وزارة التربيـــة والتعليـــم والتعليـــم العالـــي
Ministry of Education and Higher Education
State of Qatar • دولـــة قطـــر

الكيمياء

كتاب الطالب

المستوى العاشر

CHEMISTRY
STUDENT BOOK

GRADE 10

الفصل الدراسي الثاني

SECOND SEMESTER

(طبعة 1446-2024)

وزارة التربيـــة والتعليـــم والتعليـــم العالـــي
Ministry of Education and Higher Education
State of Qatar • دولـــة قطـــر

© وزارة التربية والتعليم 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 التربية والتعليم 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.

النشيد الوطني

قَسَمًا بِمَنْ رَفَعَ السَّمَاءْ ... قَسَمًا بِمَنْ نَشَرَ الضِّيَاءْ
قَطَرٌ سَتَبْقَى حُرَّةً ... تَسْمُو بِرُوحِ الأَوْفِيَاءْ
سِيرُوا عَلَى نَهْجِ الأُلَى ... وَعَلَى ضِيَاءِ الأَنْبِيَاءْ
قَطَرٌ بِقَلْبِي سِيرَةٌ ... عِزٌّ وَأَمْجَادُ الإِبَاءْ
قَطَرُ الرِّجَالِ الأَوَّلِين ... حُمَاتُنَا يَوْمَ النِّدَاءْ
وَحَمَائِمُ يَوْمَ السَّلاَمْ ... جَوَارِحٌ يَوْمَ الفِدَاءْ

وزارة التربيـــة والتعليـــم والتعليـــم العالـــي
Ministry of Education and Higher Education
State of Qatar • دولـــة قطـــر

المراجعة والتّدقيق العلميّ والتّربويّ

إدارة المناهج الدّراسيّة ومصادر التّعلّم

إدارة التوجيه التربوي

خبرات تربويّة وأكاديميّة من المدارس

الإشراف العلميّ والتربويّ

إدارة المناهج الدّراسيّة ومصادر التّعلّم

يعدّ كتاب الطّالب مصدرًا مثيرًا لاهتمام الطلّاب من ضمن سلسلة كتب العلوم لدولة قطر، فهويستهدف 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 كلّ 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

الصّفّ 10

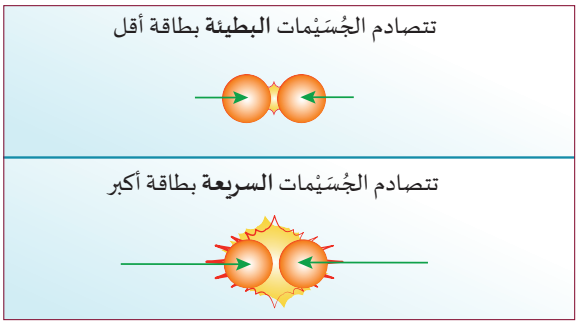
الفصل الدّراسي 2

ماذا ستتعلّم من هذا الكتاب

الأحماض والقواعد موادّ ذات خصائص كيميائيّة مميّزة. تبدأ الوحدة 3 بتعريف أرهينيوس الّذي ينصّ على أنّ الأحماض تُنتج أيونات (H^+) في المحاليل المائية والقواعد تُنتج أيونات(OH^-) في المحاليل المائية. تتمّ بعد ذلك مناقشة نظريّة برونستيد-لوري ومقياس الرّقم الهيدروجينيّ ويتعرّف الطّالب إلى التّفاعلات الأساسيّة بين الأحماض والقواعد.

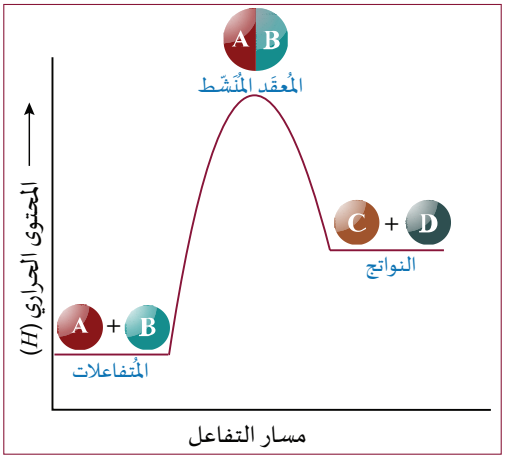
للحمضيّات خصائص الأحماض وللقهوة خصائص القواعد.

تحدث بعض التّفاعلات الكيميائيّة بسرعة كبيرة جدًّا، كالتّفاعلات الّتي تحدث عند حدوث انفجار، وبعض التّفاعلات الأخرى تحدث ببطءٍ شديد، كالتّفاعل الّذي يحدث عند صدأ الحديد المعرّض للهواء. ندرس في الوحدة 4 العوامل المؤثّرة في سرعة التّفاعلات الكيميائيّة، مثل التّركيز ودرجة الحرارة ووجود العامل الحفّاز.



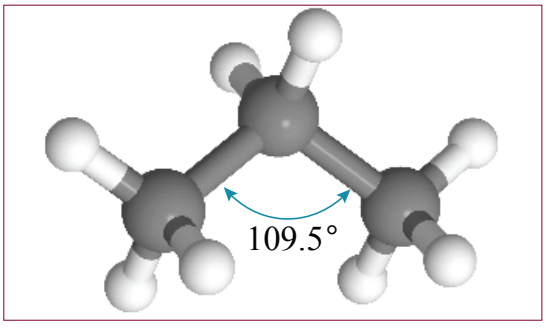
تزوّد التّصادمات بين الجُسَيْمات التّفاعل الكيميائيّ بالطّاقة اللّازمة لبدئه.

تتناول الوحدة 5 موضوع الطّاقة والتّفاعلات الكيميائية. جميع التّفاعلات الكيميائية يتخلّلها انتقال الطّاقة الّتي غالبًا ما تكون على شكل طاقة حراريّة (المحتوى الحراريّ). ففي التّفاعلات الطّاردة للحرارة يتمُ إطلاق الطاقة الحرارية إلى الوسط المحيط بالتفاعل، وفي التّفاعلات الماصّة للحرارة يتمُ امتصاص الطاقة الحرارية من الوسط المحيط بالتفاعل. يُظهر مخطّط الطاقة التّغيّر في المحتوى الحراريّ خلال مسار تفاعل ما.



يوضح مخطّط الطاقة حالات الطّاقة الوسيطة خلال التفاعل.

الكيمياء العضويّة عبارة عن دراسة خصائص مركبات عنصر الكربون. من الجدير بالذّكر أنّ جميع المركّبات المعقّدة الّتي تتكوّن منها الكائنات الحيّة، مثل البروتينات، عبارة عن مركّبات عنصر الكربون. تُقدّم الوحدة 6 بعض المركّبات العضويّة الأساسيّة مثل الألكانات. ويتمّ تطبيق المفاهيم الّتي يتعلّمها على صناعة البتروكيماويّات، ومن ضمنها أنواع الوقود مثل النّفط والغاز، ومن الأمثلة عليها مادة الإيثين (C_2H_4) ومادّة البروبان (C_3H_8).

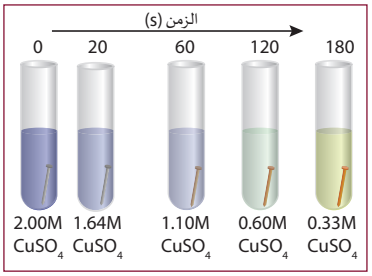


قيمة الزّاوية التي تكوّنت بين ذرّات الكربون المرتبطة تساوي 109.5°.

بعض أقسام هذا الكتاب

الرّسوم التّوضيحيّة

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



أسئلة للمناقشة

ناقش ضمن مجموعة ثنائية أمثلة على مواد أخرى تبدو غير قابلة للاشتعال عندما تكون في هيئة قطعة واحدة، والتي قد تصبح قابلة للاشتعال كما حدث للدقيق في هذا العرض العملي. شارك أفكارك مع زملائك.

أسئلة المناقشة تزوّد طلّاب الصفّ بفرصة مناقشة المفاهيم والمعلومات.

شريط الأفكار المهمّة

المواد الإلكتروليتية مواد توصّل محاليلها المائية التيار الكهربائي، لأنها تكوّن أيونات حرة الحركة.

تحديد النقاط الرّئيسة وتذكُّرها.

العلاقات والمعادلات

1-4 سرعة التفاعل الكيميائي

سرعة التفاعل الكيميائي (M/s) أو (mol/L.s)	Rate	(a) $\text{Rate} = \frac{\Delta[A]}{\Delta t}$ (b) $\text{Rate} = -\frac{\Delta[A]}{\Delta t}$
التغيّر في تركيز المادة [A] (M)	Δ[A]	
التغيّر في الزمن (s. m. h. yrs)	Δt	

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

الأمثلة

مثال 3

أيٌّ من المواد الآتية لا يمكن أن تتصرّف نهائيًا كحمض برونستيد- لوري؟ فسّر اجابتك.

(1) NH_4^+ (2) HS^- (3) SO_4^{2-} (4) HBr

الحل:

- (3) SO_4^{2-} لا يمكن أن تتصرّف نهائيًا كحمض برونستيد- لوري.
- تُعدّ أحماض برونستيد- لوري مانحة للبروتونات؛ ولكي يمنح الجُسيم بروتونًا، فلا بدّ من وجود ذرّة هيدروجين (H) واحدة على الأقلّ في صيغتها الكيميائية. هنا، لا تملك SO_4^{2-} أيّة ذرّة من ذرّات الهيدروجين في صيغتها الكيميائية؛ لذا، فإنّ SO_4^{2-} لا يمكن أن تتصرّف نهائيًا كحمض برونستيد-لوري. أما الخيارات الأخرى، فيملك كل منها ذرّة

تُظهر الأمثلة جميع خطوات الحلّ والتفسير للحصول على حسابات صحيحة.

العلم والعلماء

إضاءة على عالِم

يونْس ياكوب برزيليوس

Jöns Jakob Berzelius: 1779-1848

كان يونس ياكوب برزيليوس (**الشكل 4-25**) كيميائيًا سويديًا. وُلد في مقاطعة أوستر غوت لاند في السويد في 20 من شهر أغسطس من العام 1779م. والده هو صموئيل برزيليوس الذي كان معلّم مدرسة، أمّا والدته فهي إليزابيث دوروثيا سجوستين، والتي كانت ربة منزل. توفي والداه عندما كان صغيرًا. التحق برزيليوس بجامعة أوبسالا في السويد في العام 1796م ودرس فيها الطب، وتخرج منها طبيبًا في العام 1802م في العام 1807م أصبح بروفيسورًا في الكيمياء والصيدلة في معهد كارولينسكا في مقاطعة سولنا، بالقرب من ستوكهولم عاصمة السويد.

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

الأنشطة

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

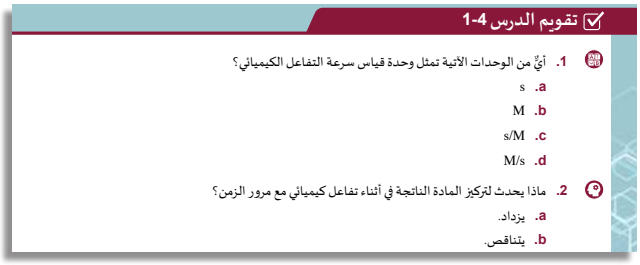
نشاط a 2-3 تحديد حمضية المحاليل عن طريق قياس الرقم الهيدروجيني pH

سؤال الاستقصاء	كيف يمكن تحديد حمضية محلول ما عن طريق قياس قيمة رقمه الهيدروجيني pH باستخدام مجموعة متنوّعة من الطرائق؟
المواد المطلوبة	10 محاليل حمضية، ومحاليل متعادلة، ومحاليل قاعدية غير معلومة موضوعة في عبوات لها قطّارات تحمل العناوين من 1 إلى 10، مقياس الرقم الهيدروجيني pH، أوراق دليل عام، محلول فينولفثالين، أوراق تبّاع شمس حمراء وزرقاء، لوح تجويفات، كأس زجاجية سعتها 30 mL، نظّارة واقية.
إجراءات الأمن والسلامة	ارتدِ القفّازات والنظّارات الواقية. تعامل بحذر مع الأحماض واتبع التعليمات.

تعليمات (اعمل ضمن مجموعة ثنائية):

تقويم الدّرس

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



تقويم الدرس 1-4

1. أيٌّ من الوحدات الآتية تمثل وحدة قياس سرعة التفاعل الكيميائي؟
   a. s
   b. M
   c. s/M
   d. M/s
2. ماذا يحدث لتركيز المادة الناتجة في أثناء تفاعل كيميائي مع مرور الزمن؟
   a. يزداد.
   b. يتناقص.

مراجعة الوحدة

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

الوحدة 3
مراجعة الوحدة

الدرس 3-1: خصائص ونظريات الأحماض والقواعد

- تملك الأحماض والقواعد كثيرًا من الخصائص، بعضها متشابه، وبعضها الآخر مختلف، ووُضعت نظريات مختلفة لتعريف كل من الأحماض و القواعد.
- تُسمّى المواد القاعدية القابلة للذوبان في الماء قلويات Alkalis.
- تُعدّ الأحماض والقواعد مواد الكتروليتية Electrolytes، وهي مواد كاوية Caustic.
- تتفاعل الأحماض مع القواعد (هيدروكسيدات الفلزّات) لتكوين ملح Salt، وماء.
- يُنتج حمض أرهينيوس Arrhenius acid أيونات الهيدروجين (H^+) عند الذوبان في الماء. أمّا قاعدة أرهينيوس

تقويم الوحدة

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

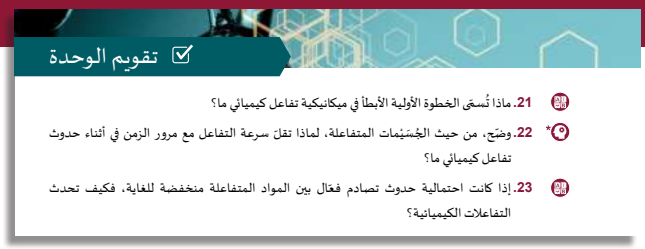
تقويم الوحدة

أسئلة اختيار من متعدّد

1. أيٌّ من الخصائص الآتية هي خاصّية للحمض، وليست خاصّية للقاعدة؟
   a. مواد إلكتروليتية.
   b. مواد كاوية.
   c. تُنتج أيونات الهيدروكسيد (OH^-) في المحلول.
   d. تتفاعل مع الفلزّات النشطة كيميائيًا لإنتاج غاز الهيدروجين (H_2).

أسئلة الإجابة القصيرة

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



تقويم الوحدة

21. ماذا تُسمّى الخطوة الأولية الأبطأ في ميكانيكية تفاعل كيميائي ما؟
22. وضّح، من حيث الجُسَيْمات المتفاعلة، لماذا تقلّ سرعة التفاعل مع مرور الزمن في أثناء حدوث تفاعل كيميائي ما؟
23. إذا كانت احتمالية حدوث تصادم فعّال بين المواد المتفاعلة منخفضة للغاية، فكيف تحدث التفاعلات الكيميائية؟

مخطّط المادّة

الوحدة 3 الخصائص المميّزة للأحماض والقواعد

يُعدّ سلوك الأحماض والقواعد مهمًّا في كثير من جوانب علم الكيمياء ومجالاته. يشكّل الدّرس الأوّل مقدّمة لخصائص المحاليل المائيّة لكلّ من الأحماض والقواعد. ويتمّ في الدّرس الثّاني مناقشة الاختلاف في السّلوك بين الأحماض والقواعد القويّة والضّعيفة، بالإضافة إلى تصنيف الأحماض والقواعد على أنّها قويّة أو ضعيفة. ويتمّ في هذا الدّرس أيضًا تقديم تفاعُل التّعادُل وتحديد الموادّ النّاتجة، والتّغيّرات في قيمة الرّقم الهيدروجينيّ.

الوحدة 4 أساسيات الكيمياء الحركيّة

أحد أمثلة التّفاعلات السّريعة هي التّفاعلات التي تحدث عند اشتعال الألعاب النارية، أمّا التّفاعل المُسبّب لصدأ الحديد فهو من الأمثلة على التّفاعلات البطيئة. علم الكيمياء الحركيّة معنيّ بدراسة سرعة التّفاعلات الكيميائيّة وميكانيكية هذه التّفاعلات. تتمّ في الدّرس الأوّل مناقشة معنى مفهوم سرعة التّفاعل ويتعرّف الطّالب إلى الرّسوم البيانيّة الّتي توضح سرعة التّفاعل وكذلك إلى نظريّة التصادم. أمّا الدّرس الثّاني فيصف العوامل المؤثّرة في سرعة حدوث التّفاعلات الكيميائية.

الوحدة 5 الطاقة الحراريّة في التفاعلات الكيميائيّة

ترتبط الطّاقة في علم الكيمياء بتكسّر الرّوابط الكيميائيّة وتكوّنها. في الدّرس الأوّل، تتمّ دراسة الطّاقة (المحتوى الحراريّ) الّتي يتمّ إطلاقها أو امتصاصها خلال التّفاعلات الكيميائيّة. فالتّفاعلات الطّاردة للحرارة تُطلق الطّاقة، في حين تمتصّ التّفاعلات الماصّة للحرارة الطّاقة. ثمّ يأتي الدّرس الثّاني ليعرّف الطّالب إلى مفهوم مخطّط الطاقة الذي يمكن رسمه لتمثيل التّفاعلات البسيطة والتّفاعلات الّتي تتضمّن استخدام العامل الحفّاز وكذلك التّفاعلات القابلة للانعكاس.

الوحدة 6 الكيمياء العضويّة

الكربون هو أحد العناصر الكيميائيّة الّتي يُمكنها تكوين أربعة روابط كيميائيّة. تُمثّل الهيدروكربونات أبسط المركّبات الكيميائيّة، وأبسط أنواع الهيدروكربونات هي الألكانات. يُعرّف الدّرس الأوّل الطّالب إلى تركيب الألكانات البسيطة وخصائص جُزيئات الموادّ العضويّة. أمّا الدّرس الثّاني فيصف أهمّيّة العمليّات الكيميائيّة المُستخدمة في عملية تكرير النّفط، والصناعات البتروكيميائية.

الكيمياء

الصّفّ 10

الفصل الدّراسي 2

جدول المحتويات

الوحدة 3 الخصائص المميّزة للأحماض والقواعد 2

الدرس 3-1 خصائص ونظريات الأحماض والقواعد 4

الدرس 3-2 قوة الأحماض و القواعد، وتفاعُل التعادل 19

الوحدة 4 أساسيات الكيمياء الحركية 38

الدرس 4-1 سرعة التفاعل الكيميائي ونظرية التصادم 40

الدرس 4-2 العوامل المؤثّرة في سرعة التفاعلات الكيميائية 49

الوحدة 5 الطاقة الحراريّة في التفاعلات الكيميائيّة 64

الدرس 5-1 التغيّرات في الطاقة الحراريّة المصاحبة للتفاعلات الكيميائيّة 66

الدرس 5-2 مخطّطات الطاقة للتفاعلات الكيميائية 79

الوحدة 6 الكيمياء العضويّة 96

الدرس 6-1 المفاهيم الأساسيّة للكيمياء العضويّة 98

الدرس 6-2 الألكانات في الصّناعات البتروكيماويّة 111

Pt
Au
Gold
81
TI

الوحدة 3

الخصائص المميّزة للأحماض والقواعد

Characteristic Properties of Acids and Bases

في هذه الوحدة

C1003

الدرس 3-1: خصائص ونظريات الأحماض والقواعد

الدرس 3-2: قوة الأحماض و القواعد، وتفاعُل التعادل

الوحدة 3

مقدّمة الوحدة

يُعدّ سلوك الأحماض والقواعد مهمًّا في كثير من جوانب الكيمياء ومجالاتها، بدءًا من الطهي والتنظيف في المنزل، وانتهاءً بالعمليات الصناعية.

يشكّل الدرس 3-1 مقدّمة لخصائص المحاليل المائية لكلّ من الأحماض والقواعد. تُعرّف نظرية أرهينيوس الأحماض بأنها مُركّبات تذوب في الماء وتُنتج أيونات (H^+)، أما القواعد فهي مُركّبات تذوب في الماء وتُنتج أيونات (OH^-). في هذه النظرية، يمكن تحديد الأحماض والقواعد من صيَغها الكيميائية. أمّا نظرية برونستيد-لوري فتعطي تعريفًا أكثر شمولية للأحماض والقواعد. يمكن من خلال هذه النظرية تحديد الأحماض والقواعد من المعادلات الكيميائية التي تصف سلوكها.

سيتمّ في الدرس 3-2 تصنيف الأحماض والقواعد على أنها قوية أو ضعيفة، بالإضافة إلى مناقشة الاختلاف في السلوك بين الأحماض والقواعد القوية والضعيفة. وسيتمّ في هذا الدرس أيضًا تقديم تفاعُل التعادُل وتحديد المواد الناتجة، والتغيّرات في قيمة الرقم الهيدروجيني pH.

الأنشطة والتجارب

a1-3 تفاعُل الأحماض مع مركّبات الكربونات ومركّبات الكربونات الهيدروجينية.

b1-3 تفاعُل الأحماض مع الفلزّات النشطة كيميائيًا.

a2-3 تحديد حمضية المحاليل عن طريق قياس الرقم الهيدروجيني pH.

b2-3 تفاعلُ حمضٍ قويٍّ مع قاعدةٍ قويةٍ.

الدرس 3-1

خصائص ونظريات الأحماض والقواعد

Properties and Theories of Acids and Bases

تُعدُّ الأحماض والقواعد من أهمّ المركّبات الكيميائية في حياتنا اليومية بسبب استخداماتها الكثيرة والمتنوّعة. لذلك، يصعب كثيرًا العثور على مُنتجات لا تحتوي على حمض أو قاعدة، أو لا تتضمّن أحماضًا أو قواعد مُستخدَمة في عملية تصنيعها.

في منزلك توجد الأحماض في كثير من الأطعمة، مثل الحمضيّات (حمض الستريك)، والخلّ (حمض الأسيتيك)، والحليب ومُنتَجات الألبان (حمض اللاكتيك)، والمشروبات الغازية (حمض الكربونيك، وحمض الفوسفوريك). ويوجد عندك الكثير من المُنتَجات التي تحتوي على القواعد، مثل منظّفات الصرف الصحّي، ومساحيق غسل الملابس، وأنواع الصابون، والبطاريّات القلوية، وسوائل تنظيف الزجاج (**الشكل 3-1**).

في الصناعة تُستخدَم القواعد لإنتاج الأسمدة والورق والألياف الصناعية مثل النايلون، ولمُعالجة مياه البلدية ومياه الصرف الصحّي. تُستخدَم الأحماض في استخلاص الذهب، وتنظيف الفلزّات وتنقيتها، وفي تصنيع الأدوية المختلفة. وتُستخدَم كمّيات كبيرة من حمض الكبريتيك، H_2SO_4، في الخطوات المختلفة لعملية تكرير البترول (النفط) (**الشكل 3-2**).

الشكل 3-1 يذوب غاز الأمونيا في الماء، ويكوّن محلولًا قاعديًا يُستخدَم في تنظيف الزجاج.

الشكل 3-2 خزّانات حمض الكبريتيك في مصفاة تكرير النفط.

المفردات

Electrolytes	المواد الإلكتروليتية
Alkali	القلوي
Caustic	كاوية
Salt	الملح
Arrhenius acid	حمض أرهينيوس
Arrhenius base	قاعدة أرهينيوس
BrØnsted-Lowry acid	حمض برونستيد- لوري
BrØnsted-Lowry base	قاعدة برونستيد- لوري
Amphoteric substance	مادة مترددة(أمفوتيرية)
Conjugate Acid	حمض مرافق
Conjugate Base	قاعدة مرافقة
Indicator	دليل (كاشف)

مخرجات التّعلُّم

C1003.1 يتعرف إلى الخصائص المميّزة للأحماض والقواعد في المحلول المائي، ويُعرّف الحمض والقاعدة باستخدام نظرية أرهينيوس، ونظرية برونستيد- لوري.

الدخان الكيميائي

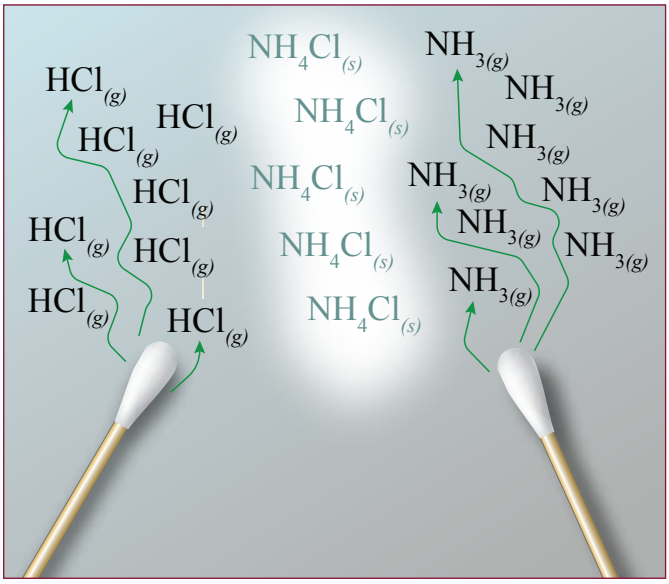
يتكوّن حمض الهيدروكلوريك من غاز كلوريد الهيدروجين، $HC\ell_{(g)}$، المُذاب في الماء. ويكون هذا المحلول عديم اللون، إلا أن له رائحة قوية جدًا، تصبح سامّةً جدًّا عندما يكون تركيز المحلول مرتفعًا. وعندما يذوب غاز الأمونيا، $NH_{3(g)}$، في الماء، يكوّن محلولًا قاعديًا يُسمّى هيدروكسيد الأمونيوم، $NH_4OH_{(aq)}$، أو محلول الأمونيا، $NH_{3(aq)}$، حيث تنبعث رائحة غاز الأمونيا القوية جدًا من محلول الأمونيا المركّز. وعندما يتفاعل غاز كلوريد الهيدروجين مع غاز الأمونيا تفاعلًا كيميائيًّا ينتج عن ذلك دخان يحتوي على مادة صلبة بيضاء اللون تُسمّى كلوريد الأمونيوم. تصف المعادلة الآتية هذا التفاعل:

$$HC\ell_{(g)} + NH_{3(g)} \rightarrow NH_4C\ell_{(s)}$$

عرض عملي:

إجراءات الأمن والسلامة: ارتدِ النظّارات الو اقية والقُفّازات. اجرِ هذا العرض في خز انة الغازات .

يُحضر المعلّم كأسَين زجاجيتَين سعة كل منهما 50 mL، ويضع في إحداهما 5 mL تقريبًا من حمض الهيدروكلوريك المركّز، ويضع في الأخرى 5 mL تقريبًا من محلول الأمونيا المركّز. بعد ذلك يغمس المعلّم في كُلٍّ من الكأسين عودًا يكون طرفاه مغلّفين بالقطن. وعندما يتمّ تقريب عودَي القطن هذَين أحدهما من الآخر، فسوف ينبعث منهما غازان غير مرئيَّين، هما غاز كلوريد الهيدروجين وغاز الأمونيا، اللذَين يتفاعلان بدورهما في الهواء مكوّنَيْن دخانًا أبيض من كلوريد الأمونيوم الصلب الأبيض (**الشكل 3-3**).



الشكل 3-3 يتفاعل $HC\ell_{(g)}$ مع $NH_{3(g)}$ لإنتاج دخان مكوّن من ملح $NH_4C\ell$ أبيض اللون.

الأسئلة:

1. أين تكوّن الدخان الأبيض بالنسبة إلى كلا العودَيْن القطنيين؟
2. لماذا لم يُشاهَد الدخان الأبيض إلّا بعد أن تمّ تقريب أحد العودَيْن القطنيّين من الآخر؟
3. افترض أن كأسَي المحلولين الزجاجيتين قد تُركتا من غير غطاء، ولم يتمّ غمس العودين فيهما، فما الذي يجب أن يحدث لكي يتكوّن الدخان الأبيض؟

يعدّ كلوريد الأمونيوم، $NH_4C\ell$، الذي نتج عن هذا التفاعل مركّبا أيونيًا مكوّنًا من أيونات الأمونيوم، (NH_4^+)، وأيونات الكلوريد ($C\ell^-$). وضّحْ كيف تكوّنت هذه الأيونات من جُزيئات كلٍّ من $HC\ell$، و NH_3 باستخدام معادلة هذا التفاعُل المعطاة أعلاه.

خصائص الأحماض والقواعد

يتمّ تحديد الأحماض والقواعد باختبار خصائص مميّزة محدّدة لها. ويُطلق على تعريف مادة ما من خلال قائمة خصائص نموذجية اسم "التعريف الإجرائي". قبل اكتشاف الجدول الدوري، كانت معظم العناصر تُعرَّف بهذه الطريقة . وعلى سبيل المثال، فإن الفلزّات القلوية كانت معروفة بالفلزات اللينة وذات الملمس الناعم، وهي تتفاعل مع الأكسجين بنسبة 2:1 لتكوّن مركّبات تُعرَف بأكاسيد الفلزّات القلوية، مثل أكسيد الليثيوم Li_2O وأكسيد الصوديوم Na_2O وأكسيد البوتاسيوم K_2O. وبذلك فإن أي فلزّ X ليّن وناعم الملمس ويكوّن مركب X_2O، كان يُعدّ من الفلزّات القلوية.

وبطريقة مماثلة، فإن تصنيف المادة الكيميائية بأنها حمض أو قاعدة لا يحتاج إلى أن تمتلك هذه المادة الكيميائية جميع الخصائص المُرتبطة بمادة من هاتَين المادتَين (**الشكل 3-4**). يحتوي **الجدول 3-1** على قائمة بالخصائص الشائعة لكلّ من الأحماض والقواعد، وقد دَرست بعض هذه الخصائص سابقًا، وسيتمّ شرح هذه الخصائص بالتفصيل في الصفحات التالية.

الشكل 3-4 الطعم أحد الخصائص للتمييز بين الأحماض والقواعد.

الجدول 3-1 خصائص الأحماض والقواعد.

	الأحماض	القواعد
1	مواد إلكتروليتية	مواد إلكتروليتية
2	مذاق محاليلها المخفّفة حمضيّ لاذع	مذاق محاليلها المخفّفة مرّ
3	لمحاليلها قيَم رقم هيدروجيني pH أقل من 7	لمحاليلها قيَم رقم هيدروجيني pH أكبر من 7
4	محاليلها المُركّزة كاوية	محاليلها المُركّزة كاوية وملمسها زلق
5	تتفاعل مع القواعد (هيدروكسيدات الفلزّات) لإنتاج ملح وماء	تتفاعل مع الأحماض لإنتاج ملح وماء
6	تُحدث تغيّرًا في اللون مع أدلة الأحماض والقواعد	تُحدث تغيّرًا في اللون مع أدلة الأحماض والقواعد
7	تتفاعل مع مركّبات الكربونات (CO_3^{2-})، ومركّبات الكربونات الهيدروجينية (HCO_3^-) لإنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) وملح وماء.	لا تتفاعل مع مركبات الكربونات أو مركبات الكربونات الهيدروجينية.
8	تتفاعل مع الفلزّات النشطة كيميائيًّا لإنتاج غاز الهيدروجين (H_2) وملح الفلزّ.	غالباً لا تتفاعل مع الفلزات النشطة.

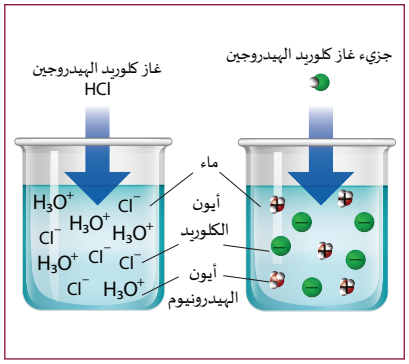
الخصائص الفيزيائية للأحماض والقواعد

1. الأحماض والقواعد تتفكّك إلى أيونات

a. تُنتج الأحماض أيونات الهيدروجين (H^+) في المحلول المائي

تتكوّن معظم الأحماض من جُزيئات تحتوي على ذرّات هيدروجين. عندما تذوب في الماء، تتأيّن جُزيئات الحمض لتكوين أيونات الهيدروجين. وعلى سبيل المثال، فإن غاز كلوريد الهيدروجين، $HC\ell$، يذوب في الماء، فتتأيّن جُزيئات $HC\ell$ إلى أيونات هيدروجين، (H^+) التي تتحد مع جزيئات الماء لتكوّن أيونات الهيدرونيوم (H_3O^+)، وأيونات كلوريد، ($C\ell^-$) (**الشكل 3-5**) تبين المعادلة الآتية عملية التأين :

$$HC\ell_{(g)} + H_2O_{(l)} \longrightarrow H_3O^+_{(aq)} + C\ell^-_{(aq)}$$

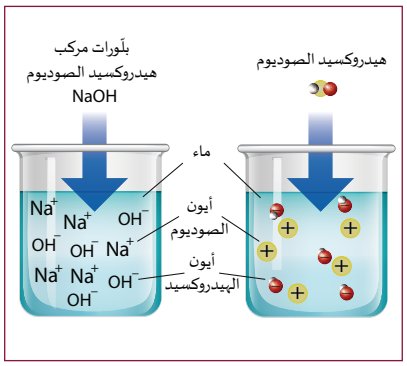


الشكل 3-5 يُنتج تأين جزيئات $HC\ell$ في الماء أيونات H_3O^+ و $C\ell^-$.

b. تُنتج القواعد أيونات الهيدروكسيد (OH^-) في المحلول المائي

تتكوّن معظم القواعد من هيدروكسيدات فلزّات تُسمّى **القلويّات Alkalis**، ويؤدّي ذوبانها في الماء إلى انفصال أيون الهيدروكسيد عن أيون الفلزّ. عندما تذوب بلّورات هيدروكسيد الصوديوم، NaOH، في الماء، تُنتج أيونات الصوديوم، (Na^+)، وأيونات الهيدروكسيد، (OH^-) ليتكوّن محلول قاعدي (**الشكل 3-6**)، كما هو موضح في المعادلة الآتية:

$$NaOH_{(s)} \xrightarrow{H_2O} Na^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$



الشكل 3-6 يُنتج ذوبان NaOH في الماء أيونات OH^- و Na^+.

2. الأحماض والقواعد مواد إلكتروليتية

المواد الإلكتروليتية Electrolytes هي مركبات أيونيّة تتفكّك إلى أيونات عندما تذوب في الماء، حيث تسمح حركة الجُسيمات المشحونة (الأيونات)في الماء، بسريان تيّار كهربائي في محلول تلك المادة.

المواد الإلكتروليتية مواد توصّل محاليلها المائية التيار الكهربائي، لأنها تكوّن أيونات حرة الحركة.

تُنتج الأحماض والقواعد أيونات عندما تذوب في الماء. لذلك فهي تُعدّ مواد إلكتروليتية؛ ويمكن اختبار هذه الخاصّية باستخدام مقياس التوصيل الكهربائي (**الشكل 3-7**).

الشكل 3-7 مقياس التوصيل الكهربائي.

اختبر التوصيل الكهربائي لكلّ من المحاليل الآتية: $HC\ell$ تركيزه 0.01 M، و NaOH تركيزه 0.01 M، والسكّروز، $C_{12}H_{22}O_{11}$، تركيزه 0.01 M، وماء الصنبور، والماء المُقطّر (الماء الخالي من الأيونات). أيٌّ من تلك المحاليل يُعدّ مادة إلكتروليتية؟

تابع- الخصائص الفيزيائية للأحماض والقواعد

3. مذاق الأحماض والقواعد

a. مذاق محاليل الأحماض المُخفّفة حمضيّ

مذاق الكثير من الأطعمة حمضيّ لاذع بسبب الأحماض التي تحتوي عليها: الخلّ يتكوّن من تراكيز مختلفة من حمض الأسيتيك، CH_3COOH، وتحتوي الحمضيات، كالليمون والليمون الأخضر والجريب فروت، على حمض الستريك، $H_3C_6H_5O_7$ (**الشكل 3-8**). ملاحظة: يوجد في مختبر الكيمياء الكثير من الأحماض ولكن يجب ألّا تتذوّق أيًّا من المواد الكيميائية.

الشكل 3-8 الحمضيات مذاقها حمضيّ لاذع.

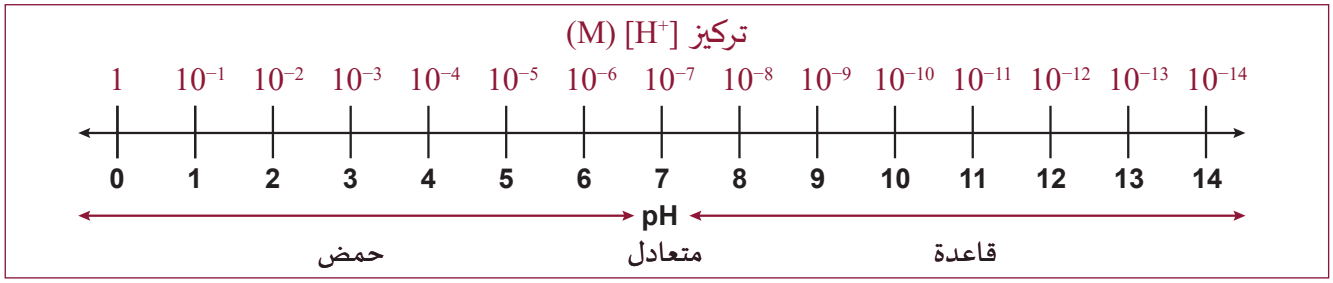
b. مذاق محاليل القواعد المُخفّفة مرّ

تُعرَف صودا الخبيز، $NaHCO_3$، بمذاقها المرّ. فعندما تذوب في الماء يحدث تفاعل كيميائي ينتج عنه محلول قاعدي يحتوي على أيونات الهيدروكسيد (OH^-). ويحتوي مسحوق الكاكاو المُستخدَم لصنع الشوكولاتة، على مواد كيميائية قاعدية تجعل مذاقها مرًّا (**الشكل 3-9**)؛ ما يعني أنّ أنواع الشوكولاتة التي تحتوي على نسبة مرتفعة من الكاكاو يكون مذاقها مرًّا.

الشكل 3-9 الشوكولاتة التي تحتوي على نسبة عالية من الكاكاو مذاقها مرٌّ.

4. قيَم الرقم الهيدروجيني pH للأحماض والقواعد

تُقاس الخاصّية الحمضية أو القاعدية للمحلول من خلال قيمة الرقم الهيدروجيني pH. يُعدّ pH لأيّ محلول هو مقدار تركيز أيونات (H^+) في ذلك المحلول (**الشكل 3-10**). مع الإشارة إلى أن التغيير في وحدة واحدة في قيمة pH يقابله تغيّر بمعدل عشر مرات في تركيز أيونات (H^+)، مثلًا عند تغيّر قيمة pH من 4 الى 5 يتغيَّر تركيز أيونات (H^+) من 10^{-4} M إلى 10^{-5} M.



الشكل 3-10 يقيس مقياس الرقم الهيدروجيني pH مدى حمضية المحاليل وقاعديتها.

5. الأحماض والقواعد المُركّزة مواد كاوية

المواد الكاوية Caustic Substances مواد تسبّب حروقًا كيميائية للأنسجة الحيّة. لذلك، يجب التعامُل مع الأحماض والقواعد المُركّزة بحذر شديد، لأنها مواد كاوية. تَوَخَّ الحيطة والحذر عند استخدام الأحماض والقواعد المركّزة، وارتدِ القُفّازَين وضع النظّارة الواقية، وغطّ ذراعيك، وارتدِ معطف المختبر، واعمل في منطقة جيّدة التهوئة. نفضّل في أكثر الأحيان استخدام محاليل مخفّفة للأحماض والقواعد في المختبر المدرسي. تتميّز القواعد المركّزة أيضًا بملمسها الزلق، وهي تدخل في صناعة الصابون.

الخصائص الكيميائية للأحماض والقواعد

1. تُحدِث الأحماض والقواعد تغيُّرات في لون أدلة (كواشف) الأحماض والقواعد

تُعدّ أدلة (كواشف) الأحماض والقواعد مواد كيميائية تتغيّر ألوانها عند إضافة كمّيات محدّدة من الحمض أو القاعدة. يتوافر الكثير من الأدلة، وكلّ منها يتغيّر لونه عند قيمة رقم هيدروجيني pH مختلفة.

الشكل 3-11 (a) دليل الفينولفثالين، و (b) ورقتا تبّاع الشمس الزرقاء والحمراء

من الأدلة الشائعة، ورقة تبّاع الشمس والفينولفثالين. يتغيّر لون محلول الفينولفثالين من عديم اللون إلى اللون الوردي عند إضافته إلى محلول قاعدي (**الشكل 3-11a**). أما دليل تبّاع الشمس فيوجد على شكل أوراق اختبار ذات لونين: الأوراق الحمراء يتغيّر لونها الى الأزرق في المحلول القاعدي، والأوراق الزرقاء يتغيّر لونها إلى الأحمر في المحلول الحمضي (**الشكل 3-11b**) يلخص **الجدول 3-2** تغيُّر ألوان بعض الأدلة مع الأحماض والقواعد.

الجدول 3-2 ألوان دليل صبغة تبّاع الشمس، ودليل الفينولفثالين في المحاليل الحمضية والقاعدية.

الدليل	اللون في المحلول الحمضي	اللون في المحلول القاعدي
ورقة تبّاع الشمس	حمراء	زرقاء
الفينولفثالين	شفاف - عديم اللون	وردي

2. تفاعل الأحماض مع القواعد (هيدروكسيدات الفلزّات) لإنتاج ملح وماء

عندما تتفاعل الأحماض مع القواعد، تتّحد أيونات الهيدروجين من الحمض مع أيونات الهيدروكسيد من القاعدة لإنتاج الماء، كما هو مبيّن في المعادلة الأيونية النهائية الآتية:

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

أمّا الأيونات الأخرى المتبقّية من الحمض والقاعدة فتتفاعل لإنتاج **الملح Salt**. تُعدّ الأملاح مركّبات أيونية لا تُصنَّف كأحماض أو قواعد. قد يكون الملح قابلًا للذوبان في الماء وقد يكون غير قابل للذوبان.

تُعدّ هذه الأنواع من التفاعُلات مهمّة للغاية في الكيمياء، ستتمّ مناقشة هذا الموضوع بمزيد من التفاصيل في الدرس 3-2. ويبيّن **الشكل 3-12** مثالًا على معادلة تفاعل حمض مع قاعدة.

$$HC\ell_{(aq)} + NaOH_{(aq)} \rightarrow NaC\ell_{(aq)} + H_2O_{(l)}$$
حمض + قاعدة → ملح + ماء

الشكل 3-12 تتفاعل الأحماض مع القواعد لإنتاج ملح وماء.

تابع- الخصائص الكيميائية للأحماض و القواعد

3. تفاعل الأحماض مع مركّبات الكربونات ومركّبات الكربونات الهيدروجينية

تتفاعل الأحماض مع مركّبات الكربونات (CO_3^{2-})، ومركّبات الكربونات الهيدروجينية (HCO_3^-) لإنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) وماء وملح؛ يوضّح (**الشكل 3-13**) أمثلة على هذه التفاعُلات. يشير صوت الأزيز الصادر عن "بركان" الخلّ مع صودا الخبيز إلى غاز ثاني أكسيد الكربون الذي ينتج عندما يتفاعل الخلّ (حمض الأسيتيك) مع صودا الخبيز (كربونات الصوديوم الهيدروجينية) (**الشكل 3-14**).

(a)

$$2\,HC\ell_{(aq)} + Na_2CO_{3(s)} \rightarrow 2\,NaC\ell_{(aq)} + CO_{2(g)} + H_2O_{(l)}$$

حمض + كربونات الصوديوم → ملح + ثاني أكسيد الكربون + ماء

(b)

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

حمض + كربونات الصوديوم الهيدروجينية → ملح + ثاني أكسيد الكربون + ماء

الشكل 3-13 تفاعُل الحمض مع (a) كربونات الصوديوم، و (b) كربونات الصوديوم الهيدروجينية.

الشكل 3-14 "بركان" الخلّ مع صودا الخبيز.

4. تفاعل الأحماض مع الفلزّات النشطة كيميائيًّا

تتفاعل الأحماض مع الفلزّات النشطة كيميائيًّا لإنتاج غاز الهيدروجين وملح الفلزّ. يمثّل **الشكل 3-15** معادلة فلزّ المغنيسيوم الذي يتفاعل مع حمض الهيدروكلوريك. وتمثّل الفقّاعات الظاهرة في **الشكل 3-16** غاز الهيدروجين الناتج عن هذا التفاعُل. إلّا أن بعض الفلزّات لا تكون نشطة كيميائيًّا، فلا تتفاعل مع الأحماض لإنتاج غاز الهيدروجين، مثل الزئبق (Hg)، والبلاتين (Pt)، ومثل ذلك الفلزّات التي تُصنع منها العملات النقدية، مثل النحاس (Cu)، والفضّة (Ag)، والذهب (Au).

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

حمض + فلز → ملح + هيدروجين

الشكل 3-15 يتفاعل الحمض مع فلزّ المغنيسيوم لإنتاج ملح وغاز الهيدروجين.

الشكل 3-16 تنتج فقّاعات غاز الهيدروجين عندما يتفاعل فلزّ المغنيسيوم، Mg، مع حمض الهيدروكلوريك، $HC\ell_{(aq)}$.

أبحث: ما سبب التحذير بعدم تخزين محلول هيدروكسيد الصوديوم بعبوات مصنوعة من الألومنيوم أو الخارصين؟

نشاط a1-3 تفاعل الأحماض مع مركّبات الكربونات ومركّبات الكربونات الهيدروجينية

سؤال الاستقصاء	هل يمكن استخدام الأحماض للكشف عن وجود مركّبات الكربونات ومركّبات الكربونات الهيدروجينية؟ وكيف يمكن الكشف عن الغاز الناتج؟
الموادّ المطلوبة	محلول HCℓ تركيزه 1 M، مسحوق صودا الخبيز ($NaHCO_3$)، قطع من الرخام ($CaCO_3$)، ماء جير مشبع ($Ca(OH)_2$)، جليسرين، أنابيب اختبار عدد 3، أنبوب زجاجي منحنٍ، سِدادة مطّاطية ذات ثقب واحد عدد 2، حامل حديدي حلقي، ملقط، ملعقة معدنية، نظّارات واقية.
إجراءات الأمن والسلامة	ارتدِ القفّازات والنظّارات الواقية . تعامل بحذر مع الأحماض والقواعد لأنها مواد كاوية.

مقدّمة (اعمل ضمن مجموعة ثنائية):

تتفاعل الأحماض مع كربونات الفلزّات (CO_3^{2-})، وكربونات الفلزّات الهيدروجينية (HCO_3^-) لإنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) وماء وملح. في الجزء I، تتفاعل صودا الخبيز لإنتاج غاز عديم اللون لا رائحة له. أما في الجزء II، فيتمّ اختبار هذا الغاز على أنه ثاني أكسيد الكربون باستخدام اختبار ماء الجير، كَوْن ماء الجير هو محلول هيدروكسيد الكالسيوم المشبَع الرائق والذي لا لون له. يتفاعل غاز ثاني أكسيد الكربون مع محلول ماء الجير لإنتاج كربونات الكالسيوم الصلبة ($CaCO_3$) بيضاء اللون.

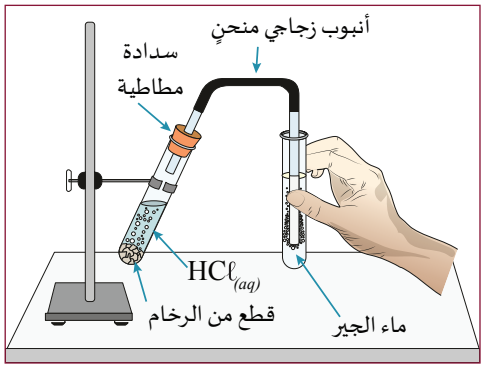
الجزء I: تفاعُل الحمض مع مركبات الكربونات الهيدروجينية

1. ضع ملعقة ممتلئة بصودا الخبيز ($NaHCO_3$) في أنبوب اختبار.
2. أضف إليها 10 نقاط من حمض HCℓ تركيزه 1 M. وسجّل ملاحظاتك.

الجزء II: تفاعُل الحمض مع مركبات الكربونات.

بالاستعانة **بالشكل 3-17**.

1. ضع 5 قطع من الرخام ($CaCO_3$) في أنبوب اختبار مثبّت بملقط على حامل حديدي حلقي.
2. باستخدام نقطة واحدة من الجليسرين، أدخل الأنبوب الزجاجي المنحني بحذر إلى داخل ثقب السِدادة المطّاطية.
3. املأ أنبوب اختبار آخر بماء الجير إلى النصف.
4. أضف 20 نقطة من حمض $HCℓ_{(aq)}$ بسرعة إلى أنبوب الاختبار الذي يحتوي على قطع الرخام، ثم أدخل نهايتَي الأنبوب المنحني في كل أنبوب اختبار. وسجّل ملاحظاتك



الشكل 3-17 أدوات الكشف عن الغاز المتصاعد باستخدام ماء الجير الرائق.

الأسئلة والتحليل:

a. لماذا تعكّر محلول ماء الجير الرائق وتحوّل لونه إلى أبيض حليبي؟
b. ماذا نستنتج إذا تعكر ماء الجير الرائق وتحوّل إلى أبيض حليبي؟
c. اكتب المعادلة الكيميائية الموزونة التي تمثّل كلّاً من التفاعلين السابقين:
   - تفاعل حمض الهيدروكلوريك مع صودا الخبيز.
   - تفاعل حمض الهيدروكلوريك مع كربونات الكالسيوم.

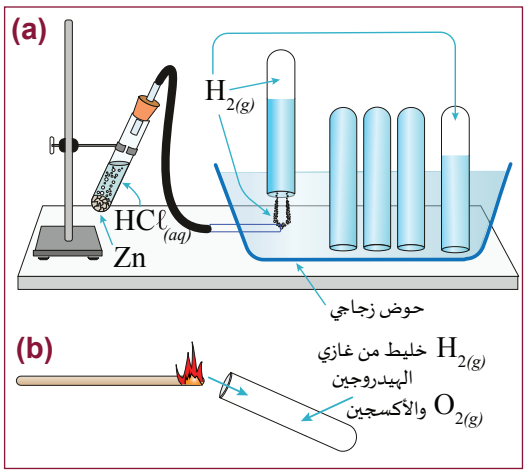
نشاط b1-3 تفاعُل الأحماض مع الفلزّات النشطة كيميائيًا

سؤال الاستقصاء	كيف يمكن الكشف عن غاز الهيدروجين عندما تتفاعل الأحماض مع الفلزّات النشطة؟
الموادّ المطلوبة	محلول $HC\ell$ تركيزه 1 M، فلزّ الخارصين، Zn، جليسرين، حوض زجاجي، أنابيب اختبار عدد 6، أنبوب زجاجي صغير، خرطوم مطّاطي، أعواد خشبية، حامل حديدي حلقي، ملقط، موقد كحولي، أعواد ثقاب، نظارات واقية.
إجراءات الأمن والسلامة	ارتدِ القفّازات والنظّارات الواقية . تعامل بحذر مع الأحماض لأنها مواد كاوية .

خطوات التجربة (اعمل ضمن مجموعة ثنائية):

تتفاعل الأحماض مع الفلزّات النشطة لإنتاج غاز الهيدروجين (H_2) وملح الفلزّ.

1. املأ أنبوب الاختبار بحمض $HC\ell$ تركيزه 1 M إلى النصف، وثبّته على الحامل الحلقي الحديدي بالملقط.
2. باستخدام نقطة واحدة من الجليسرين، أدخل الأنبوب الزجاجي بحذر إلى داخل ثقب السِدادة المطّاطية.
3. صِلْ أحد طرفَي الأنبوب المطّاطي بالأنبوب الزجاجي الصغير، وضع طرفه الآخر في الحوض الزجاجي.
4. املأ الحوض الزجاجي بالماء، واملأ 5 أنابيب اختبار بالماء أيضًا لجمع كمية كبيرة من الغاز الناتج.
5. أضف 5 قطع من فلزّ الخارصين بسرعة إلى أنبوب الاختبار الذي يحتوي على الحمض وأغلقه بالسِدادة المطّاطية، واسمح للفقّاعات بالخروج من الحوض الزجاجي قبل أن يمتلىء ثلث كل أنبوب من أنابيب الاختبار بغاز الهيدروجين (**الشكل 3-18a**).
6. أَخرِجْ أنابيب الاختبار من الماء، وقرّب عود ثقاب مشتعل من فوهة الأنبوب للكشف عن الغاز الناتج (**الشكل 3-18b**).



الشكل 3-18 (a) جمع غاز الهيدروجين، و (b) اختبار الفرقعة.

الأسئلة

a. كيف يمكنك أن تعرف أن التفاعل ينتج غازًا؟

b. ماذا حدث عند تقريب الشظية المشتعلة من فوهة الأنبوب؟ ماذا تستنتج؟

c. اكتب المعادلة الكيميائية الموزونة للتفاعل بين حمض الهيدروكلوريك والخارصين.

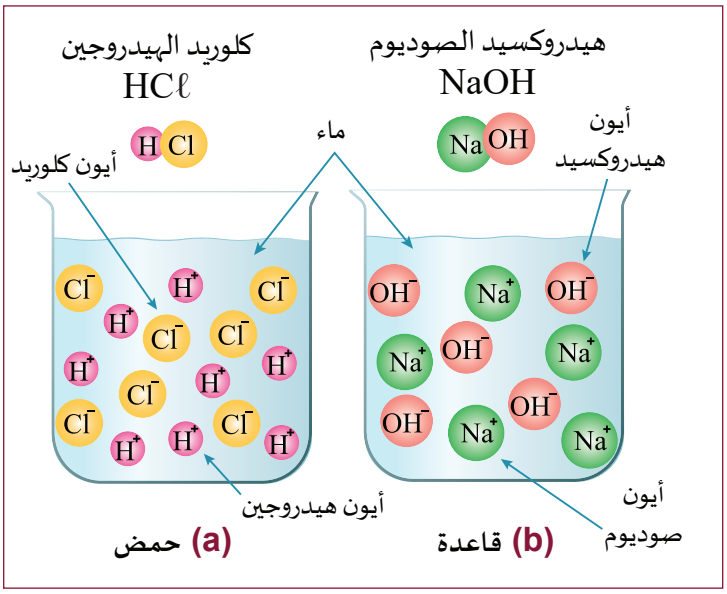
نظريات الأحماض والقواعد

أولًا: نظرية أرهينيوس للأحماض والقواعد

اقترح سفانت أرهينيوس في العام 1884م تعريفًا للأحماض والقواعد:

إذ عرّف **حمض أرهينيوس Arrhenius acid** بأنه مادة ينتج عن ذوبانها في الماء أيونات هيدروجين (H^+) (**الشكل 3-19a**).

