sportpoint/Shutterstock, Mauricio Graiki/Shutterstock, Swapan Photography/ Shawn Hampel/ cloki/ Dan Thornberg/Shutterstock, Georgios Kollidas/Shutterstock, Lia Koltyrina/Shutterstock, matsabe/Shutterstock, Ksenia Raykova/Shutterstock, Bill McKelvie/Shutterstock, Andrey Burmakin/ kuruneko/ ZoranOrcik/Shutterstock, Imagesines/ Shutterstock, Diagram/Shutterstock, HelloRF Zcool/ Andrey Burmakin//Shutterstock, Alex Kravtsov/ sirtravelalot/ Suzanna Tucker/Shutterstock, Graph/Shutterstock, Gwoeii/Shutterstock, Graph/ Oleksii Sidorov/Shutterstock, sizov/ LUKinMEDIA/Shutterstock, BUY THIS/Shutterstock, Stock image/Shutterstock, TLaoPhotography/Shutterstock, TASER/Shutterstock, Roger costa morera/Shutterstock, Preto Perola/ HomeArt/Shutterstock, topimages/ NDT/

KKulikov/Shutterstock, OSTILL is Franck Camhi/ Wikipedia Ljupco Smokovski/ Alexander Kirch/ Stefan Schurr/ Jonah_H/Shutterstock, Brocreative/ Motion Arts/ Dan Thornberg/Shutterstock, Thomas C. Altman/Altman Science, faboi/ TASER/ faboi/Shutterstock, Miriam Doerr Martin Frommherz/ Bjoern Wylezich/Shutterstock, Inna Bigun/ Shutterstock, Steven_Mol/Shutterstock, goffkein.pro/Shutterstock, EugenePut/ RomanVX/Shutterstock, fotoliza/ Shutterstock, IDKFA/Shutterstock, Yosanon Y/ VarnakovR/Shutterstock, Rost9/ Tyler Boyes/ Dimarion/Shutterstock, Maridav/Shutterstock, Dmitry Markov152/Shutterstock, Rudenkois/Shutterstock, Patthana Nirangkul/Shutterstock, KpixMining/ Moon Light PhotoStudio//Shutterstock, -V-/ koya979/ amfroey/ Andrey Armyagov/Shutterstock, Billion Photos/Shutterstock, Christopher Boswell/ DenisVolkov/Shutterstock, Hein Nouwens/ Dragance137/Shutterstock, Everett Collection/ BrunoRosa/ sportspoint/Shutterstock, Dennis van de Water/Shutterstock, Michael Rolands/ Shutterstock,Thomas C. Altman/Altman Science marekuliasz/ Melinda Nagy/Shutterstock, Brostock/ Digital Storm/ Shutterstock, D.Pimborough/ SolidMaks/ Stanislaw Mikulski/Shutterstock, Wikipedia, Dainis Derics/Shutterstock, Doug Lemke/Shutterstock, dotshock/Shutterstock, Dmitry Yashkin/Shutterstock, Jose L. Stephens/Shutterstock, PCHT/Shutterstock, Chokniti Khongchum/Shutterstock, BlueRingMedia/Shutterstock, Quick Shot/ J_K/ Vibrant ImageStudio/Shutterstock, Thomas C. Altman/Altman ScienceStudioMolekuul/Shutterstock, OlegD/Shutterstock, Rudmer Zwerver/Shutterstock, Fouad A. Saad/ dioch/Shutterstock, Magcom/ StudioMolekuul/Shutterstock, Trooper2000/Shutterstock, kwanchai.c/ inewsfoto/ Chamille White/Shutterstock, Fotokostic/Shutterstock, LuckyStep/ Shutterstock, Prill/Shutterstock, Shine Nucha/ Toa55/ Idambies/Shutterstock, Chokniti Khongchum/ Perception 7/ Shutterstock, AlexLMX/Shutterstock, Iricat/ petrroudny43/ Yuriy Seleznev/Shutterstock,