أما **قاعدة أرهينيوس Arrhenius base** فهي مادة ينتج عن ذوبانها في الماء أيونات الهيدروكسيد (OH^-) (**الشكل 3-19b**).



الشكل 3-19 (a) حمض أرهينيوس، و (b) قاعدة أرهينيوس.

حمض أرهينيوس هو المادة التي تُنتج أيونات هيدروجين في المحلول المائي .
قاعدة أرهينيوس هي المادة التي تُنتج أيونات هيدروكسيد في المحلول المائي.

أوجه القصورفي نظرية أرهينيوس للأحماض والقواعد

على الرغمِ من نجاحِ نظريةِ أرهينيوس في تفسيرِ حمضيةِ أو قاعديةِ الكثيرِ من الموادِّ إلا أنّه فشلَ في تفسيرِ عدةِ أمورٍ من أهمّها:

- تفترض نظرية أرهينيوس أن تكون الأحماض والقواعد قابلة للذوبان في الماء، ولكن هناك بعض المركّبات لها خصائص حمضية وقاعدية وغير قابلة للذوبان في الماء، ولكنّها قابلة للذوبان في مذيبات أخرى غير الماء.
- لم يستطع أرهينيوس تفسير الصفة الحمضية و الصفة القاعدية لبعض المركّبات. ربّما لا تحتوي الأحماض على أيونات الهيدروجين (H^+)، ولا تحتوي القواعد على أيونات الهيدروكسيد (OH^-). ثاني أكسيد الكربون مثلًا يحقّق معايير حمض أرهينيوس، إذ ينتج أيونات الهيدروجين عند إذابته في الماء (**الشكل 3-20a**)، وتحقّق الأمونيا معايير قاعدة أرهينيوس، إذ تنتج أيونات الهيدروكسيد عند إذابتها في الماء (**الشكل 3-20b**).

(a) $CO_{2(g)} + H_2O_{(l)} \rightleftarrows H^+_{(aq)} + HCO_3^-{}_{(aq)}$

(b) $NH_{3(g)} + H_2O_{(l)} \rightleftarrows NH_4^+{}_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$

الشكل 3-20 (a) ينتج عن ذوبان ثاني أكسيد الكربون في الماء أيون هيدروجين (H^+).(b) ينتج عن ذوبان الأمونيا في الماء أيون هيدروكسيد (OH^-).

تحديد أحماض وقواعد أرهينيوس

تحديد أحماض أرهينيوس من الصيَغ الكيميائية

تُعدّ أحماض أرهينيوس جُزيئات مرتبطة بروابط تساهمية. وغالبًا ما تمتلك أحماض أرهينيوس صيغًا كيميائية تبدأ بذرّة أو أكثر من ذرّات الهيدروجين القابلة للتأيُّن. وقد يحتوي الجُزيء على أكثر من ذرّة هيدروجين غير قابلة للتأيُّن، بحيث تُكتَب مثل هذه الذرّات بشكل منفصل في الصيغة الكيميائية. يوضّح **الشكل 21-3** أن ذرّة واحدة فقط من ذرّات الهيدروجين الأربع التي يحتوي عليها جزيء حمض الأسيتيك، CH_3COOH، هي القابلة للتأيُّن. ويوضّح **الجدول 3-3** أيضًا بعض أحماض أرهينيوس الشائعة.

H = ذرة H قابلة للتأين
H = ذرة H غير قابلة للتأين

$$CH_3COOH$$

$$CH_3COOH_{(aq)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + CH_3COO^-_{(aq)}$$

الشكل 21-3 يحتوي جُزيء حمض الأسيتيك على ذرّة هيدروجين واحدة قابلة للتأيُّن.

الجدول 3-3 أحماض أرهينيوس الشائعة.

أحماض أرهينيوس	
الاسم	الصيغة الكيميائية
حمض الهيدروكلوريك	$HC\ell$
حمض الهيدروفلوريك	HF
حمض الكبريتيك	H_2SO_4
حمض النيتريك	HNO_3
حمض الأسيتيك	CH_3COOH
حمض الفوسفوريك	H_3PO_4

تحديد قواعد أرهينيوس من الصيَغ الكيميائية

تُعدّ هيدروكسيدات الفلزّات قواعد أرهينيوس الشائعة. وبشكل مشابه لبعض الأحماض، فإنّ قواعد أرهينيوس تمتلك أيون هيدروكسيد واحد أو أكثر في بعض صيَغها الكيميائية؛ وعلى عكس بعض الأحماض، فإنّ أيونات الهيدروكسيد جميعها لها القدرة على التأيُّن. يوضّح **الجدول 4-3** بعض قواعد أرهينيوس الشائعة، وهي تمثّل هيدروكسيدات عناصر المجموعتين الأولى والثانية.

الجدول 4-3 قواعد أرهينيوس الشائعة.

قواعد أرهينيوس	
الاسم	الصيغة الكيميائية
هيدروكسيد الليثيوم	$LiOH$
هيدروكسيد الصوديوم	$NaOH$
هيدروكسيد البوتاسيوم	KOH
هيدروكسيد المغنيسيوم	$Mg(OH)_2$
هيدروكسيد الكالسيوم	$Ca(OH)_2$

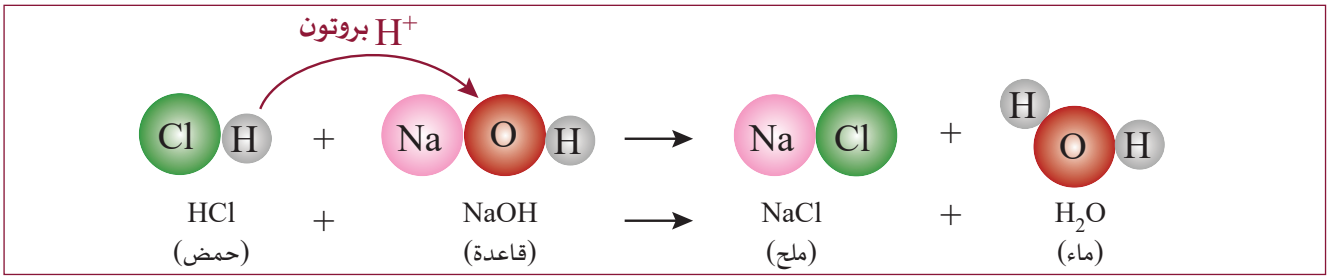
ابحث عن بعض الاستخدامات اليومية الشائعة لأحماض و قواعد أرهينيوس. على سبيل المثال: فيمَ يُستخدَم حمض الهيدروكلوريك؟ فيمَ يُستخدَم هيدروكسيد الصوديوم؟ هل توجد هذه المواد في منزلك؟ كيف تَستخدِم هذه المواد في منزلك؟

ثانيًا: نظرية برونستيد- لوري للأحماض والقواعد

لم يتفق العلماء جميعهم على نظرية أرهينيوس للأحماض والقواعد وتطبيقات هذه النظرية. في العام 1923م، اقترح كلّ من الكيميائي الدنماركي جوهانسون نيكولاس برونستيد، والكيميائي الإنجليزي توماس مارتن لوري بشكل منفصل، تعريفات مختلفة للأحماض والقواعد، فعرّفا **حمض برونستيد-لوري BrØnsted-Lowry acid** بأنه المادة التي لها القدرة على منح بروتون (H^+) إلى مادة أخرى في أثناء التفاعل. أما **قاعدة برونستيد-لوري BrØnsted-Lowry base** فتُعدّ المادة التي لها القدرة على استقبال بروتون (H^+) من مادة أخرى في أثناء التفاعل. وبالنظر إلى أن 99.99% من ذرّات الهيدروجين هي ${}^1_1H$، فإنّها تحتوي على بروتون واحد (p^+) وإلكترون واحد (e^-). وعندما تفقد ذرّة الهيدروجين إلكترونها الوحيد، فإنّ كل ما يتبقّى هو البروتون فقط. لهذا، ولجميع الأغراض العلمية، تكون أيونات الهيدروجين (H^+) هي نفسها البروتونات [$H^+ = p^+$].

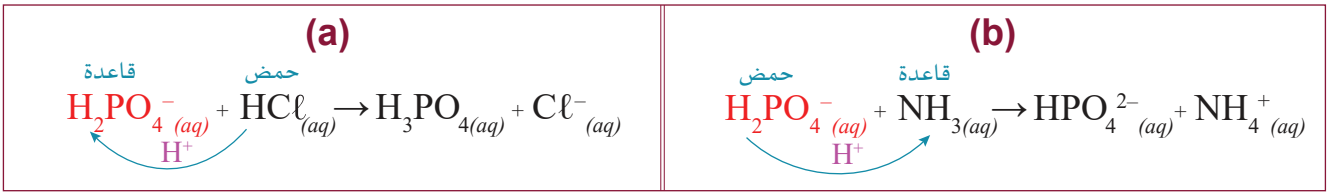
حمض برونستيد -لوري هو المادة المانحة للبروتون في أثناء التفاعل .
قاعدة برونستيد - لوري هي المادة المستقبلة للبروتون في أثناء التفاعل .

تُعرف أحماض وقواعد برونستيد-لوري من خلال التفاعلات الكيميائية وذلك بتحديد الحمض المانح للبروتون والقاعدة المستقبلة له. في **الشكل 3-22** يُعدّ حمض الهيدروكلوريك مانحًا للبروتون (H^+) وهيدروكسيد الصوديوم قاعدة مستقبلة لهذا البروتون. هذا التعريف مختلف تمامًا عن تعريف أرهينيوس الذي يؤكّد وجود الأحماض والقواعد بشكل منفصل عن بعضها البعض.



الشكل 3-22 تتفاعل أحماض وقواعد برونستيد- لوري دائمًا معًا من خلال انتقال البروتون بينهما.

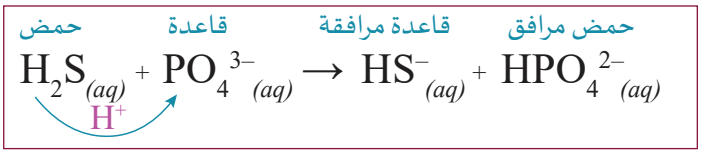
- معظم أحماض وقواعد أرهينيوس هي أحماض وقواعد برونستيد-لوري.
- يجب أن تحتوي أحماض برونستيد- لوري على الهيدروجين (H) في صيَغها الكيميائية.
- بالنظر إلى أن تحديد أحماض برونستيد -لوري وقواعده يتمّ من خلال التفاعل الكيميائي، فإن من الممكن أن تسلك بعض المواد سلوك حمض برونستيد- لوري في تفاعُل ما، وسلوك قاعدة برونستيد- لوري في تفاعُل آخر مختلف. وفي هذه الحالة يطلق عليها اسم **المواد المتردّدة (الأمفوتيرية) Amphoteric substances** (**الشكل 3-23**).



الشكل 3-23 يتصرّف أيون الفوسفات ثنائي الهيدروجين (a) ($H_2PO_4^-$) كقاعدة برونستيد- لوري، أو (b) كحمض برونستيد- لوري على حدّ سواء.

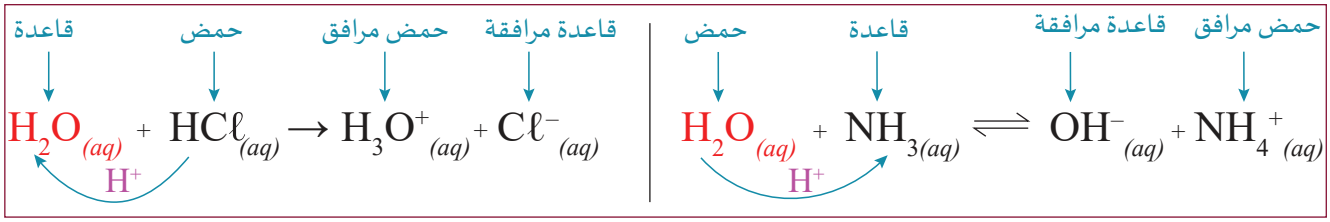
الأحماض والقواعد المرافقة

توجد أحماض برونستيد -لوري وقواعده معًا ودائمًا على هيئة جُسيمات مُتفاعلة، حيث لا يمكن للحمض أن يمنح (يفقد) بروتونًا إلّا بوجود قاعدة تستقبل (تكتسب) هذا البروتون. في التفاعل الكيميائي يُعرَّف **الحمض المرافق Conjugate acid** على أنه المادة التي تتكوّن عندما تستقبل القاعدة بروتونًا. أما **القاعدة المرافقة Conjugate base** فهي المادة التي تتكوّن عندما يمنح الحمض بروتونًا. في أيٍّ من التفاعلات الكيميائية التي تحتوي على حمض برونستيد -لوري وقاعدته، هناك حمض مرافق ناتج عن القاعدة، وقاعدة مرافقة ناتجة عن الحمض (**الشكل 3-24**).



الشكل 3-24 حمض برونستيد-لوري وقاعدته المرافقة وقاعدة برونستيد-لوري وحمضها المرافق .

يُعدّ الماء من أهم المواد الأمفوتيرية لأنه قد يكون حمض برونستيد-لوري في تفاعل ما أو قاعدة برونستيد - لوري في تفاعل آخر، وهذا مبيّن بشكل واضح في **الشكل 3-25**، حيث يبين تأيّن حمض الهيدروكلوريك في تفاعل كيميائي يتمُّ فيه انتقال بروتون بصورة مباشرة من جزيء $HC\ell$ إلى جزيء الماء الذي يتصرف كقاعدة، فيصبح البروتون مرتبطًا تساهميًا مع ذرة الأكسجين في الماء لتكوين أيون الهيدرونيوم H_3O^+. بينما يتصرف الماء كحمض بوجود جزيء الأمونيا، حيث ينتقل البروتون من الماء الى جزيء الأمونيا فيتكوّن كل من أيون الأمونيوم وأيون الهيدروكسيد.



الشكل 3-25 الماء (H_2O) مادة متردّدة (أمفوتيرية) قد تكون قاعدة برونستيد -لوري أو حمض برونستيد -لوري.

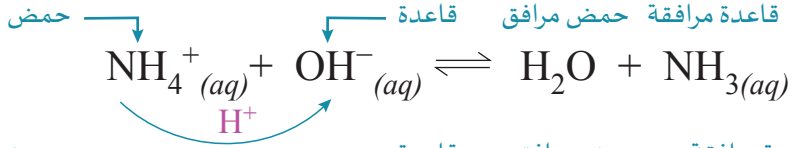
مثال 1

اكتب تفاعل الأحماض الآتية مع أيون الهيدروكسيد، ثم حدّد الأحماض والقواعد المرافقة.

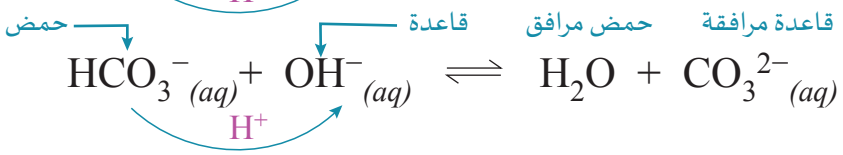
a. NH_4^+ **b.** HCO_3^- **c.** HSO_4^-

الحلّ:

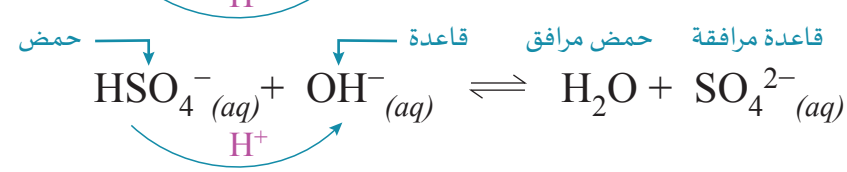
a)



b)



c)



مثال 2

إذا أُعطيت المعادلة الآتية:

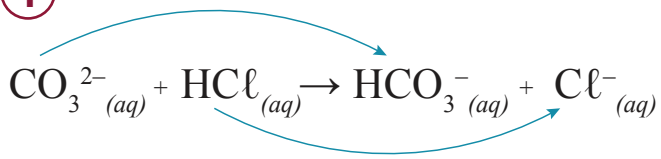
$$CO_3^{2-}{}_{(aq)} + HC\ell_{(aq)} \longrightarrow HCO_3^{-}{}_{(aq)} + C\ell^{-}{}_{(aq)}$$

حدّد كلًّا من حمض برونستيد-لوري وقاعدته، وارسم سهمًا يتّجه من المادة المانحة للبروتون إلى المادة المستقبلة له. ثم استنتج الحمض المرافق والقاعدة المرافقة .

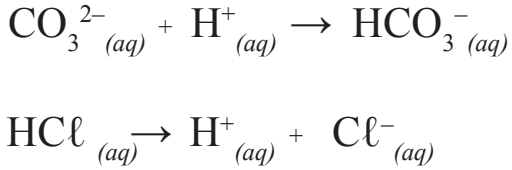
الحلّ:

1. حدّد كيف تتغيّر كلٌّ من الجُسَيمات المُتفاعلة، عن طريق المقارنة بين المواد المتفاعلة والمواد الناتجة. في هذا التفاعُل، يتغيّر CO_3^{2-} إلى HCO_3^{-} ويتغيّر $HC\ell$ إلى $C\ell^{-}$.
2. أيّ الجُسيمات تتغيّر عن طريق فقدان (منح) أيون هيدروجين، وأيها تتغيّر عن طريق اكتساب (استقبال) أيون الهيدروجين؟ هنا يكتسب CO_3^{2-} أيون الهيدروجين (H^+)، ويمنح $HC\ell$ أيون الهيدروجين (H^+).
3. حدّد الحمض والقاعدة، وارسم سهمًا يتّجه من الحمض (مانح البروتون) إلى القاعدة (مستقبل البروتون).
4. حدّد الحمض المرافق والقاعدة المرافقة .

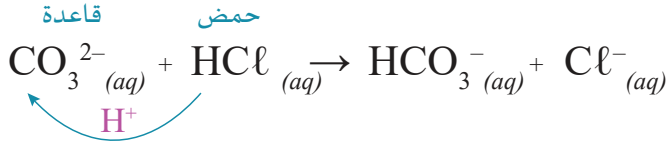
1



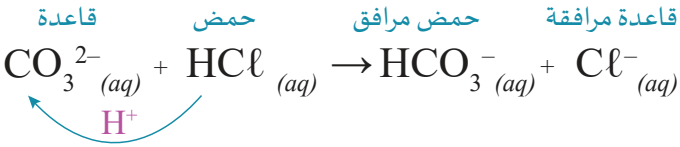
2



3



4



مثال 3

أيٌّ من المواد الآتية لا يمكن أن تتصرّف نهائيًا كحمض برونستيد-لوري؟ فسّر اجابتك.

NH_4^{+} (1) HS^{-} (2) SO_4^{2-} (3) HBr (4)

الحلّ:

- (3) SO_4^{2-} لا يمكن أن تتصرّف نهائيًا كحمض برونستيد-لوري.
- تُعدّ أحماض برونستيد-لوري مانحة للبروتونات؛ ولكي تمنح المادة بروتونًا، فلا بدّ من وجود ذرّة هيدروجين (H) واحدة على الأقلّ في صيغتها الكيميائية. هنا، لا تملك SO_4^{2-} أيّة ذرّة من ذرّات الهيدروجين في صيغتها الكيميائية؛ لذا، فإنّ SO_4^{2-} لا يمكن أن تتصرّف نهائيًا كحمض برونستيد-لوري. أما الخيارات الأخرى، فيملك كل منها ذرّة هيدروجين واحدة على الأقل في صيغته الكيميائية.

تقويم الدرس 3-1

1. أيٌّ من الخصائص الآتية ليست خاصية مشتركة بين الأحماض والقواعد؟
   a. محاليلها إلكتروليتية.
   b. محاليها المُركّزة كاوية.
   c. محاليلها المُركّزة ملمسها زلق.
   d. محاليلها تُحدث تغيّراً في لون أدلة الأحماض والقواعد.

2. أيٌّ من الجمل الآتية تمثّل تعريفًا صحيحًا لحمض أرهينيوس؟
   a. يُنتج أيونات هيدروجين في المحلول المائي.
   b. يمنح أيونات هيدروجين على شكل بروتون إلى مادة أخرى.
   c. يُنتج أيونات هيدروكسيد في المحلول المائي.
   d. يكتسب أيونات الهيدروجين على شكل بروتون.

3. ما اللون الناتج عند إضافة دليل الفينولفثالين إلى محلول قاعدي؟
   a. الأحمر
   b. الأزرق
   c. الوردي
   d. عديم اللون

4. ما الغاز الذي ينتج عندما تتفاعل الأحماض مع الفلزّات النشطة؟
   a. H_2
   b. O_2
   c. CO_2
   d. NH_3

5. أيٌّ ممّا يأتي يُعدّ قاعدة أرهينيوس؟
   a. $HC\ell_{(aq)}$
   b. $CO_{2(aq)}$
   c. $Ca(OH)_2$
   d. $CH_3COOH_{(aq)}$

6. ما الجُسيم الذي يتمّ تبادله بين حمض برونستيد- لوري وقاعدته؟

7. حدّد كلًّا من الحمض والقاعدة والحمض المرافق والقاعدة المرافقة في التفاعُل المعطى بالمعادلة الكيميائية الآتية:

$$NO_2^-{}_{(aq)} + H_2O_{(l)} \longrightarrow HNO_{2\ (aq)} + OH^-{}_{(aq)}$$

8. ما تعريف حمض برونستيد- لوري؟

9. ما القاعدة المرافقة للأحماض الآتية؟
   a. NH_4^+
   b. HNO_3
   c. HSO_4^-

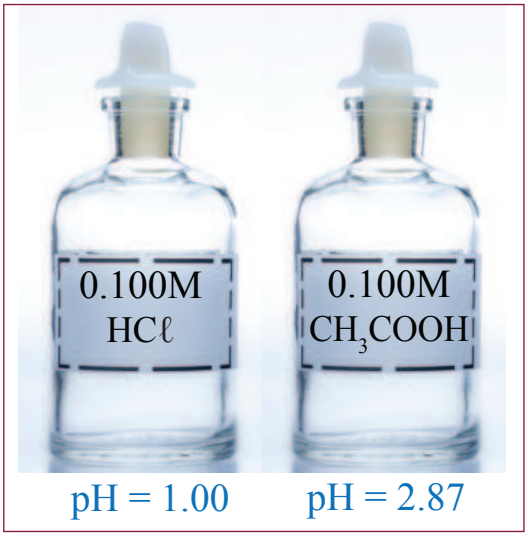
10. فسّر المعلومة الآتية: كلّ القلويات قواعد وليس كل القواعد قلويات.

الدرس 3-2

قوة الأحماض والقواعد، وتفاعُل التعادل

Strength of Acids and Bases and Neutralization Reaction

عندما تقلّ قيمة الرقم الهيدروجيني pH للمحلول يصبح المحلول حمضيًّا أكثر. فإذا كان لديك مثلًا محلول حمض الهيدروكلوريك ($HC\ell$) تركيزه 0.100 M، وقيمة رقمه الهيدروجيني pH تساوي 1.00، ومحلول حمض الأسيتيك (CH_3COOH) تركيزه 0.100 M، وقيمة رقمه الهيدروجيني pH تساوي 2.87، فإن محلول $HC\ell$ الذي يبلغ تركيزه 0.100 M يكون حمضيًّا أكثر من محلول (CH_3COOH) الذي يبلغ تركيزه 0.100 M (**الشكل 3-26**). كيف يمكن لحمضَيْن لهما التركيز نفسه، ويحتوي كل منهما على ذرّة هيدوجين واحدة قابلة للتأيّن، أن تكون لهما قيمتا رقم هيدروجيني pH مختلفتان؟ تكمن الإجابة في الاختلاف بين قوة الحمض وتركيزه.



الشكل 3-26 يملك محلول $HC\ell$ الذي يبلغ تركيزه 0.100 M قيمة رقم هيدروجيني pH أقلّ من محلول (CH_3COOH) الذي يبلغ تركيزه 0.100 M.

تملك الأحماض قيَم رقم هيدروجيني pH منخفضة (أقلّ من 7). أمّا القواعد فتملك قيَم رقم هيدروجيني pH مرتفعة (أكبر من 7). كيف تتغيّر قيمة الرقم الهيدروجيني pH للمحلول عند إضافة حمض إلى قاعدة، أو عند إضافة قاعدة إلى حمض؟ وما الذي يحدث كيميائيًّا لتفسير التغيُّر في قيمة الرقم الهيدروجيني pH؟ وكيف يمكن تحديد قيمة الرقم الهيدروجيني pH للمحلول؟ ستتمّ الإجابة عن تلك الأسئلة في هذا الدرس عندما يتمّ استقصاء تفاعل التعادُل.

مخرجات التّعلُّم

C1003.2 يشرح بشكل نوعي، الاختلاف في سلوك الأحماض والقواعد القوية والضعيفة من حيث مدى التفكك (التحلل)، ويربط هذا بمقياس درجة الحموضة أو الرقم الهيدروجيني (pH).

C1003.3 يشرح تغيّرات الرقم الهيدروجيني (pH) أثناء تفاعل التعادل، ويعرف أنه يمكن تعميم تفاعل التعادل على تفاعل أيونات الهيدروجين مع أيونات الهيدروكسيد لتكوين الماء.

المفردات

الحمض القوي	Strong acid
الحمض الضعيف	Weak acid
القاعدة القوية	Strong base
القاعدة الضعيفة	Weak base
تفاعل التعادُل	Neutralization reaction

عرض عملي: عودة "توهّج المصباح"

كيف يمكنك أن تحدّد التغيُّرات التي تحدث في أثناء التفاعلات الكيميائية؟

ما هي الخصائص الإلكتروليتية للمحاليل الحمضية أو القاعدية؟

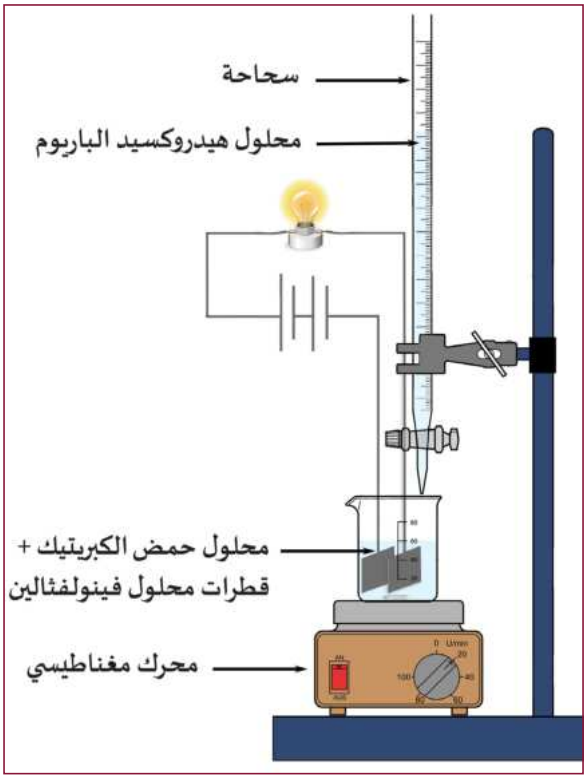
عرض عملي

1. يبدأ العرض العملي بمحلول شفّاف وعديم اللون لحمض يحتوي على ذرّتَيْ هيدروجين قابلتين للتأيُّن، هو حمض الكبريتيك (H_2SO_4). ثمّ تُضاف بضع نقاط من محلول الفينولفثالين إلى محلول الحمض. تذكّر أن محلول الفينولفثالين يبقى شفّافًا في المحاليل الحمضية.

2. يوضع المصباح الكهربائي لاختبار التوصيل الكهربائي (**الشكل 3-27**) في محلول الحمض. وبالنظر إلى أن الأحماض هي مواد إلكتروليتية، فإن المصباح الكهربائي سوف يضيء ويتوهّج بشكل برّاق.

3. يُضاف محلول شفّاف وعديم اللون من قاعدة تحتوي على أيونَيْ هيدروكسيد، هي هيدروكسيد الباريوم ($Ba(OH)_2$)، إلى الحمض نقطة نقطة. تُعدّ القواعد مواد إلكتروليتية أيضًا.

4. عند إضافة محلول هيدروكسيد الباريوم إلى محلول الحمض نقطة نقطة نلاحظ الأمور الآتية:



الشكل 3-27 اختبار التوصيل الكهربائي خلال عملية التعادل بين حمض قوي وقاعدة قوية.

a. يصبح المحلول ضبابيًا وذا لون أبيض، ويبدأ توهّج المصباح الكهربائي بالخفوت كلما أضيف المزيد من القاعدة.
b. في لحظة محدّدة، وعند إضافة كمية محدّدة من القاعدة، ينطفىء المصباح الكهربائي.
c. عند الاستمرار بإضافة القاعدة، يصبح المحلول ورديًا ضبابيًا، ويبدأ المصباح الكهربائي المنطفىء بالتوهّج مرة أخرى.
d. مع الاستمرار بإضافة القاعدة، يتوهّج المصباح الكهربائي بشكل برّاق مرّة أخرى.

أسئلة

1. لماذا بدأ ضوء المصباح الكهربائي بالخفوت حتى انطفىء نهائيًا عند إضافة المحلول القاعدي تدريجيًا؟
2. لماذا أصبح المحلول ضبابيًا وذا لون أبيض؟
3. ما سبب تحوّل المحلول إلى اللون الوردي؟
4. ما سبب توهّج المصباح الكهربائي من جديد عندما تحوّل المحلول إلى اللون الوردي الضبابي؟
5. هل يمكنك كتابة المعادلة الكيميائية الموزونة التي تصف التفاعل الكيميائي الذي حدث ؟

الأحماض القوية والضعيفة

تُصنّف الأحماض على أنها قوية أو ضعيفة بحسب قدرتها على التأين الكامل أو الجزئي عند إذابتها في الماء لتكوّن محاليل.

قوّة الحمض هي قياس النسبة المئوية لجُزيئات الحمض التي تُنتج أيونات هيدروجين في المحلول المائي، مع الإشارة إلى أن هذه الخاصية تعتمد على الحمض نفسه وليس على المحلول. هذه الخاصية لا تتعلّق بمفهوم التركيز الذي سوف يفسر بوضوح من خلال مصطلح الرقم الهيدروجيني pH.

الأحماض القوية

تتأيّن **الأحماض القوية Strong acids** بنسبة 100% في المحاليل؛ هذا يعني أن لكل جُزيء حمضٍ يذوب في المحلول أيون هيدروجين واحدًا على الأقل تتمّ إزالته من ذلك الجُزيء. يوضّح **الشكل 3-28** ما سبق على هيئة معادلة كيميائية، حيث يتم كتابة معادلة تأيّن (تفكك) الحمض القوي باستخدام سهم ذي اتجاه واحد، ما يدلّ على التأيّن التام للحمض، إذ يتمّ تحديد قوة الحمض في الغالب من خلال التجربة. ومن آلاف الأحماض المعروفة، هنالك 7 أحماض منها فقط تتأيّن بنسبة 100%؛ لذلك توجد 7 أحماض قوية فقط (**الجدول 3-5**).

عندما يذوب 0.10 mol من $HC\ell$ في 1 L من المحلول:

$$HC\ell_{(aq)} \rightarrow H^+_{(aq)} + C\ell^-_{(aq)}$$

0.10 mol 0.10 mol 0.10 mol

فسوف تتأيّن جُزيئات $HC\ell$ جميعها.

الشكل 3-28 تتأيّن الأحماض القوية بنسبة 100% في المحلول.

الجدول 3-5 أحماض قوية تتأيّن بنسبة 100%.

اسم الحمض	الصيغة الكيميائية للحمض
حمض الهيدروكلوريك	$HC\ell$
حمض الهيدروبروميك	HBr
حمض الهيدرويوديك	HI
حمض الكبريتيك	H_2SO_4
حمض النيتريك	HNO_3
حمض الكلوريك	$HC\ell O_3$
حمض البيركلوريك	$HC\ell O_4$

الأحماض الضعيفة

تكون معظم الأحماض **أحماضًا ضعيفة Weak acids**، تتأيّن بشكل جزئي فقط في المحلول. يعني ذلك أن بعض جُزيئات الحمض يبقى على حاله في المحلول. تعتمد النسبة المئوية لتأيُّن الحمض على عدّة عوامل، بما فيها التركيب الجُزيئي والتركيز. ومن الأمثلة على ذلك، أنّ محلول حمض الهيدروفلوريك، HF، الذي يبلغ تركيزه 0.1000 M يتأيّن بنسبة مئوية مقدارها 7.8% فقط. يوضّح **الشكل 3-29** ما سبق على هيئة معادلة كيميائية. يعبّر السهمين فيها أنه قد تمّ تحقيق اتّزان بين جُزيئات الحمض التي تأيّنت والجُزيئات التي لم تتأيّن.

عندما يذوب 0.1000 mol من HF في 1 L من المحلول:

$$HF_{(aq)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + F^-_{(aq)}$$

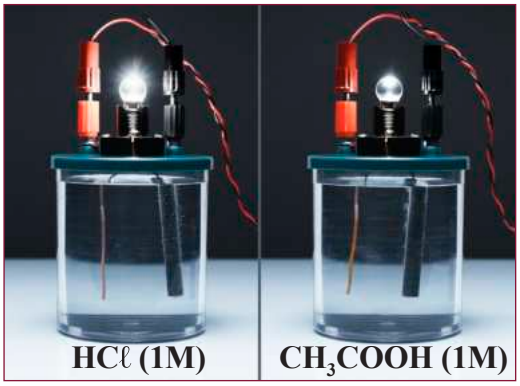
0.0922 mol 0.0078 mol 0.0078 mol

فسوف تتأيّن بعض من جزيئات HF فقط.

الشكل 3-29 تتأيّن الأحماض الضعيفة بشكل جزئي في المحلول.

تُعدّ الأحماض العضوية أحماضًا ضعيفة ويوجد بعضها في طعامنا، مثال حمض الأسيتيك CH_3COOH المكوّن الرئيس للخل.

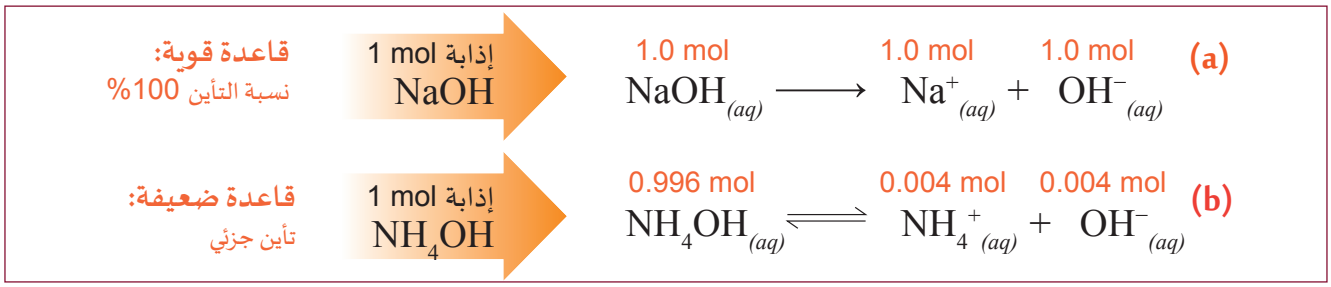
من المعروف أن الأحماض القوية لديها القدرة على التوصيل الكهربائي بشكل أقوى من الأحماض الضعيفة وذلك بسبب تأينها الكامل بالماء بينما تتأين الأحماض الضعيفة بشكل جزئي (**الشكل 3-30**)



الشكل 3-30 يوصل محلول حمض الهيدروكلوريك 1 M الكهرباء بشكل أقوى من توصيل محلول حمض الأسيتيك 1 M وهذا مبين من خلال الاختلاف بتوهج المصباح الكهربائي.

القواعد القوية والضعيفة

يختلف مفهوم القواعد القوية والضعيفة عن مفهوم الأحماض القوية والضعيفة. يعود هذا الاختلاف جزئيًّا إلى أن الكثير من القواعد الشائعة تُعدّ مركّبات أيونية، أمّا الأحماض فتُعدّ مركّبات جُزيئية تساهمية. تتفكّك القواعد القوية بشكل كامل لتنتج على الأقل مولًا واحدًا من أيونات الهيدروكسيد لكل مول من القاعدة (**الشكل 3a-31**)، أما القواعد الضعيفة فتتفكك لتنتج أقل من مول واحد من أيونات الهيدروكسيد لكل مول من القاعدة. بعض القواعد الضعيفة تنتج جزءًا صغيرًا جدًا، أي ما يقرب من 10^{-3} مول من أيونات الهيدروكسيد لكل مول من القاعدة (**الشكل 3b-31**).



الشكل 3-31 مقارنة بين القواعد القوية والقواعد الضعيفة.

القواعد القوية

هناك أنواع كثيرة مختلفة من **القواعد القوية Strong bases**. وتكون معظم هذه القواعد القوية الشائعة هيدروكسيدات فلزّات قابلة للذوبان في الماء تُنتج محاليل تحتوي على تراكيز مرتفعة جدًا من أيونات الهيدروكسيد (OH^-). تتمّ كتابة معادلة تأيّن (تفكّك) القاعدة القوية باستخدام سهم ذي اتجاه واحد، ما يدلّ على التأيّن التام للقاعدة (**الشكل 3-31**)، لذلك، فإن محاليل هذه القواعد تملك قيَم رقم هيدروجيني pH مرتفعة جدًا (**الجدول 3-6**). ومن القواعد القوية الأخرى: هيدريدات، وأكاسيد، ونيتريدات الفلزّات.

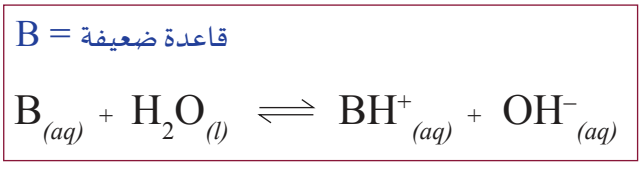
الجدول 6-3 قواعد قوية شائعة.

اسم القاعدة	الصيغة الكيميائية للقاعدة
هيدروكسيد الليثيوم	$LiOH$
هيدروكسيد الصوديوم	$NaOH$
هيدروكسيد البوتاسيوم	KOH
هيدروكسيد الروبيديوم	$RbOH$
هيدروكسيد السيزيوم	$CsOH$
هيدروكسيد الكالسيوم	$Ca(OH)_2$
هيدروكسيد السترونشيوم	$Sr(OH)_2$
هيدروكسيد الباريوم	$Ba(OH)_2$

القواعد الضعيفة

هناك أنواع كثيرة مختلفة من **القواعد الضعيفة Weak bases**، والشائع منها هيدروكسيدات فلزّات شحيحة الذوبان في الماء (معظم هيدروكسيدات الفلزّات). ولمّا كانت هيدروكسيدات الفلزّات هذه غير قابلة للذوبان بشكل كبير في الماء، فإن معظمها لا يمكن أن يتفكّك بشكل كافٍ لإنتاج أيونات الهيدروكسيد من أجل تكوين محلول له قيمة رقم هيدروجيني pH مرتفعة للغاية. من الأمثلة الأخرى على القواعد الضعيفة الأمينات العضوية (وهي جُزيئات تتكوّن بشكل أساسي من ذرات الكربون وتحتوي على مجموعة الأمين، $-NH_2$، الوظيفية).

يُعدُّ محلول الأمونيا $NH_{3(aq)}$ أكثر مثال شائع على القواعد الضعيفة الجُزيئية. وكالأحماض الضعيفة، فإنّ القواعد الضعيفة الجُزيئية تتأيّن بشكل جزئي فقط، وتحقّق اتّزانًا بين الجُزيئات التي تأيّنت والجُزيئات الأخرى التي لم تتأيّن (**الشكل 3-32**). لذلك، تتمّ كتابة معادلة تأيّن (تفكّك) القاعدة الضعيفة باستخدام سهمين لهما اتجاهين متعاكسين، ما يدلّ على التأيّن الجزئي للقاعدة.



الشكل 3-32 تتأيّن القواعد الضعيفة الجُزيئية مثل القاعدة (B)بشكل جزئي في المحلول.

مفهوم الرقم الهيدروجيني pH

تذكّر أن تركيز المحاليل في الكيمياء، بما فيها الأحماض والقواعد يُعبّر عنه في الغالب بالمولارية، وهي نسبة عدد مولات الحمض إلى حجم المحلول بوحدة اللتر (mol/L). أما مفهوم الرقم الهيدروجيني pH فهو تعبير عن درجة الحموضة في المحاليل ، والمرتبطة بقيمة تركيز أيونات الهيدروجين في المحلول H^+ (أو H_3O^+) إذ يرتبط الرقم الهيدروجيني (pH) بمعادلة رياضية مع تركيز أيون الهيدروجين في المحلول. فكلما تغيَّرت قيمة (pH) وحدة كاملة، تتغيَّر مولارية أيونات الهيدروجين بمعدل عشر مرات.

الجدول 3-7 العلاقة بين $[H_3O^+]$ و $[OH^-]$ وقيمة pH في المحاليل المتعادلة والحمضية والقاعدية.

المحلول	العلاقة بين $[H_3O^+]$و$[OH^-]$	قيمة pH
حمضيّ	$[OH^-] < [H_3O^+]$	أقل من 7
متعادل	$[OH^-] = [H_3O^+]$	تساوي 7
قاعديّ	$[OH^-] > [H_3O^+]$	أكبر من 7

الماءُ النقي مركب متعادل؛ لأنه يتفكك حسب المعادلةِ الكيميائيةِ الآتية:

$$H_2O_{(l)} + H_2O_{(l)} \leftrightarrows H_3O^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

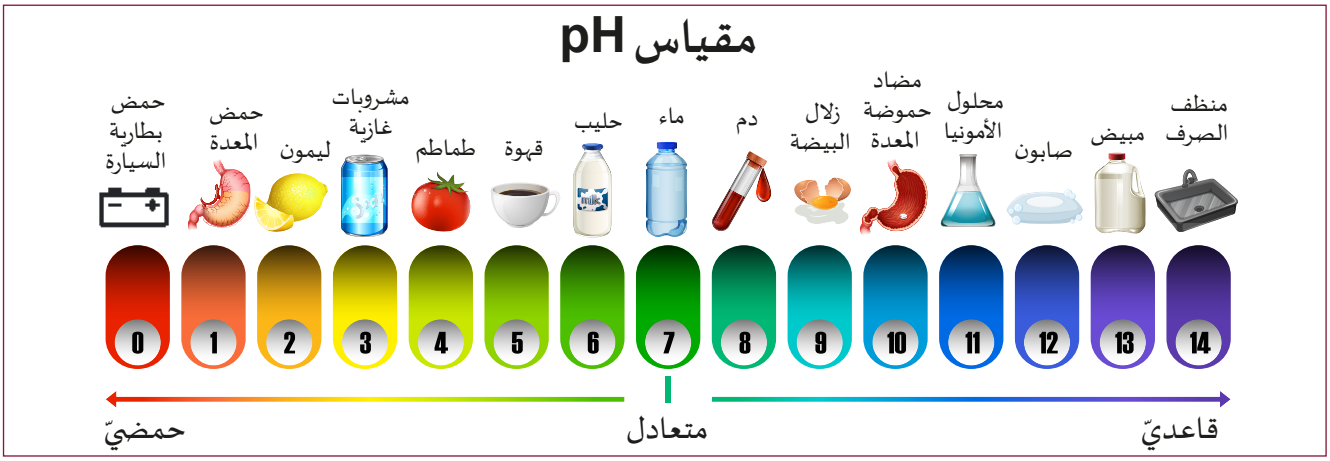
وتُشيرُ النتائجُ التجريبيةُ إلى أن تركيزَ أيوناتِ H_3O^+ مساويًا لتركيزِ أيوناتِ OH^-، عند درجةِ حرارة 25°C، وتكونُ قيمةُ pH له تساوي 7. وتكون قيمةَ pHللمحاليل الحمضيةِ أقل من 7، بينما تكونُ قيمةُ pH للمحاليلِ القاعديةِ أكبرَ من 7. كما هو موضح **في الجدول 3-7**.

الشكل 3-33 يقيس مقياس الرقم الهيدروجيني قيمة pH لمحلول بدقة كبيرة.

أسهل طريقة لقياس الرقم الهيدروجيني لمحلول هو استخدام مقياس الرقم الهيدروجيني pH meter المبين **بالشكل 3-33**.يعمل مقياس الرقم الهيدروجيني من خلال مستشعر يستخدم الطاقة الكهربائية لقياس تركيز أيونات الهيدروجين (H^+) في المحلول.

الشكل 3-34 أشرطة ورقية للدليل العام.

الطريقة الثانية العامة التي تُستخدَم لقياس (pH) هي استخدام الأدلة. ويُعدّ أفضل مثال على ذلك الدليل العام الذي يصنع بمزج أدلة مختلفة ومتعددة. ممكن أن يُستخدم كمحلول، أو على شكل أشرطة اختبار ورقية غُمرت في محلول دليل عام وتسمى ورقة pH (**الشكل 3-34**). لهذه الورقة القدرة على اكتساب أيّ لون من ألوان الطيف المرئي , وهي تزودنا بطريقة دقيقة الى حد مقبول للتمييز بين قِيم pH للمحاليل المختلفة إذ تعطي ألواناً متعدّدة عندما تتغيّر قيمة الرقم الهيدروجيني pH للمحلول (**الشكل 3-35**).



الشكل 3-35 يظهر الشكل ألوان ورقة pH عند قيم مختلفة لـ pH بالإضافة الى قيم pH لبعض المواد الشائعة الاستخدام في الحياة اليومية.

نشاط 2-3 a تحديد حمضية المحاليل عن طريق قياس الرقم الهيدروجيني pH

سؤال الاستقصاء	كيف يمكن تحديد حمضية محلول ما عن طريق قياس قيمة رقمه الهيدروجيني pH باستخدام مجموعة متنوّعة من الطرائق؟
الموادّ المطلوبة	10 محاليل حمضية، ومتعادلة، وقاعدية غير معلومة موضوعة في عبوات لها قطّارات تحمل العناوين من 1 إلى 10، مقياس الرقم الهيدروجيني pH، أوراق دليل عام، محلول فينولفثالين، أوراق تبّاع شمس حمراء وزرقاء، لوح تجويفات، كأس زجاجية سعتها 30 mL، نظّارة واقية.
إجراءات الأمن والسلامة	ارتدِ القفّازات والنظّارات الواقية . تعامل بحذر مع الأحماض واتبع التعليمات .

تعليمات (اعمل ضمن مجموعة ثنائية):

- مقياس الرقم الهيدروجيني pH: ضعْ 10 mL من المحلول المراد اختباره في الكأس الزجاجية ذات السعة 30 mL، ثم قِسْ قيمة الرقم الهيدروجيني pH وسجّلها، ونظّف الكأس بين الاختبارات.

  للتذكير بكيفية إجراء الاختبارات، ضعْ 10 نقاط من المحلول المراد اختباره في 5 تجويفات موجودة في لوح التجويفات، ونظّفها بين الاختبارات.
- ورقة الكاشف العام: اغمسْ شريطًا من ورقة الكاشف في أحد التجويفات في لوح التجويفات، ثم طابق بين لون الورقة ومفتاح ورقة الكاشف العام، وسجّل قيمة الرقم الهيدروجيني pH.
- محلول الفينولفثالين: أضفْ نقطة واحدة من هذا المحلول إلى أحد التجويفات في لوح التجويفات، ثم سجّل لون المحلول، سواء كان شفافًا (عديم اللون) أم ورديًّا.
- ورقة تبّاع الشمس الحمراء: اغمسْ شريطًا منها في أحد التجويفات في لوح التجويفات، ثم سجّل لون الورقة سواء كان أحمر أم أزرق.
- ورقة تبّاع الشمس الزرقاء: اغمسْ شريطًا منها في أحد التجويفات في لوح التجويفات، ثم سجّل لون الورقة سواء كان أحمر أم أزرق.

جدول بيانات	المحاليل									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
مقياس الرقم الهيدروجيني pH										
ورقة الكاشف العام										
محلول الفينولفثالين										
ورقة تبّاع الشمس الحمراء										
ورقة تبّاع الشمس الزرقاء										

الأسئلة

a. معتمدًا على المعلومات التي حصلت عليها، صنّف المحاليل إلى أحماض أو قواعد .

b. معتمدًا على المعلومات التي حصلت عليها، صنّف الأحماض إلى أحماض قوية أو ضعيفة، ثم صنّف القواعد إلى قواعد قوية أو ضعيفة.

c. هل كان بين المحاليل محلول متعادل؟ ما المعلومات التي تدعم استنتاجك؟

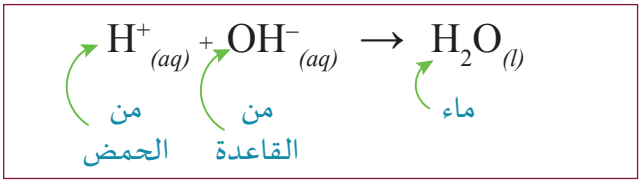
تفاعل تعادُل الحمض والقاعدة

عندما يتفاعل حمض مع قاعدة، فإنّ ذلك ينتج ملحًا وماء، وهذه العملية تُسمّى **تفاعل التعادُل** Neutralization reaction.

تفاعل التعادل هو تفاعُل حمض مع قاعدة لإنتاج ملح وماء.

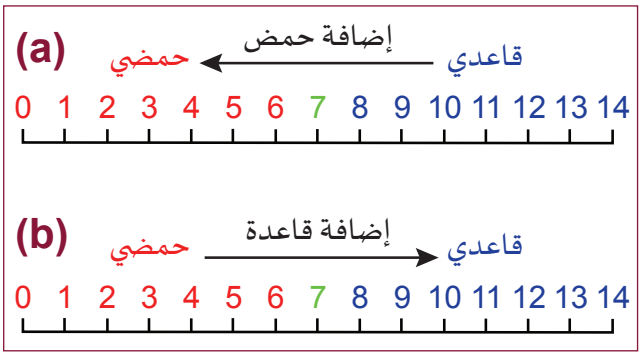
يُعد تفاعل التعادُل بشكل عام تفاعُل حمض وقاعدة أرهينيوس، إذ يمكن إنتاج الأملاح المختلفة استنادًا إلى الحمض والقاعدة اللذَين يتفاعلان.

أمّا ما يحدث في تفاعُلات التعادل جميعها فهو أن أيونات الهيدروجين، (H^+)، التي مصدرها الحمض، وأيونات الهيدروكسيد، (OH^-)، التي مصدرها القاعدة، تتّحد لتكوين الماء (**الشكل 3-36**).



الشكل 3-36 معادلة التعادُل العامة.

عندما يتمّ تنفيذ عملية تعادُل عن طريق قياس حجوم الحمض والقاعدة المستخدمَيْن، وعن طريق مراقبة قيمة الرقم الهيدروجيني pH باستخدام مقياس الرقم الهيدروجيني pH meter، فإن قيمة الرقم الهيدروجيني pH للمحلول تقلّ عند إضافة حمض إلى قاعدة (**الشكل 3-37a**). لكن إضافة قاعدة إلى حمض، تَزيد قيمة الرقم الهيدروجيني pH للمحلول (**الشكل 3-37b**).



الشكل 3-37 تتغيّر قيمة الرقم الهيدروجيني pH، عند (a)إضافة حمض إلى قاعدة، وعند (b) إضافة قاعدة إلى حمض.

عندما يتفاعل حمض قوي مع قاعدة قوية، فإن قيمة الرقم الهيدروجيني pH للمحلول المُتعادل سوف تصبح 7 تمامًا؛ عندما يتفاعل الحمض والقاعدة بشكل كامل، ولا يفيض أيٌّ من الحمض المضاف، أو القاعدة المضافة، ولا يبقى سوى الملح والماء في المحلول. يتمّ تحديد هذه النقطة في أثناء عملية التعادل باستخدام دليل حمض وقاعدة مناسب، أو عن طريق مراقبة قيمة الرقم الهيدروجيني pH للمحلول.يكون التفاعل أكثر تعقيدًا عندما يكون هناك حمض ضعيف أو قاعدة ضعيفة.

تتكوّن بعض الأملاح عن طريق تفاعُلات التعادُل التي تحدث بين أحماض قوية وقواعد ضعيفة، أو بين قواعد قوية و أحماض ضعيفة، لإنتاج محاليل حمضية أو قاعدية بشكل طفيف. لذلك، فإن قيمة الرقم الهيدروجيني للمحلول لن تساوي 7 عند نقطة التعادُل الدقيقة. ناقش مع زميلك ما يمكن أن تتوقّعه لقيمة الرقم الهيدروجيني pH للمحلول الناتج عن تفاعلات التعادل الآتية: (1) حمض قوي + قاعدة قوية، (2) حمض ضعيف + قاعدة قوية، (3) حمض قوي + قاعدة ضعيفة، ثم ناقش مع زملائك في الصف النتائج التي توصّلت إليها.

الخطوات العملية لتفاعُلات تعادُل الحمض والقاعدة

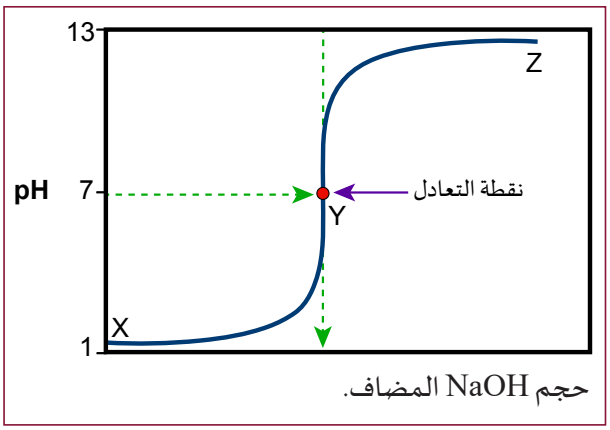
عند استخدام دليل في تفاعل تعادُل، يتم الوصول إلى نقطة نهاية التفاعل فور ملاحظة تغيُّر في لون الدليل المضاف.
يوضّح **الشكل 3-38** هذا النوع من التقنيات حيث تمَّ إضافة قاعدة إلى حمض. إليك ما يحدث عند كلّ خطوة:

1. يُضاف حجم محدد لحمض إلى دورق مخروطي أو كأس زجاجية.
2. تُضاف قطرات من دليل مناسب.
3. يوضع الدورق المخروطي أو الكأس الزجاجية التي تحتوي على الحمض والدليل تحت سحاحة تحتوي على قاعدة. والسحّاحة أداة تُستخدم لقياس حجم السائل المضاف بشكل دقيق.
4. تُضاف القاعدة ببطء إلى محلول الحمض والدليل.
5. عند إضافة كمّية كافية من القاعدة لإحداث تغيُّر في لون الدليل، يكون قد تم الوصول إلى نقطة النهاية لعملية التعادل (نقطة نهاية التفاعل).
6. يمكن رسم منحنى يمثل تغيّر قيم pH عند إضافة القاعدة إلى الحمض وتحديد نقطة التعادل على المنحنى.

الشكل 3-38 خطوات عملية التعادل بين حمض وقاعدة باستخدام دليل الفينولفثالين لتحديد نقطة نهاية التفاعل.

مثال 4

وضع طالب 25 mL من محلول حمض الهيدروكلوريك $HC\ell$ في دورق مخروطي وأضاف إليه بعض قطرات من دليل مناسب وسجل ملاحظته أن المحلول عديم اللون. ثم أضاف محلول هيدروكسيد الصوديوم NaOH ببطء إلى الدورق إلى أن ظهر لون وردي للمحلول مما يدل على انتهاء التفاعل. وقام برصد قيم pH ورسم العلاقة بينها وبين حجوم NaOH المضافة فحصل على المنحنى المبين في الشكل المجاور.



a. اكتب المعادلة الكيميائية التي تصف التفاعل الحادث.
b. ما قيمة pH عند النقطة Y؟
c. حدد نوع المحلول عند كل من X و Y و Z حمضي أم قاعدي أم متعادل؟
d. اذكر اسم الدليل الذي استخدمه الطالب لتحديد نقطة نهاية التفاعل.

الحلّ:

a. $HC\ell_{(aq)} + NaOH_{(aq)} \rightarrow NaC\ell_{(aq)} + H_2O_{(l)}$

b. 7

c. عند النقطة X تكون قيمة pH=1 لذلك تمثل هذه النقطة محلول الحمض. أما عند النقطة Y فإنّ قيمة pH=7 تعني أن المحلول متعادل. ثم بزيادة حجم القاعدة المضافة ترتفع قيمة pH حيث يصبح المحلول عند النقطة Z قاعدي.

d. في البداية كان عديم اللون ثم ظهر اللون الوردي وهذا يدل على أن الدليل المستخدم هو الفينولفثالين لأنه تغير من عديم اللون (وسط حمضي) إلى وردي (وسط قاعدي).

مثال 5

أيّة مجموعة من الجدول الدوري صُنّفت هيدروكسيدات فلزّاتها جميعها على أنها قواعد قوية؟

الحلّ:

- بالرجوع إلى الجدول 3-6، فإنّ **المجموعة 1 (IA)** التي تحتوي على الليثيوم (Li)، والصوديوم (Na)، والبوتاسيوم (K)، والروبيديوم (Rb)، والسيزيوم (Cs)، والفرانسيوم (Fr)، قد تم تصنيف هيدروكسيدات فلزّاتها جميعها على أنها قواعد قوية.

مثال 6

أضاف طالب في المختبر محلول (X) إلى محلول (Y) . فتغيّرت قيمة الرقم الهيدروجيني pH للمحلول من 4 إلى 9.

a. كيف يتغيّر تركيز أيونات الهيدروجين مع هذا التغيّر في قيمة الرقم الهيدروجيني؟

b. كيف يتغيّر لون ورقة تبّاع الشمس الحمراء والزرقاء عند استخدامها لتحديد نوع المحلول قبل التغيّر في قيمة pH وبعد التغيّر.

c. صف ما حدث خلال تغيّر قيمة pH.

الحلّ:

a. ينخفض تركيز أيونات الهيدروجين (H^+) من 10^{-4} mol/L إلى 10^{-9} mol/L.

b. المحلول ذو قيمة الرقم الهيدروجيني pH = 4 يُعدّ حمضيًا. لذلك، فإن لون ورقة تبّاع الشمس الزرقاء يتحوّل الى اللون الأحمر؛ أما الورقة الحمراء فلا تتغيّر. عندما يصبح الرقم الهيدروجيني pH = 9 يصبح المحلول قاعديًا، وبذلك يتغيّر لون ورقة تبّاع الشمس الحمراء إلى اللون الأزرق، أما ورقة تبّاع الشمس الزرقاء فلا تتغيّر.

c. المحلول الأساسي كان حمضيًا. الإضافة المتكرّرة من محلول قاعدي أدت إلى تفاعل الحمض مع القاعدة ليصبح المحلول متعادلًا. الاستمرار بإضافة القاعدة إلى المحلول المتعادل أدّى إلى ارتفاع في الرقم الهيدروجيني حتى وصلت الى رقم هيدروجيني pH = 9.

مثال 7

ما الأيونات التي تكوّن الملح عندما يتفاعل حمض الهيدرويوديك، HI، مع قاعدة هيدروكسيد الليثيوم، LiOH؟

الحلّ:

- عندما يتفاعل الحمض مع القاعدة (هيدروكسيد الفلزّ)، يتكوّن ملح وماء.
- يتكون الماء نتيجة إتحاد أيونات (H^+) من الحمض مع أيونات (OH^-) من القاعدة.
- عندما يفقد حمض HI أيون (H^+)، يترك خلفه **أيونات (I^-)** لتكوين الملح.
- عندما تفقد القاعدة LiOH أيون (OH^-)، تترك خلفها **أيونات (Li^+)** لتكوين الملح.
- الملح المُتكوّن هو يوديد الليثيوم LiI.

نشاط b2-3 تفاعلُ حمض قويّ مع قاعدة قوية

سؤال الاستقصاء	كيف يمكن قياس الرقمَ الهيدروجيني للمحلولِ الناتجِ من تفاعلِ حمضٍ قوي وقاعدةٍ قوية باستخدامِ مُستشعرِ pH؟
الموادّ المطلوبة	كأسٌ زجاجية سعة 250 mL، ماصّةٌ سعة 25 mL، سحّاحةٌ سعة 50 mL، قُمْعٌ زجاجي، حمضُ الهيدروكلوريك HCℓ تركيزُه (0.1 M)، محلولُ هيدروكسيد الصوديوم NaOH تركيزُه (0.1 M)، دليل الفينولفثالين، مقياسُ الرقمِ الهيدروجيني الرقمي مع مُستشعرِ pH، دورق مخروطي.
الأمن والسلامة	ارتدِ معطفَ المختبرِ، والنظاراتِ الواقيةَ، والقفازين، وتعاملْ مع الأحماضِ والقواعدِ بحذرٍ.

الخطوات

1. اِغسلِ الأدواتِ الزجاجيةَ المُستخدَمةَ في هذه التجربةِ جيدًا ثم أشطفها بالماء المقطرِ عدةَ مرات.
2. اِملأِ السحّاحةَ بمحلولِ هيدوكسيدِ الصوديوم، باستخدامِ قُمْعٍ زجاجي، وتأكدْ من ضَبْطِ سطحِ المحلولِ وذلك بفتحِ صمَّامِ التحكمِ السفلي للسحَّاحةِ لإنزالِ مستوى المحلولِ حتى العلامةِ المُحدَّدةِ.
3. اِسحبْ 25 mL من محلولِ حمضِ الهيدروكلوريك باستخدام الماصّةِ، ثم ضَعْهَا بالكاملِ في الدورق المخروطي.
4. أَضفْ بضع قطرات من دليل الفينولفثالين إلى محلولِ الحمضِ في الدورقِ المخروطي.

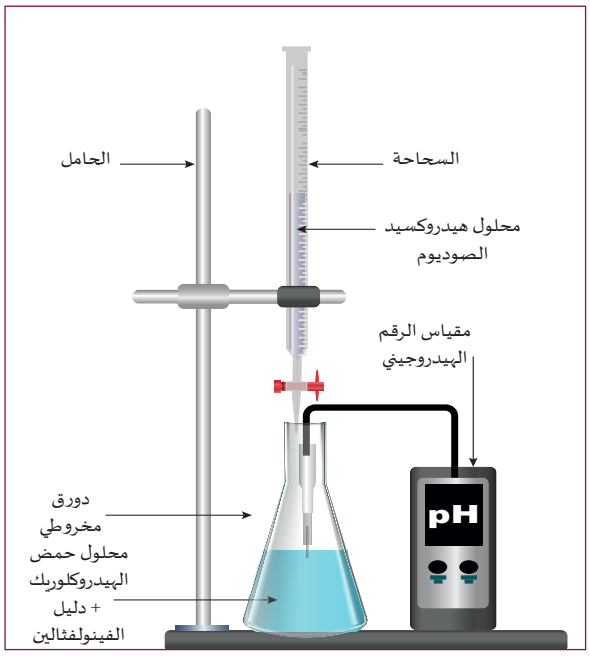
الشكل 3-39 الاختلاف في لون المحلول عند الإضافة المتكررة للمحلول القاعدي الى المحلول الحمضي بوجود دليل الفينولفثالين.

5. ضَعِ الدورق المخروطي تحت السحّاحةِ، وافتحِ الصنبورَ بحيثُ تضيف ببطء محلول NaOH إلى الحمض الموجود في الدورق وحرّك الدورق بشكل دائري باستمرار.

6. قِسِ الرقمَ الهيدروجينيَ للمحلول بعد إضافةِ كلّ 5 mL من NaOH، باستخدامِ pH meter. ثم سجّلِ القراءاتِ التي تظهرُ في مستشعرِ pH، في الجدولِ أدناه.

7. أَغلقِ الصنبورَ بمجردِ تَغيُّرِ لونِ المحلولِ، وسجّلِ القراءةَ.

8. أكمل إضافة القاعدة لاستكمال بيانات الجدول حتى ثبات قيمة pH.



الشكل 3-40 رسم تفصيلي للأدوات المستخدمة في تفاعل تعادل حمض وقاعدة باستخدام pH meter.

حجم NaOH المُضاف (mL)	pH
0	
5	
10	
15	
20	
25	
30	

التحليل:

1. أُكتبْ معادلةَ التفاعلِ بين الحمضِ والقاعدةِ المُستخدَمين في النشاطِ السابق.
2. ماذا يسمَّى هذا النوعُ من التفاعلات؟
3. ما لونُ المحلولِ عند نقطةِ التعادل؟
4. أُرسِمِ العلاقةَ بين قِيَمِ pH وحجمِ القاعدةِ المُضافةِ إلى المحلولِ الحمضي بيانيًّا.

الاستنتاج: .....

ملاحظة: يمكن استخدام مسجل للبيانات متصل بمستشعر pH لتسجيل البيانات وعمل المنحنى مباشرة.

تقويم الدرس 3-2

1. أيٌّ ممّا يأتي يحدّد قوة الحمض؟
   a. الحجم
   b. المولارية
   c. التركيز
   d. النسبة المئوية للتأيّن

2. أيٌّ ممّا يأتي هو حمض ضعيف؟
   a. HI
   b. HF
   c. $HC\ell$
   d. HBr

3. أيٌّ من قيم الرقم الهيدروجيني الآتية تعبّر عن المحلول الأكثر قاعدية؟
   a. pH = 6
   b. pH = 7
   c. pH = 8
   d. pH = 9

4. ما نواتج تفاعل التعادُل؟
   a. حمض وملح
   b. حمض وقاعدة
   c. ملح وماء
   d. قاعدة وماء

5. أيٌّ من العبارات الآتية تصف التغيُّر في قيمة الرقم الهيدروجيني pH عند إضافة قاعدة إلى حمض؟
   a. تبدأ قيمة الرقم الهيدروجيني pH عند قيمة أعلى من 7، ثم تزداد.
   b. تبدأ قيمة الرقم الهيدروجيني pH عند قيمة أقل من 7، ثم تزداد.
   c. تبدأ قيمة الرقم الهيدروجيني pH عند قيمة أعلى من 7، ثم تقلّ.
   d. تبدأ قيمة الرقم الهيدروجيني pH عند قيمة أقل من 7، ثم تقلّ.

6. أيٌّ ممّا يأتي هو الملح الذي يتكوّن عندما يتفاعل HBr مع NaOH؟
   a. NaH
   b. HOH
   c. NaBr
   d. BrOH

7. حمض النيتريك HNO_3 هو حمض قوي، أما حمض الميثانويك HCOOH فهو حمض ضعيف . اكتب معادلة تأيّن كل منهما في الماء .

8. اكتب معادلة تفاعل التعادل بين حمض الهيدروكلوريك $HC\ell$ وهيدروكسيد البوتاسيوم KOH.

إضاءة على عالِم

سفانت أوغست أرهينيوس

Svante August Arrhenius: 1927-1859

الشكل 3-41 سفانت أرهينيوس.

وُلد سفانت أوغست أرهينيوس (**الشكل 3-41**) بتاريخ 19 فبراير 1859م في قرية فيك السويدية. أمّا والداه فهما أوغست جوستاف أرهينيوس، وكارولينا كريستينا ثنبيرج. علّم أرهينيوس نفسه القراءة عندما كان في الثالثة من عمره، وأثبت للجميع أنه يمتلك كفاءة عالية في الرياضيات. التحق بجامعة أوبسالا في السويد في العام 1876م، ودرّس فيها الرياضيات، والكيمياء، والفيزياء. وتضمّنت أطروحته لنيل درجة الدكتوراه كثيرًا من الأفكار الجديدة المتعلّقة بالكيمياء والفيزياء. لم تتضّح لدى الأساتذة الجامعيين بادىء الأمر أهمّية أطروحته، لكنّه حصل في النهاية على درجة الدكتوراه، وعُرض عليه منصب في جامعة أوبسالا لتدريس الكيمياء الفيزيائية وعلوم ناشئة جديدة.

نالت أطروحة أرهينيوس إعجاب الكثير من العلماء البارزين في ذلك الوقت، الأمر الذي أتاح له الفرصة ليتعاون مع كثير من العلماء، مثل لودينج بولتزمان، ورودولف كلاوسياس، وجاكوب هنريكوس فانت هوف.

$$k = A \times e^{\left(\frac{-E_a}{RT}\right)}$$

الشكل 3-42 معادلة أرهينيوس.

ركّزت أطروحته على تفسير سلوك المواد الإلكتروليتية، وتوصّل فيها إلى تطوير نظرية الحمض والقاعدة. في العام 1889م، ربط أرهينيوس درجة حرارة التفاعُل (T) بثابته لقانون سرعة التفاعُل (k) في معادلة سُمّيت باسمه تقديرًا له (**الشكل 3-42**). في العام 1896م، ربط أرهينيوس تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون الموجود في الغلاف الجوي بتأثيراته في مناخ العالم؛ في السنوات اللاحقة، درس الفيزياء الكونية والكيمياء المناعية ونشر كتبًا فيهما، حاز جائزة نوبل في الكيمياء في العام 1903م. توفي أرهينيوس بتاريخ 2 أكتوبر 1927م، في مدينة ستوكهولم السويدية عن عمر ناهز 68 عامًا، ودُفن في مدينة أوبسالا السويدية (**الشكل 3-43**)، في مكان ليس ببعيد عن المنزل الذي ترعرع فيه.

الشكل 3-43 ضريح سفانت أرهينيوس.

الوحدة 3

مراجعة الوحدة

الدرس 3-1: خصائص ونظريات الأحماض والقواعد

- تمتلك الأحماض والقواعد كثيرًا من الخصائص، بعضها متشابه، وبعضها الآخر مختلف، ووُضعت نظريات مختلفة لتعريف كل من الأحماض و القواعد.
- تُسمّى المواد القاعدية القابلة للذوبان في الماء **قلويات Alkalis**.
- تُعدّ الأحماض والقواعد مواد **إلكتروليتية Electrolytes**، وهي مواد **كاوية Caustic**.
- تتفاعل الأحماض مع القواعد (هيدروكسيدات الفلزّات) لتكوين **ملح Salt**، وماء.
- يُنتج **حمض أرهينيوس Arrhenius acid** أيونات الهيدروجين (H^+) عند الذوبان في الماء. أمّا **قاعدة أرهينيوس Arrhenius base** فتنتج أيونات الهيدروكسيد (OH^-) عند الذوبان في الماء.
- يُعرّف **حمض برونستيد-لوري BrØnsted-Lowry acid** بأنه مانح للبروتون، أمّا **قاعدة برونستيد- لوري BrØnsted-Lowry base** فتُعرّف بأنها مُستقبِلة للبروتون، والبروتونات هي أيونات هيدروجين. توجد أحماض برونستيد- لوري وقواعده معًا ودائمًا، ويتفاعل بعضها مع بعض.
- في التفاعل الكيميائي يُعرَّف **الحمض المرافق Conjugate acid** بأنه المادة التي تتكوّن عندما تستقبل القاعدة بروتونًا. أما **القاعدة المرافقة Conjugate base** فهي المادة التي تتكوّن عندما يمنح الحمض بروتونًا.
- **المادة المتردّدة (الأمفوترية) Amphoteric substance** هي المادة التي تتصرف كحمض مع القاعدة وكقاعدة مع الحمض.

الدرس 3-2: قوة الأحماض والقواعد، وتفاعُل التعادل

- تعتمد قوة الحمض على النسبة المئوية لتأيّنه في المحلول، وليس على تركيزه.
- تعتمد قوة القاعدة على قابليتها للذوبان، أو على النسبة المئوية لتأيُّنها في المحلول، وليس على تركيزها.
- يتأينّ **الحمض القوي Strong acid** بنسبة 100% في المحلول، وتوجد 7 أحماض قوية فقط.
- يتأيّن **الحمض الضعيف Weak acid** بشكل جزئي فقط في المحلول.
- تكون **القاعدة القوية Strong base** هيدروكسيد فلزّ قابلًا للذوبان في الماء، وتوجد مواد أخرى تتصرّف وكأنّها قواعد قوية أيضًا، لكنها أقلّ شيوعًا.
- تكون **القاعدة الضعيفة Weak base** هيدروكسيد فلزّ غير قابل للذوبان في الماء بشكل كبير، أو تكون مركّبًا جُزيئيًا؛ وقد تحتوي في الغالب على مجموعة الأمين ($-NH_2$) الوظيفية، حيث تتأيّن هذه القاعدة الضعيفة بشكل جزئي في المحلول.
- يُعدّ ثاني أكسيد الكربون المائي، $CO_{2(aq)}$ حمضًا ضعيفًا، أما الأمونيا المائية، $NH_{3(aq)}$ فتُعدّ قاعدة ضعيفة.
- تمتلك المحاليل الحمضية قيَم رقم هيدروجيني pH أقلّ من 7. أمّا المحاليل القاعدية فتمتلك قيَم رقم هيدروجيني pH أكبر من 7، وتمتلك المحاليل المتعادلة قيَم رقم هيدروجيني pH تساوي 7.
- يتضمّن **تفاعل التعادُل Neutralization reaction** التفاعل بين أيونات الهيدروجين (H^+) من الحمض مع أيونات الهيدروكسيد (OH^-) من القاعدة لتكوين الماء.

أسئلة اختيار من متعدّد

1. أيٌّ من الخصائص الآتية هي خاصّية للحمض، وليست خاصّية للقاعدة؟
   - a. مواد إلكتروليتية.
   - b. مواد كاوية.
   - c. تُنتج أيونات الهيدروكسيد (OH^-) في المحلول.
   - d. تتفاعل مع الفلزّات النشطة كيميائيًا لإنتاج غاز الهيدروجين (H_2).

2. ما تأثير الأحماض و القواعد على دليل تباع الشمس؟
   - a. تُغيّر الأحماض لون دليل تبّاع الشمس إلى الأحمر، وتُغيّر القواعد لونه إلى الأزرق.
   - b. تُغيّر الأحماض لون دليل تبّاع الشمس إلى الأزرق، وتُغيّر القواعد لونه إلى الأحمر.
   - c. تُغيّر الأحماض لون دليل تبّاع الشمس إلى الوردي، وتجعله القواعد عديم اللون.
   - d. تجعل الأحماض دليل تبّاع الشمس عديم اللون، وتُغيّر القواعد لونه إلى الوردي.

3. ما الذي ينتج عندما تتفاعل أيونات الهيدروجين مع أيونات الهيدروكسيد؟
   - a. ملح
   - b. ماء
   - c. قاعدة
   - d. حمض

4. أيٌّ ممّا يأتي هو حمض أرهينيوس؟
   - a. $NH_{3(aq)}$
   - b. $HBr_{(aq)}$
   - c. $NaC\ell_{(aq)}$
   - d. $Ca(OH)_{2(aq)}$

5. أيٌّ من التعريفات الآتية يُعدّ تعريفًا لقاعدة برونستيد- لوري؟
   - a. مانحة للبروتون
   - b. مُستقبِلة للبروتون
   - c. مانحة للإلكترون
   - d. مُستقبِلة للإلكترون

6. أيٌّ ممّا يأتي يمثل حمض برونستيد- لوري وقاعدته المرافقة في المعادلة الآتية؟

$$C_2O_4^{2-}{}_{(aq)} + H_2O_{(aq)} \longrightarrow HC_2O_4^{-}{}_{(aq)} + OH^{-}{}_{(aq)}$$

a. $C_2O_4^{2-}/OH^-$

b. H_2O/OH^-

c. $HC_2O_4^-/C_2O_4^{2-}$

d. $HC_2O_4^-/HO^-$

7. أيٌّ ممّا يأتي يتمّ تحديده عن طريق النسبة المئوية لتأيُّن الحمض؟

a. الرقم الهيدروجيني pH

b. الكتلة

c. قوة الحمض

d. التركيز

8. أيٌّ ممّا يأتي يُعدّ الحمض الأقوى؟

a. HNO_2

b. HNO_3

c. H_3PO_4

d. CH_3COOH

9. أيٌّ ممّا يأتي يُعدّ حمضًا ضعيفًا؟

a. HCN

b. RbOH

c. $Sr(OH)_2$

d. CH_3NH_2

10. أيٌّ من التغيُّرات الآتية في الرقم الهيدروجيني pH يُظهر أن المحلول يتّجه من قاعديّ ضعيف إلى قاعديّ قوي؟

a. 8 إلى 1

b. 1 إلى 7

c. 9 إلى 5

d. 8 إلى 14

11. أيٌّ ممّا يأتي يصف المُركّب $AgC\ell$ بالشكل الأفضل؟

a. ملح

b. قاعدة ضعيفة

c. حمض قوي

d. قاعدة قوية

12. ما الرقم الهيدروجيني لمحلول يمكن أن يغيّر لون دليل الفينولفثالين إلى اللون الوردي؟

a. pH=2

b. pH=6

c. pH=7

d. pH=9

الدرس 3-1: خصائص ونظريات الأحماض والقواعد

13. عرّف مصطلح "الكاوية".

14. ما الغاز الذي ينتج عندما تتفاعل الأحماض مع مركبات الكربونات، ومركبات الكربونات الهيدروجينية؟

15. ما الخاصّية لكل من الأحماض والقواعد التي تشير إلى قدرة محاليلها المائية على توصيل الكهرباء؟

16. كيف يكون مذاق محاليل الأحماض المخفّفة الموجودة في بعض الأطعمة؟

17. اكمل المعادلة الكيميائية غير الموزونة الآتية:

$$Fe_{(s)} + HC\ell_{(aq)} \longrightarrow FeC\ell_{3(aq)} + ____$$

18. غُمِسَت ورقة تبّاع شمس زرقاء اللون في محلول، وبقي لونها أزرق كما هو. ما نوع المحلول الذي تمّ اختباره؟

19. في الجدول الآتي ، تُمثل الرموز A,B,C,D محاليل افتراضية وقيمة pH لكل محلول. استخدم الجدول للإجابة عن الأسئلة الآتية:

المحلول	A	B	C	D
pH	3	6	7	10

a. أي المحاليل يمتلك أعلى تركيز لأيونات الهيدروجين؟

b. أي المحاليل سيغيّر لون ورقة تباع الشمس الحمراء الى اللون الأزرق؟

c. أي المحاليل السابقة هو محلول متعادل؟

d. هل يغيّر المحلول B لون دليل الفينولفثالين ؟

20. وضّحْ، من حيث الأيونات الناتجة، السبب الذي يجعل ثاني أكسيد الكربون الذائب في الماء $(CO_2)_{(aq)}$ حمضًا.

21. لماذا لا يمكن أن يكون أيون النيترات، NO_3^-، حمض برونستيد- لوري؟

22. ما الصيغة الكيميائية للحمض المرافق الموجودة في التفاعُل المُعطى في المعادلة الكيميائية الآتية:

$$C_6H_5OH_{(l)} + NH_2^-{}_{(aq)} \longrightarrow C_6H_5O^-{}_{(aq)} + NH_{3(g)}$$

23. ما الصيغة الكيميائية للقاعدة المرافقة الموجودة في التفاعُل المُعطى في المعادلة الكيميائية الآتية:

$$HI_{(aq)} + H_2O_{(l)} \longrightarrow H_3O^+{}_{(aq)} + I^-{}_{(aq)}$$

24. يُعد أيون، (HS^-) مادة أمفوتيرية ، أي يتفاعل كحمض برونستيد-لوري أو كقاعدة برونستيد-لوري وفقًا للمادة التي يتفاعل معها. اكتب الصيغة الكيميائية التي سيكون عليها أيون (HS^-) عندما يسلك سلوك (a) حمض برونستيد- لوري، و(b) قاعدة برونستيد - لوري.

25. إذا أُعطيتَ المعادلة الكيميائية الآتية:

$$HSO_4^-{}_{(aq)} + PO_4^{3-}{}_{(aq)} \longrightarrow SO_4^{2-}{}_{(aq)} + HPO_4^{2-}{}_{(aq)}$$

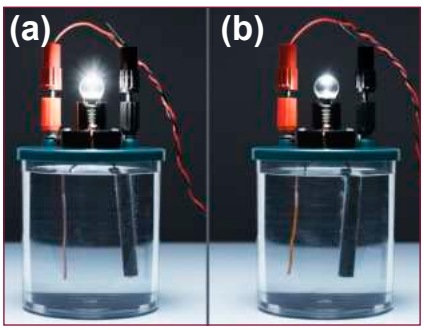
حدّد حمض برونستيد- لوري، وقاعدة برونستيد- لوري في التفاعُل، ثم ارسم سهمًا من الجُسيم الذي يفقد البروتون إلى الجُسَيْم الذي يكتسبه، ثم استنتج الحمض المرافق والقاعدة المرافقة .

الدرس 3-2: قوة الأحماض والقواعد، وتفاعُل التعادل

26. استخدم **الشكل 3-44** لتحديد أي من المحاليل هو محلول حمض قوي. فسر إجابتك.

27. اذكر الصيَغ الكيميائية للأحماض السبعة القويّة.

28. فسّر، من حيث النسبة المئوية للتأيّن، السبب الذي يجعل ثنائي ميثيل الأمين، $(CH_3)_2NH$، قاعدة ضعيفة.



الشكل 3-44 التوصيل الكهربائي لمحلول حمض قوي وآخر حمض ضعيف.

29. ما المادتان اللتان تنتجان عندما يتفاعل حمض مع قاعدة (هيدروكسيد الفلز)؟

30. اكتب المعادلة الكيميائية الموزونة مع ترميز الحالة للتفاعُل بين حمض الكبريتيك وهيدروكسيد البوتاسيوم.

31. عند إضافة حمض إلى قاعدة، فهل ستزداد قيمة الرقم الهيدروجيني pH للمحلول أم ستقلّ؟

32. عندما تتغيّر قيمة الرقم الهيدروجيني لمحلول من 9 إلى 6، فهل سيصبح هذا المحلول حمضيًّا أكثر، أم قلويًّا أكثر؟

33. إذا وُضعت بلّورات هيدروكسيد المغنيسيوم، $Mg(OH)_2$، في ماء وتمّ تحريكه، فهل سيمتلك المحلول قيمة رقم هيدروجيني أقلّ من 7، أم أكبر من 7، أم تساوي 7؟

34. وُضعت بضع نقاط من محلول الفينولفثالين في محلول حمض الهيدروكلوريك، $HC\ell_{(aq)}$، ثم تمّ تعادل محلول حمض الهيدروكلوريك هذا بمحلول هيدروكسيد الصوديوم، $NaOH_{(aq)}$.

بعد نقطة النهاية، كيف يتغيّر لون الفينولفثالين؟

35. ما الصيغة الكيميائية للملح المتكوّن عندما تتمّ معادلة حمض الهيدروبروميك، HBr، بهيدروكسيد الكالسيوم، $Ca(OH)_2$؟

36. في مقالة علمية: "تُعدّ أكاسيد الفلزّات النشطة كيميائيًا قواعد قوية". ابحث في التفاعُل الذي يحدث بين أكسيد الصوديوم الصلب، $Na_2O_{(s)}$، والماء، ثم اكتب المعادلة الكيميائية الموزونة لهذا التفاعُل مع ترميز الحالة موضّحًا عملية إنتاج أيونات الهيدروكسيد من هذا التفاعُل.

37. اعمل مع زميل لك، بحيث يُحضر كل منكما نوعَين مختلفَين من السوائل أو المشروبات من منزله إلى المختبر. اختبرها جميعها باستخدام ورقة الدليل العام، وأنشئ جدولًا للبيانات التي ستحصل عليها لتحدد نوع هذه السوائل (محاليل حمضية أم قاعدية أم متعادلة).

الوحدة 4

أساسيات الكيمياء الحركية

Fundamentals of Chemical Reaction Kinetics

في هذه الوحدة

الدرس 4-1: سرعة التفاعل الكيميائي ونظرية التصادم C1006

الدرس 4-2: العوامل المؤثّرة في سرعة التفاعلات الكيميائية

الوحدة 4

مقدّمة الوحدة

تحدث بعض التفاعلات الكيميائية بسرعة، مثل التفاعل الذي يحدث عند اشتعال الألعاب النارية وعند احتراق وقود السيارات، ويحدث بعضها الآخر ببطء، مثل التفاعل الذي يحدث في أثناء معالجة الخرسانة وعند تكوّن صدأ الحديد.

الكيمياء الحركية هي فرع من علم الكيمياء يهتم بدراسة سرعة التفاعلات الكيميائية والميكانيكية التي تحدث بها والعوامل التي تؤثّر فيها.

يناقش الدرس 4-1 مفهوم سرعة التفاعل الكيميائي، ويستخدم الرسوم البيانية لتحديد سرعة التفاعل في مدة زمنية محدّدة. ولتفسير السبب في تغيّر سرعة التفاعل مع مرور الزمن سنتعرّف إلى نظرية أساسية هي "نظرية التصادم"، هذه النظرية تعالج أفكارًا مهمّة، مثل الميكانيكية التي تحدث بها التفاعلات الكيميائية، وخطوات تحديد سرعتها.

يصف الدرس 4-2 العوامل المؤثرة في سرعة التفاعلات الكيميائية. تتضمّن هذه العوامل (1) التركيز، و(2) درجة الحرارة، و(3) حجم الجُسَيْمات أو مساحة السطح، و(4) وجود العامل الحفّاز. سيتمّ مناقشة وتفسير تأثير هذه العوامل من حيث نظرية التصادم. سيتم أيضًا التمييز بين العوامل الحفّازة المتجانسة، والعوامل الحفّازة غير المتجانسة.

الأنشطة والتجارب

4-1 سرعة التفاعل الكيميائي: تحليل رسم بياني.

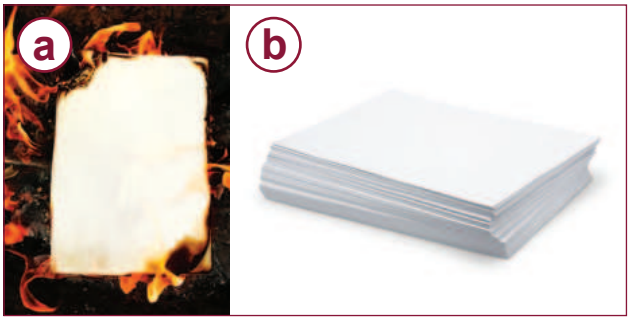
4-2 العوامل المؤثّرة في سرعة التفاعلات الكيميائية.

الدرس 4-1

سرعة التفاعل الكيميائي ونظرية التصادم

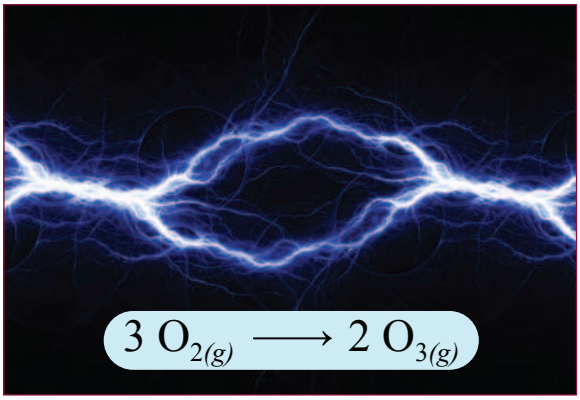
Rate of Chemical Reaction and Collision Theory

عند تسخين ورقة إلى درجة حرارة أعلى من 230°C تحترق في الهواء **(الشكل 4-a1)**، إلّا أنها لا تتفاعل مع الأكسجين الموجود في الهواء عند درجة حرارة الغرفة، ولا تحدث عملية الاحتراق بشكل تلقائي **(الشكل 4-b1)**.



الشكل 4-1 (a) تتعرض الورقة للاحتراق عندما تصل إلى درجة حرارة أعلى من 230°C، (b) لكنها لا تحترق بشكل تلقائي عند درجة حرارة الغرفة.

ينتج غاز الأوزون $O_{3(g)}$، من غاز الأكسجين $O_{2(g)}$، عند تمرير شرارة كهربائية عبر الهواء، حيث تُنتَج في أثناء هذا التفاعل ذرات الأكسجين $O_{(g)}$؛ لكن ذرّات الأكسجين هذه لا تظهر في المعادلة الكيميائية التي تصف هذا التفاعل **(الشكل 4-2)**. لماذا؟



الشكل 4-2 عملية إنتاج غاز الأوزون في الهواء من غاز الأكسجين عند تمرير شرارة كهربائية.

في هذا الدرس، سوف نتعرّف على الشروط الضرورية لكي تحدث التفاعلات الكيميائية بين المواد، ونحدد كيفية حدوثها.

مخرجات التّعلُّم

C1006.1 يدرك أن سرعات التفاعل تختلف بشكل كبير، ويرسم ويحلل الرسوم البيانية ويجمع البيانات من تجارب سرعة التفاعل.

C1006.2 يشرح تفاعل ثنائي الجزيئات بدلالة تصادمات الجُسَيْمات، ويدرك أن إمكانية التصادم الفعّال (التفاعل) تعتمد على الاتجاه الفراغي المناسب وطاقة الجُسَيْمات.

C1006.5 يدرك أن العديد من التفاعلات تحدث على خطوات متعددة، وأن الخطوة الأبطأ (خطوة تحديد سرعة التفاعل) هي التي تحدد سرعة التفاعل.

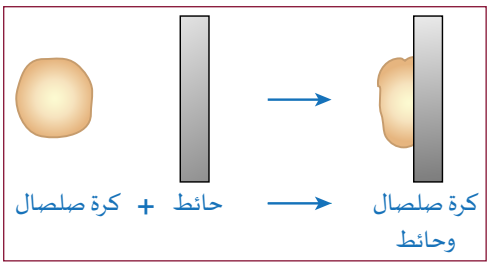
المفردات

Rate of chemical reaction	سرعة التفاعل الكيميائي
Bimolecular reaction	تفاعل ثنائي الجزيئات
Collision theory	نظرية التصادم
Activation energy (E_a)	طاقة التنشيط (E_a)
Reaction mechanism	ميكانيكيةالتفاعل
Elementary step	الخطوة الأولية
Rate determining step	الخطوة المحدّدة لسرعة التفاعل الكيميائي
Intermediate product	مركب وسيط

ماذا يتطلَّب حدوث تفاعل كيميائي؟

نموذج لحدوث التفاعل:

افترض أن لديك نموذج التفاعل هذا: المواد المتفاعلة عبارة عن كرة من الصلصال وحائط، أما المادة الناتجة فهي كرة صلصال وحائط معًا (كرة صلصال ملتصقة بالحائط) (**الشكل 4-3**).



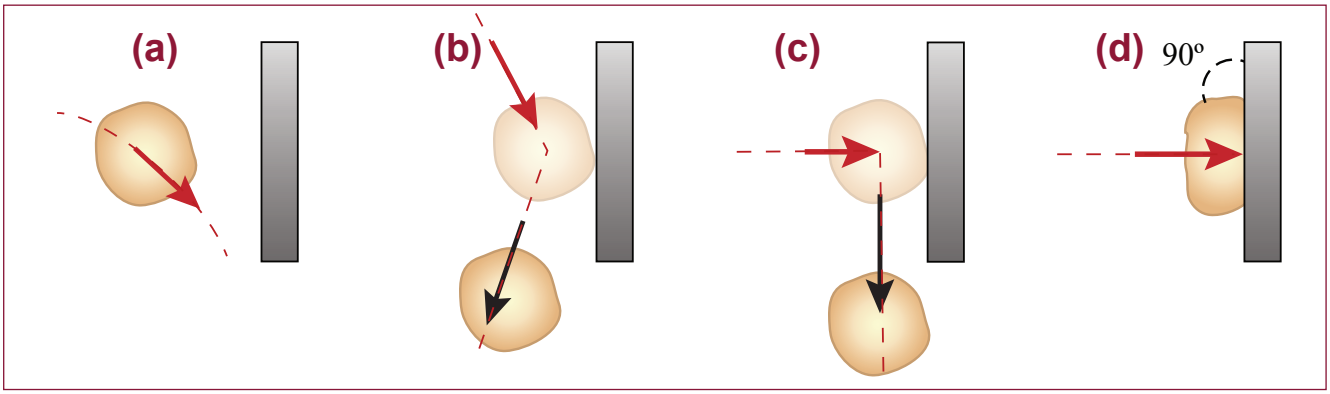
الشكل 4-3 تفاعل كرة صلصال + حائط

السؤال:

ما الذي يجب فعله لكرة الصلصال لتكوين كرة صلصال وحائط معًا؟

عرض عملي من قبل المعلم:

1. رُميت الكرة باتجاه الحائط، ولكن ليس بالقوة الكافية لتصطدم به. لذلك، لم يتكوّن الناتج أيْ كرة وحائط معًا (**الشكل 4-a4**).
2. رُميت الكرة باتجاه الحائط بقوة كافية لتصطدم به، وبطاقة كافية لتكوين كرة وحائط معًا. ولكنّ الكرة لم تلتصق بالحائط، لأنها رُميت عند زاوية مع الحائط فارتدّت الكرة عن الحائط، ولم يتكوّن الناتج المطلوب، أيْ كرة وحائط معًا (**الشكل 4-b4**).
3. رُميت الكرة باتجاه الحائط بقوة كافية لتصطدم به، ولكن ليس بالقوة الكافية لتلتصق به وتكوّن كرة وحائطًا معًا (**الشكل 4-c4**).
4. رُميت الكرة باتجاه الحائط بقوة كافية لتصطدم به، وبطاقة كافية وباتجاه فراغي مناسب. في هذه الحالة تكوّن الناتج المطلوب، أي كرة وحائط معًا (**الشكل 4-d4**).



الشكل 4-4 أربع تداخلات مختلفة بين كرة الصلصال والحائط.

1. حدّد في كل من الاحتمالات الأربعة في الشكل 4-4 ما يمتلكه كل احتمال من الطاقة والاتجاه الفراغي.
2. هل يمكنك أن تحدّد الشروط الضرورية التي يجب أن تتوافر في الطاقة والاتجاه الفراغي لتحقيق ناتج كرة صلصال وحائط معًا؟
3. كيف يمكن تطبيق هذه الشروط لتحقيق تصادم فعّال بين جُسَيْمين في تفاعل كيميائي ؟

اعمل مع زميل لك، في جلسة عصف ذهني لطرح بعض النتائج المحتملة لنموذج التفاعل هذا، إذا كانت الكرة ستتحرّك بسرعة فائقة لا يتكوّن بها كرة وحائط معًا عند الاصطدام. شارك ما توصَّلتَ إليه مع زملائك في الغرفة الصفية.

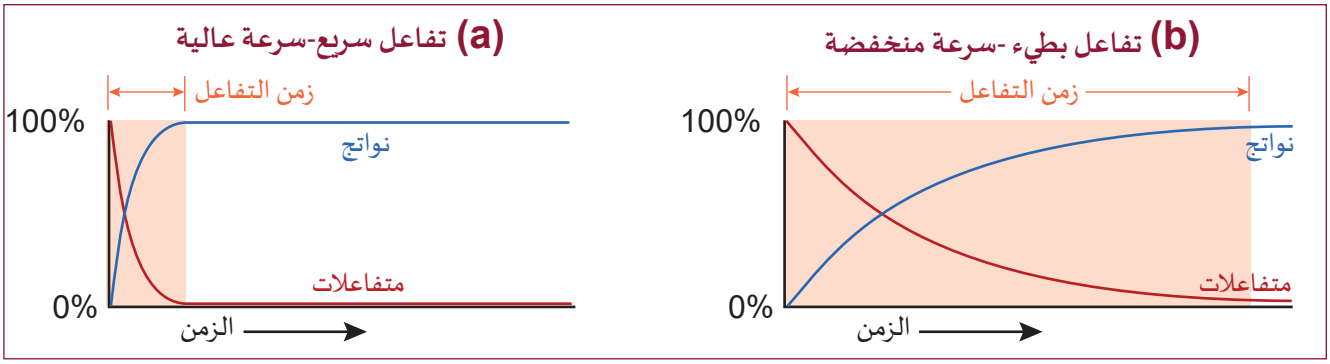
سرعة التفاعل الكيميائي

تحدث التفاعلات الكيميائية بين المواد المختلفة خلال فترة زمنية تختلف باختلاف خصائص المواد المتفاعلة وظروف التفاعل. يعرّف زمن التفاعل بأنه الزمن الذي تحتاج إليه المتفاعلات لتتحوّل إلى نواتج. أما وحدات زمن التفاعل فقد تكون الثواني (s) أو الدقائق (min) أو الساعات (h).

سرعة التفاعل الكيميائي Rate of chemical reaction هي مقياس لمقدار التغيّر في كمية مادة متفاعلة أو مادة ناتجة في وحدة الزمن. وبالتالي يتناسب زمن التفاعل مع سرعته بشكل عكسي.

- إذا كان زمن التفاعل قصيرًا جدًا ، عندها ستكون سرعة التفاعل عالية جدًا (تفاعل سريع). التفاعلات السريعة، مثل اشتعال الألعاب النارية، هي التفاعلات التي تحدث في ثوانٍ قليلة.
- أما التفاعلات التي تأخذ زمنًا طويلًا لكي تنتهي فإن سرعة التفاعل فيها تكون قليلة جداً (تفاعل بطيء). مثل كثير من التفاعلات على الكرة الأرضية التي تحتاج إلى آلاف السنين أو ربما إلى ملايين السنين. تحلل بقايا الكائنات الحية لتصبح بترولًا هو من أهم الأمثلة على التفاعلات البطيئة جدًا.
- هناك تفاعلات تحتاج لوقت طويل لكي تحدث مثل تفاعل صدأ الحديد وهي تفاعلات بطيئة ولكن ليست بطيئة جداً مثل التفاعلات الجيولوجية.

يبين **الشكل 4-5** رسمين بيانيين واحدًا لتفاعل بطيء والآخر لتفاعل سريع. لاحظ أنه خلال التفاعل السريع (**الشكل 4-5a**) تتحوّل المتفاعلات إلى نواتج في زمن قصير.أمّا في التفاعلات البطيئة فإن المتفاعلات تحتاج إلى وقت طويل لكي تنتج النواتج (**الشكل 4-5b**).



الشكل 4-5 تختلف سرعة التفاعل ما بين تفاعلات سريعة وأخرى بطيئة.

تتناسب سرعة التفاعل الكيميائي عكسياً مع زمن حدوث التفاعل.

نلاحظ أيضًا أنه، في معظم التفاعلات الكيميائية، قد تصبح سرعة التفاعل الكيميائي أبطأ عند استهلاك المواد المتفاعلة وتحوّلها إلى مواد ناتجة. ولأن سرعة التفاعل الكيميائي تصبح أبطأ، فسوف تبقى كمية ضئيلة جدًا من المواد المتفاعلة في النهاية، والتي سيستغرق تحوّلها بشكل كامل إلى مواد ناتجة زمنًا طويلًا جدًا في الكثير من العمليات الكيميائية الصناعية والتجارب المختبرية. يُقاس زمن حدوث التفاعل بشكل جزئي نسبة إلى كسر متّفق عليه من عملية الاكتمال: نقول مثلًا إن 99% من المواد المتفاعلة قد تحوّلت إلى مواد ناتجة.

معادلة سرعة التفاعل الكيميائي

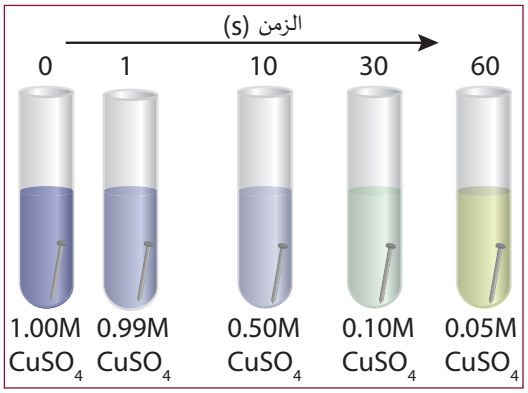
التعريف الرياضي لسرعة التفاعل الكيميائي هي أنها التغيّر (Δ) في التركيز مقسومًا على الزمن الذي حدث فيه التفاعل (**المعادلة 4-1**). أكثر الوحدات استخدامًا لحساب سرعة التفاعل هي عندما يكون التركيز للمحاليل بوحدة mol/L (المولارية M) وللضغط الجزئي للغازات بوحدة atm، والزمن بوحدة الثواني (s).

من المعروف أن سرعة التفاعل الكيميائي لها قيمة موجبة دائمًا. لذلك، فإذا استخدمنا التغيّر في تركيز أحد النواتج في حساب السرعة فإننا نستخدم **المعادلة a1-4** لأن تركيز النواتج يزداد مع مرور الزمن. أما اذا استخدمنا التغيّر في تركيز أحد المتفاعلات فيجب استخدام **المعادلة b1-4** لأن تركيز المتفاعلات يتناقص مع مرور الزمن.

1-4	سرعة التفاعل الكيميائي	Rate	سرعة التفاعل الكيميائي (M/s) أو (mol/L.s)
	(a) $\text{Rate} = \frac{\Delta[A]}{\Delta t}$ (b) $\text{Rate} = -\frac{\Delta[A]}{\Delta t}$	Δ[A]	التغيّر في تركيز المادة [A] (M)
		Δt	التغيّر في الزمن (s) ويمكن أن يكون min أو h

وكمثال توضيحي، افترض أن لديك محلول كبريتات النحاس ($CuSO_4$) تركيزه 1 M وُضع فيه مسمار حديدي. سيحدث تفاعل كيميائي بحيث يحل فيه الحديدُ محلّ أيونات النحاسَ في المركّب، ويتغيّر لون المحلول من اللون الأزرق الغامق إلى اللون الأخضر الفاتح (**الشكل 4-6**). كما تبين المعادلة الكيميائية الآتية :

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



الشكل 4-6 تفاعل يحدث بين كبريتات النحاس والحديد.

في البداية، سيقل تركيز كبريتات النحاس من القيمة 1.0 M إلى 0.99 M في ثانية واحدة. وتكون سرعة التفاعل الكيميائي تساوي 0.01 M/s، لأن تركيز كبريتات النحاس يقلّ بمقدار 0.01 M في الثانية الواحدة.

$$\text{Rate} = -\frac{\Delta[CuSO_4]}{\Delta t} = -\frac{(0.99\text{M} - 1.00\text{M})}{1\text{ s}} = 0.01\text{ M/s}$$

مثال 1

باستخدام بيانات تركيز أيونات الكلوريد ($C\ell^-$) المدرجة في الجدول المجاور، هل تُعدّ أيونات الكلوريد مواد متفاعلة أم مواد ناتجة؟ احسب سرعة هذا التفاعل الكيميائي.

الزمن (s)	التركيز (M) [$C\ell^-$]
0.0	4.0×10^{-2}
15.0	1.5×10^{-2}

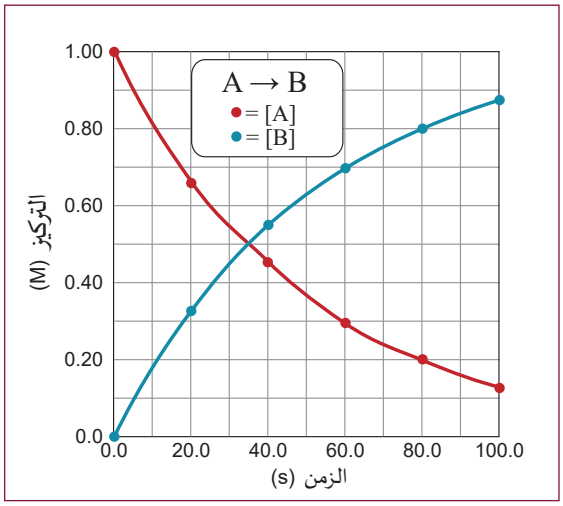
الحلّ:

- تُعدّ أيونات الكلوريد مواد متفاعلة، لأن تركيزها يقل مع مرور الزمن.
- احسب سرعة التفاعل الكيميائي باستخدام **المعادلة b1-4**.

$$\text{Rate} = -\frac{(1.5 \times 10^{-2}\text{ M}) - (4.0 \times 10^{-2}\text{ M})}{(15.0\text{ s}) - (0.0\text{ s})} = 1.7 \times 10^{-3}\text{ M/s}$$

تحليل الرسوم البيانية لسرعات التفاعل الكيميائي

تختلف سرعات التفاعل الكيميائي وتتنوّع إلى حدّ كبير، لأن زمن حدوث التفاعل يمكن أن يتراوح بين أقلّ من ثانية واحدة وملياردات السنين. يتمّ تحليل سرعات التفاعل الكيميائي بيانيًا باستخدام قيم التركيز وزمن حدوث التفاعل، ويتمّ أيضًا تحديد المواد المتفاعلة والناتجة من خلال التغيّرات في تراكيزها. وكما هو مبيّن في **الشكل 4-7**، يقلّ تركيز المادة المتفاعلة (A) مع مرور الزمن، أمّا تركيز المادة الناتجة (B) فيزداد مع مرور الزمن أيضًا.

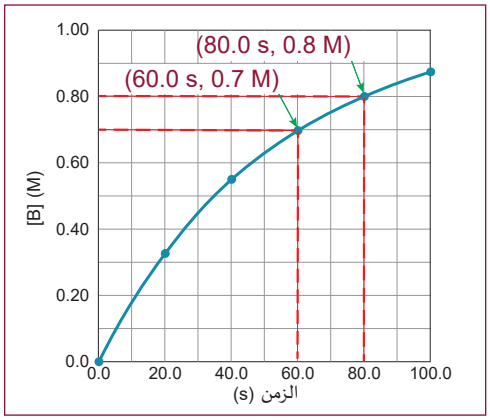


الشكل 4-7 التغيُّرات في تراكيز المواد المتفاعلة والناتجة في مدة زمنية محدّدة.

ويتمّ تحديد سرعة التفاعل الكيميائي في فترة زمنية محدّدة، عن طريق قراءة إحداثيات التركيز والزمن من الرسم البياني لمجموعة من النقاط المحدّدة، ثم تُستخدَم **المعادلة 4-1** لحساب سرعة التفاعل الكيميائي.

مثال 2

احسب سرعة التفاعل الكيميائي للمادة B الذي يحدث خلال الفترة بين 60.0 s و80.0 s من الرسم البياني الموضّح في **الشكل 4-8**.



الشكل 4-8 يستخدم الرسم البياني لتحديد التغيّر في تركيز المادة الناتجة مقابل التغيّر في الزمن.

الحلّ:

- حدّد إحداثيات التركيز والزمن للنقاط المحدّدة على الرسم البياني. **(الشكل 4-8)**
- استخدم **المعادلة a1-4** لحساب سرعة التفاعل الكيميائي.

$$rate = \frac{\Delta[B]}{\Delta t} = \frac{(0.8M) - (0.7\ M)}{(80.0\ s) - (60.0\ s)}$$

$$= 0.005\ M/s$$

مثال 3

سرعة التفاعل التالي $A+B \rightarrow C$ هي 0.2M/s. خلال فترة زمنية محددة انخفض تركيز المتفاعل A من 2M إلى1.5M. احسب هذه الفترة الزمنية.

الحلّ:

$$rate = -\frac{\Delta[A]}{\Delta t} \rightarrow \Delta t = -\frac{\Delta[A]}{rate} = -\frac{(1.5-2)M}{0.2\ M/s} = 2.5\ s$$

نظرية التصادم

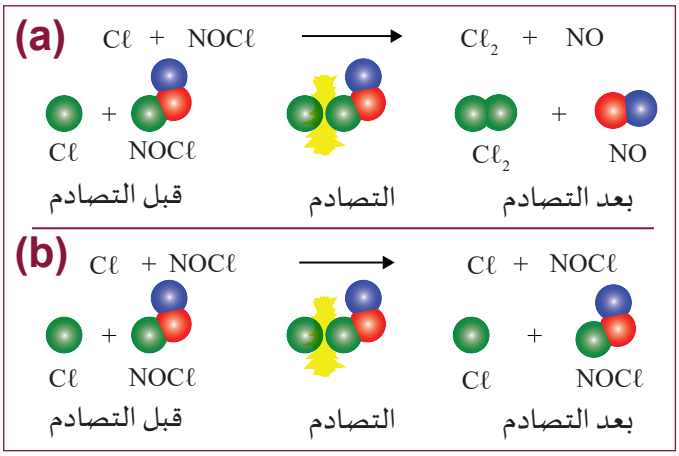
في بداية هذا الدرس، قمنا بعرض عملي لتفاعل يُطلق عليه اسم **تفاعل ثنائي الجزيئات Bimolecular reaction**. ويتضمّن هذا التفاعل جزيئين فقط (أو جُسَيْمين). ولتفسير كيفية حدوث التفاعل الكيميائي، وضع العلماء نظرية تُسمّى **نظرية التصادم Collision theory** التي تنصّ على أنّ جُسَيْمات المواد المتفاعلة (سواء كانت ذرات، أيونات أو جزيئات) في حركة مستمرة، ويمكن أن تتفاعل في تفاعل ثنائي الجزيئات وتكوّن نواتج، إذا تحقّقت الشروط الآتية:

1. يجب أن يحدث تصادم بين الجُسَيْمين المتفاعلين.
2. يجب أن تمتلك الجُسَيْمات المتفاعلة طاقة كافية لبدء التفاعل.
3. يجب أن يحدث التصادم بالاتجاه الفراغي الصحيح.