Shaijo/Shutterstock, Patrick Salsbury/ Altman Science, BalLi8Tic/Shutterstock, losmandarinas/Shutterstock, Wlad74/Shutterstock, Dudarev Mikhail/Shutterstock, VectorMine/Shutterstock, Michael Stifter/Shutterstock, Tom Wang/Shutterstock, Everett Historical/Shutterstock, PhotoHouse/Shutterstock, Callipso/Shutterstock, alice-photo/ Shutterstock, udaix/Shutterstock, Designua/Shutterstock, magnetix/Shutterstock, enzozo/Shutterstock, Designua/ Shutterstock, Vshivkova/Shutterstock, ktsdesign/Shutterstock, angellodeco/Shutterstock, Billion Photos/Shutterstock, Ody_Stocker/Shutterstock, kanyanat wongsa/Shutterstock, Zita/Shutterstock, Aha-Soft/Shutterstock, Gorodenkoff/ Shutterstock, Designua/Shutterstock, Katy Pack/ nevodka/Shutterstock, Rattiy Thongdumhyu/Shutterstock, Kateryna Kon/Shutterstock, Juan Gaertner/Shutterstock, Elena Pavlovich/ Shawn Hempel/Shutterstock, Spectral-Design/ Shutterstock, Katiekk/Shutterstock, Natali_Mis/Shutterstock, OSweetNature/Shutterstock, Soleil Nordic/Shutterstock, Dmitry Kalinovsky/ elenabsl/Shutterstock, Lorna Roberts/ THAIFINN/Shutterstock, DrimaFilm/Shutterstock, Mari-Leaf/Shutterstock, 3d_man/Shutterstock, Designua/Shutterstock, Nathan Devery/Shutterstock, gritsalak karalak/ Shutterstock, Olga Rudyk/Shutterstock, petrroudny43/Shutterstock, Kapitosh/Shutterstock, Nate troyer/Shutterstock, machimorales/Shutterstock, acceptphoto/Shutterstock, Tomasz Klejdysz/Shutterstock, Kaentian Street/Shutterstock, Designua/Shutterstock, Sawat Benyenngam/Shutterstock, JIANG HONGYAN/ Mvolodmyr/Shutterstock, Dr Morley Read/Shutterstock, symbiot/ sigit wiyono/ Linas T/Shutterstock, Thomas C. Altman/Altman Science, Fourleaflover/ Shutterstock, igorstevanovic/ HEDADZI PE/CHAN/nexusby/Shutterstock, Panchenko Vladimir/Shutterstock,

Peter Hermes Furian/Shutterstock, Everett Historical/Shutterstock, OSweetNature/Shutterstock, Triff/Shutterstock, Fouad A. Saad/Shutterstock, KanKhem/Shutterstock, Cq photo juy/Shutterstock, CandMe/Shutterstock, dani3315/ vrx/ /Shutterstock, Mishakov Valery/ sivVector/Shutterstock, Efman/Shutterstock, Art-Perfect/Shutterstock, Negro Elkha/Shutterstock, Designua/Shutterstock, Benson HE/ udaix/Shutterstock, Fouad A. Saad/Shutterstock, BetterPhoto/Shutterstock, Mega Pixel/Shutterstock, StudioMolekuul/ /Shutterstock, urfin/Shutterstock, kondr. konst/Shutterstock, suteelak phundang/ shltz/Shutterstock, Aonprom Photo/Shutterstock, Andrew Balcombe/ Don Mammoser/ Vladimir Gjorgiev/Shutterstock, Richard Whitcombe/Shutterstock, Chase Dekker/Shutterstock, paulynn/ Anna Hoychuk/ Dalibro/Shutterstock, Yana Gershanik/ Lalandrew/Shutterstock, Alaettin YILDIRIM/ Shutterstock, Matej Kastelic/Shutterstock, Poring Studio/Shutterstock, g_dasha/Shutterstock, Billion Photos/ Shutterstock, shtukicrew/Shutterstock, Amy Newton-McConnel/ Ongkan/Shutterstock, bonchan/Shutterstock, MITstudio/Shutterstock,

200dgr/Shutterstock, SpelaG91/ UlrikaArt/ Luis Echeverri Urrea/Shutterstock, Rich Carey/Shutterstock, Davdeka/ Shutterstock, Newman Studio/Shutterstock,

gstraub/Shutterstock; Jenny_Tr/Shutterstock; Fer Gregory/Shutterstock; Crystal-K/Shutterstock; 3Dsculptor/ Shutterstock; ibreakstock/Shutterstock; BeataGFX/Shutterstock; ZikG/Shutterstock; focal point/Shutterstock; u3d/ Shutterstock; Bob Morse/Morse Scientific Inc ;Tuba Rehman/Shutterstock; Arpon Pongkasetkam/Shutterstock; JPC-PROD/Shutterstock; Lutsenko_Oleksandr/Shutterstock; gstraub/Shutterstock; ggw/Shutterstock; Kim Christensen/Shutterstock; Blue Lemon Photo Shutterstock; StudioMolekuul/Shutterstock; botazsolti/Shutterstock; Kriengsak tarasri/Shutterstock; David Plo Caviedes/Shutterstock, Toltemara/Shutterstock; sasha2109/Shutterstock; LeysanI/Shutterstock; ggw/Shutterstock; Ajamal/Shutterstock; helfei/Shutterstock; Fablok/Shutterstock; gogoiso/ Shutterstock; HAFIZULLAHYATIM/Shutterstock; ninikas/Shutterstock; Monkey Business Images/Shutterstock; public domain , Surasak_Photo/Shutterstock; White_Fox/Shutterstock; chemistrygod/Shutterstock; SUWIT NGAOKAEW/ Shutterstock; Bob Morse/Morse Scientific, Inc.; StudioMolekuul/Shutterstock; Rabbitmindphoto/Shutterstock; petrroudny43/Shutterstock; kesipun/Shutterstock; wellphoto/Shutterstock; Toa55/Shutterstock; PNOIARSA/ Shutterstock; ggw/Shutterstock; Rattiya Thongdumhyu/Shutterstock; Satienpong P/Shutterstock; DariaRen/ Shutterstock; tanewpix168/Shutterstock;