هذه الافتراضات الثلاثة مطابقة للاستنتاجات التي تمّ استخلاصها من النشاط الإفتتاحي في بداية هذا الدرس.

طاقة التنشيط (E_a)

في الافتراض الثاني من افتراضات نظرية التصادم، تُسمّى الطاقة الكافية لحدوث تفاعل كيميائي **طاقة التنشيط Activation energy (E_a)**. وطاقة التنشيط هذه هي الحدّ الأدنى من الطاقة اللازمة لكي يحدث التفاعل الكيميائي.

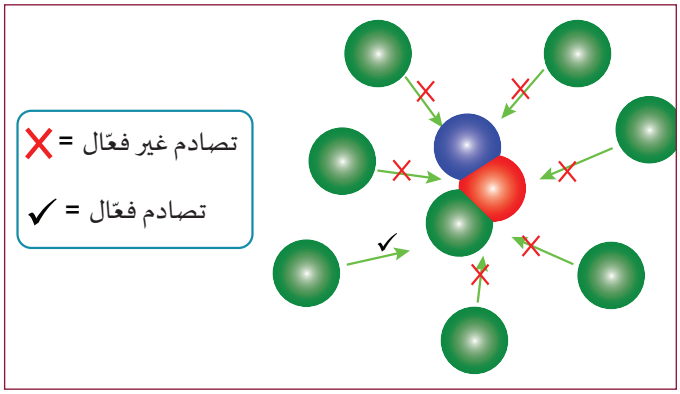


الشكل 4-9 توضيح لـ (a) تصادم فعّال، و(b) تصادم غير فعّال.

أما التصادمات التي تحدث من دون توافر طاقة تنشيط كافية تكون غير فعّالة. مثل هذه التصادمات لا ينتج عنها تكوّن للمواد الناتجة، إذ ترتدّ الجُسَيْمات المتفاعلة بعضها عن بعض بعد التصادم، وتعود إلى حالاتها الأصلية. ويوضح **الشكل 4-9** التصادم الفعّال والتصادم غير الفعّال لتفاعل كيميائي ثنائي الجزيئات.

احتمالية حدوث تصادم فعّال

ما احتمالية حدوث تصادم بين جُسَيْمين اثنين يتصادمان بطاقة تنشيط كافية، وبالاتجاه الفراغي الصحيح؟ الاحتمالية ضئيلة جدًا. افترض أن لديك عامل الاتجاه الفراغي فقط، يوضح **الشكل 4-10** أنه، عند حدوث التصادم، لن ينتج عن معظم الاتجاهات الفراغية تصادم فعّال.



الشكل 4-10 معظم الاتجاهات لن ينتج عنها تصادم فعّال.

إذًا، كيف تحدث التفاعلات الكيميائية بالرغم من أنّ احتمالية حدوث تصادم فعّال ضئيلة للغاية؟ لأنّه يحدث عدد هائل من التصادمات، فعلى سبيل المثال، يحدث ما مقداره 10^{30} تصادمًا لكل ثانية بين الجُسَيْمات المتفاعلة في حجم من الهواء مقداره 1 L عند درجة حرارة الغرفة مما يؤدي إلى حدوث التفاعل الكيميائي.

ميكانيكية (آلية) التفاعل

إن احتمالية حدوث تصادم فعّال في تفاعل يتضمّن أكثر من جُسَيْمين ضئيلة للغاية، فيكون من الصعب حدوث مثل هذا التفاعل في خطوة واحدة. ونتيجة لذلك، تحدث معظم التفاعلات ضمن سلسلة خطوات تتضمّن فيها كل خطوة تصادمًا ثنائي الجزيئات مختلفًا عن الآخر، وتُسمّى سلسلة التفاعلات ثنائية الجزيئات هذه **ميكانيكية التفاعل Reaction mechanism**، حيث يوضّح **الشكل 4-11** ميكانيكية تفاعل من خطوتين. وكلّ خطوة توجد ضمن ميكانيكية هذا التفاعل تُسمّى **الخطوة الأولية Elementary step**.

الخطوة 1 $NO_2 + NO_2 \xrightarrow{\text{بطيئة}} NO_3 + NO$

الخطوة 2 $NO_3 + CO \xrightarrow{\text{سريعة}} NO_2 + CO_2$

الشكل 4-11 ميكانيكية تفاعل من خطوتين.

لاحظ أن الخطوة 1 من ميكانيكية التفاعل الموضّحة في **الشكل 4-11** قد تمّ تحديدها بأنها تفاعل بطيء؛ ولأنّ هذه الخطوة بطيئة، فإن سرعة هذا التفاعل هي التي تحدّد سرعة التفاعل الكلي، وتسمّى هذه الخطوة **الخطوة المحدّدة لسرعة التفاعل Rate determining step**. في الخطوة 1 لميكانيكية التفاعل ينتج NO_3، والذي يُعدّ نشطًا جدًا، ويتمّ استهلاكه في الخطوة الثانية السريعة، وتسمّى المادة التي تنتج في الخطوة الأولية الأولى، وتُستهلَك في الخطوة الثانية مثل NO_3 باسم **المركب الوسيط Intermediate product**. ويمكن كتابة المعادلة الكيميائية الكلية للتفاعل من خلال جمع خطوات ميكانيكية التفاعل جميعها. (**الشكل 4-12**)، لاحظ أن NO_3 لا يظهر في معادلة التفاعل الكلي.

$$\cancel{NO_2} + NO_2 \xrightarrow{\text{بطيئة}} \cancel{NO_3} + NO$$
$$\cancel{NO_3} + CO \xrightarrow{\text{سريعة}} \cancel{NO_2} + CO_2$$
$$NO_2 + CO \longrightarrow NO + CO_2$$

معادلة التفاعل الكلي

الشكل 4-12 يتمّ جمع خطوات ميكانيكية التفاعل للحصول على معادلة التفاعل الكلي.

لا يشترط أن تكون الخطوة الأولى في أي تفاعل هي الخطوة الأبطأ التي تحدد سرعته، فقد تكون الخطوة الأبطأ هي الخطوة الثانية أو الثالثة، حيث تحدّد هذه الخطوة من خلال التجربة العملية.

مثال 4

حدّد الخطوة المحدّدة لسرعة التفاعل، والمركّب الوسيط، ومعادلة التفاعل الكلي لميكانيكية حدوث التفاعل المجاور.

الخطوة 1 $ICl + H_2 \xrightarrow{\text{بطيئة}} HCl + HI$

الخطوة 2 $HI + ICl \xrightarrow{\text{سريعة}} HCl + I_2$

الحلّ:

- **الخطوة 1** هي الخطوة المحدّدة لسرعة التفاعل، لأنها الخطوة الأبطأ حدوثًا.
- **HI** هو المركب الوسيط لأنه استُهلك في أثناء التفاعل ولم يظهر في معادلة التفاعل الكلي.
- اجمع المعادلتين الواردتين في ميكانيكية حدوث التفاعل للحصول على معادلة التفاعل الكلي.

$$ICl + H_2 \xrightarrow{\text{بطيئة}} HCl + \cancel{HI}$$
$$\cancel{HI} + ICl \xrightarrow{\text{سريعة}} HCl + I_2$$
$$2\,ICl + H_2 \longrightarrow 2\,HCl + I_2$$

معادلة التفاعل الكلي

وضّح كيف يمكن أن يحدث تفاعل كيميائي من دون تكوّن مركب وسيط.

نشاط 4-1 سرعة التفاعل الكيميائي: تحليل رسم بياني

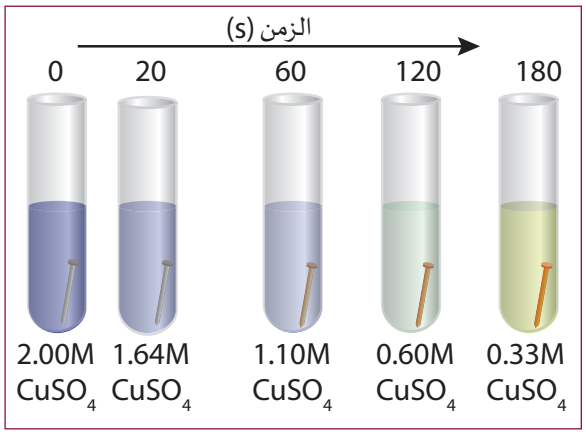
سؤال الاستقصاء	هل يمكن أن تحدد سرعة التفاعل الكيميائي من الرسم البياني؟
الموادّ المطلوبة	ورقة رسم بياني، قلم رصاص، آلة حاسبة.

يتفاعل كبريتات النحاس (II) مع الحديد بحسب المعادلة الكيميائية الآتية:

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

تم قياس تركيز كبريتات النحاس (II) كل 20 ثانية بعد إضافة المسمار الحديدي.

وتم تسجيل القراءات في الجدول الآتي:



الجدول 4-1 بيانات التركيز مع الزمن.

الزمن (s)	التركيز (M)
0	2.00
20	1.64
40	1.34
60	1.10
80	0.90

الزمن (s)	التركيز (M)
100	0.74
120	0.60
140	0.49
160	0.40
180	0.33

الأسئلة:

a. أنشئ رسمًا بيانيًا يمثّل التركيز مقابل الزمن من البيانات المبينة **بالجدول 4-1**. بعد ذلك، ارسم أفضل منحنى يمر عبر نقاط البيانات التي حدّدتَها على الرسم البياني.

b. من الرسم البياني، احسب سرعة التفاعل الكيميائي بوحدة M/s، بين الفواصل الزمنية الآتية:

- 30s-20s
- 60s-50s
- 90s-80s

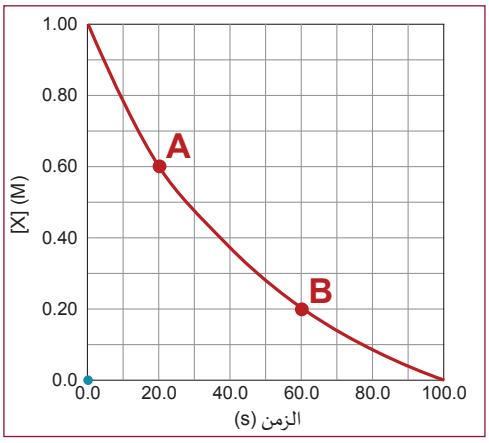
c. قارن بين سرعات التفاعل الكيميائي خلال الفواصل الزمنية الثلاثة.فسّر هذا الاختلاف في سرعة التفاعل.

d. اقترح تفسيرًا يبين سبب تغيّر سرعة التفاعل خلال فواصل زمنية مختلفة لاحظتها.

تقويم الدرس 4-1

1. أيٌّ من الوحدات الآتية تمثل وحدة قياس سرعة التفاعل الكيميائي؟
   - a. s
   - b. M
   - c. s/M
   - d. M/s

2. ماذا يحدث لتركيز المادة الناتجة في أثناء تفاعل كيميائي مع مرور الزمن؟
   - a. يزداد.
   - b. يتناقص.
   - c. يبقى ثابتًا ولا يتغيّر.
   - d. يزداد أولًا ثم يتناقص.



3. أيٌّ من القيم الآتية هي قيمة سرعة التفاعل الكيميائي بين النقطتين A و B المبينة في الرسم البياني المجاور؟
   - a. −0.01 M/s
   - b. 0.01 M/s
   - c. 0.10 M/s
   - d. 0.20 M/s

4. ماذا يُسمّى الحدّ الأدنى من الطاقة اللازمة لحدوث تفاعل كيميائي؟
   - a. الطاقة الحركية.
   - b. الطاقة الحرارية.
   - c. طاقة الوضع.
   - d. طاقة التنشيط.

5. ما الافتراضات الثلاثة الواجب توافرها لحدوث تفاعل كيميائي، كما نصّت عليها نظرية التصادم؟

6. احسب سرعة التفاعل الكيميائي باستخدام البيانات الموجودة في الجدول المجاور. هل أيونات الهيدروكسيد(OH^-) مادة متفاعلة أم مادة ناتجة؟ وضّح إجابتك.

الزمن (s)	$[OH^-]$ (M)
20.0	2.0×10^{-1}
50.0	7.5×10^{-1}

7. ما الخطوة الأولية في ميكانيكية حدوث تفاعل، والتي تُعدّ خطوة أساسيّة في تحديد سرعة التفاعل الكيميائي؟

الدرس 4-2

العوامل المؤثّرة في سرعة التفاعلات الكيميائية

Factors that Affect the Rate of Chemical Reactions

يُعدّ الطهي عملية كيميائية، فعند تسخين الطعام تحدث تفاعلات كيميائية في الطعام نفسه. إذا تمّ طهي الطعام بطريقة محدّدة، فإنّ الجزيئات ذات المذاق غير المستساغ **(الشكل 4-13a)** الموجودة في الطعام ستتحوّل كيميائيًا إلى جزيئات ذات مذاق لذيذ **(الشكل 4-13b)**.

لماذا يكون الملح **(الشكل 4-14a)** والدقيق **(الشكل 4-14b)** المستخدمان في الطبخ مطحونَيْن إلى أجزاء صغيرة؟ هل هنالك ميزة لاستخدام الكثير من الأجزاء الصغيرة عوضًا عن استخدام أجزاء كبيرة أقلّ منها؟ الإجابة نعم؛ في هذا الدرس، سيتمّ شرح تأثير عوامل كثيرة، مثل درجة الحرارة، وحجم الجُسَيْمات، والتركيز، ووجود العامل الحفّاز في سرعة التفاعلات الكيميائية، وتفسير ذلك بحسب نظرية التصادم.

الشكل 4-13 تحدث تفاعلات كيميائية في قطع اللحم عند تعريض أضلاع الخروف النيئة (a) إلى تسخين بشكل صحيح (b).

الشكل 4-14 يؤثّر كل من (a) الملح، و(b) والدقيق المطحونَيْن في السرعة التي تحدث عندها التفاعلات الكيميائية.

مخرجات التّعلُّم

C1006.3 يحدد تأثير العوامل المختلفة في سرعة التفاعل، مثل: التركيز، ودرجة الحرارة، وحجم الجُسَيْمات، والعوامل الحفّازة (العوامل المساعدة)، ويفسّر التأثير بدلالة نموذج الحركة الجزيئية.

C1006.4 يميّز بين العوامل الحفّازة المتجانسة، والعوامل الحفّازة غير المتجانسة ويعطي أمثلة على كليهما.

المفردات

العامل الحفّاز	Catalyst
العامل الحفّاز غير المتجانس	Heterogeneous Catalyst
العامل الحفّاز المتجانس	Homogeneous Catalyst

هل الدقيق قابل للاشتعال؟

عرض عملي (الجزء 1):

هل يمكن إشعال النار في كومة من الدقيق مثل قطعة من الورق؟

- يضع المعلم كومة من الدقيق على طاولة المختبر (**الشكل 4-15**).
- بعد ذلك، يضع عود ثقاب مشتعل على قِمّة كومة الدقيق لكي تحترق.

1. هل احترق الدقيق؟
2. هل الدقيق قابل للاشتعال؟

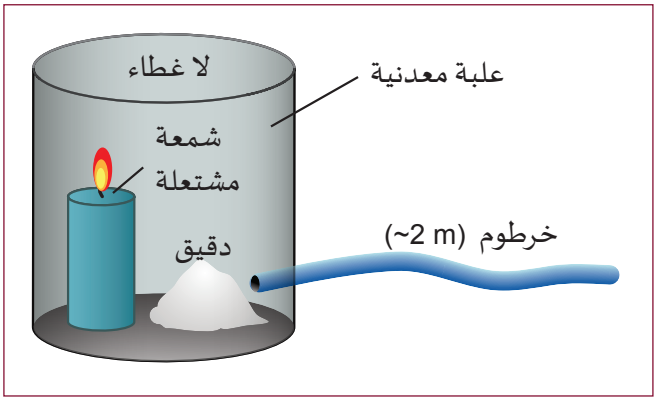
الشكل 4-15 هل كومة الدقيق قابلة للاشتعال؟

عرض عملي (الجزء 2):

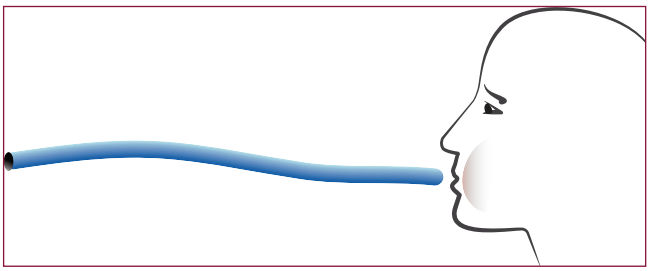
يوضح **الشكل 4-16** الأدوات التي سوف تُستخدَم في الجزء 2 من هذا العرض العملي.

- علبة معدنية كبيرة منزوعة الغطاء، موصول بها خرطوم طوله 2 متر تقريبًا تمّ إدخاله من فتحة ضيّقة في الجزء السفلي من جانب العلبة المعدنية.
- توضع كومة من الدقيق أمام فتحة الخرطوم في داخل العلبة المعدنية.
- توضع شمعة في داخل العلبة المعدنية ويتمّ إشعالها.
- سيأخذ المعلم شهيقًا عميقًا وينفخ بشكل مستمر وقويّ في فتحة الخرطوم الخارجية كما هو موضّح في **الشكل 4-17**.

3. ماذا حدث؟
4. هل الدقيق قابل للاشتعال؟
5. ما الفرق بين عيّنتَي الدقيق في الجزءين 1، و2 في هذا العرض العملي؟



الشكل 4-16 الأدوات التي سوف تُستخدَم في الجزء 2 من العرض العملي.



الشكل 4-17 تمّ أخذ شهيق عميق ونفخه في فتحة الخرطوم الموصول بالعلبة المعدنية.

ناقش ضمن مجموعة ثنائية أمثلة على مواد أخرى تبدو غير قابلة للاشتعال عندما تكون في هيئة قطعة واحدة، والتي قد تصبح قابلة للاشتعال كما حدث للدقيق في هذا العرض العملي. شارك أفكارك مع زملائك.

العوامل المؤثّرة في سرعة التفاعلات الكيميائية

يحتاج الكيميائيون وخاصة في الصناعة إلى التحكم في سرعة التفاعلات الكيميائية، وبالرغم من أنّ لكل تفاعل كيميائي سرعة خاصة به إلا أنه يمكن زيادة سرعته أو تقليلها. هناك كثير من العوامل الفيزيائية التي يمكن أن تزيد أو تقلل سرعة التفاعلات الكيميائية. إنّ أيّ عامل يؤثّر في عدد التصادمات الفعّالة بين الجُسَيْمات المتفاعلة يمكن أن يُغيّر في سرعة التفاعل الكيميائي. وعلى سبيل المثال فإن التفاعل بين الجُسَيْمات الصلبة بطيء للغاية وربّما لا يحدث أبدًا، لأن الجُسَيْمات في المواد الصلبة لها حركة إهتزازية وثابتة في مواقعها، لذا فهي لاتتحرك. وبالتالي فإنها تحتاج لطاقة عالية جداً لكي تتفاعل. من هنا نقول إن أهم عنصر لحياة الكائنات الحية هو الماء.لذلك، فإن الآلاف من المواد الكيميائية المختلفة اللازمة للعمليات الحيوية تحتاج أن تتحرّك وتتفاعل، ولا يمكن ذلك إلا من خلال وجودها في صورة محاليل حيث تتحرّك الجُسَيْمات فيها بحرية. ولذلك يمكن القول إن الحياة لا يمكن أن تستمر في الحالة الصلبة فقط.

1. تركيز المواد المتفاعلة

يمكن التوضيح من خلال التجربة العملية أن تفاعل فلّز المغنيسيوم (Mg) كتلته 3g مع محلول حمض الهيدروكلوريك ($HC\ell$) الذي تركيزه 3M يكون أسرع من تفاعله مع محلول حمض الهيدروكلوريك ($HC\ell$) الذي تركيزه 0.3 M (**الشكل 4-18**).

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

3g — 3M (تركيز مرتفع)

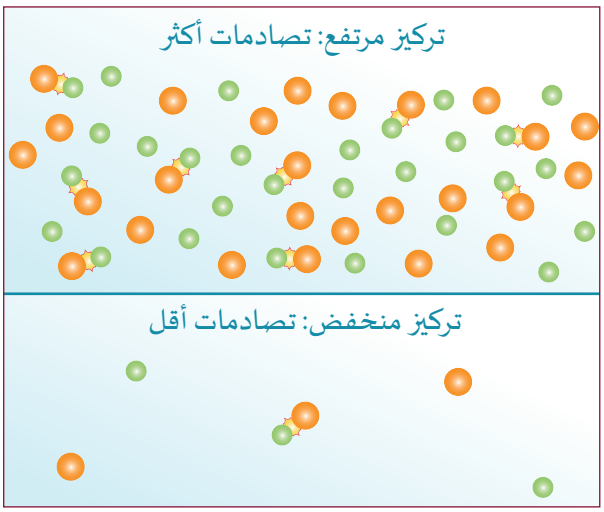
تنتج كمية أكبر من النواتج في وقت محدد

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

3g — 0.3M (تركيز منخفض)

تنتج كمية أقل من النواتج في وقت محدد

الشكل 4-18 الاختلاف في كمية المواد الناتجة نتيجة الاختلاف في تركيز المواد المتفاعلة.



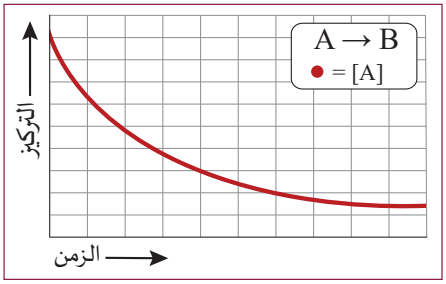
الشكل 4-19 زيادة التركيز يزيد من عدد التصادمات الفعّالة.

ولتفسير تأثير تغيّر التركيز في ضوء نظرية التصادم، يبين **الشكل 4-19** ما يأتي:

- عندما يزداد التركيز، يزداد عدد الجُسَيْمات في وحدة الحجم فتقترب الجُسَيْمات المتفاعلة بعضها من بعض.
- عندما تصبح الجُسَيْمات قريبة بعضها من بعض، سيحدث المزيد من التصادمات.
- ازدياد عدد التصادمات يزيد من احتمالية حدوث مزيد من التصادمات الفعّالة، فتزداد سرعة التفاعل الكيميائي.

كلَّما ازدادَ تَركيزُ الموادِّ المُتفاعلةِ (زيادة عددِ الجُسَيْمات في حَجْمٍ مُعيَّنٍ)، تزداد عددُ التَّصادُماتِ الفعّالةِ، وبالتالي تَزدادُ سُرعةُ التَّفاعُلِ.

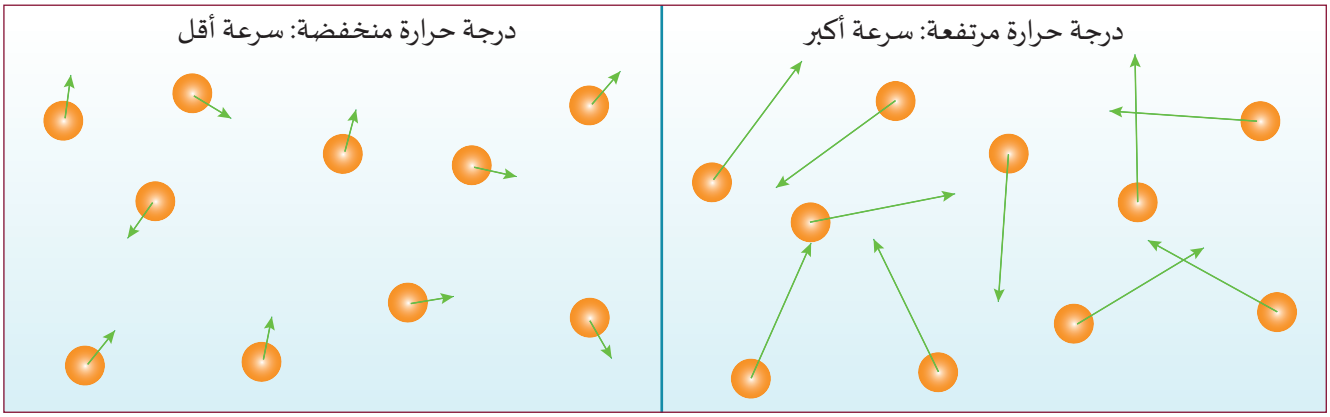
اشرح على الرسم البياني المجاور، سبب، تناقص سرعة التفاعل الكيميائي عندما يقلّ تركيز المادة المتفاعلة A.



تابع- العوامل المؤثّرة في سرعة التفاعلات الكيميائية

2. درجة الحرارة

لفهم تأثير درجة الحرارة في سرعة التفاعل، يجب أولًا فهم ما تشير إليه درجة حرارة المادة: عندما ترتفع درجة حرارة مادة معلومة، تزداد طاقة حركة الجُسَيْمات المكوّنة لتلك المادة فتزداد سرعتها (**الشكل 4-20**).

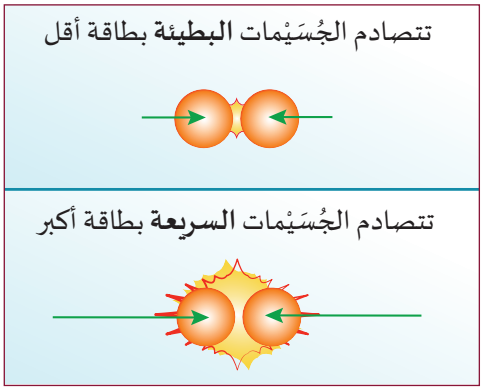


الشكل 4-20 عندما ترتفع درجة الحرارة، تزداد طاقة حركة الجُسَيْمات فتزداد سرعتها.

يؤدي ارتفاع درجة الحرارة، وما ينجم عنه من جُسَيْمات تتحرّك بسرعة أكبر، إلى زيادة سرعة التفاعل الكيميائي. ويمكن تفسير ذلك من خلال نظرية التصادم على الشكل الآتي:

1. تتحرّك الجُسَيْمات بسرعة أكبر فيزداد معدّل التصادمات الفعّالة (عدد التصادمات الفعّالة في الثانية).
2. يزداد عدد الجُسَيْمات التي تمتلك طاقة تنشيط فيزداد عدد التصادمات الفعّالة (**الشكل 4-21**).

كلٌّ من هذه التأثيرات يؤدي إلى زيادة في سرعة التفاعل الكيميائي.



الشكل 4-21 تتصادم الجُسَيْمات التي تتحرّك بسرعة أكبر بطاقة أكبر من الجُسَيْمات التي تتحرّك بشكل أبطأ.

إنّ زيادةُ درجةِ حرارةِ المادةِ يَزيدُ من الطاقةِ الحركيةِ لجُسَيْماتِ المادةِ؛ فتزدادُ سرعةُ حركتِها؛ مما يزيدُ عَدَدُ التَّصادُماتِ الفعّالةِ؛ فيؤدي إلى زيادةِ سرعةِ التَّفاعُلِ الكيميائيّ.

مثال 5

أيٌّ من التراكيز ودرجات الحرارة الآتية، يمكن أن ينتج عنها سرعة تفاعل أكبر لمحلول ما؟ 20°C، 10°C، 0.20 M، 0.10 M.

الحلّ:

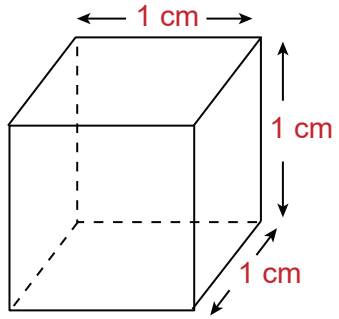
إن زيادة التركيز وارتفاع درجة الحرارة يزيدان من سرعة التفاعل الكيميائي. لهذا، فإنّ التركيز الأعلى، **0.20 M**، ودرجة الحرارة الأعلى، **20°C**، يمكن أن ينتج عنهما سرعة تفاعل أكبر.

تابع- العوامل المؤثّرة في سرعة التفاعلات الكيميائية

3. حجم الجُسَيْمات (مساحة السطح)

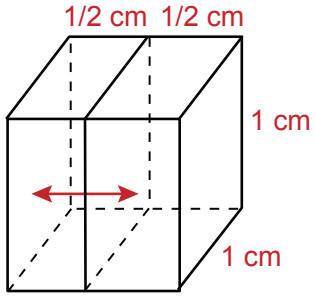
إذا كان لديك مكعّب بلّوري كبير من مادة متفاعلة وُضع في محلول بحيث يحدث له تفاعل كيميائي، فإن الجُسَيْمات الموجودة على سطح ذلك المكعّب البلّوري فقط هي التي يمكن أن تتفاعل: مساحة سطح مكعّب طول ضلعه 1 cm تساوي 6 cm^2 (**الشكل 4-22**)؛ فإذا كان ذلك المكعّب مقسومًا إلى نصفين، وتمّ إبعاد نصفيه أحدهما عن الآخر، فإن12 جانبًا للجُسَيْمات يمكن أن يتفاعل مع المحلول، لأن مساحة السطح ستزداد إلى 8 cm^2 (**الشكل 4-23**)، ويمثّل هذا زيادة مقدارها 33% للجُسَيْمات المعرّضة للتفاعل. ماذا يحدث إذا قُسّم كل نصف من نصفَي المكعّب إلى نصفَيْن؟ ماذا يحدث إذا سُحق المكعّب إلى مسحوق؟ كلما سُحقت المادة إلى أجزاء أصغر وأصغر، فإنّ مساحة سطح الجُسَيْمات المعرّضة للتفاعل ستزداد.

وكلما ازداد عدد الجُسَيْمات المُعَرّضة للتفاعل، تزداد سرعة التفاعل الكيميائي. وبطريقة أخرى، يمكن القول إن زيادة مساحة سطح المادة المتفاعلة، يزيد من سرعة التفاعل الكيميائي بسبب زيادة عدد التصادمات الفعّالة.



مساحة السطح =
6 جوانب × (1 cm × 1 cm)= 6 cm^2

الشكل 4-22 مكعّب طول ضلعه 1 cm مساحة سطحه تساوي 6 cm^2



مساحة السطح =
8 جوانب × (½ cm × 1 cm) + 4 جوانب ×
(1 cm × 1 cm) = 8 cm^2

الشكل 4-23 مكعّب طول ضلعه 1 cm تمّ قصّه إلى نصفين وإبعاد أحدهما عن الآخر، مساحة سطحه تساوي 8 cm^2.

زيادة مساحة سطح المادة المتفاعلة (أو صغر حجم الجُسَيْمات المتفاعلة) يزيد من عدد الجُسَيْمات المعرّضة للتفاعل فيزداد عدد التصادمات الفعالة وتزداد سرعة التفاعل.

مثال 6

أيٌّ من الخصائص المميّزة الآتية للمواد المتفاعلة سينتج عنها أقل سرعة للتفاعل؟

مساحة السطح	درجة الحرارة (°C)	التركيز (M)
صغيرة	40.0	0.30
كبيرة	60.0	0.60

الحلّ:

نقصان التركيز وانخفاض درجة الحرارة سيُبطئان من سرعة التفاعل الكيميائي. لهذا، فإنّ التركيز الأقل، **0.30 M**، ودرجة الحرارة الأدنى، **40°C**. سينتج عنهما سرعة أقل للتفاعل، كما أن مساحة السطح **الصغيرة** للجُسَيْمات المتفاعلة ستؤدي إلى تقليل سرعة التفاعل الكيميائي.

تابع - العوامل المؤثّرة في سرعة التفاعلات الكيميائية

4. العوامل الحفّازة

من المفضّل في بعض الأحيان زيادة سرعة التفاعل الكيميائي من دون تغيير في تركيز جُسَيْمات المواد المتفاعلة، أو درجة حرارتها، أو حجمها، ويحدث هذا عند استخدام **عامل حفّاز Catalyst**، وهو مادة تزيد من سرعة التفاعل الكيميائي. حيث تحتاج التفاعلات الكيميائية جميعها إلى الحدّ الأدنى من طاقة التنشيط (E_a) عند التصادم لكي يحدث التفاعل الكيميائي، وتحدث معظم التفاعلات الكيميائية ضمن سلسلة من الخطوات الأولية تُسمّى "ميكانيكية التفاعل". يُغيّر العامل الحفّاز خطوة أولية واحدة أو أكثر من خطوات ميكانيكية التفاعل، بحيث يتطلّب حدوثُ التفاعل طاقة تنشيط كلية أقل؛ وبتعبير آخر، فإنّ العامل الحفّاز يجعل حدوث التفاعل الكيميائي أسهل، وسرعته أكبر من خلال تقليل طاقة التنشيط اللازمة لحدوث التفاعل.

تعمل العوامل الحفّازة بميكانيكيات مختلفة ومتنوّعة، وإليك بعض الخصائص المميّزة للتفاعلات المُحفّزة:

- تكون المواد المتفاعلة والمواد الناتجة هي نفسها الموجودة في التفاعل غير المُحفّز.
- تكون سرعة التفاعل المُحفّز أكبر من سرعة التفاعل غير المُحفّز.
- إنّ العامل الحفّاز لا يُستهلك في أثناء حدوث التفاعل الكيميائي، لهذا، فإنّ كمية العامل الحفّاز الموجودة في نهاية التفاعل تكون هي نفسها التي تمّت إضافتها في بداية التفاعل.

يزيد العامل الحفّاز من سرعة التفاعل الكيميائي عن طريق تغيير ميكانيكية التفاعل الكيميائي إلى أخرى تحتاج إلى طاقة تنشيط أقل.

ولأن العامل الحفّاز لا يُستهلك في أثناء حدوث التفاعل الكيميائي، فإنّ صيغته الكيميائية تُكتب فوق السهم في المعادلة الكيميائية (**الشكل 4-24**). وسيتمّ في الوحدة التالية شرح الكيفية التي يغيّر بها العامل الحفّاز مخطّط الطاقة ومقدار طاقة التنشيط للتفاعل الكيميائي.

الشكل 4-24 يحفّز MnO_2 تفكك H_2O_2.

يمكن تصنيف العوامل الحفّازة إلى فئتين، هما: **العامل الحفّاز غير المتجانس Heterogeneous catalyst** الذي يوجد في حالة فيزيائية مختلفة عن المواد المتفاعلة. وعلى سبيل المثال، فإنّ ثاني أكسيد المنجنيز الصلب، MnO_2، يحفّز تفكّك فوق أكسيد الهيدروجين المائي (H_2O_2). في هذا التفاعل تكون المادة المتفاعلة في حالة سائلة، أمّا العامل الحفّاز فيكون في الحالة الصلبة (**الشكل 4-24**).

أما **العامل الحفّاز المتجانس Homogeneous catalyst** فيوجد في الحالة الفيزيائية نفسها التي تكون عليها المواد المتفاعلة.وعلى سبيل المثال، فإنّ محلول حمض الكبريتيك يُحفّز تفاعل محلول حمض الأسيتيك مع 1- بنتانول السائل، وينتج عن هذا التفاعل أسيتات البنتيل، والذي له رائحة الموز، بالإضافة إلى أن كلًا من المادتين المتفاعلتين والعامل الحفّاز في هذا التفاعل يكونان معًا بشكل متجانس في داخل المخلوط السائل، كما تبيّن المعادلة الكيميائية الآتية:

$$CH_3COOH_{(aq)} + C_5H_{11}OH_{(l)} \xrightarrow{H_2SO_{4(aq)}} CH_3COOC_5H_{11(l)} + H_2O_{(l)}$$

نشاط 4-2 العوامل المؤثّرة في سرعة التفاعلات الكيميائية

سؤال الاستقصاء	هل يمكن ملاحظة التأثيرات في سرعات التفاعل الناتجة عن التغيّرات في كل من التركيز، ودرجة الحرارة، وحجم الجُسَيْمات، ووجود العامل الحفّاز؟
الموادّ المطلوبة	محلولان من حمض الهيدروكلوريك $HC\ell$ تركيزهما 0.1 M، و1.0 M، أشرطة من فلزّ المغنيسيوم (Mg) طولها من 1 cm إلى 3 cm، مسحوق برادة حديد (Fe)، شريط من سلك حديدي (Fe) طوله 5 cm، محلول فوق أكسيد الهيدروجين تركيزه 10%، ثاني أكسيد المنجنيز (MnO_2)، 3 كؤوس زجاجية سعة كل منها 50 mL، موقد بنزن، خرطوم، ملقط طويل، ملعقة معدنية صغيرة، مكعّبات ثلج، أقراص الفيتامين C الفوّارة.
إجراءات الأمن والسلامة:	• تجنّب ملامسة محاليل $HC\ell$ وH_2O_2 للجلد والعينين. • ابتعد عن اللهب المشتعل، واربط الشعر الطويل إلى الأعلى، واحمِ العينين والجلد. • ارتدِ النظّارات الواقية والقفّازات.

الخطوات (اعمل في مجموعة ثنائية)

الجزء I: التركيز

1. ضع 10 mL من محلول $HC\ell$ الذي تركيزه 0.1 M في كأس زجاجية سعتها 50 mL، و10 mL من محلول $HC\ell$ الذي تركيزه 1.0 M في كأس زجاجية أخرى سعتها 50 mL.
2. أسقط شريطًا من فلزّ المغنيسيوم (Mg) طوله 1 cm في كل كأس من الكأسين الزجاجيتين في الوقت نفسه.
3. سجّل ملاحظاتك.

الجزء II: درجة الحرارة

1. لاحظ شريط فلزّ المغنيسيوم المعرض للهواء؛ في الحقيقة، لا يمكن ملاحظة أيّ تغيير على الرغم من أن الشريط يتأكسد عند تعرضه مباشرة للهواء.
2. باستخدام الملقط الطويل، ضع شريطًا من فلزّ المغنيسيوم (Mg) طوله 1 cm على لهب موقد بنزن. سجّل ملاحظاتك.
3. أَعِدَّ كأسًا مملوءة بالماء والثلج وأخرى بالماء الساخن (50°C أو أعلى). حرّك الكأس التي تحتوي الماء والثلج جيدًا، ثم أزلْ مكعّبات الثلج المتبقية قبل تكملة الخطوة 4.
4. أضف قرصًا من الفيتامين C الفوّار إلى كلّ من الكأسين في الوقت نفسه، ولاحظ ما يحدث في كلّ كأس. سجل ملاحظاتك.

الجزء III: حجم الجُسَيْمات

1. اجعل موقد بنزن بزاوية مقدارها 90°.
2. مرّر شريطًا من فلزّ الحديد في داخل اللهب وسجّل ملاحظاتك.
3. ثم رشّ مسحوق برادة الحديد (Fe) في داخل اللهب، وليس على الموقد نفسه. وسجّل ملاحظاتك.

الجزء VI: العامل الحفّاز

1. املأ الكأس الزجاجية التي سعتها 50 mL إلى النصف بمحلول فوق أكسيد الهيدروجين الذي تركيزه 10%. راقب المحلول لعدة ثوانٍ: لا نلاحظ أيّ تغيير يطرأ على المحلول بالرغم من أن محلول فوق أكسيد الهيدروجين يتفكّك لينتج الماء وغاز الأكسجين بحسب المعادلة الكيميائية الآتية :

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

2. باستخدام الملعقة الصغيرة، أضف ملعقة صغيرة من ثاني أكسيد المنجنيز MnO_2 (العامل الحفّاز) إلى الكأس الزجاجية.
3. سجّل ملاحظاتك.

الأسئلة

a. كيف أثّر التغيير في تركيز حمض الهيدروكلوريك من 0.1M إلى 1.0M في سرعة التفاعل؟ اذكر تفسيرًا لذلك.
b. ما الفرق في سرعة التفاعل الكيميائي بين فلزّ المغنيسيوم والهواء عند درجة حرارة الغرفة وبعد تسخينه باستخدام لهب موقد بنزن؟
c. صف كيفية فوران قرص الفيتامين C في الماء البارد والماء الساخن. ما الفرق الذي لاحظته؟ اذكر تفسيرًا لذلك.
d. ابحث عن "تاريخ الصلاحية" لمحلول فوق أكسيد الهيدروجين الذي نشتريه من الصيدلية. ما السبب في عدم بقاء هذا المحلول لوقت طويل.
e. إشرح ما حدث لمحلول فوق أكسيد الهيدروجين عند إضافة العامل الحفّاز إليه.
f. إشرح ما تأثير اختلاف حجم جسيمات الحديد على سرعة تفاعله مع الأكسجين.

تقويم الدرس 4-2

1. كيف تؤدي زيادة تركيز المحلول المُستخدَم في التفاعل الكيميائي إلى زيادة سرعة التفاعل؟
   a. عن طريق زيادة سرعة الجُسَيْمات.
   b. عن طريق تقليل سرعة الجُسَيْمات.
   c. عن طريق زيادة مُعدّل تصادم الجُسَيْمات.
   d. عن طريق السماح للجُسَيْمات بالتصادم بالاتجاه الفراغي الصحيح.

2. أيُّ العبارات الآتية تصف بشكل صحيح ما يحدث عندما تنخفض درجة حرارة المادة المتفاعلة؟
   a. تتحرّك الجُسَيْمات بشكل أسرع، ويزداد مُعدّل التصادمات.
   b. تتحرّك الجُسَيْمات بشكل أبطأ، ويزداد مُعدّل التصادمات.
   c. تتحرّك الجُسَيْمات بشكل أسرع، ويقلّ مُعدّل التصادمات.
   d. تتحرّك الجُسَيْمات بشكل أبطأ، ويقلّ مُعدّل التصادمات.

3. كيف يؤثّر صغر حجم جُسَيْمات المادة المتفاعلة في زيادة سرعة التفاعل الكيميائي؟
   a. تزداد مساحة سطحها، وتُعرّض المزيد من الجُسَيْمات التي يمكن أن تتصادم.
   b. تزداد مساحة سطحها، وتُعرّض القليل من الجُسَيْمات التي يمكن أن تتصادم.
   c. تقلّ مساحة سطحها، وتُعرّض المزيد من الجُسَيْمات التي يمكن أن تتصادم.
   d. تقلّ مساحة سطحها، وتُعرّض القليل من الجُسَيْمات التي يمكن أن تتصادم.

4. أيٌّ ممّا يأتي يقلّ عند إضافة العامل الحفّاز إلى التفاعل الكيميائي؟
   a. طاقة التنشيط.
   b. سرعة التفاعل الكيميائي.
   c. سرعة الجُسَيْمات.
   d. تكرار التصادمات.

5. ما الفرق بين العامل الحفّاز المتجانس و العامل الحفّاز غير المتجانس؟

6. ما العاملان اللذان يتغيّران عند تغيّر درجة حرارة التفاعل الكيميائي بحسب نظرية التصادم؟

إضاءة على عالِم

يونْس ياكوب برزيليوس
Jöns Jakob Berzelius: 1779-1848

كان يونس ياكوب برزيليوس (**الشكل 4-25**) كيميائيًا سويديًا. وُلد في مقاطعة أوستر غوت لاند في السويد في 20 من شهر أغسطس من العام 1779م. والده هو صموئيل برزيليوس الذي كان معلّم مدرسة، أمّا والدته فهي إليزابيث دوروثيا سجوستين، والتي كانت ربة منزل. توفي والداه عندما كان صغيرًا. التحق برزيليوس بجامعة أوبسالا في السويد في العام 1796م ودرس فيها الطب، وتخرج منها طبيبًا في العام 1802م. في العام 1807م أصبح بروفيسورًا في الكيمياء والصيدلة في معهد كارولينسكا في مقاطعة سولنا، بالقرب من ستوكهولم عاصمة السويد.

الشكل 4-25 يونْس ياكوب برزيليوس.

أكثر برزيليوس من أسفاره من أجل التعاون مع العلماء في جميع أنحاء أوروبا؛ وقد قادته تجاربه في الكيمياء التحليلية إلى الإدلاء بإفادته حول قانون النسب المحدّدة (1813) لتطوير قياس العناصر المتكافئة، وإنشاء الصيغ الكيميائية. كان أول عالم يميّز بين المركبّات العضوية وغير العضوية، وُنسب إليه اكتشاف عنصرَي السيريوم (Ce) والسيلينيوم (Se)، وكان عضوًا في أكاديمية ستوكهولم للعلوم. بصفته هذه، ساعد برزيليوس على تجديد الاهتمام العام بالعلوم.

الشكل 4-26 النصب التذكاري ليونْس ياكوب برزيليوس في مدينة ستوكهولم، في السويد.

تفيد إحدى الرسائل التي كُتبت للأكاديمية في العام 1835م، أنه أصبح أول عالم يعمّم ظاهرة المواد التي زادت من سرعات التفاعل بوصفها قوة حفّازة، واقترح المصطلح "حفّاز" لوصف فعل هذه القوة. أما في الوقت الراهن، فيُعدّ برزيليوس أحد مؤسسي الكيمياء الحديثة؛ وقد أقيم نصب تذكاري (**الشكل 4-26**) تكريمًا له في مدينة ستوكهولم، في السويد. وقد كان يعاني طوال حياته من الصداع النصفي، والنقرس، والاكتئاب. توفي يونْس ياكوب برزيليوس في 7 من شهر أغسطس من العام 1848م في منزله قرب ستوكهولم، في السويد، ودُفن بالقرب من المنزل في مقبرة سولنا.

الوحدة 4

مراجعة الوحدة

الدرس 4-1: سرعة التفاعل الكيميائي ونظرية التصادم

- تُحسب **سرعة التفاعل الكيميائي Rate of chemical reaction** في الغالب على أنها تغيّر في تركيز إحدى المواد المتفاعلة أو الناتجة بدلالة التغيّر في الزمن، والوحدة الشائعة لقياس سرعة التفاعل هي M/s.
- تُستخدَم الرسوم البيانية التي تمثّل التركيز مقابل الزمن في تحديد سرعات التفاعل.
- مع مرور الزمن، يقلّ تركيز المادة المتفاعلة أمّا تركيز المادة الناتجة فيزداد.
- تنصّ نظرية التصادم على أن حدوث **تفاعل ثنائي الجزيئات Bimolecular reaction**، يقتضي أن (1) يتصادم جُسَيْمان اثنان، و(2) أن يتصادما بطاقة كافية تُسمّى **طاقة التنشيط Activation energy**، E_a، و(3) أن يتصادما باتجاه فراغي مناسب.
- يحدث التفاعل الكيميائي عن طريق **ميكانيكية تفاعل Reaction mechanism**، وهذه الميكانيكية عبارة عن سلسلة من **الخطوات الأولية Elementary steps**، وأبطأ خطوة تُسمّى **الخطوة المحدّدة لسرعة التفاعل Rate determining step**. ويمكن أن ينتج عن الخطوة الأولية **مركب وسيط Intermediate product** يُستهلك في الخطوة اللاحقة.

الدرس 4-2: العوامل المؤثّرة في سرعة التفاعلات الكيميائية

- العوامل المؤثّرة في الافتراضات الثلاثة لنظرية التصادم لحدوث تفاعل كيميائي سوف تؤثّر في سرعة التفاعل الكيميائي.
- ازدياد التركيز يزيد من سرعة التفاعل الكيميائي عن طريق زيادة عدد التصادمات الفعّالة التي تحدث بين الجُسَيْمات المتفاعلة.
- ارتفاع درجة الحرارة يزيد من سرعة التفاعل الكيميائي عن طريق جعل الجُسَيْمات تتحرّك بسرعة أكبر، فالجُسَيْمات السريعة تتصادم بشكل متكرّر أكثر، ما يزيد من عدد الجُسَيْمات التي تمتلك طاقة التنشيط E_a وهي الطاقة الكافية لحدوث التفاعل عند حدوث التصادم.
- نقصان حجم الجُسَيْمات يزيد من سرعة التفاعل الكيميائي عن طريق زيادة مساحة سطح المادة المتفاعلة، وهذا الازدياد في مساحة السطح سيعرّض المزيد من الجُسَيْمات للتصادم، ما يؤدّي إلى زيادة عدد التصادمات التي تحدث.
- إضافة **عامل حفّاز Catalyst** تزيد من سرعة التفاعل الكيميائي، إذ يزيد العامل الحفّاز من سرعة التفاعل الكيميائي من دون أن يُستهلك، وذلك عن طريق تغيير ميكانيكية التفاعل إلى ميكانيكية أخرى ذات طاقة تنشيط أقل.
- يكون **العامل الحفّاز غير المتجانس Heterogeneous catalyst** في حالة فيزيائية مختلفة عن الحالة التي تكون عليها المواد المتفاعلة، أما **العامل الحفّاز المتجانس Homogeneous catalyst** فيكون في الحالة الفيزيائية نفسها التي تكون عليها المواد المتفاعلة.

تقويم الوحدة

أسئلة اختيار من متعدّد

1. لديك تفاعل ممثّل بالمعادلة العامة الآتية :

$$A+B \longrightarrow C$$

ماذا يحدث لسرعة هذا التفاعل الكيميائي اذا ازداد تركيز المادة B وبقي تركيز المادة A على حاله؟

a. تزداد سرعة التفاعل الكيميائي.

b. تقلّ سرعة التفاعل الكيميائي.

c. تبقى سرعة التفاعل الكيميائي على حالها.

d. يتوقّف التفاعل الكيميائي وتصبح سرعته صفرًا لأن المتفاعلين ليسا متساويَيْن في التركيز.

2. أيٌّ من المعادلات الآتية تُستخدَم لحساب سرعة التفاعل الكيميائي؟

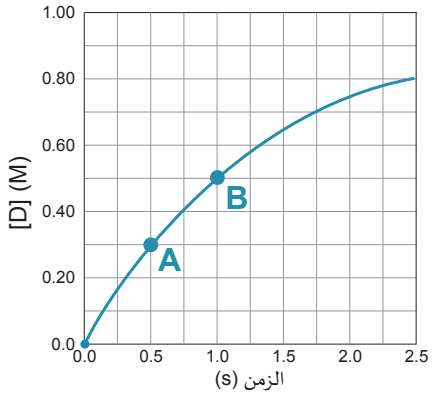
a. $\text{Rate} = \Delta[A] - \Delta t$

b. $\text{Rate} = \frac{\Delta[A]}{\Delta t}$

c. $\text{Rate} = \Delta[A] + \Delta t$

d. $\text{Rate} = \Delta[A] \times \Delta t$

3. باستخدام الرسم البياني المجاور، ما سرعة التفاعل الكيميائي بين النقطتين A و B؟



a. 0.2M/s

b. 0.4M/s

c. -0.2M/s

d. -0.4M/s

4. أي ممّا يأتي ليس شرطًا مطلوبًا لحدوث تفاعل كيميائي وفقًا لنظرية التصادم؟

a. يجب أن تتصادم الجُسَيْمات.

b. يجب أن تتصادم الجُسَيْمات باتجاه فراغي مناسب.

c. يجب أن تتصادم الجُسَيْمات عند درجة حرارة مناسبة.

d. يجب أن تمتلك الجُسَيْمات طاقة تنشيط مناسبة.

5. أيٌّ من الخطوات الآتية تصف الخطوة المحدّدة لسرعة التفاعل في معظم ميكانيكيات حدوث تفاعل كيميائي؟

a. الخطوة الأخيرة.

b. الخطوة الأولى.

c. الخطوة الأسرع.

d. الخطوة الأبطأ.

6. أيٌّ من العبارات الآتية تصف بشكل صحيح أثر تغيير تركيز محلول ما من 1 M، الى 2 M؟

a. يحدث التفاعل الكيميائي بسرعة أكبر عند استخدام محلول تركيزه 1 M، لأن الجُسَيْمات تتصادم بقوة أكبر.

b. يحدث التفاعل الكيميائي بسرعة أكبر عند استخدام محلول تركيزه 2 M، لأن الجُسَيْمات تتصادم بقوة أكبر.

c. يحدث التفاعل الكيميائي بسرعة أكبر عند استخدام محلول تركيزه 1 M، لأن الجُسَيْمات تتصادم بشكل أكثر تكرارًا.

d. يحدث التفاعل الكيميائي بسرعة أكبر عند استخدام محلول تركيزه 2 M، لأن الجُسَيْمات تتصادم بشكل أكثر تكرارًا.

7. في أي من الحالات الآتية تتوقع أن يكون معدل سرعة التفاعل بين كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ وحمض النيتريك HNO_3 أكبر ما يمكن؟

a. مسحوق $CaCO_3$ مع محلول HNO_3 تركيزه 2 M عند 40°C.

b. مسحوق $CaCO_3$ مع محلول HNO_3 تركيزه 0.5 M عند 40°C.

c. قطعة من $CaCO_3$ مع محلول HNO_3 تركيزه 2 M عند 20°C.

d. قطعة $CaCO_3$ مع محلول HNO_3 تركيزه 0.5 M عند 40°C.

8. أيٌّ من عيّنات فلزّ الخارصين الصلب، Zn، يمكن أن تتفاعل بطريقة أسرع في محلول حمض الهيدروكلوريك، $HCl_{(aq)}$؟

a. شريط من فلزّ الخارصين كتلته 1 g.

b. مكعّب من فلزّ الخارصين كتلته 1 g.

c. مسحوق من فلزّ الخارصين كتلته 1 g.

d. مكعّبان من فلزّ الخارصين كتلة كل منهما 0.5 g.

9.* ما التغيّر في كلّ من طاقة التنشيط، E_a، وزمن التفاعل الذي يشير إلى إضافة عامل حفّاز إلى التفاعل الكيميائي؟

	تغيّر طاقة التنشيط	تغيُّر زمن التفاعل
a	5 J/mol → 10 J/mol	25s → 50s
b	5 J/mol → 10 J/mol	50s → 25s
c	10 J/mol → 5 J/mol	25s → 50s
d	10 J/mol → 5 J/mol	50s → 25s

10. أيُّ العبارات الآتية تصف بالشكل الصحيح العامل الحفّاز غير المتجانس؟

a. يزيد من سرعة التفاعل الكيميائي، ويكون في الحالة الفيزيائية نفسها التي تكون عليها المواد المتفاعلة.

b. يقلّل من سرعة التفاعل الكيميائي، ويكون في الحالة الفيزيائية نفسها التي تكون عليها المواد المتفاعلة.

c. يزيد من سرعة التفاعل الكيميائي، ويكون في حالة فيزيائية مختلفة عن الحالة الفيزيائية التي تكون عليها المواد المتفاعلة.

d. يقلّل من سرعة التفاعل الكيميائي، ويكون في حالة فيزيائية مختلفة عن الحالة الفيزيائية التي تكون عليها المواد المتفاعلة.

الدرس 4-1: سرعة التفاعل الكيميائي ونظرية التصادم

11. باستخدام بيانات تركيز الأمونيا، خلال أحد التفاعلات الكيميائية، في الجدول المجاور، هل تُعدّ الأمونيا مادة متفاعلة أم مادة ناتجة؟ احسب سرعة هذا التفاعل الكيميائي.

الزمن (s)	$[NH_3]$ (M)
10.0	4.50×10^{-3}
25.0	8.00×10^{-2}

12. ارسم رسمًا بيانيًا يمثّل التركيز مقابل الزمن، ثم ارسم خطًا على الرسم البياني يمثّل كيف يتغيّر تركيز المادة المتفاعلة مع مرور الزمن بشكل عام.

13. يحدث تفاعل كيميائي مع أيونات الهيدروكسيد (OH^-) وقد تغيّر تركيز أيونات الهيدروكسيد من 0.5M إلى 0.4M. هل أيونات الهيدروكسيد هذه مادة متفاعلة أم مادة ناتجة؟ وضّح إجابتك.

14. عرّف مصطلح طاقة التنشيط، E_a.

15. تصادم جُسَيْمان متفاعلان ولكنهما لم يكوّنا مادة ناتجة. أذكر تفسيرين يبرّران عدم تفاعل هذين الجُسَيْمين معًا وفقًا لنظرية التصادم.

16. أُعطيتَ ميكانيكية لتفاعل كيميائي يتضمن ثلاث خطوات الذي إلى اليسار، حدّد المعادلة الكيميائية الكلية، وحدّد المواد الناتجة الوسيطة الموجودة فيه.

الخطوة 1 $NO + NO \longrightarrow N_2O_2$

الخطوة 2 $N_2O_2 + H_2 \longrightarrow N_2O + H_2O$

الخطوة 3 $N_2O + H_2 \longrightarrow N_2 + H_2O$

17. احسب سرعة تفاعل أيونات الحديد (III) (Fe^{3+}) الذي يحدث بين الزمن 40.0s والزمن 62.0 s من البيانات المدرجة في الجدول المجاور.

الزمن (s)	$[Fe^{3+}]$ (M)
40.0	1.0×10^{-1}
62.0	7.2×10^{-3}

18. فسر ما قد حدث عندما وقع تصادم بين جُسَيْمين متفاعلين بالاتجاه الفراغي الصحيح، من غير أن ينتج عن التصادم تكوّن لمادة ناتجة، أو مركب وسيط.

19. اعمل مع زميل لك لكتابة ميكانيكية تفاعل تتكوّن من أربع خطوات ينتج عنها المعادلة الكيميائية النهائية الآتية: $2\,A + 2B + C \longrightarrow D + E$

20. يبين الجدول الآتي تراكيز مادة افتراضية (x) خلال فترات زمنية مختلفة، ادرسه جيدًا ثم أجب عن الأسئلة الآتية:

الزمن (s)	التركيز (mol/L)
0	4
4	2
8	1
12	؟

a. استنتج فيما إذا كانت المادة (x) من المواد المتفاعلة أم من المواد الناتجة؟ فسّر إجابتك.

b. احسب معدل سرعة التفاعل خلال الفترة الزمنية (8s-4s).

c. توقع كم يصبح تركيز المادة عند الزمن 12s: (أكبر من 1، أم أقل من 1) فسّر إجابتك.

21. ماذا تُسمّى الخطوة الأولية الأبطأ في ميكانيكية تفاعل كيميائي ما؟

22.* وضّح، من حيث الجُسَيْمات المتفاعلة، لماذا تقلّ سرعة التفاعل مع مرور الزمن في أثناء حدوث تفاعل كيميائي ما؟

23. كيف تحدث التفاعلات الكيميائية بالرغم من أنّ احتمالية حدوث تصادم فعّال بين المواد المتفاعلة منخفضة للغاية؟

الدرس 4-2: العوامل المؤثّرة في سرعة التفاعلات الكيميائية

24. بحسب نظرية التصادم، لماذا ينتج عن استخدام محلول تركيزه 0.5 M في تفاعل كيميائي ما سرعة تفاعل أكبر مما ينتج عنه عند استخدام نفس نوع المحلول و لكن بتركيز 0.1 M؟

25. ماذا يحدث لسرعة الجُسَيْمات عندما ترتفع درجة حرارة المادة المتفاعلة؟

26. هل تتأثر قيمة طاقة تنشيط التفاعل بتغير درجة الحرارة؟ فسر إجابتك.

27. بين تركيزين قيمتهما 0.4 M و 0.2 M، ودرجتَيْ حرارة قيمتهما 15°C و25°C؛ أيٌّ من التركيزين ودرجتَيْ الحرارة سينتج عنه سرعة التفاعل الأكبر؟

28. كيف تزيد عملية طحن مادة متفاعلة إلى أجزاء أصغر من سرعة التفاعل الكيميائي بحسب نظرية التصادم؟

29. كيف يزيد العامل الحفّاز من سرعة التفاعل الكيميائي؟

30.* تمّ تحفيز تفاعل كيميائي بإضافة 5 g من ثاني أكسيد المنجنيز، MnO_2. هل ستكون كتلة ثاني أكسيد المنجنيز في نهاية التفاعل أكبر مما كانت عليه في بداية التفاعل، أم أقل، أم تبقى كما هي؟ وضح إجابتك.

31.* وُضع عامل حفّاز صلب في مخلوط مكوّن من محلولين مائيين، ولم يذب في المخلوط. هل سيعمل العامل الحفّاز كعامل حفّاز غير متجانس، أم متجانس؟ وضّح إجابتك.

32. هناك تفاعلان، أحدهما مُحفّز والآخر غير مُحفّز. أحدهما عند درجة حرارة 20°C والآخر عند درجة حرارة 30°C، أيُّ مزيج بين درجة الحرارة والعامل الحفّاز يمكن أن ينتج عنه سرعة التفاعل الأقل؟

33. فسر كل مما يأتي:

a. تقل سرعة تفاعل كيميائي بنقص تركيز أحد المتفاعلات.

b. تحترق قطعة من الفحم في الأكسجين النقي أسرع من احتراقها في الهواء.

34.* أيٌّ من العيّنتين الآتيتين سوف يتفاعل بشكل أسرع: قطعة واحدة من الحديد كتلتها 15 g، أم برادة حديد كتلتها 15 g؟ وضّح إجابتك بحسب نظرية التصادم.

35. ما الحالة الفيزيائية التي يمكن أن يكون عليها عامل حفّاز متجانس إذا تمّ تحفيز التفاعل الآتي به؟

$$A_{2(g)} + B_{2(g)} \longrightarrow 2AB_{(g)}$$

الوحدة 5

الطاقة الحراريّة في التفاعلات الكيميائيّة

Thermal Energy in Chemical Reactions

في هذه الوحدة

C1007

الدرس 5-1: التغيّرات في الطاقة الحراريّة المصاحبة للتفاعلات الكيميائيّة

الدرس 5-2: مخطّطات الطاقة للتفاعلات الكيميائيّة

الوحدة 5

مقدّمة الوحدة

يبدأ الدرس 5-1 بتوضيح الطريقة التي يتمّ بها تخزين الطاقة في الأنظمة الكيميائية، حيث نشرح ما يبرّر تكوّن الروابط بين بعض الذرّات، وعدم تكوّنها بين ذرّات أخرى. وترتبط الطاقة بتكسير الروابط الكيميائية وإعادة تكوينها، وتوصف الطاقة الممتصّة الكلية أو الطاقة المنطلقة الكلية وفقًا لحرارة التفاعل (ΔH)، إذ ترتبط حرارة التفاعل سواء الطاردة أم الماصّة للحرارة بنوع الروابط الكيميائية المُكوِّنة للمُتفاعلات والنواتج. وقد تمّ تقديم مفهوم المحتوى الحراري للرابطة بوصفه طريقة لتحديد كمية الطاقة التي شاركت في تكوين الرابطة الكيميائية.

يُقدّم الدرس 5-2 مفهوم مخطّط الطاقة والمُعقَّد المُنشَّط. وتمثّل هذه المخطّطات البيانيّة التغيّرات في المحتوى الحراري التي تحدث في أثناء حدوث التفاعل الكيميائي، ويقارن هذا الدرس بين مخطّطات الطاقة للتفاعلات الطاردة للحرارة والتفاعلات الماصّة لها. سيتمّ أيضًا دراسة تأثير العامل الحفّاز في مخطّط الطاقة للتفاعلات الكيميائية.

الأنشطة والتجارب

1-5 التفاعلات الطاردة للحرارة، والتفاعلات الماصّة للحرارة.

2-5 ملاحظة تفاعل مُحفَّز.

الدرس 5-1

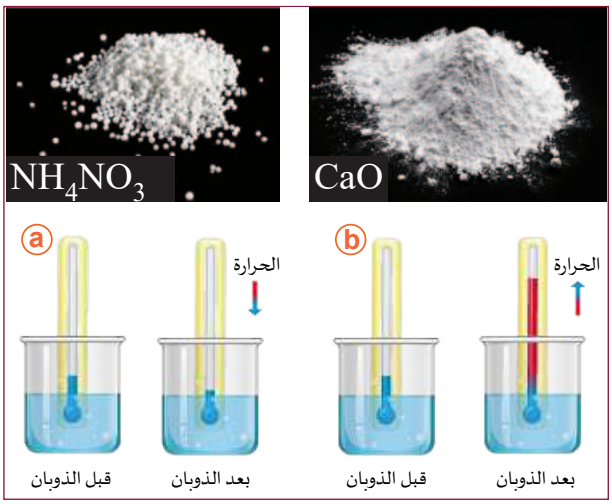
التغيّرات في الطاقة الحراريّة المصاحبة للتفاعلات الكيميائيّة

Changes in Thermal Energy Associated with Chemical Reactions

تتضمّن التفاعلات الكيميائية حدوث تغيّرات في الطاقة، وتكون في الغالب على هيئة طاقة حرارية، حيث تعتمد كمية الطاقة الممتصّة أو المنطلقة على التفاعل نفسه. سيوضح هذا الدرس أنّ هناك علاقة بين تكوين الروابط الكيميائيّة وتكسيرها وبين الطاقة الحراريّة المنطلقة والممتصّة.

وعلى سبيل المثال: عندما تذوب نيترات الأمونيوم، NH_4NO_3، (**الشكل 5-1a**) في الماء، تنخفض درجة حرارة المحلول؛ وهذا يعني أن التفاعل يمتصّ طاقة حرارية من الماء.

أمّا عند إذابة أكسيد الكالسيوم، CaO، (**الشكل 5-1b**) في الماء، فسترتفع درجة حرارة المحلول؛ وهذا يعني أنّ التفاعل يُطلق طاقة حرارية إلى الماء.



الشكل 5-1 (a) عندما تذوب نيترات الأمونيوم في الماء، تنخفض درجة حرارة المحلول لأنّ التفاعل ماصّ للحرارة (b) عندما يذوب أكسيد الكالسيوم في الماء، يُطلق طاقة حرارية إلى الماء، ما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة المحلول.

مخرجات التّعلُّم

C1007.1 يدرك أنّ التفاعلات الكيميائية يصاحبها تغيّرات في الطاقة، وتكون في العادة على شكل طاقة حرارية، وأن تغيّرات الطاقة يمكن أن تكون طاردة للحرارة أو ماصّة للحرارة.

C1007.2 يدرك أن تكسير الروابط يُصاحَب بامتصاص حرارة، بينما يُصاحَب تكوين الروابط انطلاق حرارة.

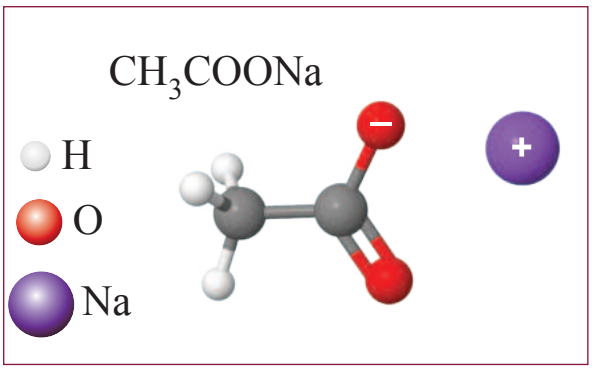
المفردات

Thermal energy	الطاقة الحراريّة
Heat	الحرارة
System	النظام (التفاعل)
Surrounding	الوسط المحيط
Exothermic reaction	تفاعل طارد للحرارة
Endothermic reaction	تفاعل ماصّ للحرارة
Enthalpy (H)	المحتوى الحراري (H)
Heat of reaction	حرارة التفاعل
Thermochemical equation	المعادلة الكيميائية الحراريّة
Bond enthalpy	المحتوى الحراري للرابطة
Standard state	الحالة القياسيّة
Chemical energy	الطاقة الكيميائية

أكياس الحرارة الفوريّة (الكمادات)

تُعدّ أسيتات الصوديوم، CH_3COONa (**الشكل 5-2**)، مركّبًا صلبًا بلّوريًا أبيض اللون (**الشكل 5-3**). عندما نسخّن محلول مشبع من أسيتات الصوديوم، ثم نضيف المزيد من أسيتات الصوديوم ونتركه ليبرد، سيتكوّن محلول فوق مشبع من أسيتات الصوديوم. تحتوي المحاليل فوق المشبعة على مادة قابلة للذوبان فيها، أكثر من اللازمة لتشبع المحلول، فتترسب الزيادة من تلك المادة في درجة الحرارة العادية.

تستخدم هذه المادة في صناعة الكمادات الساخنة.



الشكل 5-2 التركيب البنائي لأسيتات الصوديوم.

الشكل 5-3 بلورات أسيتات الصوديوم

الشكل 5-4 كيس يحتوي على محلول فوق مشبع من أسيتات الصوديوم.

خطوات النشاط

(اعمل ضمن مجموعات ثنائية)

1. يبيّن **الشكل 5-4** كيسًا شفّافًا يحتوي على محلول عديم اللون فوق مشبع من أسيتات الصوديوم، حيث ستحصل كلّ مجموعة على واحد من هذه الأكياس.
2. باستخدام الإبهامين والسبّابتين، اثنِ القرص الفلزّي الذي بداخل الكيس إلى أن ينكسر. عندما ينكسر القرص الفلزّي الذي يحتوي على أسيتات الصوديوم تنطلق بلورات أسيتات الصوديوم إلى داخل الكيس، ثم لاحظ التغيّر الذي يحدث. من المحتمل أن يتمّ ثَنْيُ القرص الفلزّي أكثر من مرّة لكي ينكسر.

أسئلة

a. ما التغيّر الذي حدث في الحالة الفيزيائية لمحلول أسيتات الصوديوم؟ دوّن الحالتَيْن الابتدائية والنهائية.

b. هل تظنّ أن الروابط الكيميائية قد انكسرت أم أنّها قد تكوّنت في أثناء حدوث هذا التغيّر في الحالة؟

c. هل أصبح الكيس أكثر برودة أم أكثر سخونة؟

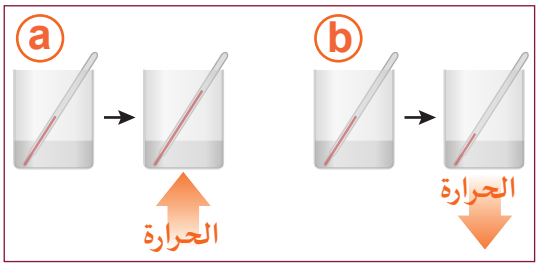
d. لكي يحدث هذا التغيّر في درجة الحرارة، هل أطلق هذا التغيُّر طاقة حرارية إلى الوسط المحيط، أم امتصّ طاقة حرارية من الوسط المحيط؟ وضّح إجابتك.

e. استنادًا إلى إجابتك عن السؤالين b، و c، هل هناك علاقة بين الروابط الكيميائية التي انكسرت أو تكوّنت، والطاقة الحرارية التي انطلقت أو امتُصّت؟

الحرارة والطاقة الحراريّة

عادة ما تكون جُسَيمات المادّة، كالذرّات والجُزَيْئات، في حالة حركة اهتزازيّة ثابتة، وتسمّى الطاقة المُصاحبة لهذه الحركة الاهتزازيّة **الطاقة الحراريّة Thermal energy**، أمّا درجة الحرارة فهي مقياس لمتوسّط الطاقة الحراريّة لكلّ جُسيم؛ فالمادّة التي تكون عند درجة حرارة مرتفعة تمتلك طاقة حراريّة أعلى من الطاقة الحرارية التي تمتلكها المادّة نفسها التي تكون عند درجة حرارة منخفضة.

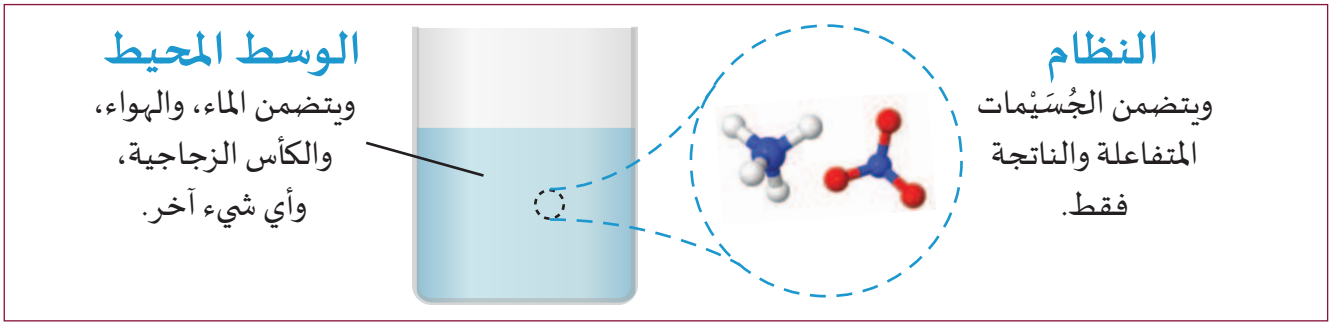
لزيادة درجة حرارة مادّة ما، يجب إضافة طاقة حراريّة إليها، فالطاقة الحراريّة التي تتمّ إضافتها إلى المادّة، أو انتزاعها منها تُسمّى **الحرارة Heat**، أي إنّ الحرارة هي تدفُّق للطاقة الحراريّة.



الشكل 5-5 العلاقة بين الحرارة ودرجة الحرارة.

- تزداد درجة الحرارة عندما تتدفّق الحرارة إلى داخل المادة (**الشكل 5-5a**).
- تنخفض درجة الحرارة عندما تتدفّق الحرارة إلى خارج المادة (**الشكل 5-5b**).

من المهمّ تعريف **النظام System** لتتبُّع عمليّة تدفّق الحرارة؛ فالنظام هو مجموع المادة والطاقة التي نختارها ونعزلها ضمن حدود معيّنة، أمّا أيّ شيء آخر موجود في هذا الكون خارج حدود النظام فيُسمّى **الوسط المحيط Surrounding**.



الشكل 5-6 اختيار شائع لكلّ من النظام والوسط المحيط به.

في الكيمياء، عادة ما يتمّ اختيار النظام ليكون عبارة عن الموادّ المُتفاعلة والموادّ الناتجة المُكوّنة للتفاعل الكيميائي، أمّا الوسط المحيط فيتضمّن أيّ شيء آخر غير مُكوّنات النظام، بما فيها الماء الذي يمكن أن تذوب فيه كلّ من الموادّ الناتجة والموادّ المُتفاعلة.

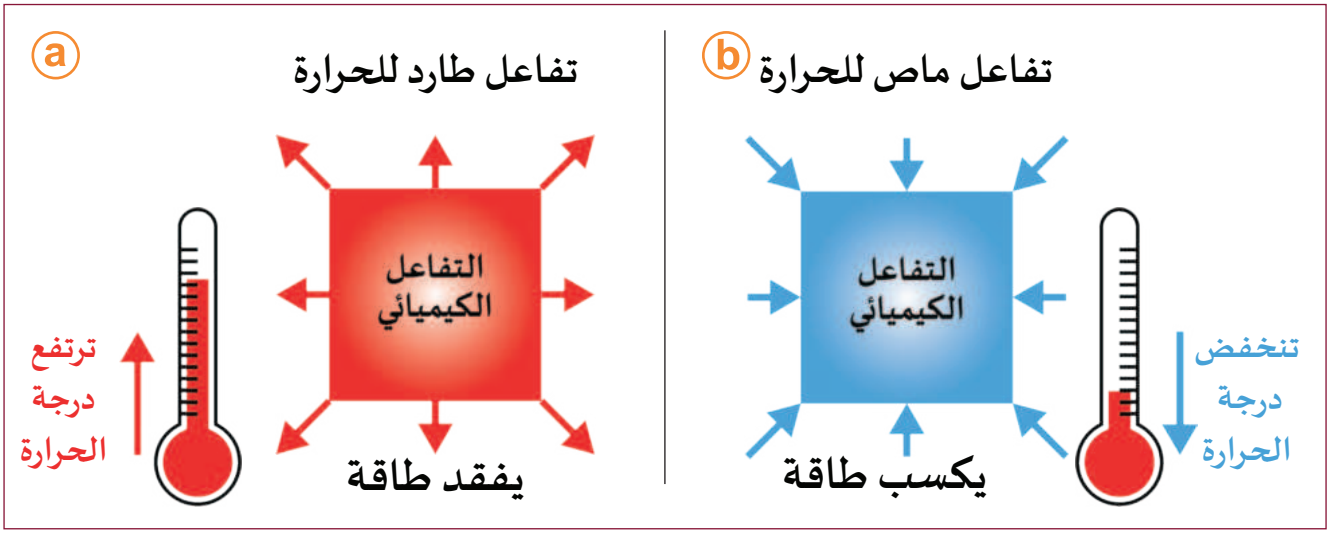
- تتدفّق الحرارة من النظام إلى الوسط المحيط عندما يُطلِق التفاعل الكيميائيّ طاقة، حيث يُسمّى هذا تفاعُلًا طاردًا للحرارة **Exothermic reaction**.
- تتدفّق الحرارة من الوسط المحيط إلى النظام عندما يمتصّ التفاعل الكيميائيّ طاقة، حيث يُسمى هذا تفاعُلًا ماصًّا للحرارة **Endothermic reaction**.

أعط أمثلة على تفاعلات طاردة للحرارة وأخرى ماصة للحرارة تستخدمها في حياتك اليومية .

التفاعلات الطاردة للحرارة، والماصّة للحرارة

تكون التفاعلات الكيميائية إما ماصّة للحرارة، أو طاردة لها (مع وجود بعض الاستثناءات)، بحيث:

- تزداد درجة حرارة الوسط المحيط في التفاعل الطارد للحرارة؛ لأنّ الحرارة تنطلق منه عندما تتحوّل الموادّ المُتفاعلة إلى موادّ ناتجة (**الشكل a7-5**) مثل احتراق الخشب و الألعاب النارية.
- تنخفض درجة حرارة الوسط المحيط في التفاعل الماصّ للحرارة؛ لأنّ الموادّ المُتفاعلة تمتصّ الطاقة لتكوين الموادّ الناتجة (**الشكل b7-5**) مثل عملية البناء الضوئي.



الشكل 5-7 تدفّق الطاقة في التفاعلات الكيميائية.

التغيُّر في المحتوى الحراريّ

ينصّ قانون حفظ الطاقة على أنّ الطاقة لا تفنى ولا تستحدث بل تتغير من شكل إلى آخر. وأحد أشكال الطاقة المهمّة لدراسة التفاعلات الكيميائيّة هو المحتوى الحراريّ.

المحتوى الحراري Enthalpy (H) هو كمية الطاقة الحراريّة الكليّة المُخزّنة في نظام ما. أمّا الطاقة الكليّة المُمتصّة أو المُنطلقة أثناء حدوث تفاعل كيميائي فهي عبارة عن التغيُّر في المحتوى الحراريّ (ΔH) للتفاعل وهذا ما يسمى **بحرارة التفاعل Heat of reaction**. تبيّن **المُعادلة 1-5** أنّ التغيُّر الكلّي في المحتوى الحراريّ لتفاعل ما يمثّل الفرق بين مجموع التغيُّرات في المحتوى الحراريّ للموادّ الناتجة، ومجموع التغيُّرات في المحتوى الحراريّ للموادّ المتفاعلة.

1-5	التغيّر في المحتوى الحراري	ΔH	التغيُّر في المحتوى الحراريّ (kJ)
$\Delta H = \sum \Delta H_{\text{نواتج}} - \sum \Delta H_{\text{مُتفاعلات}}$		$\sum \Delta H_{\text{مُتفاعلات}}$	مجموع المحتوى الحراريّ للموادّ المُتفاعلة (kJ)
		$\sum \Delta H_{\text{نواتج}}$	مجموع المحتوى الحراريّ للموادّ الناتجة (kJ)

التغيُّر في المحتوى الحراريّ – تابع

لاحظ ما يأتي:

- تكون إشارة ΔH سالبة في التفاعلات الطاردة للحرارة، لأنّ التفاعل يُطلِق حرارة عندما تتحوّل الموادّ المُتفاعلة إلى موادّ ناتجة.
- أمّا في التفاعلات الماصّة للطاقة الحرارية فتكون إشارة ΔH موجبة لأنّ الموادّ المتفاعلة قد امتصّت طاقة حرارية لتكوين موادّ ناتجة.

مثال 1

إذا علمتَ أن المحتوى الحراريَّ للموادِّ المتفاعلةِ في تفاعلٍ ما يُساوي 20 kJ، وأن المحتوى الحراريَّ للموادِّ الناتجةِ يُساوي 10 kJ.

a. اِحسبِ التغيرَ في المحتوى الحراري ΔH للتفاعلِ.

b. حدِّدْ نوعَ التفاعلِ من حيثُ كونِه طاردًا أو ماصًّا للحرارةِ.

الحلّ:

a. نستخدم المعادلة 5-1 لحساب التغيّر في المحتوى الحراري ΔH:

$$\Delta H = \sum \Delta H_{\text{نواتج}} - \sum \Delta H_{\text{تفاعلات}}$$

$$\Delta H = 10\ \text{kJ} - 20\ \text{kJ} = -10\ \text{kJ}$$

b. بما أن اشارة ΔH سالبة هذا يعني أن التفاعل طاردًا للحرارة، ويُطلق طاقة حراريّة إلى الوسط المُحيط.

مثال 2

إذا علمتَ أن المحتوى الحراريَّ للموادِّ المتفاعلةِ في تفاعلٍ ما يُساوي 40 kJ، وأنّ المحتوى الحراريَّ للموادِّ الناتجةِ يُساوي 70 kJ.

a. اِحسبِ التغيرَ في المحتوى الحراريّ ΔH للتفاعلِ.

b. حدِّدْ نوعَ التفاعلِ من حيثُ كونُه طاردًا أو ماصًّا للحرارةِ.

الحلّ:

a. نستخدم المعادلة 5-1 لتحديد التغيّر في المحتوى الحراريّ للتفاعل:

$$\Delta H = \sum \Delta H_{\text{نواتج}} - \sum \Delta H_{\text{تفاعلات}}$$

$$\Delta H = 70\ \text{kJ} - 40\ \text{kJ} = +30\ \text{kJ}$$

b. بما أن اشارة ΔH موجِبة فإنّ التفاعل ماصٌّ للحرارة ويمتصّ الطاقة الحرارية من الوسط المُحيط.

المعادلة الكيميائيّة الحراريّة

يمكن إدراج التغيُّر في الطاقة الحرارية كمادّة مُتفاعلة أو مادّة ناتجة في المعادلة الكيميائيّة وتسمى في هذه الحالة **بالمعادلة الكيميائية الحرارية Thermochemical equation**؛ فعندما تنطلق حرارة (تفاعل طارد للحرارة)، يظهر التغيُّر في الطاقة كمادّة ناتجة في المعادلة الكيميائية، كما هو مُبيَّن في **الشكل 5-8a**، أمّا عندما يتمّ امتصاص الحرارة (تفاعل ماص للحرارة)، يظهر التغيُّر في الطاقة كمادة مُتفاعلة في المعادلة الكيميائية كما هو مُبيَّن في **الشكل 5-8b**.

تفاعل طارد للحرارة:

(a) $CH_{4(g)} + 2\ O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} + 2\ H_2O_{(g)} + \underbrace{890.4\ kJ}_{\text{الطاقة الحرارية المنطلقة}}$

تفاعل ماصّ للحرارة:

(b) $N_{2(g)} + O_{2(g)} + \underbrace{182.6\ kJ}_{\text{الطاقة الحرارية المُمتصّة}} \rightarrow 2\ NO_{(g)}$

الشكل 5-8 (a) مُعادلة كيميائية حرارية لتفاعل طارد للحرارة، (b) مُعادلة كيميائية حرارية لتفاعل ماصّ للحرارة.

هناك طريقة أخرى لكتابة المعادلة الكيميائية الحرارية حيث تُظهِر المعادلة الكيميائية الحراريّة التفاعل والتغيُّر في المحتوى الحراريّ له. فعلى سبيل المثال، يُطلِق احتراق البروبان (C_3H_8) طاقة مقدارها 2219 kJ لكلّ مول واحد من البروبان (**الشكل 5-9**)، حيث يُكتب التغيُّر في المحتوى الحراري للتفاعل إلى يمين المعادلة الكيميائيّة، كما توضَع إشارة سالبة للتغيُّر في المحتوى الحراريّ للإشارة إلى أنّ التفاعُل طاردٌ للحرارة .

$$\underbrace{C_3H_{8(g)} + 5O_{2(g)} \rightarrow 3CO_{2(g)} + 4H_2O_{(g)}}_{\text{معادلة كيميائية حرارية}} \qquad \underbrace{\Delta H = -2219\ kJ/mol}_{\text{التغير في المحتوى الحراري}}$$

الشكل 5-9 المعادلة الكيميائية الحرارية لاحتراق البروبان.

يعتبر تفكك الماء السائل الى غاز الأكسجين وغاز الهيدروجين مثال لتفاعل ماص للحرارة، إذ يمتص كل مول واحد من الماء طاقة مقدارها 285.8kJ/mol. يبين **الشكل 5-10** المعادلة الكيميائية الحرارية لهذا التفاعل لاحظ أن التغير في المحتوى الحراري لهذا التفاعل ΔH لديه اشارة موجبة لأنه تفاعل ماص للحرارة .

$$\underbrace{H_2O_{(l)} \rightarrow 1/2\ O_{2(g)} + H_{2(g)}}_{\text{معادلة كيميائيّة حراريّة}} \qquad \underbrace{\Delta H = +\ 285.8 kJ/mol}_{\text{التغيُّر في المحتوى الحراريّ}}$$

الشكل 5-10 المعادلة الكيميائيّة الحرارية لتفكُّك الماء.

مثال 3

هل التفاعل الآتي يُمثل تفاعلًا طاردًا للحرارة، أم ماصًّا للحرارة؟ وضّح إجابتك.

$$NH_4C\ell_{(aq)} + NaOH_{(aq)} + 9.8\ kJ \rightarrow NH_{3(aq)} + NaC\ell_{(aq)} + H_2O_{(l)}$$

الحلّ:

- التفاعل ماصّ للحرارة.
- قيمة الطاقة الحرارية (9.8 kJ) مدرجة في المعادلة الكيميائية للتفاعل مع المتفاعلات؛ وهذا يعني أن الطاقة الحرارية قد تمّ امتصاصها.

المعادلة الكيميائيّة الحراريّة – تابع

مثال 4

هل التفاعل الآتي يُمثّل تفاعلًا طاردًا للحرارة أم ماصًّا للحرارة؟فسّر إجابتك.

$$2Cs_{(s)} + C\ell_{2(g)} \rightarrow 2CsC\ell_{(s)} + 886.08\ kJ$$

الحلّ:

- التفاعل طارد للحرارة.
- قيمة الطاقة الحرارية (886.08 kJ) مُدرَجة في الجهة اليمنى من المعادلة الكيميائية الحرارية للتفاعل مع النواتج، وبالتالي فإنّ الطاقة الحرارية قد أُطلِقت خلال التفاعل.

مثال 5

هل التفاعل الآتي يُمثِّل تفاعُلًا طاردًا للحرارة أم ماصًّا للحرارة ؟ فسّر إجابتك .

$$1/2\ N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow NO_{2(g)} \qquad \Delta H = +\ 33.2\ kJ$$

الحلّ:

التفاعُل ماصٌّ للحرارة .

إشارة التغيّر في المحتوى الحراري (ΔH) في المعادلة الكيميائية الحراريّة موجِبة، وبالتالي فإنّ الطاقة الحراريّة قد أمتصّت خلال التفاعل.

مثال 6

يمكن أن يتفاعل الألومنيوم مع أكسيد الحديد بحسب المُعادلة الآتية:

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

إذا علمت أن المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة يساوي 826 kJ- والمحتوى الحراري للمواد الناتجة يساوي 1675 kJ-:

a. احسب التغيُّر في المحتوى الحراري لهذا التفاعل.

b. هل التفاعل طارد للحرارة أم ماصّ لها؟ وضِّح إجابتك.

c. اكتب المعادلة الكيميائية الحراريّة للتفاعل السابق بطريقتين مختلفتين.

الحلّ:

a. بحسب المعادلة 5-1 يحسب التغيّر في المحتوى الحراري:

$$\Delta H = \sum \Delta H_{\text{نواتج}} - \sum \Delta H_{\text{مُتفاعلات}}$$

$$\Delta H = -1675\ kJ/mol - (-826\ kJ/mol) = -849\ kJ/mol$$

b. التفاعل طارد للحرارة لأن إشارة ΔH سالبة. وبذلك تكون الطاقة الحرارية قد انطلقت خلال هذا التفاعل.

c. $2A\ell_{(s)} + Fe_2O_{3(s)} \rightarrow A\ell_2O_{3(s)} + 2Fe_{(l)} + 849\ kJ$

$$2A\ell_{(s)} + Fe_2O_{3(s)} \rightarrow A\ell_2O_{3(s)} + 2Fe_{(l)} \qquad \Delta H = -849\ kJ/mol$$

حرارة التفاعل لبعض التفاعلات الشائعة

لقد تمّ تحديد قيم التغيُّر في المحتوى الحراريّ للكثير من التفاعلات الكيميائيّة بشكل عمليّ، حيث يبيّن **الجدول 5-1** قيم التغيُّر في المحتوى الحراريّ بوحدة (kJ) لبعض التفاعلات الشائعة التي تحدث حولنا عند **الحالة القياسيّة Standard state**. حيث تشير هذه الحالة إلى أنّ الموادّ المُتفاعلة موجودة تحت الظروف الآتية:

- تكون قيمة الضغط تساوي 1 atm.
- درجة الحرارة تساوي 25°C.
- تركيز المحاليل 1 M.
- كما تُعطى الحالة الفيزيائية للموادّ المُتفاعلة والموادّ الناتجة عن طريق المعادلة الكيميائية.

الجدول 5-1 جدول يحتوي قيم حرارة التفاعل لعدّة تفاعلات شائعة عند درجة حرارة قياسية.

	المعادلة الكيميائية	ΔH (kJ)
1	$CH_{4(g)} + 2O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)}$	-890.4
2	$C_3H_{8(g)} + 5O_{2(g)} \rightarrow 3CO_{2(g)} + 4H_2O_{(l)}$	-2219.2
3	$2C_8H_{18(g)} + 25O_{2(g)} \rightarrow 16CO_{2(g)} + 18H_2O_{(l)}$	-10,943
4	$2CH_3OH_{(l)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 2CO_{2(g)} + 4H_2O_{(l)}$	-1452
5	$2C_2H_5OH_{(l)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 2CO_{2(g)} + 3H_2O_{(l)}$	-1367
6	$C_6H_{12}O_{6(s)} + 6O_{2(g)} \rightarrow 6CO_{2(g)} + 6H_2O_{(l)}$	-2804
7	$N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2NO_{(g)}$	+182.6
8	$N_{2(g)} + 2O_{2(g)} \rightarrow 2NO_{2(g)}$	+66.4
9	$2H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2H_2O_{(g)}$	-483.6
10	$2H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2H_2O_{(l)}$	-571.6
11	$N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightarrow 2NH_{3(g)}$	-91.8
12	$2C_{(s)} + 3H_{2(g)} \rightarrow C_2H_{6(g)}$	-84.0
13	$2C_{(s)} + 2H_{2(g)} \rightarrow C_2H_{4(g)}$	+52.4
14	$2C_{(s)} + H_{2(g)} \rightarrow C_2H_{2(g)}$	+227.4
15	$H_{2(g)} + I_{2(g)} \rightarrow 2HI_{(g)}$	+53.0

مثال 7

باستخدام الجدول 5-1، اكتب المعادلة الكيميائية رقم 12، بحيث تتضمّن قيمة الطاقة لها.

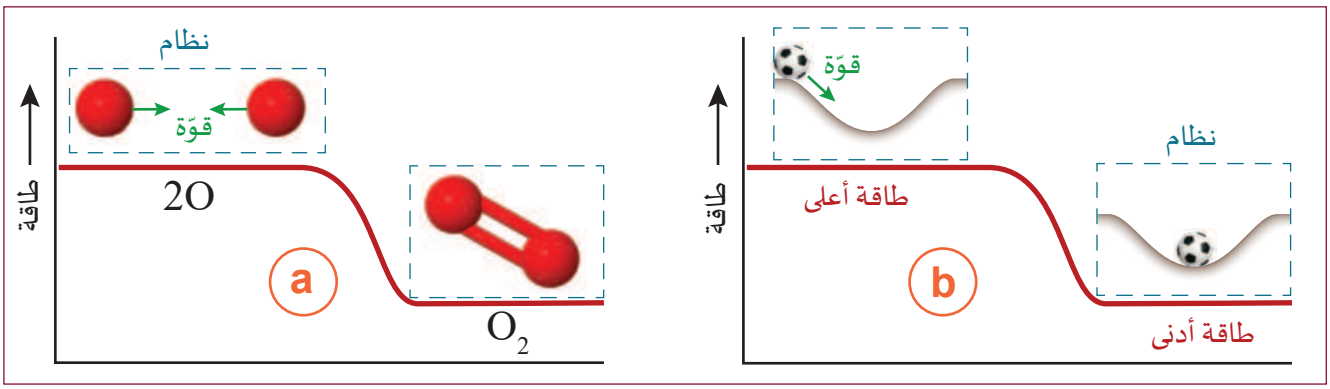
الحلّ:

- قيمة حرارة التفاعل (ΔH) للمعادلة رقم 12 تساوي -84.0 kJ.
- الإشارة السالبة تعني أنّ المحتوى الحراري قد انخفض نتيجة لانطلاق الطاقة من التفاعل.
- تتمّ كتابة قيمة الطاقة التي انطلقت على هيئة مادّة ناتجة في المعادلة الكيميائيّة على النحو الآتي:

$$2\,C_{(s)} + 3\,H_{2(g)} \rightarrow C_2H_{6(g)} + 84.0\ kJ$$

الطاقة في الروابط الكيميائيّة

تتمتّع الذرّات التي تكون قريبة من بعضها بعضًا بقوى تجاذب تميل إلى سحب الذرّات وتقريبها نحو بعضها بعضًا. فإذا كان لديك نظام مُكوَّن من ذرّتَي أكسجين، سوف تُنشئ قوى التجاذب اختلافًا وفرقًا في الطاقة بين الذرّات المُنفصلة والذرّتَيْن المرتبطتَيْن معًا في جُزَيء الأكسجين (**الشكل 5-11a**). هنا، يكون الوضع مشابهًا تمامًا لنموذج الكرة والمنحدر (**الشكل 5-11b**)؛ فقوّة الجاذبيّة الأرضيّة تجذب الكرة نحو أسفل المنحدر، لهذا، تمتلك مُكوِّنات النظام هذه طاقة أقلّ مقارنة بالطاقة التي تمتلكها الكرة عندما تكون في أعلى قمّة المُنحدر.



الشكل 5-11 النظام، والتغيُّر في الطاقة.

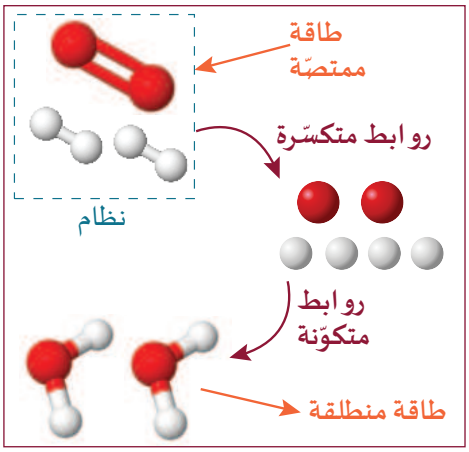
- تأتي القوى الموجودة بين الذرّات نتيجة وجود الرابطة الكيميائية، كما توجد قوى تجاذب وتنافر بين بروتونات وإلكترونات الذرّة الواحدة.
- تمتلك العناصر المختلفة ترتيبات مختلفة من الإلكترونات.
- تكون قوى التجاذب مختلفة لكلّ نوع من أنواع الذرّات والروابط.
- في التفاعل الكيميائي، تُغيّر عمليّة إعادة ترتيب الذرّات هذه القوى، عندها قد يكتسب النظام ككلّ طاقة أو يفقدها.
- **الطاقة الكيميائية Chemical energy** هي الطاقة المخزنة في الروابط بين الذرات، وفي الجزيئات وتنتج عن التفاعل الكيميائي في صورة طاقة حرارية.

تُخزَّن الطاقة الكيميائية عن طريق تغيير موقع الجُسَيْمات المتفاعلة، أو تركيبها البنائيّ، أو مكوّناتها.

أثناء حدوث أي تفاعل كيميائي، تتكسّر الروابط الكيميائية في البداية، ثمّ يُعاد تكوينها مرّة أخرى (**الشكل 5-12**).

- يمتصّ النظام طاقة لتكسير الروابط، وبدء حدوث التفاعل.
- يُطلِق النظام طاقة عندما تتكوّن الروابط مرّة أخرى.

يُعدّ التفاعل طاردًا للحرارة عندما تكون الطاقة المُنطلقة من تكوين الروابط في الموادّ الناتجة أكبر من الطاقة المُمتصَّة لتكسير الروابط في الموادّ المُتفاعلة، ويُعدّ التفاعل ماصًّا للحرارة عندما تكون الطاقة المُمتصَّة لتكسير الروابط في الموادّ المُتفاعلة أكبر من الطاقة المُنطلقة من تكوين الروابط في الموادّ الناتجة.

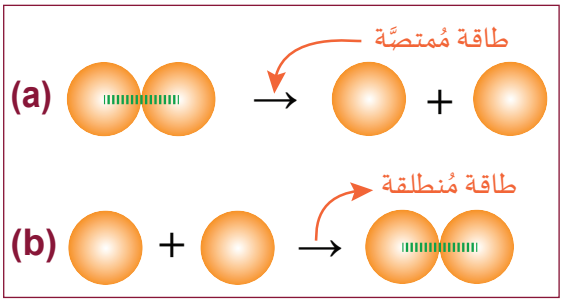


الشكل 5-12 تتكسّر الروابط، ويُعاد تكوينها مرّة أخرى في التفاعل الكيميائي.

المحتوى الحراري للرابطة

تذكّر أنّ التفاعلَ يمرُّ بمرحلتيْنِ أساسيتيْنِ هما:

1. مرحلة (1) يجري فيها تكسير الروابطِ بين الذرّاتِ في الموادّ المتفاعلة، وتحتاج إلى امتصاص كميّة من الطاقة، وهذهِ العمليّةُ ماصّةٌ للطاقةِ(**الشكل 5-13a**).
2. مرحلة (2) يجري فيها تكوينُ روابطَ جديدة بين الذرّاتِ، ويرافقُ ذلك انبعاثُ كميّة من الطاقة، وتكونُ هذهِ العملية طاردةً للطاقة(**الشكل 5-13b**).



الشكل 5-13 (a) عندما تتكسّر الروابط الكيميائية، يتمّ امتصاص طاقة، (b) وعندما تتكوّن الروابط الكيميائية، تنطلق طاقة.

ومن الممكن أن نحسب التغيّر الكلّيّ في الطاقة لتفاعل ما من خلال معرفة الطاقات المختلفة للروابط الكيميائية للمُتفاعلات والنّواتج.

يُعدّ تكسير الروابط الكيميائية عملية ماصّة للحرارة.
يُعدّ تكوين الروابط الكيميائية عملية طاردة للحرارة.

تسمّى الطاقة اللازمة لكسر مول واحد من نوع محدّد من الروابط الكيميائية **المحتوى الحراري للرابطة Bond enthalpy**، فالطاقة اللازمة لكسر رابطة كيميائية يجب أن تكون مساوية للطاقة المنطلقة عندما يتكوّن النوع نفسه من الروابط الكيميائية. يبيّن **الجدول 5-2** قيم المحتوى الحراري لبعض الروابط الكيميائية الشائعة.

الجدول 5-2 جدول يتضمّن قيم المحتوى الحراري لبعض الروابط المختارة.

الرابطة الكيميائية	المحتوى الحراري للرابطة (kJ/mole)	الرابطة الكيميائية	المحتوى الحراري للرابطة (kJ/mole)
H–H	436	C–Br	276
C–H	413	N–H	391
C–C	348	O–H	463
C–N	293	O–O	146
C–O	358	Cℓ–Cℓ	242
C–Cℓ	328	Br–Br	193
H-Cℓ	432	O = O	495

يمكن تحديد تقدير جيّد لقيمة حرارة التفاعل (ΔH) لتفاعل معلوم بأنها الفرق بين مجموع قيم المحتوى الحراري لتكسّر الروابط جميعها الموجودة في المواد المتفاعلة، ومجموع قيم المحتوى الحراريّ لتكوين الروابط جميعها الموجودة في الموادّ الناتجة كما تبيّن **المُعادلة 5-2**.

2-5	التغيّر في المحتوى الحراري للتفاعل		
$\Delta H = \sum H_{\text{قيَم طاقة روابط}}{}_{\text{المُتَفاعلات}} - \sum H_{\text{قيَم طاقة روابط}}{}_{\text{النواتج}}$		ΔH	التغيُّر في المحتوى الحراريّ للتفاعل (kJ/mol)
		$\sum H_{\text{قيَم طاقة روابط}}{}_{\text{المُتَفاعلات}}$	مجموع المحتوى الحراري لروابط المُتَفاعلات (الروابط المُتكسّرة) (kJ/mol)
		$\sum H_{\text{قيَم طاقة روابط}}{}_{\text{النواتج}}$	مجموع المحتوى الحراري لروابط النواتج (الروابط المُتكوّنة) (kJ/mol)

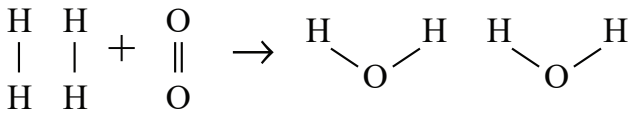
مثال 8

إذا كان لديك تفاعل لتكوين بخار الماء من غاز الهيدروجين (H_2) وغاز الأكسجين (O_2) بحسب المعادلة الكيميائية الآتية:

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

احسب المحتوى الحراريّ للتفاعل من قيم المحتوى الحراريّ الفرديّة للروابط.

الحلّ:



- تحتوي الموادّ المُتفاعلة على مولَيْن من روابط H-H قيمة المحتوى الحراريّ للمول الواحد يساوي 436 kJ/mol، ومول واحد من روابط O=O قيمة المحتوى الحراري للمول الواحد يُساوي 495 kJ/mol.
- تحتوي الموادّ الناتجة أربعة مولات من روابط O-H قيمة المحتوى الحراريّ لكلّ مول يُساوي 463 kJ/mol.

الروابط في المواد المتفاعلة		الروابط في المواد الناتجة	
H–H	436 kJ/mol	H–O	463 kJ/mol
H–H	436 kJ/mol	H–O	463 kJ/mol
O=O	495 kJ/mol	H–O	463 kJ/mol
	1367 kJ/mol	H–O	463 kJ/mol
			1852 kJ/mol

$$\Delta H = \sum H_{\text{للروابط في المواد المتفاعلة}} - \sum H_{\text{للروابط في المواد الناتجة}}$$

$$= 1367 - 1852 = -485 \text{ kJ/mol}$$

يُطلِق التفاعل طاقة مقدارها 485 kJ لإنتاج مولَيْن من بخار الماء (H_2O).

مثال 9

يتفكّك غازُ كلوريدِ الهيدروجينِ الى عنصريه وفقًا للمعادلةِ الآتيةِ:

$$2HC\ell_{(g)} \rightarrow H_{2(g)} + C\ell_{2(g)}$$

باستخدامِ **جدولِ (2-5)** أحسبُ الحرارةَ المرافقةَ للتفاعلِ.

الحلّ:

$$H\text{-}C\ell + H\text{-}C\ell \rightarrow H\text{–}H + C\ell\text{–}C\ell$$

- تحتوي الموادّ المُتفاعلة على مولَيْن من روابط H-Cℓ قيمة المحتوى الحراريّ لكل مول يساوي 432 kJ/mol.
- تحتوي الموادّ الناتجة على مول من روابط H-H قيمة المحتوى الحراريّ للمول الواحد يساوي 436 kJ/mol، ومول واحد من روابط Cℓ-Cℓ قيمة المحتوى الحراري للمول الواحد يُساوي 242 kJ/mol.

الروابط في المواد المتفاعلة		الروابط في المواد الناتجة	
H-Cℓ	432 kJ/mol	H–H	436 kJ/mol
H-Cℓ	432 kJ/mol	Cℓ–Cℓ	242 kJ/mol
	864 kJ/mol		678 kJ/mol

$$\Delta H = \sum H_{\text{للروابط في المواد المتفاعلة}} - \sum H_{\text{للروابط في المواد الناتجة}}$$

$$= 864 \text{ kJ/mol} - 678 \text{ kJ/mol} = +186 \text{ kJ/mol}$$

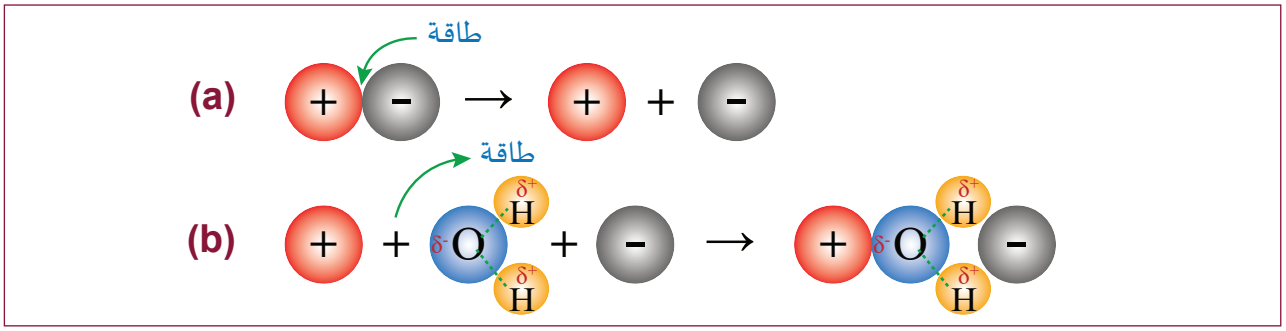
يمتص التفاعل طاقة مقدارها 186 kJ لتفكيك مولَيْن من كلوريد الهيدروجين (H-Cℓ).

نشاط 5-1 التفاعلات الطاردة للحرارة، والتفاعلات الماصّة للحرارة

سؤال الاستقصاء	هل يمكن تحديد ما إذا كانت إذابة المركّبات الأيونية في الماء طاردة للحرارة أم ماصّة لها؟
الموادّ المطلوبة	نيترات الأمونيوم (NH_4NO_3)، هيدروكسيد الصوديوم (NaOH)، ماء مقطّر (ماء خالٍ من الأيونات) أنابيب اختبار 150 mm × 20 عدد 2، حامل أنابيب اختبار، مقياس درجة حرارة (ثيرمومتر)، ميزان، ورق وزن، نظّارات واقية.

خلفية معرفيّة

عندما تذوب المركبات الأيونية في الماء، يتمّ امتصاص طاقة من المحلول نتيجة لانفصالها إلى أيونات موجبة وسالبة (**الشكل 5-14a**)، وتحدث عملية انفصال الأيونات المتعاكسة في شحناتها عندما يتكوّن تجاذب قويّ وكافٍ بين الأيونات ونهايات جُزَيْئات الماء القطبيّة المعاكسة لها. تنطلق الطاقة إلى المحلول عندما تتكوّن الروابط (**الشكل 5-14b**). ويكون التفكّك الكلّي للمركّب طاردًا للحرارة إذا أُطلق مزيد من الطاقة، أو ماصًّا للحرارة إذا حدث امتصاص لمزيد من هذه الطاقة في أثناء هذه العملية.



الشكل 5-14 (a) لكسر الروابط، يتمّ امتصاص طاقة من المحلول، (b) ولتكوين الروابط، تنطلق طاقة إلى المحلول.

خطوات العمل (اعمل ضمن مجموعة ثنائية وارتدِ النظّارات الواقية):

1. زن 4 g تقريبًا من كلّ من نيترات الأمونيوم (NH_4NO_3)، وهيدروكسيد الصوديوم (NaOH)، وضع العيّنات في أنابيب اختبار منفصلة.
2. دوّن درجة حرارة الغرفة، وأضف إلى كلّ أنبوب اختبار ماءً مُقطَّرًا (ماء خاليًا من الأيونات) تكون درجة حرارته مساوية لدرجة حرارة الغرفة، إلى أن يصل مستوى الماء إلى نصف أنبوب الاختبار.
3. حرّك كلّ محلول بمقياس درجة حرارة منفصل مدّة 30 ثانية، ثمّ دوّن قيمة درجة الحرارة الجديدة.

أسئلة (إجابة لكلّ محلول):

a. هل انخفضت درجة حرارة المحلول أم ارتفعت؟
b. هل عملية الذوبان هذه طاردة للحرارة، أم ماصّة للحرارة؟ فسّر إجابتك.

تقويم الدرس 5-1

1. ما قيمةُ التغيرِ في المحتوى الحراريّ ΔH بوحدةِ kJ، إذا علمتَ أن المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة يساوي 120 kJ والمحتوى الحراري للمواد الناتجة يساوي 140 kJ؟

   a. + 260 c. + 20

   b. - 260 d. - 20

2. أيّ من العبارات الآتية صحيحة في ما يتعلّق بالروابط الكيميائية؟

   a. عندما تتكوّن الروابط الكيميائية أو تتكسّر تنطلق طاقة.

   b. عندما تتكوّن الروابط الكيميائية أو تتكسّر يتمّ امتصاص طاقة.

   c. عندما تتكسّر الروابط الكيميائية يتمّ امتصاص طاقة، وعندما تتكوّن الروابط الكيميائية تنطلق طاقة.

   d. عندما تتكسّر الروابط الكيميائية تنطلق طاقة، وعندما تتكوّن الروابط الكيميائية يتم امتصاص طاقة.

3. أيّ من العبارات الآتية صحيحة في ما يتعلّق بقيمة حرارة التفاعل ذات الإشارة الموجبة؟

   a. يتمّ امتصاص طاقة، وتُكتب في جانب المواد المتفاعلة للمعادلة الكيميائية.

   b. يتمّ امتصاص طاقة، وتُكتب في جانب المواد الناتجة للمعادلة الكيميائية.

   c. تنطلق طاقة، وتُكتب في جانب المواد المتفاعلة للمعادلة الكيميائية.

   d. تنطلق طاقة، وتُكتب في جانب المواد الناتجة للمعادلة الكيميائية.

4. أيّ من العبارات الآتية صحيحة في ما يتعلّق بالتفاعلات الطاردة للحرارة؟

   a. تمتصّ طاقة، ولها قيمة حرارة تفاعل ذات إشارة موجبة.

   b. تُطلق طاقة، ولها قيمة حرارة تفاعل ذات إشارة موجبة.

   c. تمتصّ طاقة، ولها قيمة حرارة تفاعل ذات إشارة سالبة.

   d. تُطلق طاقة، و لها قيمة حرارة تفاعل ذات إشارة سالبة.

5. إذا علمتَ أنّ المحتوى الحراريَّ للموادِّ المتفاعلةِ في تفاعلٍ ما يُساوي 50 kJ، وأنّ المحتوى الحراريَّ للموادِّ الناتجةِ يُساوي 32 kJ.

   اِحسبِ التغيُّرَ في المحتوى الحراريّ ΔH للتفاعلِ. ثم حدِّدْ نوعَ التفاعلِ من حيثُ كونُه طاردًا أو ماصًّا للحرارةِ.

6. إذا أُعطيت المعادلة الكيميائية العامة الآتية:

$$A + B \longrightarrow C + D$$

   أعِد كتابة المعادلة السابقة موضحًا أنها تمتلك قيمة حرارة تفاعل تساوي -50 kJ.

7. هل الجملة الآتية صحيحة أم غير صحيحة: تكون الطاقة اللازمة لكسر الرابطة الكيميائية مساوية للطاقة المنطلقة عندما يتكوّن النوع نفسه من الروابط الكيميائية.

الدرس 2-5

مخطّطات الطاقة للتفاعلات الكيميائيّة

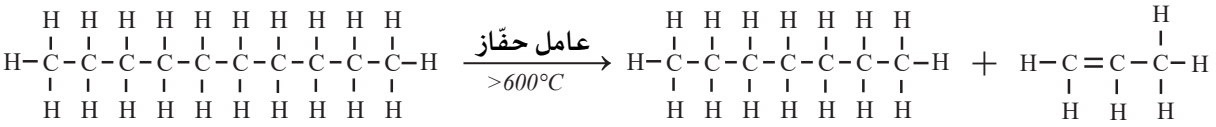
Energy Diagrams of the Chemical Reactions

تذكّر أنّ العوامل الحفّازة تغيّر ميكانيكية التفاعل الكيميائي من خلال خفض طاقة التنشيط وتسريع حدوث التفاعل. إنّ مركّب الديكان مثلًا، $C_{10}H_{22}$، هو مركّب سائل شفّاف تمّ فصله عن النفط (البترول) في أبراج التقطير في مصافي تكرير النفط (**الشكل 5-15**). في العملية التي تُسمّى "التكسير الحفزي"، يُستخدَم العامل الحفّاز لتكسير مركّب الديكان والجزيئات الكبيرة الأخرى المشتقّة من النفط إلى جزيئات أصغر تكون أكثر استخدامًا وذات قيمة اقتصادية أكبر (**الشكل 5-16**).

الشكل 5-15 مصفاة لتكرير النفط في دولة قطر.

$$C_{10}H_{22(l)} \xrightarrow[>600°C]{\text{عامل حفّاز}} C_7H_{16(l)} + C_3H_{6(g)}$$

ديكان — هبتان — بروبين



الشكل 5-16 يُستخدَم العامل الحفّاز لتكسير جزيئات الديكان إلى جزيئات أصغر (هبتان وبروبين) أكثر استخدامًا وذات قيمة اقتصادية أكبر.

في هذا الدرس، سوف تُستخدم مخطّطات الطاقة لوصف التغيّر في المحتوى الحراري في أثناء حدوث التفاعلات الطاردة والتفاعلات الماصّة للحرارة، وسوف يظهر تأثير العامل الحفّاز في هذه المخطّطات لفهم الزيادة التي تُحدثها العوامل الحفّازة في معدّلات سرعة التفاعلات من دون أن تُستهلَك.

مخرجات التّعلُّم

C1007.3 يمثّل التفاعلات الطاردة للحرارة والتفاعلات الماصّة للحرارة وطاقة التنشيط باستخدام مخطّط الطاقة.

C1007.4 يوضّح كيف يمكن أن يوفّر العامل الحفّاز مسارًا بديلًا من الطاقة مع طاقة تنشيط أقلّ.

المفردات

Energy diagram	مخطّط الطاقة
Reaction coordinate	مسار التفاعل
Activation energy	طاقة التنشيط
Activated complex	المعقَّد المُنشَّط

التفاعل الكيميائي إما ساخنًا أو باردًا؟

تمتصّ التفاعلات الماصّة للحرارة الطاقة الحرارية من الوسط المحيط، وتُخزَّن الطاقة الممتصّة على هيئة طاقة كيميائية. وعندما يفقد الوسط المحيط تلك الطاقة، فإنّ كلّ شيء موجود حول التفاعل الكيميائي، بما في ذلك التفاعل الكيميائي نفسه، سوف يصبح أكثر برودة.

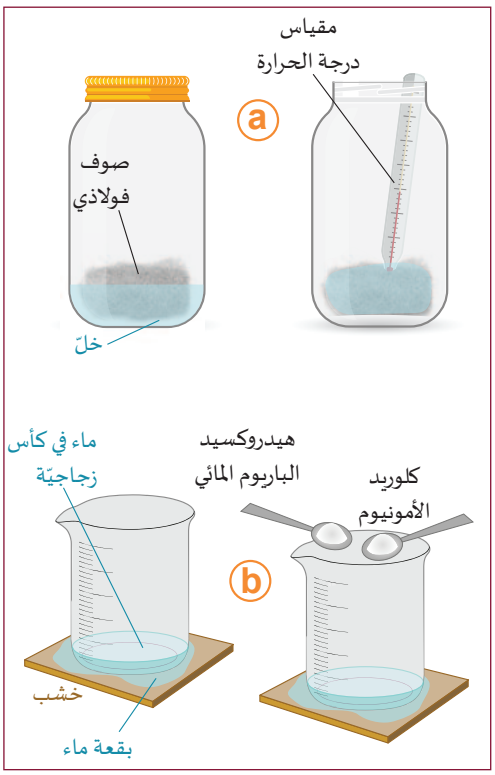
تُطلق التفاعلات الطاردة للحرارة الطاقة الحرارية إلى الوسط المحيط، لأنّ هذه الطاقة الحرارية المنطلقة كانت سابقًا طاقة كيميائية مخزَّنة في داخل المواد المتفاعلة. عندما يمتصّ الوسط المحيط الطاقة الحرارية المنطلقة، فإنّ كلّ شيء حول التفاعل الكيميائي، بما في ذلك التفاعل الكيميائي نفسه، سوف يصبح أكثر سخونة.

عرض عملي

a. تفاعُل الخل مع الصوف الفولاذي

1. يملأ المعلم جرة زجاجية الى نصفها بالخلّ.
2. يضع المعلم قطعة من الصوف الفولاذي داخل الجرة الزجاجية . ثم يضع غطاء الجرة وتُهزّ جيدًا كي تبلّل القطعة الصوفية الفولاذية كليًّا بالخلّ.
3. بعد أن تُبلّل قطعة الصوف الفولاذي بالخلّ، يُزال الفائض من الخلّ من الجرّة وتُعاد قطعة الصوف الفولاذي إليها بعد أن يُزال الغطاء عنها ويوضع مقياس درجة الحرارة أو مُستشعر حراري على قطعة الصوف الفولاذي المبلّلة كليًّا بالخلّ .

لاحظ التغير في مقياس درجة الحرارة (**الشكل 5-17a**).



الشكل 5-17 (a) تفاعُل بين الصوف الفولاذيّ والخلّ. (b) تفاعُل بين هيدروكسيد الباريوم المائي وكلوريد الأمونيوم.

b. تفاعُل هيدروكسيد الباريوم المائي مع كلوريد الأمونيوم

1. يُصبّ الماء في كأس زجاجيّة إلى ارتفاع 1cm وتوضع على قطعة خشبيّة عليها بقعة صغيرة من الماء.
2. تُضاف ملعقة من هيدروكسيد الباريوم المائي ومعلقة من كلوريد الأمونيوم وتُحرّك جيّدًا (**الشكل 5-17b**).
3. خلال دقيقتَين، يُلاحَظ تكوُّن طبقة من الجليد على جوانب الكأس الزجاجيّة. وعند محاولة إزالة الكأس الزجاجيّة، نلاحظ تحوُّل بقعة الماء على قطعة الخشب إلى جليد.

أسئلة

a. صف ما حدث داخل كلّ من الجرة الزجاجيّة والكأس الزجاجيّة.

b. ما الدليل الذي لاحظته كي تُصنّف كلّ من التفاعلَيْن على أنّه طارد للحرارة أو ماصّ للحرارة ؟

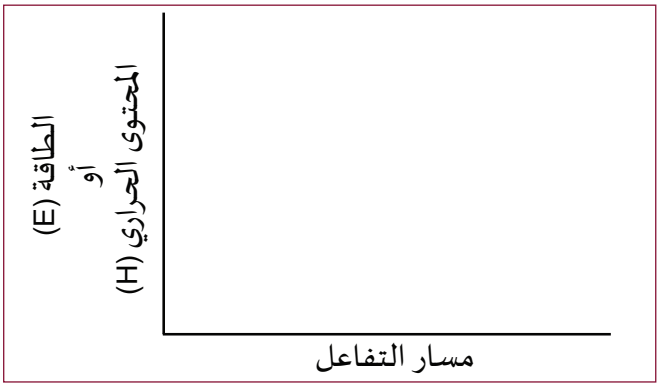
مخطّطات الطاقة

المحتوى الحراري هو طاقة حرارية مخزَّنة؛ تتغيّر خلال التفاعل الكيميائي. يُظهر **مخطّط الطاقة Energy diagram** كيف تتغيّر الطاقة لنظام ما أثناء حدوث التفاعل الكيميائي.

تُظهر مخطّطات الطاقة كيف يتغيّر المحتوى الحراري لنظام ما أثناء حدوث تفاعل كيميائي.

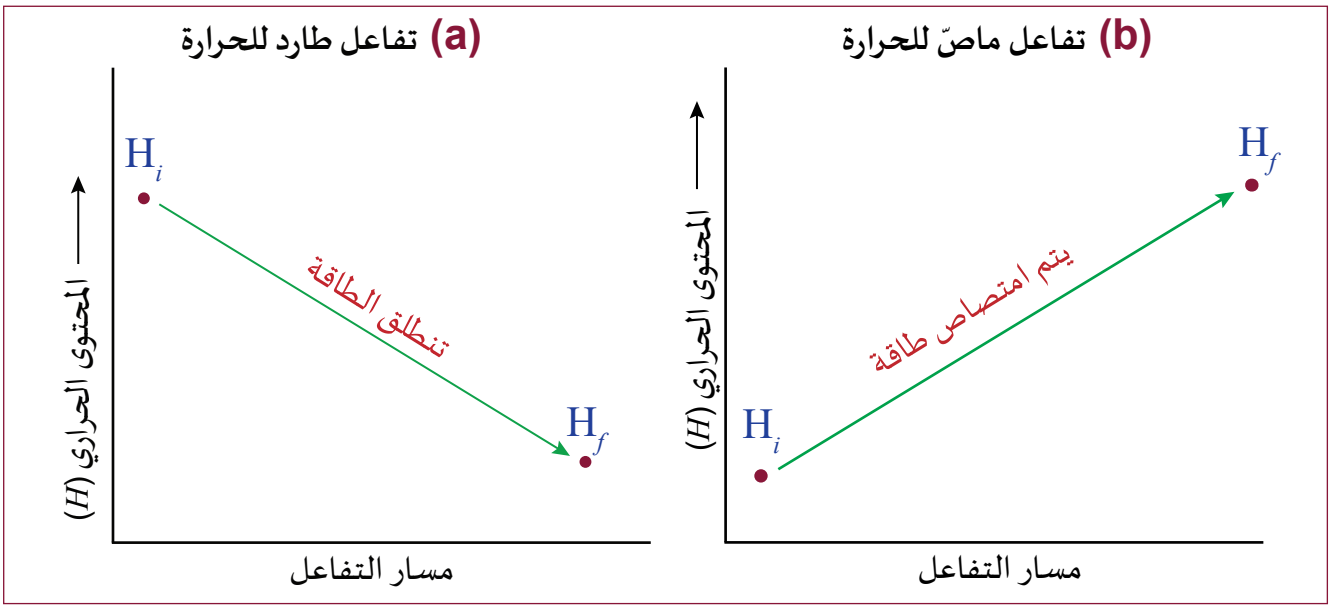
يُظهر **الشكل 5-18** كيف تتمّ عنونة محورَيْ مخطّط الطاقة، فالمحور الصادي تتم عنونته إما بـ "الطاقة (E)"، أو بـ "المحتوى الحراري (H)"، أمّا المحور السيني فتتمّ عنونته بـ"مسار التفاعل".

يُعدّ **مسار التفاعل Reaction coordinate** مسارًا مختصرًا يمثّل عملية تقدّم التفاعل الكيميائي أثناء ميكانيكية حدوثه.



الشكل 5-18 عنونة المحورَيْن على مخطّط الطاقة.

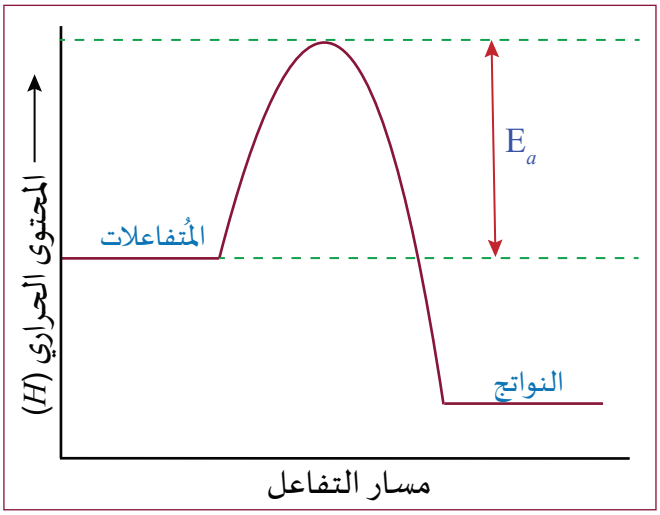
تُطلق التفاعلات الطاردة للحرارة طاقة عن طريق تحويل الطاقة الكيميائية المخزَّنة إلى طاقة حرارية. وعلى مخطّط الطاقة، سوف يكون المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة (المحتوى الحراري الابتدائي، H_i) أعلى من المحتوى الحراري للمواد الناتجة (المحتوى الحراري النهائي، H_f)، وهذا موضّح في **الشكل 5-19a**. والعكس صحيح أيضًا بالنسبة إلى التفاعل الماصّ للحرارة، حيث تُخزَّن الطاقة الحرارية على هيئة طاقة كيميائية، إذ يزداد المحتوى الحراري للنظام، وتمتلك المواد الناتجة محتوًى حراريًّا أعلى من المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة (**الشكل 5-19b**).



الشكل 5-19 (a) تكون الطاقة الابتدائية أعلى من الطاقة النهائية للتفاعل الطارد للحرارة. (b) أمّا في التفاعل الماصّ للحرارة فتكون الطاقة النهائية أعلى من الطاقة الابتدائية.

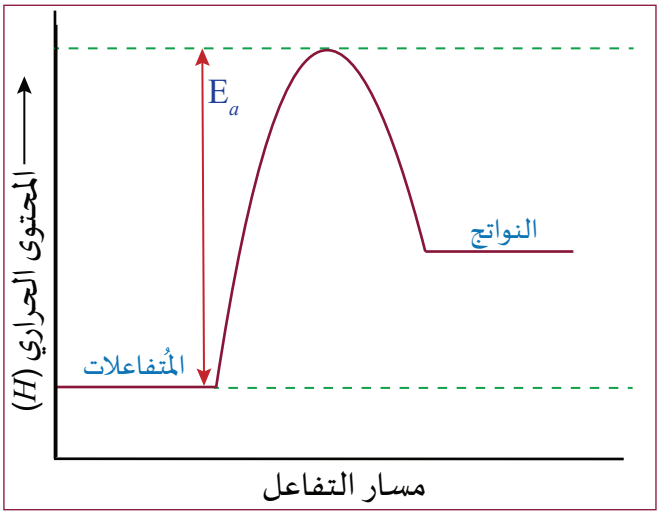
مخطّطات الطاقة – طاقة التنشيط

تذكّر أن التفاعلات الكيميائية جميعها تحتاج إلى حدّ أدنى من الطاقة لكي يحدث التفاعل الكيميائيّ تُسمّى **طاقة التنشيط Activation energy (Ea)**. طاقة التنشيط هي الطاقة اللازمة لكسر الروابط بين ذرّات الموادّ المُتفاعلة من أجل تكوين نواتج. يبيّن **الشكل 20-5** مخطّط طاقة لتفاعل طارد للحرارة حيث تمثّل القمّة طاقة التنشيط للتفاعل. لاحظ أنّ المحتوى الحراري للموادّ المُتفاعلة هو أعلى من المحتوى الحراريّ للموادّ الناتجة.



الشكل 20-5 مخطّط الطاقة لتفاعل طارد للحرارة.

أمّا مخطّط الطاقة للتفاعل الماصّ للحرارة فمُوضَّح في **الشكل 21-5**، لاحظ أن المحتوى الحراري للمواد الناتجة هو أعلى من المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة.

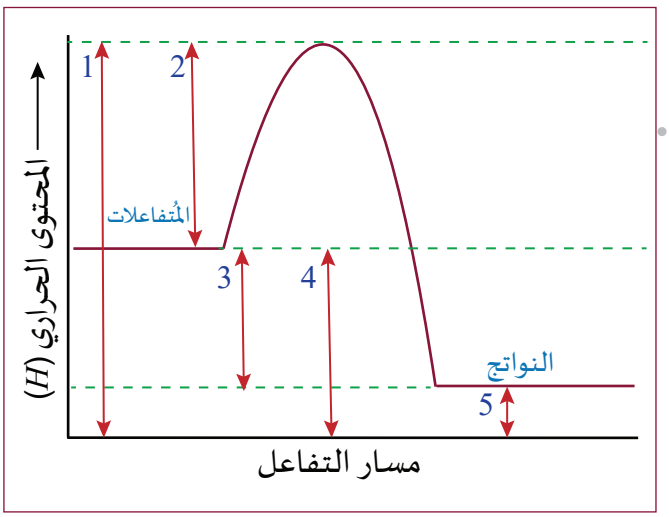


الشكل 21-5 مخطّط الطاقة لتفاعل ماصّ للحرارة.

في بعض التفاعلات الكيميائية تكون طاقة التنشيط منخفضة جدًا بحيث تكون درجة حرارة الغرفة كافية لبدء التفاعل، أما في تفاعلات أخرى فتحتاج التفاعلات إلى مصدر طاقة خارجي، مثل شعلة أو تسخين، للوصول إلى طاقة التنشيط اللازمة لبدء التفاعل الكيميائي.

مثال 10

أيُّ سهم من الأسهم الموجودة في المخطّط المجاور يمثّل طاقة التنشيط للتفاعل الكيميائي؟

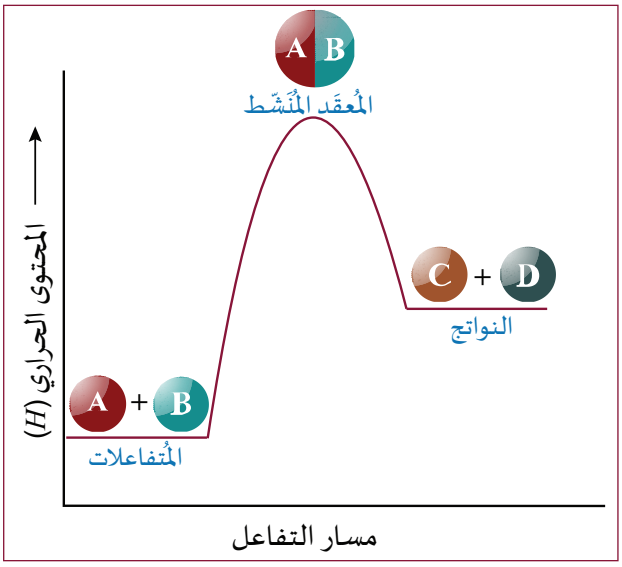


الحلّ:

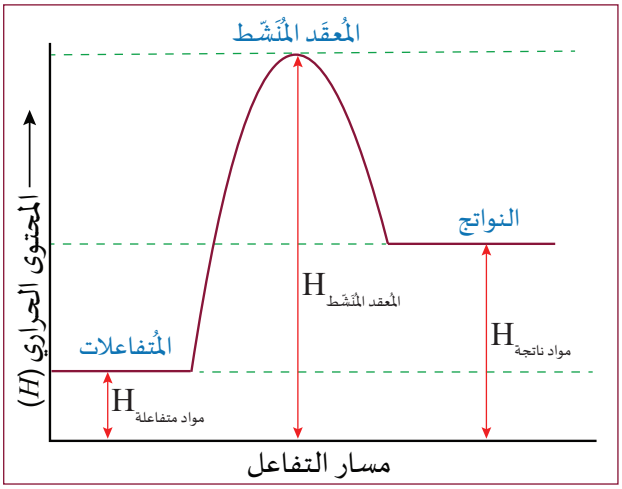
- يتمّ تمثيل طاقة التنشيط بسهم يمتدّ من المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة إلى أعلى قِمّة منحنى الطاقة؛ وفي هذا المخطّط، يمثّل السهم الذي يحمل الرقم 2 طاقة التنشيط لهذا التفاعل الكيميائي.

مخطّطات الطاقة – المُعقَّد المُنَشَّط (Ac)

عندما يصطدم جُسَيْمان معًا بطاقة تنشيط مناسبة وباتجاه فراغي صحيح، ولفترة وجيزة وبزمن مناسب، سيتكوّن جُسَيْم معقّد نشط للغاية، وغير مستقر بشكل كبير يُسمّى **المُعقَّد المُنَشَّط Activated complex (Ac)** (**الشكل 22-5**). يمكن أن يتفكّك هذا المُعقّد المُنَشَّط مكوّنًا المواد الناتجة. تكون قيمة المحتوى الحراري للمُعقَّد المُنَشَّط الأعلى من بين الجُسَيْمات جميعها الموجودة في ميكانيكية التفاعل، وتتموضع قيمة المحتوى الحراري له عند أعلى قمّة منحنى الطاقة في كلا المنحنيَيْن، سواء في منحنى الطاقة للتفاعلات الطاردة للحرارة أو منحنى الطاقة للتفاعلات الماصّة للحرارة. يُظهر **الشكل 23-5** الأسهم التي تمثّل قيم المحتوى الحراري لكلّ من المواد المتفاعلة، والمُعقّد المُنَشَّط، والمواد الناتجة.



الشكل 22-5 يتموضع المُعقّد المُنَشَّط على قمة منحنى الطاقة.



الشكل 23-5 يمتلك المُعقّد المُنَشَّط قيمة محتوى حراري أعلى من قيمة المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة والمواد الناتجة.

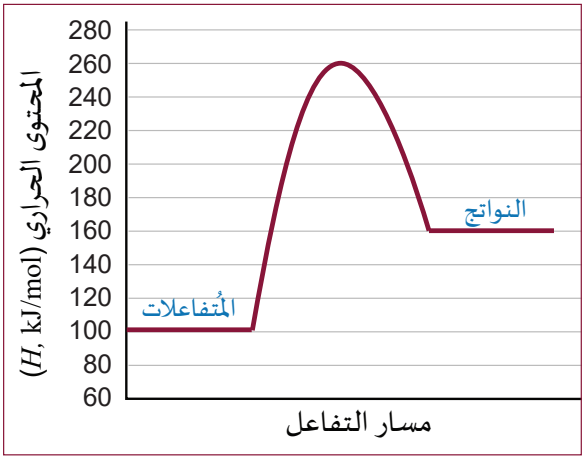
تذكّر أنه لا يمكن معرفة المحتوى الحراري لمادّة ما بشكل مُطلق ومع ذلك، وبشكل نظري، فإذا كانت قيم المحتوى الحراري لكلّ من المواد المتفاعلة، والمُعقّد المُنَشَّط، والمواد الناتجة هي 20، و 80، و 40 على التوالي، فما قيمة طاقة التنشيط للتفاعل؟ استعن بالشكل 23-5 للإجابة عن السؤال.

مثال 11

يمثّل مخطّط الطاقة المُجاور مسار تفاعل لتفاعل كيميائيّ ما.

a. هل هذا التفاعل ماصّ للحرارة أو طارد للحرارة.

b. احسب طاقة التنشيط لهذا التفاعل.



الحلّ:

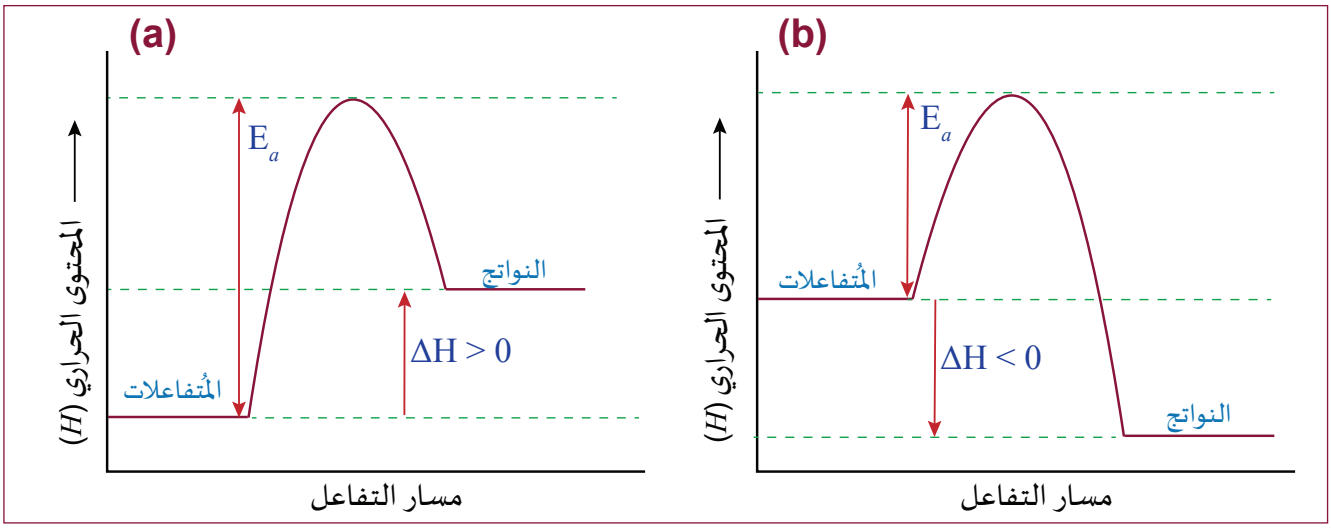
a. التفاعل ماصّ للحرارة وذلك لأنّ المحتوى الحراريّ للموادّ الناتجة أعلى من المحتوى الحراريّ للموادّ المُتفاعلة .

b. $E_a = 260 - 100 = 160 \text{ kJ/mol}$

مخطّطات الطاقة – حرارة التفاعل (ΔH)

تذكّر أنّ حرارة التفاعل (ΔH) هي الطاقة الممتصّة أثناء حدوث تفاعل ماصّ للحرارة، أو الطاقة المُنطلقة أثناء حدوث التفاعل الطارد للحرارة، وهي تمثّل بالإضافة إلى ذلك الفرق بين قيمة المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة وقيمة المحتوى الحراري للموادّ الناتجة.

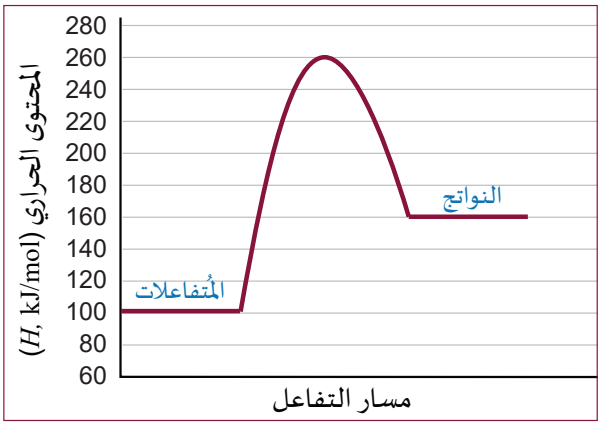
- في التفاعل الماصّ للحرارة (**الشكل 5-24a**)، تكون قيمة حرارة التفاعل (ΔH) موجبة وذلك لأنّ المحتوى الحراريّ للموادّ الناتجة أعلى من المحتوى الحراريّ للموادّ المُتفاعلة .
- أمّا في التفاعل الطارد للحرارة (**الشكل 5-24b**). فإنّ قيمة حرارة التفاعل (ΔH) سالبة، لأنّ المحتوى الحراريّ للموادّ المُتفاعلة أعلى من المُحتوى الحراريّ للموادّ الناتجة.



الشكل 5-24 تمثيل حرارة التفاعل (a) مخطّط طاقة لتفاعل ماصّ للحرارة، و (b) مخطّط طاقة لتفاعل طارد للحرارة.

مثال 12

احسب قيمة التغيّر في المحتوى الحراري للتفاعل (ΔH) المُمثَّل بمُخطَّط الطاقة في الشكل المُجاوِر. هل التفاعل ماصّ للحرارة أم طارد للحرارة؟



الحلّ:

حرارة التفاعل هي الفرق بين المحتوى الحراريّ للموادّ الناتجة والمحتوى الحراريّ للموادّ المُتفاعلة ومن خلال الشكل المُجاور:

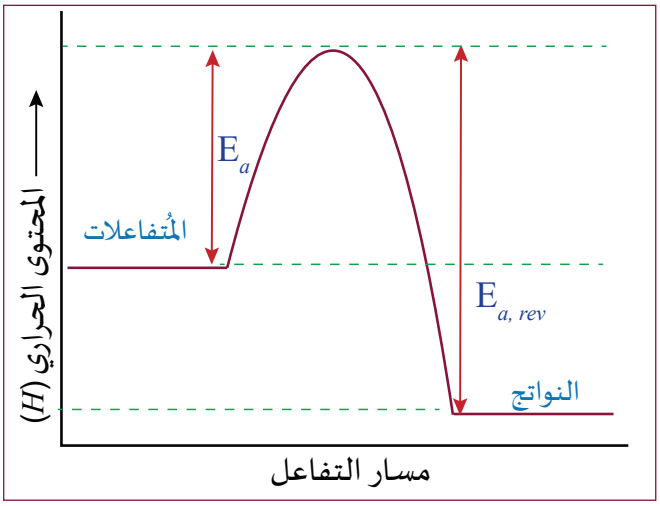
$$\Delta H = 160 - 100 = +\ 60\ kJ/mol$$

هذا التفاعل هو تفاعل ماصّ للحرارة لأنّ قيمة التغيُّر في المحتوى الحراريّ قيمة موجبة.

اشرح، من حيث قيم المحتوى الحراري الابتدائية والنهائية، كيف يتطابق الحل الأول للمثال 12 مع الصيغة الرياضية لحرارة التفاعل (ΔH) المعطاة في الدرس 5-1.

مخطّطات الطاقة – التفاعلات القابلة للانعكاس

تكون بعض التفاعلات قابلة للانعكاس؛ وهذا يعني أنّ المواد الناتجة عن التفاعل القابل للانعكاس يمكن أن تتفاعل لتكوين المواد المتفاعلة الأصلية. فإذا كان التفاعل الأمامي طاردًا للحرارة، فإنّ التفاعل العكسي يجب أن يكون ماصًّا للحرارة، أمّا إذا كان التفاعل الأمامي ماصًّا للحرارة، فيجب أن يكون التفاعل العكسي طاردًا للحرارة. يبيّن **الشكل 5-25** طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي الطارد للحرارة، E_a، وللتفاعل العكسي الماصّ للحرارة، $E_{a,\ rev}$، ويتمّ تفسير التفاعل العكسي عن طريق قراءة مخطّط الطاقة من اليمين إلى اليسار.



الشكل 5-25 قيمة طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي (E_a)، وقيمة طاقة التنشيط للتفاعل العكسي ($E_{a,\ rev}$).

مثال 13

ما العلاقة بين قيمتَيْ حرارة التفاعل (ΔH) للتفاعل الأمامي والتفاعل العكسي في تفاعل قابل للانعكاس؟

الحلّ:

- يمكن أن تُعطى قيمة حرارة التفاعل للتفاعل الأمامي عن طريق العلاقة الرياضية:

$$\Delta H_{\text{أمامي}} = \sum H_{\text{مواد ناتجة}} - \sum H_{\text{مواد متفاعلة}}$$

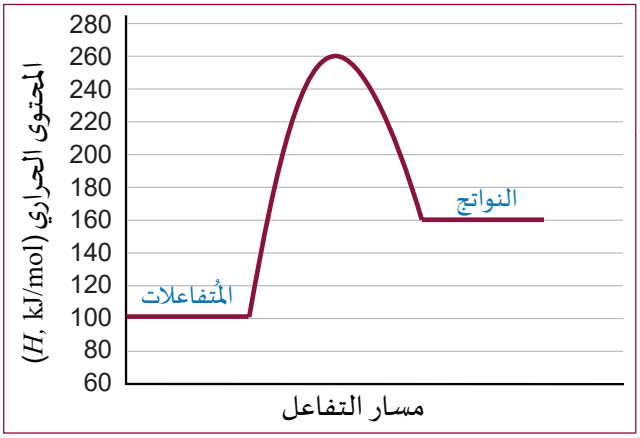
- يمكن أن تُعطى قيمة حرارة التفاعل للتفاعل العكسي عن طريق العلاقة الرياضية:

$$\Delta H_{\text{عكسي}} = \sum H_{\text{مواد متفاعلة}} - \sum H_{\text{مواد ناتجة}}$$

لهذا، تكون لحرارتَيْ التفاعل الأمامي والعكسي القيمة نفسها، إلّا أنهما متعاكستان في الإشارة.

مثال 14

احسب طاقة التنشيط للتفاعل العكسيّ المُمثَّل بمخطّط الطاقة الظاهر في الشكل المجاور .



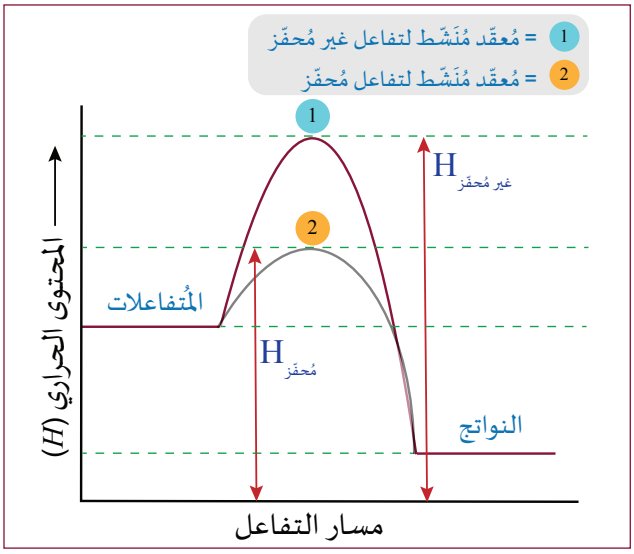
الحلّ:

في التفاعل العكسي، طاقة التنشيط هي الفرق في المحتوى الحراريّ بين الموادّ الناتجة والمعقد المنشّط:

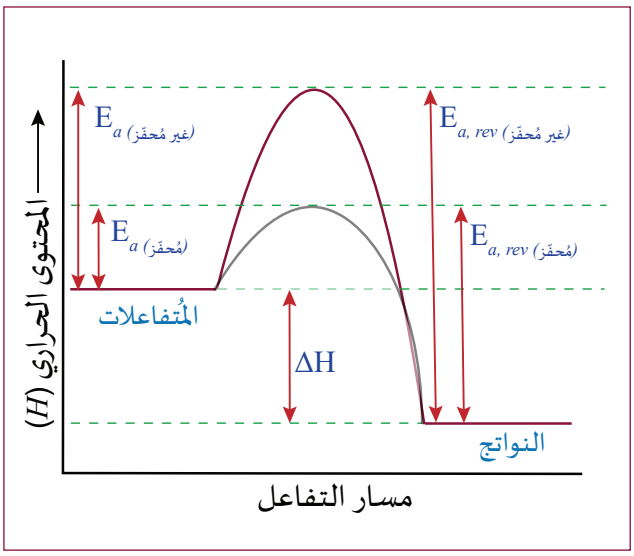
$$E_a = 260 - 160 = 100\ \text{kJ/mol}$$

مخطّطات الطاقة – أثر العامل الحفّاز

يزيد العامل الحفّاز من سرعة التفاعل الكيميائي من دون أن يُستهلك، وذلك عن طريق تغيير ميكانيكية التفاعل إلى تفاعل له طاقة تنشيط منخفضة؛ إذ يمتلك المُعقَّد المُنَشَّط في التفاعل المُحفَّز قيمة محتوى حراري أقل من المُعقَّد المُنَشَّط في التفاعل غير المُحفَّز (**الشكل 5-26**).



الشكل 5-26 يمتلك المُعقَّد المُنَشَّط في التفاعل المُحفَّز قيمة محتوى حراري أقلّ من المُعقَّد المُنَشَّط في التفاعل غير المُحفَّز.



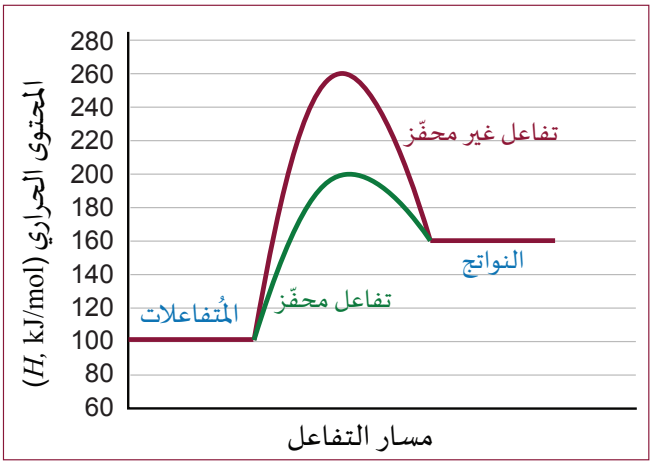
الشكل 5-27 يُخفض العامل الحفّاز قيم طاقة التنشيط لكل من التفاعلات الأمامية والتفاعلات العكسية.

ينتج عن انخفاض المحتوى الحراري للمُعقَّد المُنَشَّط في التفاعل المُحفَّز طاقة تنشيط أقلّ لحدوث التفاعل.

لاحظ في (**الشكل 5-27**) أنّ العامل الحفّاز يُخفض أيضًا طاقة التنشيط اللازمة لحدوث التفاعل العكسي في التفاعل القابل للانعكاس، ويزيد العامل الحفّاز معدل سرعة كلا التفاعلَيْن الأمامي والعكسي؛ لاحظ في (**الشكل 5-27**) أيضًا أنه، وبسبب أنّ العامل الحفّاز لا يُغيّر قيم المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة أو المواد الناتجة، فإن قيمة حرارة التفاعل (ΔH) لا تتغيّر عند إضافة العامل الحفّاز المناسب للتفاعل .

مثال 15

ما قيمة طاقة التنشيط لكلّ من التفاعل المحفّز وغير المحفّز المُبيَّن في مخطّط الطاقة في الشكل المُجاور. ما أهميّة العامل الحفّاز لهذا التفاعل من حيث طاقة التنشيط.



الحلّ:

- طاقة التنشيط للتفاعل غير محفّز :

$$E_a = 260 - 100 = 160 \text{ kJ/mol}$$

- طاقة التنشيط للتفاعل المحفّز :

$$E_a = 200 - 100 = 100 \text{ kJ/mol}$$

يخفض العامل الحفّاز قيمة طاقة التنشيط وبذلك يعمل على زيادة سرعة التفاعل الكيميائي .

نشاط 5-2 ملاحظة تفاعل مُحفَّز

سؤال الاستقصاء	هل يمكن ملاحظة أثر العامل الحفّاز في التفاعل الكيميائي؟
الموادّ المطلوبة	محلول فوق أكسيد الهيدروجين (H_2O_2) تركيزه 6%، ثاني أكسيد المنجنيز (MnO_2)، يوديد الصوديوم (NaI)، أكسيد الخارصين (ZnO)، أنابيب اختبار (150 mm × 20، عدد 4)، حامل أنابيب اختبار، مخبار مدرّج سعته 10 mL، ملعقة معدنية صغيرة، نظّارات واقية.

خلفية معرفية

يتفكك محلول فوق أكسيد الهيدروجين (H_2O_2) بشكل طبيعي منتجًا غاز الأكسجين (O_2) والماء (H_2O) بحسب المعادلة الآتية:

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

عند درجة حرارة الغرفة، يحدث هذا التفاعل ببطء شديد، ولا يمكن ملاحظته عمليًا. ولكنْ، عند تحفيز التفاعل، تبقى المواد المتفاعلة والناتجة كما هي، إلا أن سرعة التفاعل هي التي ازدادت فقط. في هذه التجربة، ستتمّ مقارنة عيّنة ضابطة من محلول فوق أكسيد الهيدروجين بثلاث عيّنات تحتوي على مواد أخرى مضافة إليها أثناء حدوث التفاعلات، ابحث عن دليل يثبت أن التفاعل قد تمّ تحفيزه، أو أن تفاعلًا كيميائيًا مختلفًا قد حدث.

خطوات العمل (اعمل في مجموعة ثنائية وارتدِ النظّارات الواقية)

1. أحضر 4 أنابيب اختبار، ورقّمها من (1) إلى (4) ثمّ قِسْ وصُبَّ في كلٍّ منها 5.0 mL من محلول فوق أكسيد الهيدروجين تركيزه 6%.
2. أنبوب الاختبار رقم (1) هو العيّنة الضابطة، ولن يُضاف إليه أيّ شيء.
3. ضع عيّنة من ثاني أكسيد المنجنيز (MnO_2) بحجم حبّة بازلاء في أنبوب الاختبار رقم (2)، ودوّن ملاحظاتك.
4. كرّر الخطوة رقم 3 مع يوديد الصوديوم (NaI)، في أنبوب الاختبار رقم (3)، ودوّن ملاحظاتك.
5. كرّر الخطوة رقم 3 مع أكسيد الخارصين (ZnO) في أنبوب الاختبار رقم (4)، ودوّن ملاحظاتك.

أسئلة

a. ما الذي تمّت ملاحظته عندما أُضيف كلّ من ثاني أكسيد المنجنيز (MnO_2)، ويوديد الصوديوم (NaI)، وأكسيد الخارصين (ZnO) إلى محلول فوق أكسيد الهيدروجين في العيّنات الثلاث؟ أجب عن كل محلول بشكل منفصل.

b. أيٌّ من تلك المواد بدت وكأنّها تزيد من سرعة التفاعل الكيميائي؟

c. هل يوجد دليل يُثبت أنّ أيًّا من تلك المواد أدّت إلى حدوث تفاعل كيميائي مختلف؟

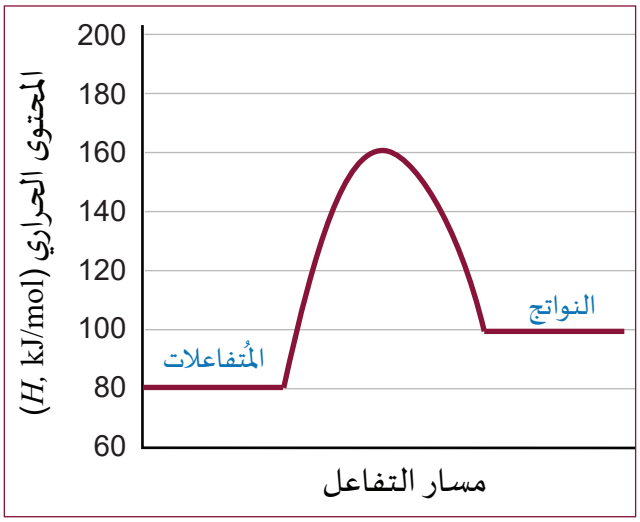
d. أيٌّ من تلك المواد يمكن اعتبارها كعامل حفّاز حقيقي؟ وضّح إجابتك.

تقويم الدرس 5-2

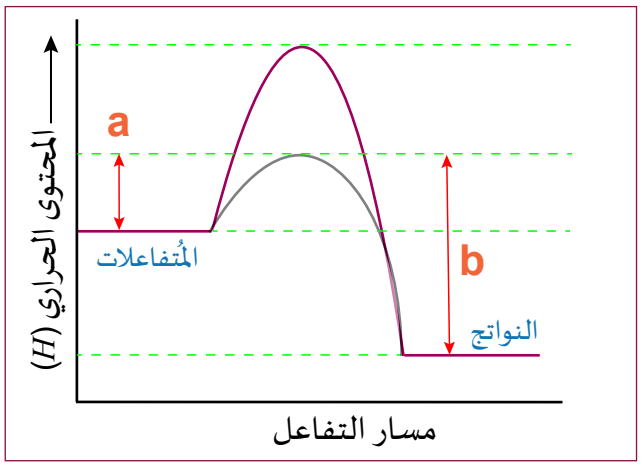
1. ما الكمية التي تظهر بأنها تتغيّر على مخطّط الطاقة؟
   a. المحتوى الحراري
   b. كتلة المتفاعلات
   c. درجة الحرارة
   d. الطاقة الحركية

2. أيّ من الجمل الآتية صحيحة في ما يتعلّق بمخطّط الطاقة لتفاعل طارد للحرارة؟
   a. طاقة الموادّ المتفاعلة مساوية لطاقة الموادّ الناتجة.
   b. طاقة الموادّ المتفاعلة أقلّ من طاقة الموادّ الناتجة.
   c. طاقة الموادّ المتفاعلة أكبر من طاقة الموادّ الناتجة.
   d. يمكن أن تكون طاقة الموادّ المتفاعلة أكبر أو أقلّ من طاقة الموادّ الناتجة أو مساوية لها.

3. ما قيمة التغيُّر في المحتوى الحراري للتفاعل المُمثَّل بمخطّط الطاقة المجاور؟
   a. + 20 kJ/mol
   b. - 20 kJ/mol
   c. + 80 kJ/mol
   d. -100 kJ/mol



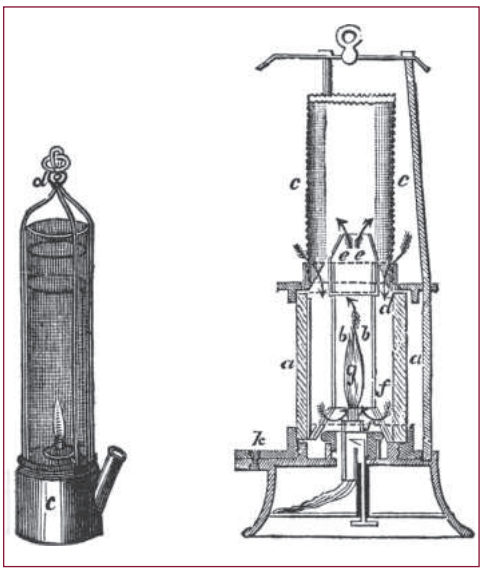
4. ما الذي يمثّله السهم (a) في مخطّط الطاقة المجاور؟
   a. حرارة التفاعل
   b. المُعقَّد المُنَشَّط
   c. طاقة التنشيط للتفاعل المُحفَّز
   d. طاقة التنشيط للتفاعل غير المُحفَّز



همفري ديفي
Humphry Davy: 1778 - 1829

الشكل 5-28 همفري ديفي.

وُلد همفري ديفي (**الشكل 5-28**) في 17 من شهر يناير من العام 1778م لأبوَيْن، هما روبرت ديفي، غريس ميليت. كان همفري أكبر أخوته الخمسة، وقد استمتع في طفولته بكتابة الشعر الذي شاركه مع أصدقائه، واستمرّ معه هذا الشغف طوال حياته، على الرغم من أن معظم قصائده لم تُنشر قطّ؛ كان مولعًا بصنع الألعاب النارية، والصيد، والقنص، وجمع المعادن. في العام 1795م أصبح همفري تلميذًا متدرّبًا عند جون بنجهام بورلاس الذي كان جرّاحًا وصيدليًا؛ في هذه الفترة، زاد شغف ديفي بالعلوم، وبدأ بتنفيذ تجاربه الخاصة. وفي إحدى تجاربه التي تضمّنت استنشاق غاز أكسيد النيتروز (N_2O) والذي كان يُطلق عليه "غاز الضحك"، رأى ديفي أنّه يمكن استخدام هذا الغاز كمخدّر للمرضى الذين سيخضعون لعملية جراحية؛ وفي النهاية، استُخدم لهذا الغرض بالفعل.



الشكل 5-29 مصباح ديفي (الآمن) المُستخدَم من قبل عمال المناجم في الأجواء القابلة للاشتعال.

وبسبب الانفجارات التي حدثت في مناجم الفحم الناجمة عن مصابيح اللهب التي أدّت إلى قتل المئات من العمال، اخترع همفري ديفي مصباحًا آمنًا (**الشكل 5-29**)، وكان أول من عزل أو اكتشف فلزّات الصوديوم، والبوتاسيوم، والمغنيسيوم، والكالسيوم، والسترونشيوم، والباريوم، والبورون.

اكتشف ديفي أيضًا أن البلاتين له تأثير في تسريع أنواع مختلفة من التفاعلات الكيميائية، على عكس الفلزّات الأخرى؛ وبذلك، يكون همفري ديفي قد سجّل أوّل اكتشافاته المتعلّقة بالعامل الحفّاز. وبسبب هذه الإسهامات الكثيرة في مجال الكيمياء، تمّ إنشاء جائزة فلزّ ديفي Davy Metal المرموقة في العام 1877م، والتي لا تزال تُمنح حتى يومنا هذا. عانى همفري ديفي من سكتة دماغية أصيب بها في العام 1826م، فأودت بحياته وهو في مدينة جنيف، في سويسرا في 29 من شهر مايو من العام 1829م، ودُفن هناك في مقبرة بلانبلايس.

الوحدة 5

مراجعة الوحدة

الدرس 5-1: التغيّرات في الطاقة الحراريّة المصاحبة للتفاعلات الكيميائية

- تُخزَّن الطاقة الكيميائية عن طريق الجُسَيْمات المتحرّكة، حيث أنّ تغيّر موقع الجُسَيْمات، أو تركيبها البنائي، أو مكوّناتها يسمح بتخزين الطاقة أو إطلاقها.
- تُسمّى الطاقة المُصاحبة للحركة الاهتزازيّة في المادّة **الطاقة الحراريّة Thermal energy**.
- الطاقة الحراريّة التي تتمّ إضافتها إلى المادّة، أو انتزاعها منها تسمّى **الحرارة Heat**.
- النظام **System** مجموع المادّة والطاقة التي نختارها ونعزلها ضمن حدود معيّنة.
- أيّ شيء آخر موجود في هذا الكون خارج حدود النظام يُسمّى **الوسط المحيط Surroundings**.
- تسمّى الطاقة الحرارية المخزَّنة في مول واحد من المادّة **المحتوى الحراري Enthalpy (H)**.
- التفاعلات الكيميائية جميعها تمتصّ الطاقة الحرارية أو تُطلقها، وتُسمّى هذه الطاقة **حرارة التفاعل Heat of reaction (ΔH)** ووحدتها kJ/mol.
- يُسمّى التفاعل الذي يُطلق طاقة حرارية **تفاعلًا طاردًا للحرارة Exothermic reaction**.
- يُسمّى التفاعل الذي يمتصّ طاقة حرارية **تفاعلًا ماصًّا للحرارة Endothermic reaction**.
- تُظهِر **المعادلة الكيميائية الحراريّة Thermochemical equation** التفاعل والتغيّر في المحتوى الحراريّ له.
- تتضمّن معظم التفاعلات الكيميائية تكسير روابط وتكوينها، وتكون عمليّة تكسير الرابطة عملية ماصّة للحرارة، أمّا تكوين الرابطة الكيميائية فيُعدّ عملية طاردة للحرارة.
- تُسمّى الطاقة اللازمة لكسر الرابطة الكيميائية **المحتوى الحراري للرابطة Bond enthalpy**، وتكون الطاقة اللازمة لكسر رابطة كيميائية مساوية للطاقة المنطلقة عند تكوين تلك الرابطة الكيميائية نفسها.
- **الحالة القياسيّة Standard state** للموادّ المتفاعلة هي الظروف التي تتواجد عندها هذه الموادّ وهي ضغط 1 atm ودرجة حرارة الغرفة أي 25°C وتركيزها 1M.
- **الطاقة الكيميائية Chemical energy** هي الطاقة المخزنة في الروابط بين الذرات، وفي الجزيئات وتنتج عن التفاعل الكيميائي في صورة طاقة حرارية.

الوحدة 5

مراجعة الوحدة

الدرس 5-2: مخطّطات الطاقة للتفاعلات الكيميائية

- يُظهِر **مخطّط الطاقة Energy diagram** كيف يتغير المحتوى الحراري لنظام ما في أثناء حدوث تفاعل كيميائي.
- يكون عنوان المحور السيني لمخطّط الطاقة هو **مسار التفاعل Reaction coordinate**؛ ويمثّل مسار التفاعل هذا عملية تقدّم التفاعل الكيميائي، أمّا عنوان المحور الصادي لمخطّط الطاقة فيكون المحتوى الحراري (H)، أو الطاقة (E).
- عندما تصطدم الجُسَيْمات المتفاعلة باتجاه فراغي مناسب، وبطاقة تنشيط ضرورية ومناسبة، يتكوّن ما يسمّى **المُعقَّد المُنَشَّط Activated complex**، ويكون هذا المعقّد المُنَشَّط نشطًا للغاية، ويتمّ تمثيله عند أعلى قِمّة منحنى مخطّط الطاقة.
- تمثّل **طاقة التنشيط Activation energy (E_a)** لتفاعل ما الفرق في الطاقة بين المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة والمحتوى الحراري للمُعقّد المُنَشَّط.
- تُنشئ العوامل الحفّازة معقّدًا مُنَشَّطًا جديدًا له محتوًى حراريّ أقلّ ويحتاج إلى طاقة تنشيط أقلّ مقارنة بالتفاعل غير المحفّز.
- تكون بعض التفاعلات الكيميائية قابلة للانعكاس، حيث تُظهِر قراءة مخطّط الطاقة من اليمين إلى اليسار التغيّر في المحتوى الحراري للتفاعل العكسي.

أسئلة اختيار من متعدّد

1. أيٌّ من المصطلحات الآتية يصف المحتوى الحراري (H) بالشكل الصحيح؟

a. الطاقة الحرارية.
b. طاقة التنشيط.
c. درجة الحرارة.
d. قوّة الرابطة الكيميائية.

2. أيٌّ من الجمل الآتية صحيحة في ما يتعلّق بالتفاعل الكيميائي المُمثّل بالمعادلة الكيميائية الآتية:

$$S_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow SO_{2(g)} + 296.8\ kJ$$

a. التفاعل طارد للحرارة ويمتصّ طاقة.
b. التفاعل طارد للحرارة ويُطلق طاقة.
c. التفاعل ماصّ للحرارة ويمتصّ طاقة.
d. التفاعل ماصّ للحرارة ويُطلق طاقة.

3. أيٌّ من الجمل الآتية صحيحة في ما يتعلّق بتفاعل كيميائي يمتلك قيمة حرارة تفاعل (ΔH) تساوي $+155\ kJ$؟

a. التفاعل طارد للحرارة ويمتصّ طاقة.
b. التفاعل طارد للحرارة ويُطلق طاقة.
c. التفاعل ماصّ للحرارة ويمتصّ طاقة.
d. التفاعل ماصّ للحرارة ويُطلق طاقة.

4. أيٌّ من الآتي صحيح بالنسبة إلى التفاعلات الطاردة للحرارة؟

a. $\Delta H = 0$
b. $\Delta H > 0$
c. $\Delta H < 0$
d. $\Delta H > \sum \Delta H_{\text{متفاعلات}}$

5. عندما يتفاعل أكسيد الكالسيوم مع الماء يُطلق $65.4\ kJ/mol$ طاقة ويُنتج هيدروكسيد الكالسيوم. أيٌّ من الآتي يمثّل المعادلة الكيميائية الحراريّة لهذا التفاعل؟

a. $CaO_{(s)} + H_2O_{(l)} \rightarrow Ca(OH)_{2(s)} \quad \Delta H = 0$
b. $CaO_{(s)} + H_2O_{(l)} \rightarrow Ca(OH)_{2(s)} \quad \Delta H = +65.4\ kJ/mol$
c. $CaO_{(s)} + H_2O_{(l)} \rightarrow Ca(OH)_{2(s)} \quad \Delta H = -65.4\ kJ/mol$
d. $CaO_{(s)} + H_2O_{(l)} + 65.4\ kJ/mol \rightarrow Ca(OH)_{2(s)}$

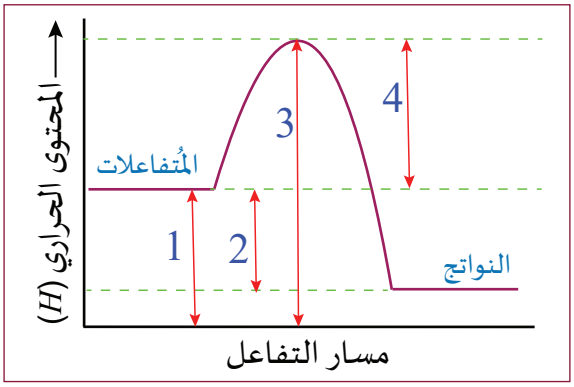
6. لماذا يُعدّ التفاعل طاردًا للحرارة؟

a. لأنّ قيمة المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة تساوي قيمة المحتوى الحراري للمواد الناتجة.
b. لأنّ قيمة المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة أكبر من قيمة المحتوى الحراري للمواد الناتجة.
c. لأنّ قيمة المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة أقلّ من قيمة المحتوى الحراري للمواد الناتجة.
d. لأنّ قيمة المحتوى الحراري للمواد الناتجة أكبر من قيمة المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة.

7. ما عنوان كلّ من المحور السيني، والمحور الصادي على التوالي الموجودَيْن في مخطّط الطاقة؟

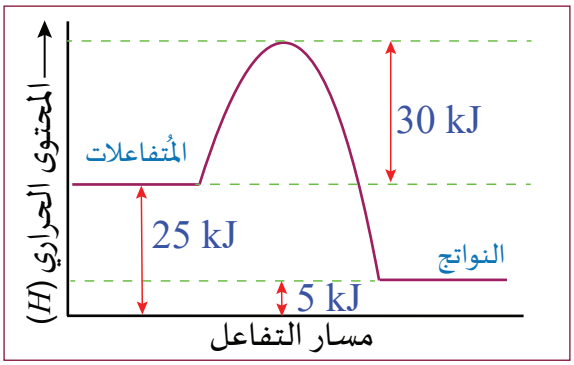
a. المُعقّد المُنَشَّط والمحتوى الحراري
b. مسار التفاعل والمحتوى الحراري
c. المُعقّد المُنَشَّط ودرجة الحرارة
d. مسار التفاعل ودرجة الحرارة

8. ما السهم الذي يمثّل طاقة التنشيط (E_a) للتفاعل الموضّح في مخطّط الطاقة المجاور؟



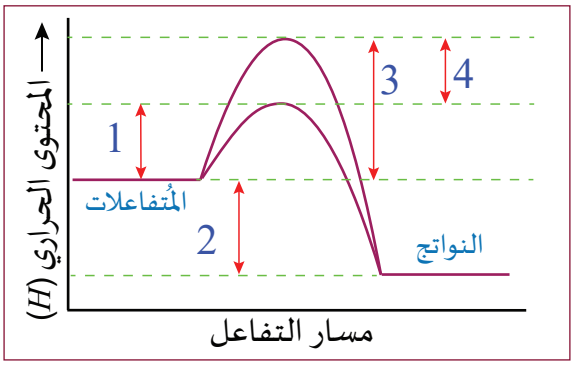
a. 1
b. 2
c. 3
d. 4

9.* ما قيمة المحتوى الحراري (ΔH) للتفاعل المُمثّل في مخطّط الطاقة المجاور؟



a. +20 kJ
b. −20 kJ
c. −25 kJ
d. +60 kJ

10. أيُّ سهم من الأسهم الموجودة على مخطّط الطاقة المجاور، يمكن أن يمثّل طاقة التنشيط (E_a) للتفاعل المُحفَّز؟



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

11. أيٌّ من القيم الآتية تتغيّر عند إضافة عامل حفّاز إلى تفاعل كيميائي ما؟

a. حرارة التفاعل (ΔH).
b. المحتوى الحراري للمُعقّد المُنَشَّط.
c. مجموع المحتوى الحراريّ للموادّ المتفاعلة جميعها .
d. مجموع المحتوى الحراريّ للموادّ الناتجة جميعها.

أسئلة الإجابات القصيرة

الدرس 5-1: التغيّرات في الطاقة الحراريّة المصاحبة للتفاعلات الكيميائية

12. حدد قيمة التغيّر في المحتوى الحراري لتفاعل ما إذا علمت أن مجموع المحتوى الحراري للمتفاعلات هو 120 kJ، ومجموع المحتوى الحراري للنواتج هو 90 kJ. هل هذا التفاعل طاردًا للحرارة أو ماصًا للحرارة؟

13. من حيث الطاقة الممتصّة، أو المنطلقة، ما الذي يحدث عندما تتكسّر رابطة كيميائية؟

14. هل يكون التفاعل طارداً للحرارة، أو ماصّاً للحرارة، إذا كانت إشارة قيمة حرارة التفاعل (ΔH) سالبة؟

15. عند تحضير محلول ما لوحظ أنّ التفاعل ماصّ للحرارة. بهدف قياس الطاقة المُمتصّة في التفاعل، هل تعتبر الماء جزءًا من النظام أو من الوسط المحيط؟ فسّر إجابتك.

16. افترض أن قيمة حرارة التفاعل (ΔH) للتفاعل المُمثّل بالمعادلة الكيميائية الآتية تساوي 1203.2 kJ-:

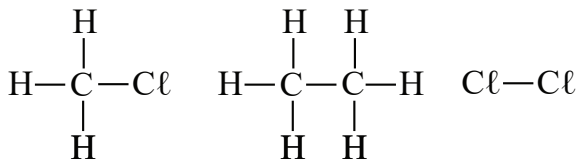
$$2\ Mg_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow 2\ MgO_{(s)}$$

أعد كتابة المعادلة الكيميائية الحراريّة للتفاعل السابق بشكل صحيح متضمّنًا قيمة التغيُّر في المحتوى الحراريّ.

17. يمتلك تفاعل ما قيمة حرارة تفاعل (ΔH) ذات إشارة موجبة؛ هل سيتمّ امتصاص الطاقة عندما يحدث هذا التفاعل أم سيتمّ إطلاقها؟

18.* استخدم الجدول 5-2 (المحتوى الحراريّ للرابطة صفحة 75) لتحدّد ما إذا كان التفاعل في الشكل المُجاور يمتصّ الطاقة الحرارية أم يطلقها؟

$$2CH_3C\ell \rightarrow C_2H_6 + C\ell_2$$



19.* وفقًا للجدول 5-2 (صفحة 75)، هل يتطلّب كسر الرابطة H-H طاقة أكثر من كسر الرابطة C-Cl، أم طاقة أقلّ؟ فسّر إجابتك.

20.* هل التفاعل المُمثّل بالمعادلة الآتية ماصّ للحرارة، أم طارد للحرارة؟ فسّر إجابتك.

$$2Ag_{(s)} + C\ell_{2(g)} \rightarrow 2AgC\ell_{(s)} + 254\ kJ$$

21.** كيف تُخزّن الطاقة الكيميائية في نظام ما؟

22. هل التفاعل الممثّل في المعادلة الآتية ماصّ للحرارة، أم طارد للحرارة؟

$$H_{2(g)} + I_{2(g)} \rightarrow 2\ HI_{(g)} \qquad \Delta H = +53\ kJ/mol$$

23. قارن بين التفاعلات الماصّة للحرارة والتفاعلات الطاردة للحرارة من حيث:

a. الطاقة المصاحبة للتفاعل (مُمتصّة أم منطلقة).

b. إشارة التغير في المحتوى الحراري.

c. العلاقة بين طاقة المُتفاعلات وطاقة النواتج.

d. مكان كتابة قيمة الطاقة في المعادلة الكيميائية الحرارية.

24.** في بعض الأحيان تتكوّن رابطتان كيميائيتان بين ذرّتَيْ الكربون نفسيهما، وتسمّى "رابطة تساهمية ثنائية" بين ذرّتَيْ كربون. ابحث في قيمة المحتوى الحراري لهذه الرابطة، وقارن قيمتها بقيمة المحتوى الحراري للرابطة التساهمية الأحادية التي تتكوّن بين ذرّتَيْ الكربون الموجودة في الجدول 5-2 (صفحة 75). هل تبدو قيمة المحتوى الحراري للرابطة التساهمية الثنائية بين ذرّتَيْ الكربون منطقية من حيث المقارنة؟ وضّح إجابتك.

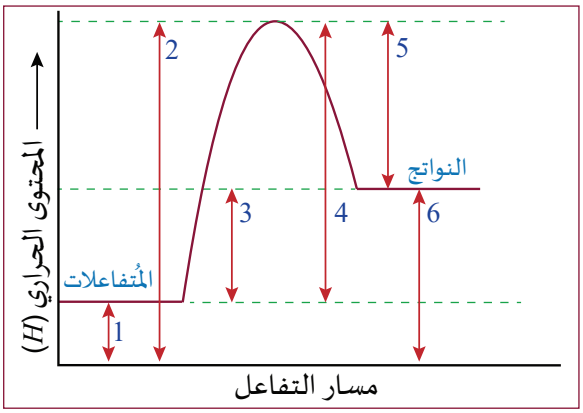
الدرس 2-5: مخطّطات الطاقة للتفاعلات الكيميائية

25. ارسم مخطّط طاقة لتفاعل ماص للحرارة.

يتعلّق السؤالان 26، و27 بتفاعل كيميائي له مخطّط طاقة مُوضَّح في **الشكل 5-30** المجاور.

26. ما السهم الذي يمثّل قيمة المحتوى الحراري للمواد الناتجة؟

27. ما السهم الذي يمثّل قيمة حرارة التفاعل (ΔH)؟

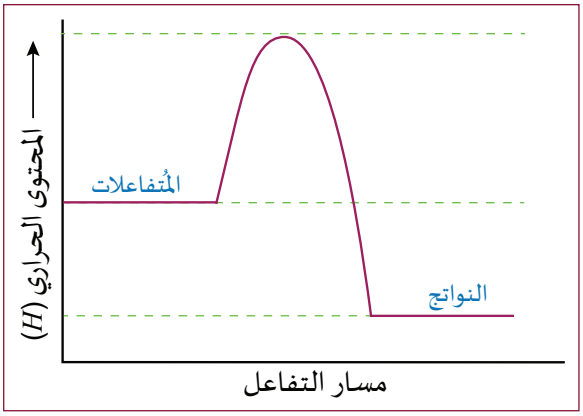


الشكل 5-30 السؤالان 26، و 27.

يتعلّق السؤالان 28، و29 بتفاعل كيميائي له مخطّط طاقة موضّحًا في **الشكل 5-31** المجاور.

28. هل التفاعل ماصّ للحرارة، أم طارد للحرارة؟

29. ارسم شكلًا يوضّح تغيُّر مخطّط الطاقة هذا إذا أضيف إلى التفاعل عامل حفّاز.



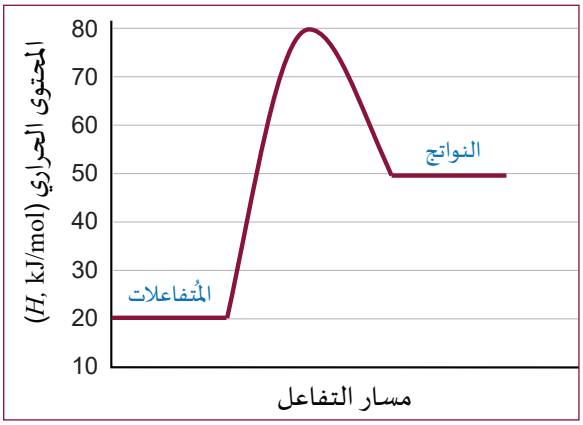
الشكل 5-31 السؤالان 28، و 29.

30. حدّد القيم الآتية مستخدمًا مخطّط الطاقة للتفاعل المجاور (**الشكل 5-32**):

a. طاقة التنشيط E_a

b. حرارة التفاعل ΔH

31. إذا كانت قيمة حرارة التفاعل (ΔH) لتفاعل ما تساوي 275- kJ، ما قيمة حرارة التفاعل للتفاعل العكسي؟



الشكل 5-32 السؤال 30.

32. ارسم، وعنون مخطّط طاقة لتفاعل طارد للحرارة، ويمتلك قيمة حرارة تفاعل (ΔH) تساوي 35- kJ، وقيمة طاقة التنشيط تساوي 25 kJ.

33. اعمل مع زميل لك لبناء مخطّط طاقة ثلاثي الأبعاد لتفاعل طارد للحرارة باستخدام عيدان خشبيّة، أو ماصّات بلاستيكية مغروزة بشكل رأسي في البوليسترين أو الطين (الصلصال) القابل للتشكيل لتثبيتها في مواضعها، ولتشكيل المنحنى. أنشئ منحنًى آخر أمام منحنى العيدان أو الماصّة السابق، بحيث يُظهِر هذا المنحنى الثاني كيف سيتغيّر منحنى مخطّط الطاقة الأول إذا أُضيف إلى التفاعل عامل حفّاز.

الوحدة 6

الكيمياء العضويّة

Organic Chemistry

في هذه الوحدة

C1004
C1005

الدرس 6-1: المفاهيم الأساسيّة للكيمياء العضويّة

الدرس 6-2: الألكانات في الصّناعات البتروكيماويّة

الوحدة 6

مقدّمة الوحدة

الكيمياء العضويّة هي أحد فروع علم الكيمياء الّذي يُعنى بدراسة المُركّبات التي تحتوي على عنصر الكربون.

يراجع الدّرس 6-1 الرّوابط الفريدة من نوعها الّتي تكوّنها ذرّات الكربون، فأبسط المركّبات العضويّة هي الهيدروكربونات، والتي تتكوّن من عنصري الكربون والهيدروجين فقط. سيتمّ في هذا الدّرس وصف التّركيب البنائيّ لبعض الألكانات البسيطة المُختارة، والتي تُعدّ أبسط أنواع الهيدروكربونات، وكيفيّة تسميتها، كما سيتمّ عرض بعض خصائص الألكانات، وارتباط هذه الخصائص بالتّراكيب البنائيّة للجُزَيْئات.

ويبدأ الدّرس 6-2 بمناقشة العلاقة بين الحجم الجُزَيْئيّ لجُزَيْئات ألكان بسيطة واستخداماتها، يليه توصيف لعمليّتَيْن كيميائيّتَيْن مهمّتَيْن تُستخدمان في تكرير النّفط، وهما: الفصل التّجزيئيّ (التّقطير التّجزيئيّ)، والتّكسير الحفزي. وأخيرًا، سيتمّ توضيح اعتماد الإنسان على النّفط الخام، وذلك من حيث أنواع المنتجات المعتمدة على البترول، المستخدمة في كلّ نواحي الحياة المُعاصرة تقريبًا.

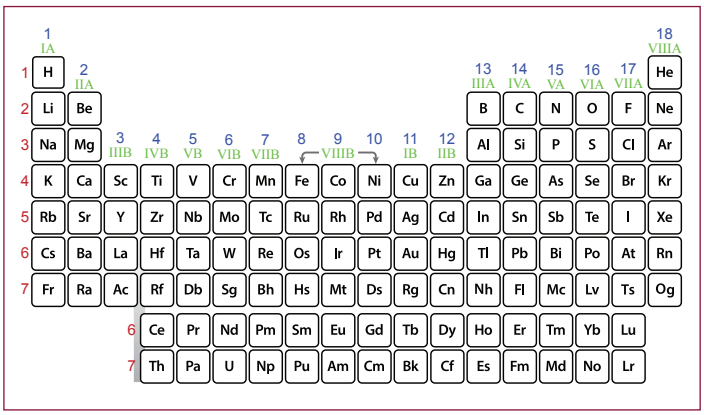
الأنشطة والتجارب

1-6 بناء نماذج لألكانات

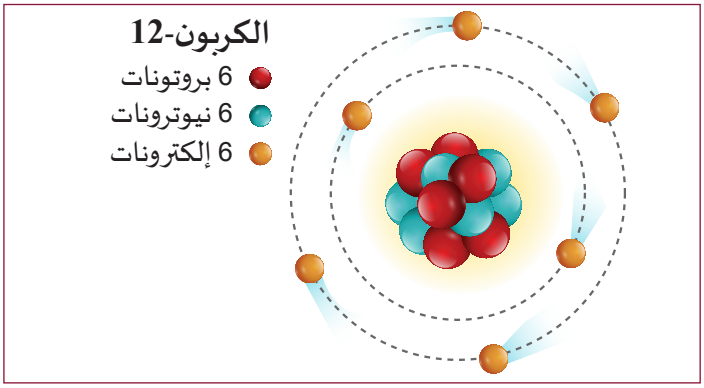
2-6 التّقطير التّجزيئيّ

الدرس 6-1
المفاهيم الأساسيّة للكيمياء العضويّة
Basic Concepts of Organic Chemistry

يوجد 118 عنصرًا معلومًا، وهذه العناصر مُدرجة في الجدول الدّوريّ للعناصر (**الشّكل 6-1**). تتّحد هذه العناصر بعضها مع بعض لتُكوّن مركّبات مثال ثاني أكسيد الكربون (CO_2) والميثان (CH_4). حتّى الآن، يعلن العلماء عن وجود أكثر من 200 مليون مادّة مختلفة مُكوَّنة من هذه العناصر، منها يتواجد بشكل طبيعيّ ومنها صنعها الإنسان، بالإضافة إلى تسجيل الآلاف منها كلّ يوم! بشكل مُشابِه لمُركّب ثاني أكسيد الكربون والميثان، فإنّ معظم المُركّبات يحتوي على عنصر واحد مشترك فيما بينها، ألا وهو عنصر الكربون (**الشّكل 6-2**). تُرى ما الذي يجعل الكربون بالغ الأهمّيّة لتكوين المركّبات؟ ولماذا يمكن أن تتكوّن مركّبات تحتوي على الكربون أكثر من المركّبات التي تحتوي على العناصر الأخرى المرتبطة جميعها؟ في هذا الدّرس، ستتمّ مناقشة خصائص الكربون الفريدة من نوعها التي سوف تجيب عن هذه الأسئلة.



الشكل 6-1 يوجد 118 عنصرًا مدرجًا في الجدول الدّوريّ للعناصر.



الشكل 6-2 نموذج لأكثر نظير من نظائر الكربون شيوعًا، وهو الكربون-12.

مخرجات التّعلُّم

C1004.1 يتذكّر أنّ الكربون يمكن أن يكوّن أربع روابط تساهميّة.

C1004.2 يشرح أنّ التّنوّع الهائل من المركّبات العضويّة الطّبيعيّة والاصطناعيّة هو نتيجة لقدرة الكربون على تكوين عائلات كيميائيّة من مركّبات، وسلاسل، وحلقات متشابهة.

C1005.1 يفسّر ويستخدم التّسميات النّظاميّة، والصّيغ الجُزَيْئيّة، والبنائيّة للألكانات.

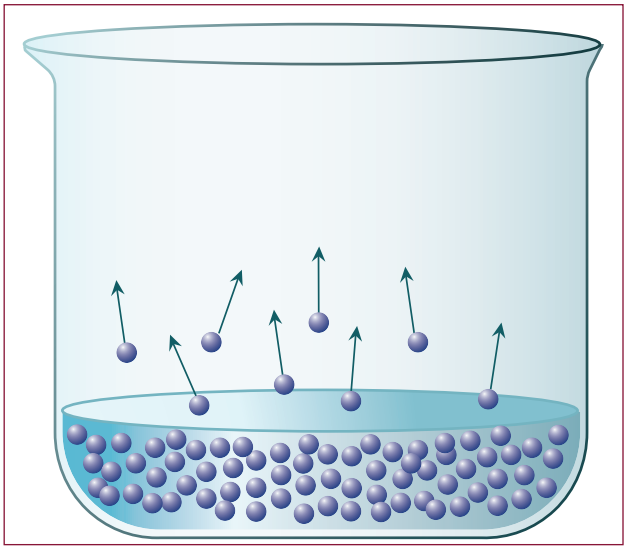
المفردات

الكيمياء العضويّة	Organic chemistry
الهيدروكربونات	Hydrocarbons
هيدروكربونات مشبعة	Saturated hydrocarbons
هيدروكربونات غير مشبعة	Unsaturated hydrocarbons
الألكانات	Alkanes

تحليل معدّلات التّبخّر

خلفيّة معرفيّة

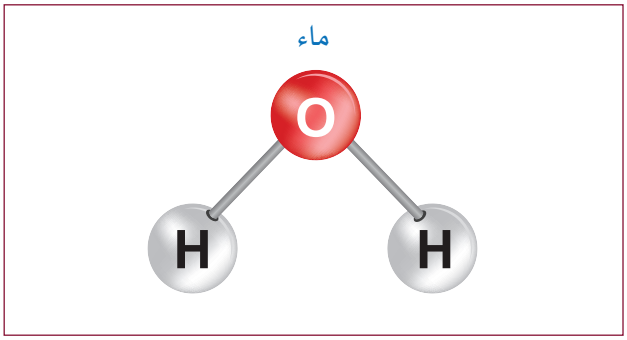
تذكّر أنّه عندما يتبخّر سائل ما، سوف تتغلّب الطّاقة الحركيّة لجُزَيْئات السّطح الموجودة في الحالة السّائلة على قوى التّجاذب الموجودة بين الجُزَيْئات المتجاورة، فتتحرّك هذه الجُزَيْئات وتتحوّل إلى الحالة الغازيّة (**الشّكل 6-3**). وسيتمّ في هذه التّجربة المقارنة بين الماء كمركّب غير عضويّ والأسيتون كمركّب عضويّ من حيث معدّل تبخّر كلٍّ منهما.



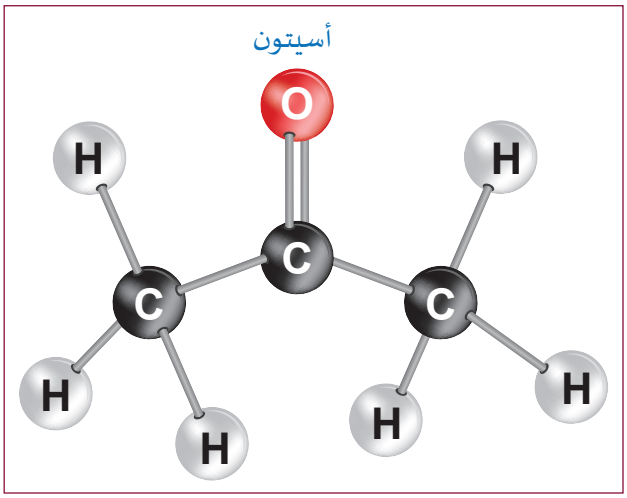
الشكل 6-3 الجُزَيْئات المتبخّرة على سطح سائل.

عرض عمليّ

1. يسخّن المعلّم بِلُطف صحنًا زجاجيًّا نظيفًا فوق كأس زجاجيّة تحتوي على ماء ساخن (حمّام مائيّ ساخن)، ويعرضه لطلّاب الصّفّ لمشاهدته.
2. في الوقت نفسه، سوف يضيف المعلّم 5 نقاط من الماء، و5 نقاط من الأسيتون على الصّحن الزّجاجيّ، فالماء والأسيتون كلاهما صافيان وعديما اللّون، كما أنّ بقعتَي الماء والأسيتون سيكونان بجانب بعضهما بعضًا، إلّا أنّهما لن يتلامسا.
3. سجّل ملاحظاتك حول نقاط كلا السّائلَيْن، ومعدّل التّبخّر بالنّسبة إلى كلّ منهما، ثمّ أجب عن الأسئلة الآتية:



الشكل 6-4 جُزَيْء ماء.



الشكل 6-5 جُزَيْء أسيتون.

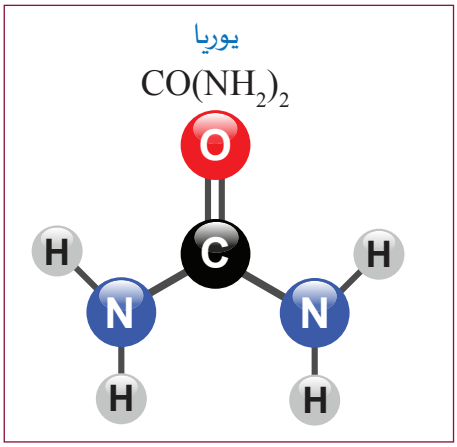
أسئلة

a. هل شكل نقاط الماء مشابه لشكل نقاط الأسيتون؟
b. أيّ من السّائلَيْن تبخّر بشكل أسرع؟
c. أيّ من السّائلَيْن يمتلك قوى التّجاذب الأضعف بين جُزَيْئاته؟ وضّح لماذا اعتُبِرَ أنّ هذا السّائل يمتلك قوى التّجاذب الأضعف.
d. ما الهدف من تسخين الصّحن الزّجاجيّ الذي تمّ وضع نقاط السّائلَيْن عليه؟

نفّذ مع زميل لك جلسة عصف ذهنيّ حول استخدامات السّوائل التي تتبخّر بشكل سريع. ما المخاطر المحتمل حدوثها عند التّعامل مع مادّة سائلة تتبخّر بشكل سريع؟

ما الكيمياء العضويّة؟

الكيمياء العضويّة Organic chemistry هي دراسة المركّبات التي تحتوي على الكربون. وقد استُخدِم مصطلح "عضويّة" بسبب الاعتقاد الذي كان سائدًا بأنّ هذه المركّبات لا يمكن تصنيعها في المختبر، بل يتمّ الحصول عليها من الكائنات الحيّة، مثل النّباتات والحيوانات. إلّا أنّ هذا الاعتقاد تمّ دحضه عام 1828م، وذلك عندما صنّع الكيميائيّ الألمانيّ فريدريك فولر المركّب العضويّ المُسمّى اليوريا (**الشّكل 6-6**) في المختبر، وذلك بتسخين مُركَّب سيانات الأمونيوم NH_4OCN غير العضويّ. وبالتّالي أصبح واضحًا أنّه يُمكن إنتاج الكثير من المُركّبات العضويّة في المختبرات من مُركّبات غير عضويّة وليس فقط من الكائنات الحيّة.



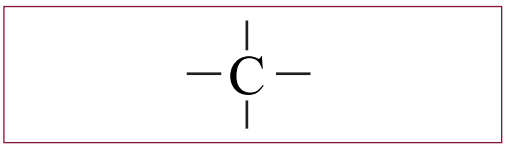
الشكل 6-6 جُزَيْء يوريا.

الكيمياء العضويّة هي دراسة المركّبات التي تحتوي على عنصر الكربون.

ترابط الكربون

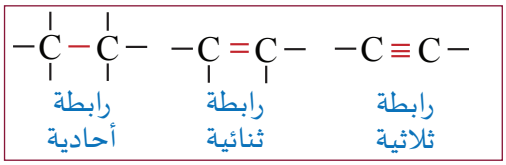
يمتلك الكربون ثلاث خصائص مميّزة تعطيه القدرة على تكوين مركّبات أكثر بكثير من أيّ عنصر آخر. فعنصر الكربون فقط هو الذي يمتلك هذه الخصائص الثّلاث جميعها، ونتيجة لذلك، سيكون هنالك عدد لا حصر له من المركّبات العضويّة التي يمكن أن تتكوّن، وهذه الخصائص هي:

1. يمكن أن تكوّن ذرّات الكربون أربع روابط تساهميّة، فعادة ما تشارك ذرّات الكربون بأربعة إلكترونات (إلكترونات تكافؤ) من إلكتروناتها البالغ عددها ستّة عند تكوينها روابط تساهميّة (**الشّكل 6-7**).



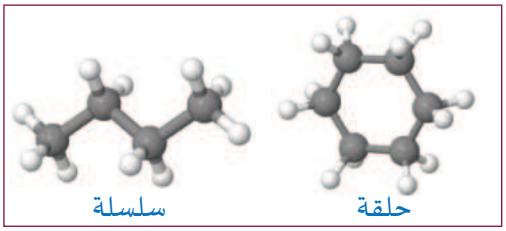
الشكل 6-7 عادة ما تكوّن ذرّات الكربون 4 روابط تساهميّة.

2. يمكن أن تكوّن ذرّات الكربون روابط تساهميّة أحاديّة، أو ثنائيّة، أو ثلاثيّة مع ذرّات الكربون الأخرى (**الشّكل 6-8**). فعندما يتغيّر نوع الرّوابط بين ذرّات الكربون المرتبطة مع بعضها بعضًا، سوف تتغيّر خصائص ذلك المركّب.



الشكل 6-8 تكوّن ذرّات الكربون روابط تساهميّة أحاديّة أو ثنائيّة أو ثلاثيّة بين ذرّات الكربون.

3. يمكن أن ترتبط ذرّات الكربون بطرائق مختلفة مكوّنة بذلك سلاسل مستقيمة، أو حلقات من ذرّات الكربون (**الشّكل 6-9**). كما يمكن أن تتفرّع سلاسل صغيرة من ذرّات الكربون من السّلاسل الكبيرة أو الحلقات، مكوّنة بذلك تراكيب جزيئيّة معقّدة.



الشكل 6-9 يمكن أن يكوّن عنصر الكربون سلاسل مستقيمة أو حلقات من ذرّات الكربون.

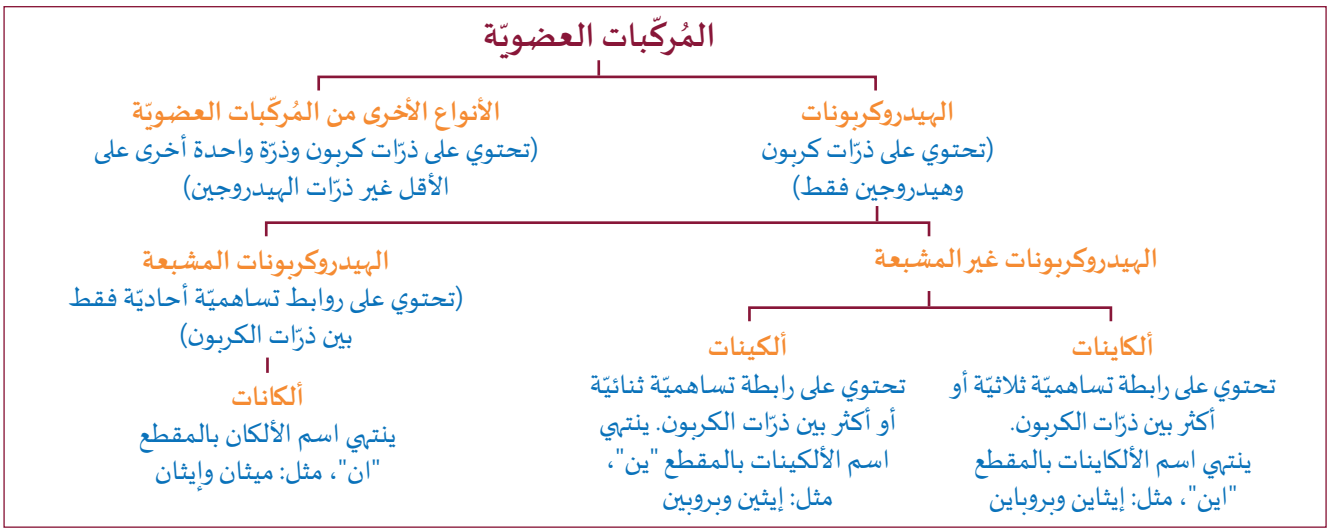
كما يمكن لذرّات الكربون أن تكوّن مركّبات غير عضويّة مثل أوّل أكسيد الكربون (CO)، وثاني أكسيد الكربون (CO_2)، والمُركّباتُ التي تحتوي على المجموعاتِ الأيونيةِ مثل: الكربونات (CO_3^{2-}) كما في كربونات الصوديوم (Na_2CO_3)، والسيانيدات (CN^-) كما في سيانيد البوتاسيوم (KCN).

الهيدروكربونات

تُسمّى أبسط المركّبات العضويّة **الهيدروكربونات Hydrocarbons**؛ وهذه الهيدروكربونات عبارة عن جُزَيْئات تحتوي على ذرّات الكربون والهيدروجين فقط. ويمكن تصنيف الهيدروكربونات إلى نوعَيْن، هما: **الهيدروكربونات المشبعة Saturated hydrocarbons**، و**الهيدروكربونات غير المشبعة Unsaturated hydrocarbons**.

1. تحتوي الهيدروكربونات المشبعة على روابط تساهميّة أحاديّة فقط بين ذرّات الكربون.
2. تحتوي الهيدروكربونات غير المشبعة على رابطة تساهميّة ثنائيّة، أو ثلاثيّة واحدة أو أكثر بين ذرّات الكربون.

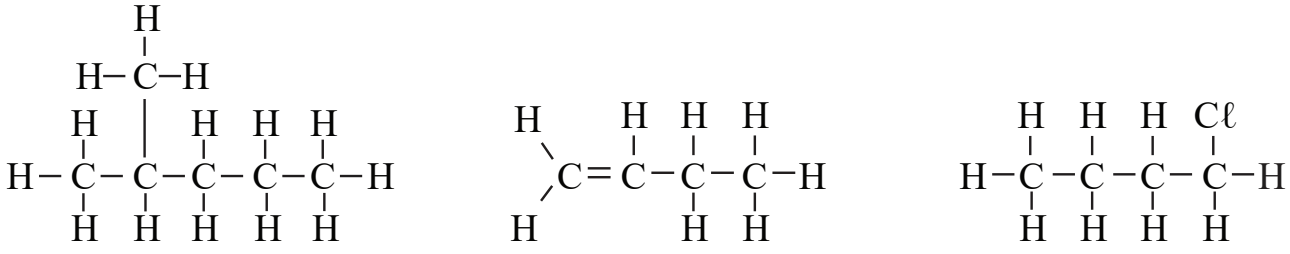
ويبيّن **الشّكل 6-10** خريطة مفاهيميّة توضح تصنيف المُركّبات العضويّة وأنواع الهيدروكربونات.



الشكل 6-10 خريطة مفاهيميّة لتصنيف المُركّبات العضويّة.

مثال 1

أيّ المركّبات الآتية هيدروكربون غير مشبع، وأيّها هيدروكربون مشبع، وأيّها لا يُعَدّ هيدروكربون؟ أعطِ مبرّرًا لكلّ منها.



الحلّ:

- المركّب **(b)** هيدروكربون غير مشبع؛ لأنّه يحتوي على ذرّات كربون، وذرّات هيدروجين فقط، كما يحتوي أيضًا على رابطة تساهميّة ثنائيّة واحدة بين ذرّتي كربون.
- المركّب **(a)** هيدروكربون مشبع؛ لأنّه يحتوي على ذرّات كربون، وذرّات هيدروجين فقط، كما يحتوي أيضًا على روابط تساهميّة أحاديّة فقط بين ذرّات الكربون.
- المركّب **(c)** ليس هيدروكربون؛ لأنّه يحتوي على ذرّة أخرى غير ذرّات الكربون والهيدروجين، وهي ذرّة الكلور (Cℓ).

الألكانات

تُصنَّف الهيدروكربونات وفقًا لتراكيبها الجُزَيْئيّة؛ فأنواع الرّوابط التّساهميّة التي بين ذرّات الكربون، سواء كانت روابط أحادية أم ثنائيّة أم ثلاثيّة، وما إذا كان الجُزَيْء يحتوي على سلاسل أو حلقات من ذرّات الكربون هي أمثلة على تراكيب بنائيّة هيدروكربونيّة مختلفة. وأبسط هذه الهيدروكربونات جميعها تُسمّى **الألكانات Alkanes**، وهذه الألكانات عبارة عن هيدروكربونات مشبعة تحتوي على روابط تساهميّة أحاديّة فقط بين ذرّات الكربون. كما يمكن تحديد الألكانات من صيغها الكيميائيّة، وتمتلك الألكانات الصّيغة الكيميائيّة العامّة: C_nH_{2n+2}؛ $(n\geq 1)$ وهذا يعني أنّ لكلّ عدد من ذرّات الكربون مقداره "n"، سيحتوي الألكان على عدد ذرّات هيدروجين مقداره "2n + 2".

الألكانات هي هيدروكربونات مُشبعة لديها صيغة كيميائيّة عامّة C_nH_{2n+2} بحيث ترتبط جميع ذرّات الكربون بعضها مع بعض بروابط تساهميّة أحاديّة C–C.

تسمية الألكانات

يتمّ تسمية الألكانات، إلى جانب الكثير من الأنواع الأخرى من المركّبات العضويّة، باستخدام بادئة تحدّد عدد ذرّات الكربون المكوّنة لأطول سلسلة موجودة في الجُزَيْء، وللإشارة إلى أنّ الجُزَيْء هو ألكان، يُضاف المقطع (ان) إلى نهاية البادئة. يبيّن **الجدول 6-1** البادئات المُستخدمة لتحديد السّلاسل التي تتكوّن من ذرّة كربون واحدة وصولًا إلى 10 ذرّات كربون مع أسماء وصيغ الألكانات العشر الأوائل.

الجدول 6-1 بادئات أسماء المركّبات العضويّة مع أسماء وصيغ الألكانات العشر الأوائل.

عدد ذرّات الكربون	البادئة	اسم الألكان	الصّيغة الجُزَيئيّة للألكان
1	ميث	ميثان	CH_4
2	إيث	إيثان	C_2H_6
3	بروب	بروبان	C_3H_8
4	بيوت	بيوتان	C_4H_{10}
5	بنت	بنتان	C_5H_{12}
6	هكس	هكسان	C_6H_{14}
7	هبت	هبتان	C_7H_{16}
8	أوكت	أوكتان	C_8H_{18}
9	نون	نونان	C_9H_{20}
10	ديك	ديكان	$C_{10}H_{22}$

هل يمكنك تحديد أربعة ألكانات على الأقلّ من الجدول 6-1 تُستخدم كوقود؟ ابحث عن استخدام واحد لكلّ منها.

مثال 2

إذا كان لديك ألكان يحتوي على 6 ذرّات كربون، تُمثّل أطول سلسلة مستقيمة من ذرّات الكربون:

a. ما اسم هذا الألكان؟

b. ما صيغته الكيميائيّة؟

الحلّ:

- باستخدام **الجدول 6-1**، يمكن تحديد سلسلة الكربون التي تتكوّن من 6 ذرّات باستخدام البادئة "هكس"، وبما أنّ المركّب هو ألكان، فسوف ينتهي اسمه بالمقطع "ان"، لهذا فإنّ اسم هذا الألكان هو **هكسان**.
- باستخدام الصّيغة العامّة للألكانات "C_nH_{2n+2}"، بالنّسبة إلى ألكان يتكوّن من 6 ذرّات كربون: $n = 6$
$2n + 2 = (2 \times 6) + 2 = 14$ وبذلك يكون عدد ذرّات الهيدروجين في صيغة هذا الألكان هو 14.
لهذا، فإنّ صيغته الكيميائيّة هي C_6H_{14}.

مثال 3

يحتوي جُزيء ألكان على 7 ذرّات كربون مرتبطة بعضها مع بعض بسلسلة مستقيمة.

a. ما عدد ذرّات الهيدروجين في جُزَيْء الألكان هذا؟

b. ما اسم هذا الألكان.

الحلّ:

a. استخدم الصّيغة الكيميائيّة العامّة للألكانات وهي C_nH_{2n+2}، لتحديد عدد ذرّات الهيدروجين في صيغة هذا **الألكان**.
عدد ذرّات الكربون هو 7 لذلك $n = 7$. لذلك فإنّ عدد ذرّات الهيدروجين يساوي $2n + 2$
عدد ذرّات الهيدروجين $= (2 \times 7) + 2 = 16$

b. من الجدول 6-1 تُسمّى بادئة المركّب العضويّ الذي لديه سبع ذرّات كربون بـ"هبت"، وبما أنّه ألكان ينتهي الاسم بالمقطع "ان"، لذلك فإنّ اسم هذا الألكان هو **هبتان**.

مثال 4

يحتوي جُزيء ألكان على 22 ذرّة هيدروجين.

a. ما عدد ذرّات الكربون في جُزيء الألكان هذا؟

b. ما اسم هذا الألكان إذا كانت ذرّات الكربون جميعها مرتبطة بعضها مع بعض بسلسلة مستقيمة.

الحلّ:

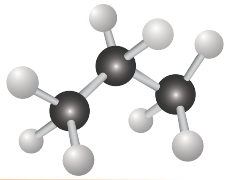
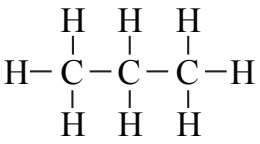
a. استخدم الصّيغة الكيميائيّة العامّة للألكانات وهي C_nH_{2n+2}، لتحديد عدد ذرّات الكربون في صيغة هذا الألكان.
عدد ذرّات الهيدروجين هو $2n + 2 = 22$ بذلك يكون قيمة n هي 10. لذلك فإنّ عدد ذرّات الكربون في هذا الجُزيء هو 10.

a. من الجدول 6-1 تُسمّى بادئة المُركّب العضويّ الذي لديه 10 ذرّات كربون بـ"ديك"، وبما أنّه ألكان ينتهي الاسم بالمقطع "ان"، لذلك فإنّ اسم هذا الألكان هو **ديكان**.

تمثيل الجُزَيْئات العضويّة

خلال دراسة ووصف المُركّبات العضويّة، يُعدّ التّركيب البنائيّ أهمّ بكثير من الصّيغة الجُزيئيّة، وذلك لأنّ التّركيب البنائيّ يوضح نوع وعدد الرّوابط بين الذّرّات، يستخدم الكيميائيّون عدّة طرائق مختصرة لتمثيل الجُزَيْئات العضويّة، وهي موضّحة في **الجدول 6-2**؛ تصف القائمة الآتية كلّ تمثيل باستخدام ألكان مكوّن من ثلاث ذرّات كربون، وهو البروبان، مثال على ذلك:

الجدول 6-2 تمثيل البروبان بصيغ مختلفة.

	البروبان
1	الصّيغة الجُزَيئيّة
	C_3H_8
2	نموذج الكرات والعصيّ
	
3	نموذج ملء الفراغ
4	الصّيغة البنائيّة
	
5	الصّيغة البنائيّة المُكثَّفة
	$CH_3CH_2CH_3$
6	الصّيغة الهيكليّة

1. تبيّن الصّيغة الجُزَيْئيّة عدد الذرّات الموجودة في الجُزَيْء ونوعها.
2. يبيّن نموذج الكرات والعصيّ التّركيب ثلاثيّ الأبعاد (3D) للجُزَيْء.
3. يبيّن نموذج ملء الفراغ السّطح ثلاثيّ الأبعاد (3D) للجُزَيْء.
4. تبيّن الصّيغة البنائيّة التّركيب ثنائيّ الأبعاد (2D) للجُزَيْء. وتوضح ترتيب الذّرّات وأنواع الرّوابط بينها.
5. تبيّن الصّيغة البنائيّة المُكثَّفة التّركيب ثنائيّ الأبعاد (2D) للجُزَيْء. وهي صيغة بنائيّة مُختصرة مع حذف الرّوابط بين الذّرّات.
6. تبيّن الصّيغة الهيكليّة التّركيب ثنائيّ الأبعاد (2D) للجُزَيْء بطريقة مُختصرة، وهي الطّريقة الأكثر استخدامًا لتمثيل الجُزَيْئات العضويّة.

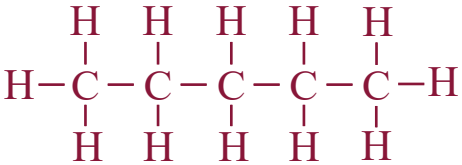
وإليك القواعد المتّبعة في قراءة الصّيغة الهيكليّة، ورسمها:

- تمثّل كلّ زاوية، أو كلّ تقاطع، أو نهاية كلّ خطّ ذرّة كربون.
- يتمّ تمثيل كلّ من الرّابطة الأحاديّة بواسطة خطّ واحد، والرّابطة الثّنائيّة بواسطة خطّيْن، والرّابطة الثّلاثيّة بواسطة ثلاثة خطوط.
- لا تظهر ذرّات الهيدروجين في الصّيغة الهيكليّة، ولكن يُفترض وجودها حول كلّ ذرّة كربون بحسب نوع الرّوابط في الجُزَيْء.

مثال 5

اكتب الصّيغة البنائيّة والصّيغة البنائيّة المُكثَّفة لمُركّب البنتان.

الحلّ: البنتان هو ألكان لديه 5 ذرّات كربون في صيغته الجُزَيْئيّة، لذلك صيغته البنائيّة هي:

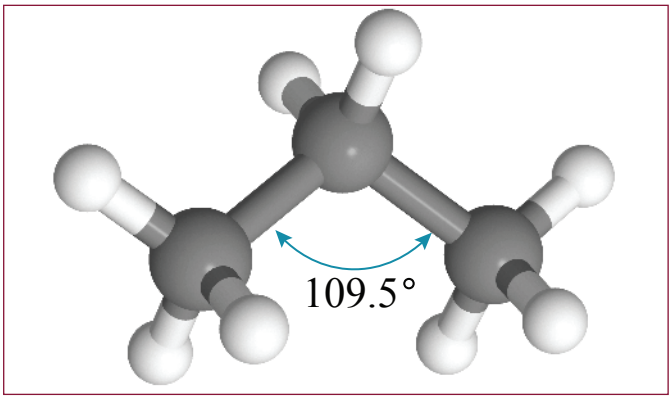


الصّيغة البنائيّة المُكثَّفة هي:

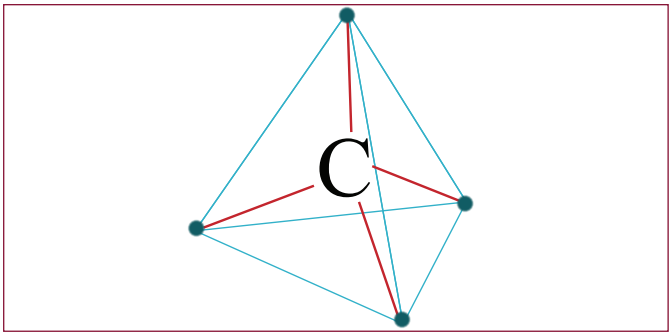
$$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_3$$

تمثيل الألكانات

قارن "نموذج الكرات والعصيّ" بـ "الصّيغة البنائيّة" للبروبان الموجود في **الجدول 6-2**. لاحظ أنّ قيمة زاوية الرّابطة التي تقع بين ذرّات الكربون الثّلاث المتجاورة في "الصّيغة البنائيّة" تساوي 180°، أمّا في "نموذج الكرات والعصيّ" فتكون قيمة زاوية الرّابطة التي تقع بين ذرّات الكربون المتجاورة مختلفة إلى حدّ كبير، إذ يُمثّل "نموذج الكرات والعصيّ" الشّكل الهندسيّ الفراغيّ للجُزَيْئات العضويّة بالشّكل الصّحيح. ففي **الشّكل 6-11**، تظهر هذه الزّاوية بشكل مثاليّ بأنّها تساوي القيمة 109.5°؛ وذلك لأنّ الرّوابط الأربع التي تتكوّن من ذرّة الكربون تمتدّ إلى رؤوس هرم رباعيّ الأوجه منتظم (**الشّكل 6-12**)، والتي تكوّن زوايا مقدار كلّ منها 109.5°. كما أنّ الصّيغة الهيكليّة للجُزَيْئات تُمثّل زاوية الرّابطة بشكل صحيح أيضًا.

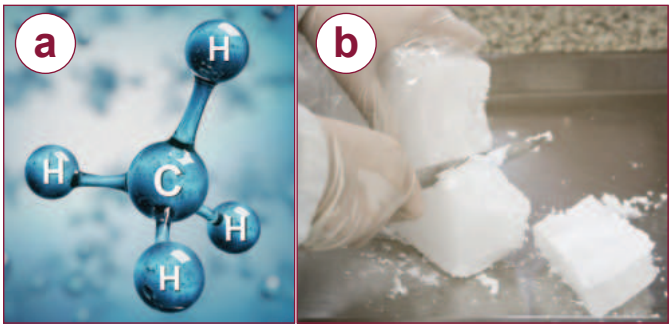


الشكل 6-11 قيمة الزّاوية التي تكوّنت بين ذرّات الكربون المرتبطة تساوي 109.5°.



الشكل 6-12 تمتدّ الرّوابط الأربع لذرّة الكربون إلى رؤوس هرم رباعيّ الأوجه منتظم وبزوايا مقدار كلّ منها يساوي 109.5°.

تُعرف الألكانات أيضًا بسلسلة الميثان، أو سلسلة البارافين للهيدروكربونات، إذ يُعدّ الميثان، CH_4، أصغر الألكانات (**الشّكل 6-13a**)، وستتمّ مناقشة أهمّيّته واستخداماته في **الدّرس 6-2**، أمّا البارافين (**الشّكل 6-13b**) فعبارة عن مخلوط مُكوَّن من ألكانات ذات سلاسل طويلة، وهو عبارة عن الشّمع الشّائع المعلوم بالنّسبة إلينا.



الشكل 6-13 (a) الميثان، و(b) شمع البارافين.

مثال 6

ارسم الصّيغة الهيكليّة لجُزَيْء البيوتان.

الحلّ:

البادئة "بيوت" تعني أنّ هناك 4 ذرّات كربون موجودة في أطول سلسلة كربون ذرّتان منها تُمثّلان بداية كلّ خطّ وذرّتان تُمثّل كلّ منهما زاوية في الصّيغة.

تمثيل الألكانات – تابع

مثال 7

ارسم الصّيغة البنائيّة للهبتان.

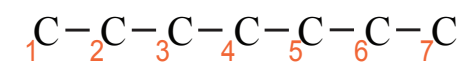
الحلّ:

1. البادئة "هبت" تعني أنّ هناك 7 ذرّات كربون موجودة في أطول سلسلة كربون. والمقطع "ان" يعني أنّ هناك 7 ذرّات كربون جميعها مرتبطة بروابط تساهميّة أحاديّة.

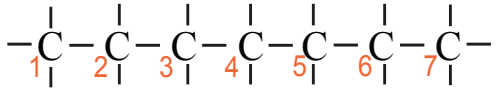
2. عيّن الرّوابط الإضافيّة المرتبطة بذرّات الكربون جميعها إلى أن تملك كل ذرّة كربون أربع روابط.

3. ضع ذرّة هيدروجين عند نهاية كلّ رابطة من الرّوابط المضافة.

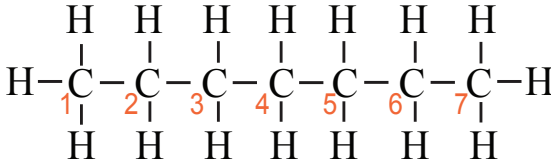
1



2



3



مثال 8

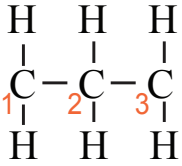
ارسم الصّيغة البنائيّة، واذكر اسم الألكان الذي يحمل الصّيغة البنائيّة المكثّفة: $CH_3(CH_2)_3CH_3$.

الحلّ:

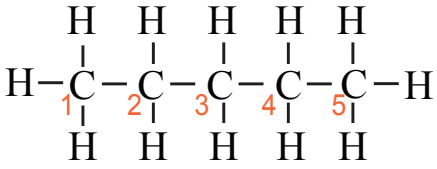
1. $(CH_2)_3$ تعني بأنّ هناك ثلاث مجموعات CH_2 مرتبطة معًا على التّوالي.

2. توجد مجموعتا CH_3 عند نهايتَي هذه السّلسلة المكوّنة من 3 ذرّات كربون، ينتج عن ذلك ما مجموعه 5 ذرّات كربون موجودة في أطول سلسلة.

1



2



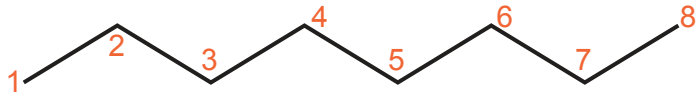
3. البادئة التي تُظهر سلسلة مكوّنة من 5 ذرّات كربون هي "بنت"، وبما أنّ الألكان ينتهي بالمقطع "ان"، فإنّ اسم الألكان هو البنتان.

مثال 9

سمِّ الألكان من صيغته الهيكليّة في الشّكل المُجاور.

الحلّ:

1. رقّم ذرّات الكربون التي توجد عند نهاية كلّ خط.



2. الألكان الذي يتكوّن من 8 ذرّات كربون يُسمّى الأوكتان.

الخصائص العامّة للألكانات

يوجد الملايين من المركّبات العضويّة، وقد قسّمها علماء الكيمياء إلى فئات بحسب نوع الذّرّات و الرّوابط التي تحتويها، ويمتلك كلّ منها مجموعة فريدة من نوعها من الخصائص الفيزيائيّة. مع ذلك، وعند مقارنتها بالمركّبات غير العضويّة، هناك عدد قليل من الخصائص التي تُظهرها المركّبات العضويّة . الألكانات هي مجموعة من المُرَكّبات العضويّة التي تُظهر خصائص مميّزة، يبيّن **الجدول 6-3** ثلاثًا من أكثر الخصائص شيوعًا للألكانات.

الجدول 6-3 الخصائص العامّة للألكانات.

	الخاصّيّة
1	تميل الألكانات إلى امتلاك درجات انصهار وغليان منخفضة.
2	غالبًا ما تكون الألكانات غير قابلة للذوبان في الماء.
3	تميل التّفاعلات التي تتضمّن ألكانات إلى أن تكون بطيئة.

1. تميل الألكانات إلى امتلاك درجات انصهار وغليان منخفضة

تميل الألكانات إلى امتلاك درجات انصهار وغليان منخفضة وبشكل كبير أكثر من المركّبات غير العضويّة، خاصّة المركّبات الأيونيّة. فعلى سبيل المثال، ينصهر ملح الطّعام (كلوريد الصّوديوم NaCl)، عند درجة حرارة مقدارها 801°C، ويغلي عند درجة حرارة مقدارها 1413°C، ويبيّن **الجدول 6-4** بعض الخصائص الفيزيائيّة للألكانات التي تتكوّن من سلاسل من ذرّات الكربون، والتي تتدرّج من ذرّة كربون واحدة وصولًا إلى 10 ذرّات كربون.

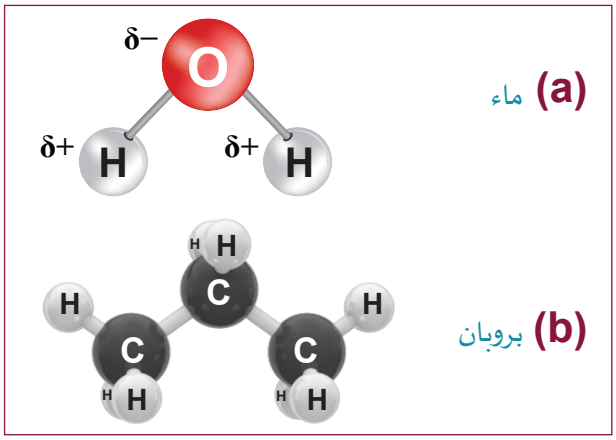
الجدول 6-4 الخصائص الفيزيائيّة للألكانات.

اسم الألكان	الصّيغة الكيميائيّة	الحالة عند 25°C	درجة الانصهار (°C)	درجة الغليان (°C)
ميثان	CH_4	غاز	-182	-162
إيثان	C_2H_6	غاز	-183	-89
بروبان	C_3H_8	غاز	-188	-42
بيوتان	C_4H_{10}	غاز	-135	-1
بنتان	C_5H_{12}	سائل	-130	36
هكسان	C_6H_{14}	سائل	-95	69
هبتان	C_7H_{16}	سائل	-91	98
أوكتان	C_8H_{18}	سائل	-57	125
نونان	C_9H_{20}	سائل	-54	151
ديكان	$C_{10}H_{22}$	سائل	-30	174

يبيّن **الجدول 6-4** نمط التّدرّج للخصائص الفيزيائيّة للألكانات، وهو أنّه كلّما ازداد عدد ذرّات الكربون في الألكان (الكتلة الجُزَيْئيّة)، ازدادت درجة انصهاره ودرجة غليانه، ويُعزى التّدرُّج في ازدياد درجات الانصهار والغليان إلى ازدياد قوى التّجاذب بين الجُزَيْئات كلّما ازداد طول سلسلة الكربون. كما نلاحظ اختلاف الحالة الفيزيائيّة للألكانات. فالألكانات الأربع الأولى تكون في الحالة الغازيّة عند درجة حرارة الغرفة بينما تكون الألكانات التي تحتوي على عدد ذرّات كربون (من 5 إلى 10) في الحالة السّائلة.

الخصائص العامّة للألكانات – تابع

2. غالبًا ما تكون الألكانات غير قابلة للذوبان في الماء



الشكل 6-14 (a) الماء جُزَيْء قطبيّ، أمّا (b) البروبان فجُزَيْء غير قطبيّ.

جُزَيْئات الماء قطبيّة، فهي تمتلك طرفًا يحمل شحنة مُوجبة جزئيّة (δ+) وطرفًا آخر يحمل شحنة سالبة جزئيّة (δ-) كما هو مُوضّح في **الشّكل 6-a14**. والكثير من الجُزَيْئات العضويّة، مثل البروبان (**الشّكل 6-b14**) هي جُزَيْئات غير قطبيّة. ونتيجة لذلك، تكون غير قادرة على الانجذاب إلى الماء بقوّة، والجُزَيْئات التي لا يمكنها الانجذاب إلى الماء بقوّة تُظهر ذائبيّة منخفضة في الماء. إلّا أنّ الألكانات تُذيب بعض المركبات العضويّة كالزّيوت والدّهون مثلًا، وهذا يفسّر خطورة التّعرّض لأبخرة الألكانات (مثل أبخرة الجازولين) إذ إنّها تسبّب تلف أنسجة الرّئة بسبب إذابتها للموادّ الدّهنيّة المكوّنة لأغشية الخلايا.

3. تميل التّفاعلات التي تتضمّن ألكانات إلى أن تكون بطيئة

يمكن أن تكون بعض التّفاعلات العضويّة، مثل احتراق الوقود، سريعة جدًّا، ومع ذلك:

- معظم تفاعلات الألكانات هي بطيئة جدًّا وتحتاج إلى فترة زمنيّة كي تحدث.
- معظم تفاعلات الألكانات بحاجة إلى طاقة تنشيط إضافيّة مثل طاقة حراريّة عن طريق التّسخين أو الأشعّة فوق البنفسجيّة.
- بعض تفاعلات الألكانات بحاجة إلى تحريك مستمرّ لخلط المُتفاعلات مع بعضها بَعضًا.
- بعض تفاعلات الألكانات لا تحدث من دون إضافة عامل حفّاز مناسب.
- بعض تفاعلات الألكانات بحاجة إلى أكثر من عامل ممّا ذُكر سابقًا كي يحدث التّفاعل في فترة زمنيّة معقولة.

فالرّوابط التّساهميّة الموجودة في الجُزَيْئات العضويّة يجب أن تنكسر قبل إمكانية حدوث التّفاعل، إذ إنّ هذه الرّوابط التّساهميّة الموجودة في الجُزَيْئات العضويّة عادة ما تكون قويّة، وسيحتاج كسرها إلى الكثير من الطّاقة، وإلى فترة زمنيّة طويلة كي تحدث التّفاعلات. وتُعَدّ عمليّة الطّهي مجموعة من التّفاعلات الكيميائيّة العضويّة (**الشّكل 6-15**)؛ فالطّاهي الجيّد يعرف أنّ بعض أنواع الطّعام تحتاج إلى تسخين، وتحريك لفترة زمنيّة كي تحدث التّفاعلات بشكل صحيح.

الشكل 6-15 تحتاج بعض الأطعمة إلى تسخين، وتحريك لفترة زمنيّة معيّنة لإنتاج مُنتَج لذيذ المذاق.

نشاط 6-1 بناء نماذج لألكانات

سؤال الاستقصاء	هل يمكن بناء نماذج ثلاثيّة الأبعاد للألكانات؟
الموادّ المطلوبة	مجموعة النّماذج الجُزَيْئيّة

الجزء 1: التّحليل الجُزَيْئيّ

1. ارسم الصّيغ البنائيّة لكلّ جُزَيْء من جُزَيْئات الألكانات في الجدول التالي. ثمّ من خلال الصّيغة البنائيّة، حدّد عدد ذرّات الكربون، وعدد ذرّات الهيدروجين، وعدد الرّوابط التّساهميّة الأحاديّة بين ذرّات الكربون، وعدد الرّوابط التّساهميّة الأحاديّة بين ذرّات الكربون والهيدروجين التي ستحتاج إليها لبناء نموذج جُزَيْئيّ.

جدول التّحليل الجُزَيْئيّ

اسم الألكان	الصّيغة الجُزَيْئيّة	الصّيغة البنائيّة	عدد ذرّات الكربون	عدد ذرّات الهيدروجين	عدد رو ابط C-C	عدد رو ابط C-H
الميثان						
الإيثان						
البروبان						
البيوتان						
البنتان						
الهكسان						

الجزء 2: اِبنِ النّماذج الجُزَيْئيّة وتأكّد منها

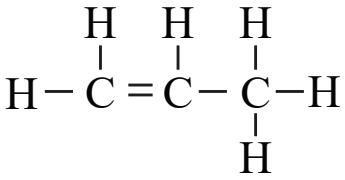
1. استخدم مفتاح مجموعة بناء النّماذج لتحديد ذرّات النّموذج الصّحيحة، وروابط النّموذج المستخدمة، ثمّ صمِّم النّماذج الجُزَيْئيّة الخاصّة بها.
2. عندما تعتقد بأنّك صمَّمت النّموذج بالشّكل الصّحيح، اسأل معلّمك ليؤكّد لك ذلك.
3. إذا كان النّموذج صحيحًا، صمِّم النّموذج التّالي، وكرّر الإجراءات التي نفّذتها إلى أن يتمّ بناء النّماذج جميعها بالشّكل الصّحيح.
4. إذا كان النّموذج غير صحيح، اطلب من معلّمك المساعدة لتصحيح النّموذج، ثمّ تأكّد منه عندما يتمّ إجراء التّصويب بشكل صحيح.

وضّح، باستخدام الصّيغة البنائيّة، كيف يمكن لجُزَيْء يمتلك الصّيغة الكيميائيّة C_3H_6 أن يكون موجودًا، بحيث يجب أن تكوّن كلّ ذرّة من ذرّات الكربون جميعها أربع روابط، وأن تكوّن كلّ ذرّة من ذرّات الهيدروجين جميعها رابطة واحدة.

تقويم الدرس 6-1

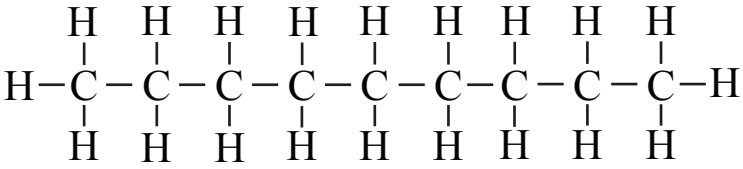
1. أيّ من العناصر الآتية يجب أن يكون موجودًا في المركّبات العضويّة جميعها؟
   a. الكربون (C)
   b. الأكسجين (O)
   c. النّيتروجين (N)
   d. الفلور (F)

2. لماذا لا يُعدّ الجُزَيْء في الشّكل المُجاور هيدروكربونًا مشبعًا؟



   a. هناك ذرّة كربون واحدة ناقصة
   b. لأنّه يحتوي على رابطة تساهميّة ثنائيّة.
   c. لأنّه يحتوي عدد مزدوج من ذرّات الكربون.
   d. لأنّه يحتوي عدد مفرد من ذرّات الهيدروجين.

3. ما اسم الألكان المُمثَّل بالصّيغة البنائيّة في الشّكل المُجاور؟



   a. أوكتان
   b. ديكان
   c. نونان
   d. هبتان

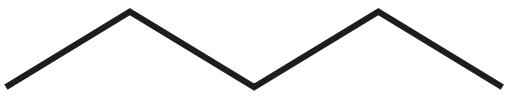
4. ما اسم الألكان المُمثَّل بالصّيغة الهيكليّة في الشّكل المُجاور؟

   a. أوكتان
   b. ديكان
   c. نونان
   d. هبتان

5. أيٌّ من الخصائص الآتية ليست خاصّيّة مُميّزة للألكانات؟
   a. قابلة للذّوبان في الماء.
   b. درجة غليانها منخفضة.
   c. درجة انصهارها منخفضة.
   d. معدّلات سرعة تفاعلاتها بطيئة.

6. سمِّ الألكان الذي يمتلك الصّيغة البنائيّة المُكثَّفة الآتية: $CH_3(CH_2)_6CH_3$.

7. اكتب الصّيغة البنائيّة المكثَّفة للألكان الذي له الصّيغة الهيكليّة المجاورة.

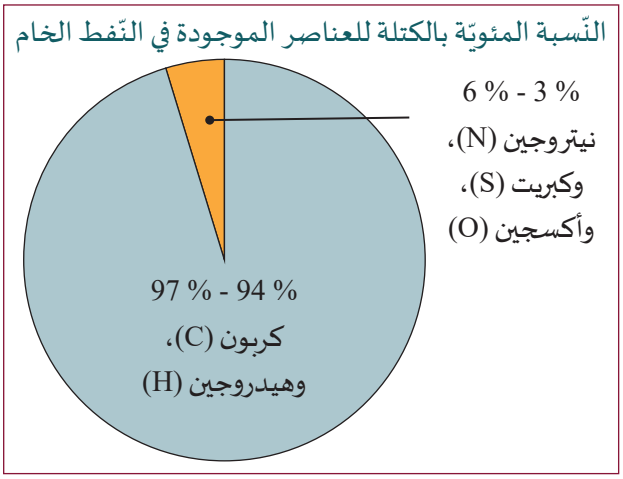


الدرس 6-2
الألكانات في الصّناعات البتروكيماويّة
Alkanes in the Petrochemical Industry

البترول (النّفط الخام) يُستخرج من باطن الأرض (**الشّكل 6-16**)، وهو مخلوط من مُركّبات مختلفة يتكوّن معظمه من هيدروكربونات. ويختلف تركيب البترول بحسب مكان وجوده. فالنّسبة المئويّة بالكتلة تتراوح ما بين 94 % و97 % من عنصرين هما الكربون (C) والهيدروجين (H)، أمّا كتلته المتبقّية فمعظمها تعود إلى عناصر أخرى مثل نيتروجين (N)، وكبريت (S)، وأكسجين (O) كما هو موضّح في **الشّكل 6-17**.

وأقلّ من 0.1% من كتلته عبارة عن عناصر أخرى تختلف بحسب وجود رواسبها. هناك المئات من المُركّبات التي يتمّ فصلها وتنقيتها من النّفط الخام، ومن هذه المركّبات، يمكن تصنيع الملايين من المركّبات الأخرى. في هذا الدّرس، سيتمّ استكشاف عمليّتَيْن لتنقية النفط، هما الفصل التّجزيئيّ (التّقطير التّجزيئيّ)، والتّكسير الحفزي، كما سوف نتفحّص أيضًا استخدام نواتج تقطير النّفط الخام، واعتمادنا عليه.

الشكل 6-16 البترول (النّفط الخام).



الشكل 6-17 النّسبة المئويّة بالكتلة للعناصر في النّفط الخام.

مخرجات التّعلُّم

C1005.2 يذكر أنّ الاستخدام الرّئيس للألكانات هو كوقود، وأنّ حجم الجُزَيْء يحدّد نوع الوقود وطريقة استخدامه.

C1005.3 يصف العمليّات المهمّة في طريقة الفصل التّجزيئيّ والتّكسير الحفزي لإنتاج المزيد من المنتجات العضويّة المفيدة.

C1005.4 يشرح كيف تعتمد الحياة المعاصرة بشكل كبير على الهيدروكربونات، ويدرك أنّ النّفط الخام مصدر غير متجدّد.

المفردات

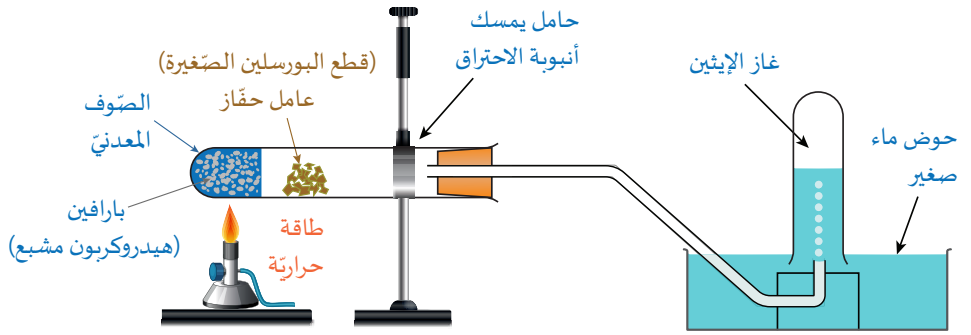
الفصل التّجزيئيّ (التّقطير التّجزيئيّ)	Fractionation (Fractional distillation)
التّكسير الحفزي	Catalytic cracking

تجربة عمليّة: تكسير البارافين

خلفيّة معرفيّة

يُعدّ البارافين أحد نواتج تقطير البترول، وهو عبارة عن مخلوط من الألكانات التي تحتوي على 20 إلى 40 ذرّة كربون لكلّ جُزَيْء، واعتمادًا على تركيبه، يمكن أن يكون البارافين على هيئة سائل زيتيّ القوام، أو صلبًا شمعيًّا. ويمكن شراؤه من بعض متاجر البقالة أو محالّ الحرف اليدويّة، وهو متعدّد الاستخدامات؛ إذ يمكن استخدامه كمادّة تزييت وتشحيم، أو لصنع الشّموع. وتُعدّ سلاسل الهيدروكربونات القصيرة أكثر قيمة اقتصاديّة وفائدة من سلاسل الهيدروكربونات الطّويلة. ففي هذا النّشاط، سوف تلاحظ عند تنفيذ التجربة كيف يمكن أن تتكسّر جُزَيْئات الألكانات ذات السّلاسل الطّويلة إلى جُزَيْئات ذات سلاسل أقصر في المختبر باستخدام عمليّة تسمّى التّكسير الحفزي. وهذه العمليّة موضّحة في **الشّكل 6-18**، حيث تتنوّع الموادّ النّاتجة عن عمليّة التّكسير هذه اعتمادًا على تركيب البارافين، ودرجة حرارته، وسرعة تسخينه، والعامل الحفّاز المُستخدَم، مع العلم أنّ الألكينات يمكن الكشف عنها من خلال تفاعلها واختفاء لون أيٍّ من ماء البروم الأحمر الدّاكن أو محلول برمنجنات البوتاسيوم الحمضيّ البنفسجيّ.

التّكسير الحفزيّ للبارافين



التفاعل المحتمل:

$$C_{18}H_{38} \xrightarrow{\text{عامل حفّاز، طاقة حرارية}} C_2H_4 + C_8H_{16} + C_8H_{18}$$

$C_{18}H_{38}$	C_2H_4	C_8H_{16}	C_8H_{18}
أوكتاديكان (هيدروكربون مشبع)	إيثين (هيدروكربون غير مشبع)	أوكتين (هيدروكربون غير مشبع)	أوكتان (هيدروكربون مشبع)

الشكل 6-18 تجربة التكسيّر الحفزي للبارافين.

نشاط

نفّذ التّجربة ثمّ أجب عن الأسئلة الآتية:

a. هل تمّ استخدام بارافين سائل أم صلب في هذه التّجربة؟

b. ما العامل الحفّاز الذي تمّ استخدامه؟

c. ما أوّل غاز ناتج يخرج عبر أنبوب الجمع؟

d. ما الخاصّية المميّزة للنّاتجَيْن اللذَيْن تمّ تحديدهما باستخدام ماء البروم، أو محلول برمنجنات البوتاسيوم الحمضيّ؟

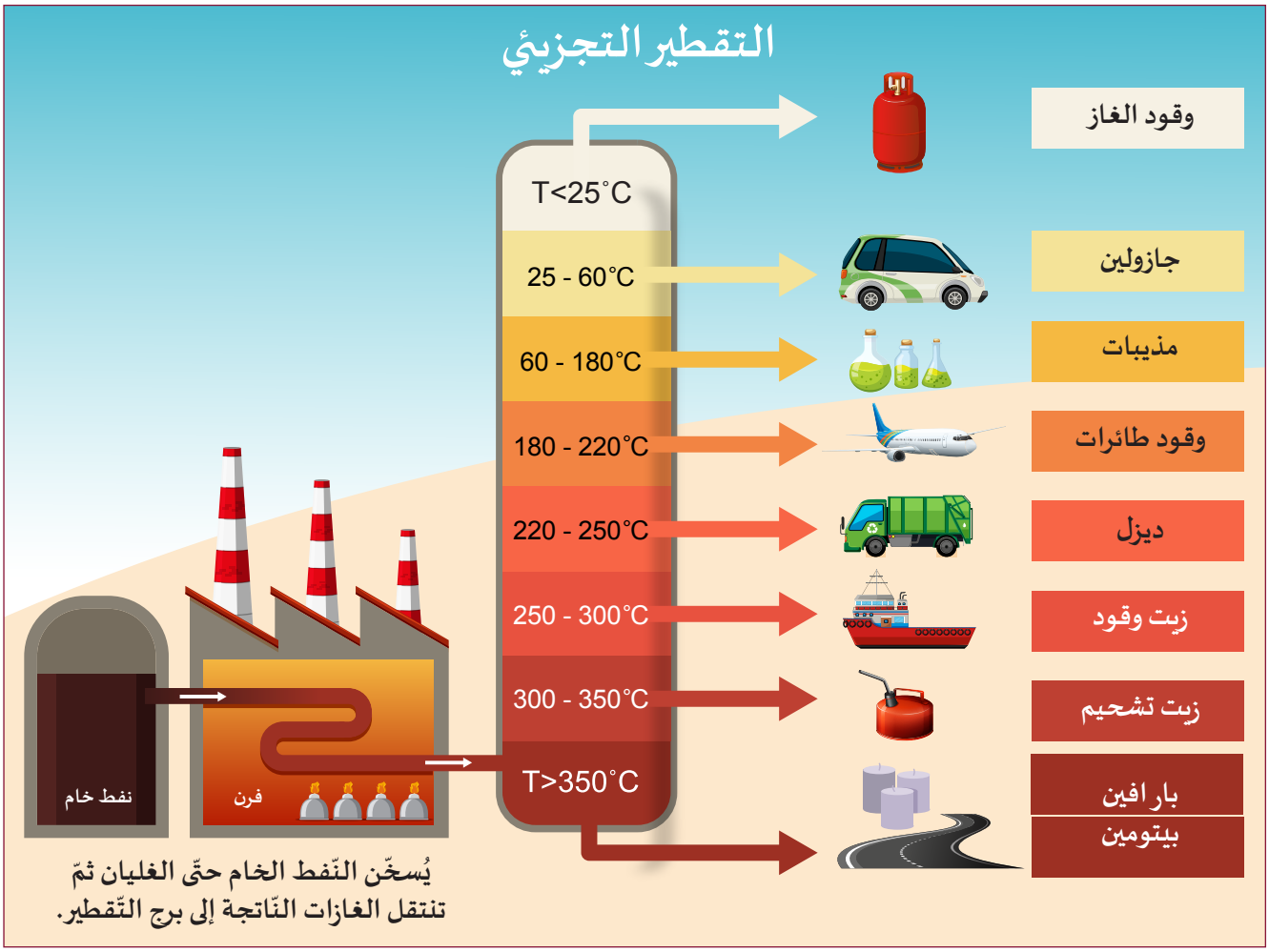
إجراءات الأمن والسلامة:

لا تقرب البارافين من اللهب فهو مادة قابلة للاشتعال، ارتد معطف المختبر والنظارات الواقية والقفازات. كما يمكنك مشاهدة فيديو للنشاط من خلال الانترنت.

في المعادلة الكيميائيّة المُدرجة في **الشّكل 6-18**، اثنتان من الموادّ المحتملة النّاتجة عن عمليّة التّكسير الحفزيّ هما الإيثين (C_2H_4) والأوكتان (C_8H_{18}). اعمل مع زميل لك لاستكشاف استخدامات هذين المركّبَيْن.

تكرير النّفط – الفصل التّجزيئيّ (التّقطير التّجزيئيّ)

أصبحتْ حياتُنا تَعتمدُ بشكلٍ كبيرٍ على وسائلِ النّقلِ المختلفةِ مثل السّيّاراتِ والطّائراتِ والبواخرِ وغيرِها من وسائلِ النّقلِ التي تعتمدُ على الوقودِ المُستخلَصِ من النّفطِ. وقد تَشكَّلَ النّفطُ من بقايا الكائناتِ الحيّةِ التي عاشت في المحيطاتِ منذ ملايينِ السّنين؛ حيث تحولتْ بفعلِ الحرارةِ والضّغطِ إلى زيتٍ صخريّ، وغازٍ طبيعيّ. إنّ أحد أكثر الصّناعات أهمّية على وجه هذا الكوكب هي تكرير النّفط، فالنّفط الخام قليل الاستخدام عندما يكون في حالته الطّبيعيّة على هيئة مخلوط من الهيدروكربونات. ويُعدّ فصل هذا المخلوط إلى نواتج مختلفة أمرًا أساسيًّا لجعل النّفط الخام ذا قيمة. ويتمّ فصل النّفط الخام إلى نواتج مختلفة بواسطة عمليّة تُسمّى **الفصل التّجزيئيّ (التّقطير التّجزيئيّ) Fractionation (fractional distillation)**؛ وهي عمليّة فصل مخلوط من السّوائل استنادًا إلى الاختلاف في درجات غليانها؛ وبشكل عام، تغلي السّوائل التي تتكوّن من جُزَيْئات صغيرة، ومن ثمّ تتكاثف، عند درجات حرارة منخفضة أقلّ من السّوائل التي تتكوّن من جُزَيْئات أكبر. فعندما يكون السّائل عبارة عن مخلوط مكوّن من جُزَيْئات مختلفة، مثل النّفط الخام، تغلي الجُزَيْئات التي لها درجات غليان منخفضة أوّلًا، وتتكاثف عند درجات حرارة منخفضة، ويمرّ النّفط الخام عبر سلسلة من عمليّات التّقطير التّجزيئيّ لفصل الكثير من المركّبات التي يتكوّن منها، أمّا ما يتبقّى في نهاية عمليّة التّقطير التّجزيئيّ فعبارة عن مخلوط سميك وكثيف يتكوّن من ألكانات ذات سلاسل طويلة تحتوي على مكوّنات صلبة، وتُسمّى هذه البقايا البيتومين، وتُستخدم في صناعة الأسفلت. ويبيّن **الشّكل 19-6** رسمًا تخطيطيًّا لعمليّة التّقطير التّجزيئيّ في أحد مصافي تكرير النّفط.



الشكل 19-6 تستخدم مصافي تكرير النّفط عمليّة التّقطير التّجزيئيّ لفصل النواتج المختلفة للألكانات والهيدروكربونات الأخرى من النّفط الخام.

استخدامات الألكانات

يُعدّ كلٌّ من النّفط الخام والغاز الطّبيعيّ المصادر الرّئيسة للألكانات. وغالبًا ما يوجد الغاز الطّبيعيّ ممزوجًا مع النّفط الخام ورواسب الفحم، ويتكوّن معظمه من الميثان، (CH_4) بنسبة تتراوح ما بين % 70 إلى % 95، مع وجود غاز الإيثان (C_2H_6) بوصفه ثاني أكبر جزء، أمّا بقيّة نواتج الغاز الطّبيعيّ فتتكوّن من البروبان، والبيوتان، مع وجود كمّيات ضئيلة من النّيتروجين، والأكسجين، والهيدروجين، وثاني أكسيد الكربون. أمّا الاستخدام الشّائع للكثير من الألكانات ذات السّلاسل القصيرة هو كوقود، وكلّما ازداد حجم سلسلة الألكان، تغيّر نوع وقود الألكان المستخدم لأجله؛ ويبيّن **الجدول 6-5** أهمّ مصادر واستخدامات الألكانات.

الاستخدام الأكثر شيوعًا للألكانات هو كوقود.

الجدول 6-5 مصدر الألكانات واستخداماتها بازدياد عدد ذرّات الكربون.

عدد ذرّات الكربون	المصدر	الاستخدامات الأوّليّة	درجة حرارة عمليّة التّقطير
C_1 - C_4	الغاز الطّبيعيّ والنّفط الخام	• وقود للتّسخين والطّبخ • وقود للولّاعات	أقلّ من 25°C
C_5- C_8	النّفط الخام	• مُكوّنات الجازولين (وقود السّيّارات)	25°C - 60°C
C_9 - C_{16}	النّفط الخام	• مذيبات مثال الكيروسين • أنواع وقود: وقود الطّائرات (الكيروسين)	60°C - 220°C
C_{16} - C_{20}	النّفط الخام	• وقود الديزيل • زيت وقود	220°C - 300°C
C_{20} - C_{45}	النّفط الخام	• زيوت تشحيم	300°C - 350°C
$\leq C_{45}$	النّفط الخام	• زيوت البارافين والشّمع • يتمّ تكسيره لإنتاج ألكانات ذات سلاسل أقصر • الأسفلت لرصف الشّوارع والطّرقات	أكبر من 350°C

من المؤشّرات الدّالّة على جودة الوقود ما يُعرف برقم الأوكتان والذي يُعدّ مقياسًا لكفاءة احتراق الوقود وخصائص الخبط فيه. ابحث عن هذا الرّقم مُحدّدًا أنواع الوقود التي تُعرف بأرقام أوكتان مختلفة محدّدًا الفرق فيما بينها.

اختر أحد المُنتجات المُصنعَّة من النّفط. ثمَّ اكتب تقريرًا عن آليّة تصنيعه وطرائق استخدامه وسلامته البيئيّة.

تكرير النفط – التّكسير الحفزي

تميل الجُزَيْئات العضويّة إلى أن تكون أقلّ استقرارًا من معظم الجُزَيْئات غير العضويّة؛ وذلك عندما تتعرّض إلى طاقة حراريّة عالية، وبتعبير آخر، تتفكّك المركّبات العضوية عند تسخينها، ويُعدّ هذا أحد الأسباب التي تجعل الأطعمة والأدوية بحاجة إلى تخزين عند درجات حرارة منخفضة نسبيًّا. وتتكوّن معظم كتلة النّفط الخام من الألكانات ذات السّلاسل الطّويلة، وكما هو موضّح في **الجدول 6-5**، تكون الألكانات ذات السّلاسل القصيرة أكثر قيمة اقتصاديّة من الألكانات ذات السّلاسل الطّويلة؛ ففي بدايات صناعة تكرير النّفط، كان يتمّ تسخين الألكانات ذات السّلاسل الطّويلة لتفكيكها أو تكسيرها إلى ألكانات ذات سلاسل أقصر، وبهذه الطّريقة، يمكن إنتاج المزيد من الوقود من النّفط الخام.

تذكّر بأنّ العوامل الحفّازة تزيد من سرعة التّفاعلات الكيميائية من دون أن تُستهلك، وتستخدم عمليّة **التّكسير الحفزي Catalytic cracking** العوامل الحفّازة لتكسير الألكانات ذات السّلاسل الطّويلة إلى ألكانات ذات سلاسل أقصر بشكل أسرع، بكلّ كفاءة، وبأقلّ تكلفة، ومن ثمّ تسخينها بمفردها. ويبيّن **الشّكل 6-20a** معادلة كيميائيّة تمثّل أحد تفاعلات التّكسير الحفزيّ المحتملة التي تحدث في أبراج التّكسير (**الشّكل 6-20b**) في مصافي تكرير النّفط.

a) $C_{10}H_{22(l)} \xrightarrow[\text{طاقة حراريّة}]{\text{عامل حفّاز}} C_3H_{6(g)} + C_7H_{16(l)}$

b)

الشكل 6-20 (a) تفاعل تكسير حفزي (b) أبراج التّكسير في مصافي تكرير النّفط.

مثال 10

إذا كان لديك المعادلة الكيميائيّة لعمليّة تكسير حفزيّ للألكان "X" على النّحو الآتي: $X \rightarrow C_6H_{14} + C_2H_4 + C_4H_8$.

a. ما الصّيغة الكيميائيّة للألكان "X"؟

b. باستخدام **الجدول 6-5**، ما الاستخدام المُحتمَل للألكان "X"؟

c. باستخدام **الجدول 6-5**، عند أيّ مدًى من درجات الحرارة يمكن أن يتكاثف المُركّب "X" أثناء عمليّة التّقطير التّجزيئيّ في مصفاة تكرير النّفط؟

الحلّ:

a. بحسب قانون حفظ الكتلة، لا تتغيّر الكتلة الكلّيّة خلال التّفاعل الكيميائيّ وبالتّالي، يتفكّك الألكان "X" إلى ثلاث جزيئات تحتوي ما مجموعُه **12** (6+2+4) ذرّة كربون، و**26** (14+4+8) ذرّة هيدروجين، لهذا، فإنّ الصّيغة الكيميائيّة للألكان "X" هي $C_{12}H_{26}$.

b. من **الجدول 6-5**، يمكن أن يُستخدم الألكان الذي يحتوي على 12 ذرّة كربون كمذيب مثال الكيروسين ، أو أنواع وقود للطّائرات (الكيروسين).

c. من **الجدول 6-5**، تتكاثف أنواع الوقود هذه خلال مدًى من درجات الحرارة يتراوح من **60°C** إلى **220°C**.

اعتماد الحياة المُعاصرة على النّفط الخام

بشكل عمليّ، يعتمد كلّ ما يمتلكه الإنسان ويستخدمه في الحياة المُعاصرة، على النّفط الخام بطريقة ما (**الشّكل 6-21**)، حتّى الأشياء التي لا تحتوي على مُنتجات تعتمد على النّفط (مثل الأطعمة الطّبيعيّة، والزّجاج، والهواء المضغوط)، تمّ تصنيعها ومعالجتها عن طريق آلات تعمل بالنّفط الخام، أو تحتوي على أجزاء مصنوعة من مركّبات مُستخلصة من النّفط الخام.

الشكل 6-21 عمليًّا، تعتمد الأشياء كلّها التي نستخدمها على النّفط الخام بطريقة ما.

تعتمد الحياة المعاصرة بشكل واسع على الهيدروكربونات التي نحصل عليها من النّفط الخام.

كما يتمّ نقل هذه المنتجات لبيعها، وتصل إلى منازلنا باستخدام السّيارات التي تحتوي على أجزاء كثيرة مصنوعة من النّفط الخام. حتّى السّيارات الكهربائيّة تعتمد على النّفط الخام لصنع أجزائها، فمعظم الكهرباء المُستخدَمة لتشغيل السّيارات الكهربائيّة تأتي من محطّات توليد الكهرباء التي تحرق الوقود المشتَقّ من النّفط الخام (**الشّكل 6-22**). ويبيّن **الجدول 6-6** بعض الأشياء المصنوعة باستخدام مُنتجات تعتمد على النّفط.

الشكل 6-22 السّيارات الكهربائيّة مصنوعة من أجزاء، وتعمل بالكهرباء التي تأتي من النّفط الخام.

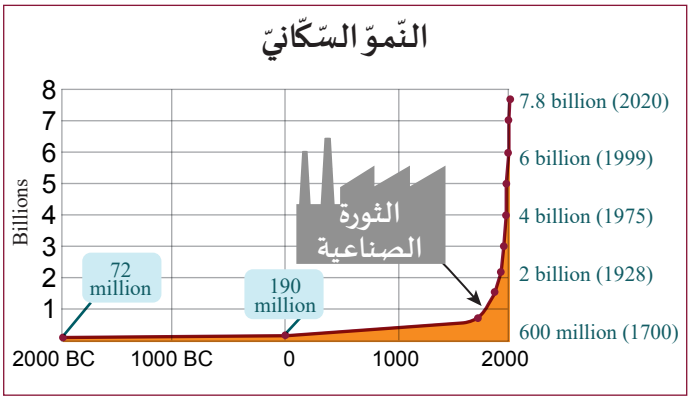
الجدول 6-6 بعض الأشياء الشّائعة التي تمّ تصنيعها باستخدام مُنتجات مُشتقّة من النّفط الخام.

الملابس	العناية الشّخصيّة	الأدوات المنزليّة	المُنتَجات الطّبيّة	أدوات التّرفيه
البنطال	معجون تنظيف الأسنان	الخزائن	صمّامات القلب	أوتار الجيتار
القمصان	فرشاة تنظيف الأسنان	الكراسي	الأطراف الاصطناعيّة	صنّارة صيد السّمك
الفساتين	الصّابون	الطّاولات	المطهّرات	القوارب
الأحذية	سائل غسيل الشّعر	الأرضيّات	مضادّات الحساسية	بدلات الغوص
القُبَّعات	مزيلات العرق	الأقفال	الكورتيزون	الخِيَم
الجوارب	العطور	أدوات التّنظيف	تركيبات الأسنان	ألعاب الأطفال

افترض أنّك تزرع نباتات الطماطم في حديقة منزلك، وتروي هذه النّباتات على مدار عدّة أشهر حتّى تنضج ثمارها وتصبح جاهزة للأكل. وضِّح خمس طرائق تعتمد فيها هذه العمليّة على النّفط الخام.

النّفط الخام مصدر محدود

منذ مئات السّنين، قطع النّاس الأشجار، واستخلصوا المعادن الثّمينة، والفلزات، والأحجار الكريمة من الأرض من دون أن يفكّروا يومًا في إمكانيّة أن تصبح هذه الموارد شحيحة. ففي ذلك الوقت، كان عدد السكّان أقلّ بكثير ممّا هو عليه الآن، كما كانت النّسبة المئويّة للسكّان الذين يطلبون تلك الموارد أقلّ أيضًا. ففي الأعوام الثّلاثمائة الأخيرة، نما عدد سكّان الأرض أضعافًا مضاعفة تقريبًا (**الشّكل 6-23**).



الشكل 6-23 رسم بيانيّ يوضح الزّيادة في عدد السكّان.

كذلك الأمر، ازدادت النّسبة المئويّة لسكّان العالم الذين يعيشون في الدّول الصّناعية بشكل كبير، ما شكّل ضغطًا هائلًا على الموارد الطّبيعيّة للأرض. فعلى عكس الأشجار التي يمكن إعادة زراعتها والتّعامل معها، يُعدّ النّفط الخام مصدرًا محدودًا (مورد غير متجدّد)، ولا يمكن تعويضه بمجرّد نفاده.

ونظرًا إلى اعتماد السّكّان الحاليّين على النّفط الخام، هناك سبب وجيه لتسريع الاستراتيجيّات لإدارة وحفظ احتياطيّات النّفط الخام والغاز الطّبيعيّ المتبقّية. ويعطي **الجدول 6-7** البيانات نفسها للعالم، ودولة قطر، والولايات المتّحدة الأمريكيّة في ما يتعلّق باحتياطيّات النّفط الخام واستهلاكه، إلى جانب بيانات السّكّان. فمن هذه البيانات، يمكن حساب تقديرات المدّة الزّمنيّة التي ينبغي أن تستغرقها احتياطيّات النّفط الخام والغاز الطّبيعيّ كي تدوم ضمن مُعدَّلات الاستهلاك المدُرجَة.

يُعَدُّ النفطُ والغازُ الطّبيعيّ من أهمّ مواردِ الاقتصادِ القطريّ؛ حيث يبلغُ إنتاجُ دولةِ قطر من النّفطِ نحو مليونِ برميلٍ يوميًّا. ويُعَدُّ النّفطُ المُستخرَجُ من الحقولِ البحريّةِ من أجودِ أنواعِ النّفطِ في العالمِ. تَمَّ اكتشافُ النّفطِ لأوّلِ مرّةٍ في دولةِ قطر عام 1938م، وبدأ اهتمامُ الدّولةِ بالتّنقيبِ عن النفطِ والاعتمادِ عليه في اقتصادِ البلادِ بعد تَراجعِ صناعةِ استخراجِ اللؤلؤِ الطّبيعيّ بعد دخولِ اللّؤلؤِ الصّناعيّ إلى الأسواقِ العالميّةِ.

ومن المُتوقَّعِ في السّنواتِ القادمةِ أن تصل حاجة العالمِ إلى الطاقةِ إلى ذروتِها؛ ممّا يؤدّي إلى ارتفاعِ الطّلبِ على إنتاجِ النّفطِ إلى كمّيّاتٍ كبيرةٍ؛ وهذا يتطلّبُ من شعوبِ العالمِ استهلاك الطّاقةِ بشكلٍ أقلَّ، واستخدام طاقاتٍ بديلةٍ مثل الطّاقةِ المُتجدّدةِ؛ بحيث يَتِمُّ الاستغناءُ تدريجيًّا عن الوقودِ الأحفوريّ كمصدرٍ رئيسٍ للطّاقة.

الجدول 6-7 تقديرات النّفط الخام، والغاز الطّبيعيّ، والنّموّ السّكّانيّ، (وعام البيانات).

	العالم	دولة قطر	الولايات المتحدة الأمريكية
احتياطيّات النّفط الخام (ملايين البراميل)	1 651 000 (2016)	25200 (2021)	36500 (2021)
استهلاك النّفط الخام (ملايين البراميل/عام)	35400 (2016)	62.78 (2021)	7190 (2021)
احتياطيّات الغاز الطّبيعيّ (Tm^3) cubic terameter	196 (2017)	15.5 (2021)	24.1 (2021)
استهلاك الغاز الطّبيعيّ (Tm^3/عام)	3.75 (2017)	0.047 (2017)	0.863 (2020)
النّموّ السّكّانيّ	7 870 000 000 (2021)	2 900 000 (2021)	333 000 000 (2021)

نشاط 6-2 التّقطير التّجزيئيّ

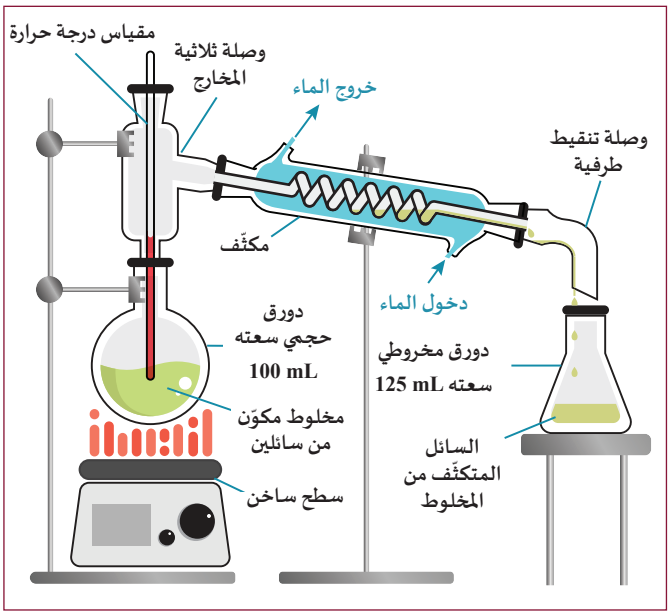
سؤال الاستقصاء	هل يمكن فصل مخلوط مُكوَّن من سائلَيْن عن طريق تسخينه؟
الموادّ المطلوبة	أدوات تقطير مع جهاز تسخين كهربائيّ ذي سطح معدنيّ كما هو موضّح في الشّكل 6-24، قطعتان طويلتان من خرطوم مطاطيّ، 70 mL من مخلوط مُكوَّن من 50% من الماء، و 50% من الأسيتون، حامل معدنيّ عدد (2)، حامل معدنيّ ثُلاثيّ الأرجل، ملقط عدد (3)، نظّارات واقية.

خلفيّة معرفيّة

عند تسخين مخلوط مُكوَّن من سائلَيْن، سوف يغلي السّائل الذي له درجة غليان أقلّ أوّلًا. ففي عمليّة التّقطير التّجزيئيّ، سيتكاثف بخار المادّة التي لها درجة الغليان الأقلّ أوّلًا، ويُفصل من المخلوط، فالماء سائل صافٍ، وعديم اللّون والرّائحة، كما أنّ الأسيتون سائل صاف، وعديم اللّون له رائحة مُزيل طلاء الأظافر.

خطوات العمل (اعمل في مجموعة ثنائيّة وارتدِ النّظّارات الواقية)

1. جهّز أدوات التّقطير كما هو مُوضَّح في **الشّكل 6-24**.
2. صِلْ أحد طرفَي الخرطومَيْن المطّاطيَّيْن بمصدر الماء البارد، وطرفه الآخر بموضع دخول الماء في المكثّف، ثمَّ صِلْ أحد طرفي الخرطوم المطّاطيّ الثّاني بموضع خروج الماء في المكثّف، وضع طرفه الآخر في حوض التّصريف.
3. أضِف المخلوط المُكوَّن من مادَّتَيْن سائلتَيْن إلى داخل الدّورق الحجميّ.
4. ابدأ بتسخين الدّورق الحجميّ ببطء، ثمّ ارفع درجة الحرارة بشكل تدريجيّ إلى أن يبدأ السّائل بالخروج على هيئة نقاط من طرف التّنقيط ليتمّ جمعه في دورق مخروطيّ.
5. دوّن قيمة درجة الحرارة، واستمرّ بالتّسخين إلى أن يتوقّف السّائل عن الخروج من طرف التّنقيط إلى الدّورق المخروطيّ.



الشكل 6-24 أدوات التّقطير.

أسئلة

a. لاحظ، ودوّن رائحة السّائل الذي تكثّف من المخلوط، ثمّ لاحظ ودوّن رائحة السّائل الذي بقي في الدّورق الحجميّ. أيّ السّائلَيْن هو الماء، وأيّهما هو الأسيتون؟

b. ما قيمة درجة الحرارة التي تكاثف عندها السّائل من المخلوط؟ هل تتوافق درجة الحرارة هذه مع درجة غليان الماء، أم الأسيتون؟ (ابحث عن قيمة درجة غليان الأسيتون).

تقويم الدرس 6-2

1. أيٌّ ممّا يأتي يُعدّ استخدامًا هامًّا وشائعًا للكثير من الألكانات ذات السّلاسل القصيرة؟
   a. الوقود
   b. زيت التّشحيم.
   c. الأسفلت.
   d. إنتاج غاز الهيدروجين.

2. ما الخاصّيّة الفيزيائيّة التي تُستخدم لفصل الهيدروكربونات في عمليّة التّقطير التّجزيئيّ؟
   a. الكثافة
   b. درجة الغليان.
   c. درجة الانصهار.
   d. درجة التّجمّد.

3. أيٌّ من الجمل الآتية صحيحة في ما يتعلّق بالتّكسير الحفزي؟
   a. يتمّ تحويل الهيدروكربونات ذات السّلاسل القصيرة إلى هيدروكربونات ذات سلاسل طويلة قيّمة.
   b. يتمّ تحويل الهيدروكربونات القيّمة ذات السّلاسل القصيرة إلى هيدروكربونات ذات سلاسل طويلة.
   c. يتمّ تحويل الهيدروكربونات ذات السّلاسل الطّويلة إلى هيدروكربونات ذات سلاسل قصيرة قيّمة.
   d. يتم تحويل الهيدروكربونات القيّمة ذات السّلاسل الطّويلة إلى هيدروكربونات ذات سلاسل قصيرة.

4. أيّ من الجمل الآتية صحيحة في ما يتعلّق باعتماد الإنسان على الهيدروكربونات المُستخلَصة من النّفط الخام؟
   a. يعتمد البشر على النّفط الخام في الغالب كوقود.
   b. يعتمد البشر على النّفط الخام في كلّ شيء يستخدمونه تقريبًا.
   c. يعتمد البشر على النّفط الخام في الغالب لصنع الأسفلت.
   d. يعتمد البشر على النّفط الخام في الغالب لإنتاج البوليمرات.

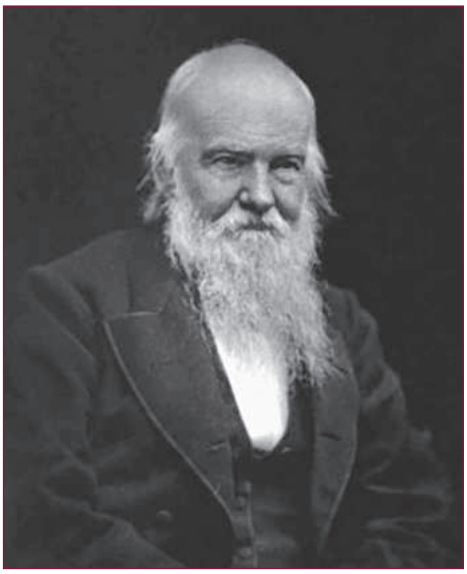
5. أيّ من الجمل الآتية صحيحة في ما يتعلّق بالنّفط الخام؟
   a. يُعدّ مصدرًا محدودًا يمكن تجديده.
   b. يُعدّ مصدرًا غير محدودٍ يمكن تجديده.
   c. يُعدّ مصدرًا محدودًا لا يمكن تجديده.
   d. يُعدّ مصدرًا غير محدودٍ لا يمكن تجديده.

6. عدّد ثلاث أدوات تستخدمها في غرفة الصّفّ يتمّ تصنيعها باستخدام المشتقّات البترولية.

إضاءة على عالِم

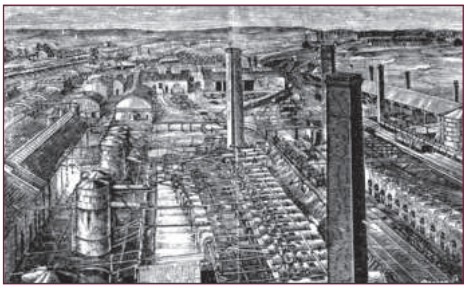
جيمس يونج James Young: 1811 – 1883 م

وُلد جيمس يونج (**الشّكل 6-25**) في مدينة جلاسكو، في اسكتلندا في 13 من شهر يوليو عام 1811م لأبوين هما جون يونج، وجين يونج. كان والده صانع خزائن، وكان جيمس متدرّبًا عند أبيه، لكنَّ التّجارة لم تجذب اهتمامه، لذا بدأ يتلقّى دروسًا ليليّة في الكيمياء. ثمّ التحق بما يُعرف الآن بجامعة ستراثكلايد، حيث درس والتقى فيها بتوماس جراهام، الذي أصبح في ما بعد رائدًا في مجال غسيل الكلى وأصدرا قانون انتشار الغازات. وقد أصبح جيمس مساعدًا لجراهام؛ كما التقى هناك بصديق عمره، والمستكشف المشهور ديفيد ليفينجستون.



الشكل 6-25 جيمس يونج.

في عام 1848 م، وأثناء عمله في صناعة الفحم، لاحظ يونج زيتًا يقطر من سقف منجم الفحم، واستنتج أنّ بإمكانه استخلاص الزّيت من الفحم. وقد كانت تجاربه اللّاحقة ناجحة، وفي النّهاية عمل على تقطير الزّيت المُستخرَج، وتحويله إلى بارافين ومُركَّبات أخرى صالحة للاستخدام.



الشكل 6-26 أعمال إنشاء مصفاة تكرير آديويل في اسكتلندا.

في عام 1850 م، حصل جيمس على براءة اختراع لعمليَّته هذه؛ وفي عام 1851 م افتُتِحت أوَّل مصفاة تجاريَّة في العالم لتكرير النّفط في مدينة باثجيت، في اسكتلندا. ولبضع سنوات خلال خمسينيّات القرن التّاسع عشر، 1850 م، كانت اسكتلندا أكبر مُنتِج للنّفط المُكرَّر في العالم ككلّ. وخلال فترة المجاعة الكبرى التي حدثت من عام 1845 م إلى عام 1849 م والتي مات خلالها ما يزيد عن مليون إنسان، ساعد جيمس يونج على إيجاد طرائق لإيقاف الآفة التي فتكت بمحصول البطاطا. وفي عام 1865 م افتتح مصفاة تكرير ثانية كبيرة (**الشّكل 6-26**)، إذ إنّه، في ذلك الوقت، كان يبيع زيت البارفين في جميع أنحاء العالم لاستخدامه في مصابيح البارافين (**الشّكل 6-27**)، وقد اعتُبِرَ جيمس يونج أوّل مهندس كيميائيّ في العالم، ووالد الصّناعة البتروكيماويّة، وأُطلق عليه اسم "بارافين يونج". توفّي جيمس يونج في 13 من شهر مايو عام 1883 م، ودُفن في مدينة إنفركيب، في اسكتلندا.

الشكل 6-27 مصباح زيت البارافين.

الوحدة 6

مراجعة الوحدة

الدرس 6-1: المفاهيم الأساسيّة للكيمياء العضويّة

- الكيمياء العضوية Organic chemistry هي دراسة المُركَّبات التي تحتوي على الكربون.
- يمكن أن يكوّن الكربون أربع روابط تساهميّة، قد تكون روابط تساهميّة أحادية، أو ثنائيّة، أو ثلاثيّة بين ذرّات الكربون، كما ترتبط ذرّات الكربون تساهميًّا، وبشكل غير محدود، بذرّات كربون أخرى مُكوِّنة بذلك سلاسل وحلقات من ذرّات الكربون. ونتيجة لذلك، سيكون هنالك عدد غير محدود من المُركَّبات العضويَّة المُحتملة.
- الهيدروكربونات Hydrocarbons هي مُركَّبات عضويّة تحتوي على ذرّات الكربون والهيدروجين فقط.
- الهيدروكربونات المشبعة Saturated hydrocarbons هي جُزَيْئات تحتوي على روابط تساهميّة أحاديّة فقط بين ذرّات الكربون.
- الهيدروكربونات غير المشبعة Unsaturated hydrocarbons هي جُزَيْئات تحتوي على رابطة تساهميّة ثنائيّة واحدة، أو رابطة تساهميّة ثلاثيّة واحدة على الأقلّ بين ذرّات الكربون.
- أبسط الهيدروكربونات هي الألكانات Alkanes؛ وهي عبارة عن هيدروكربونات مشبعة.
- توجد عدّة طرائق لتمثيل الجُزَيْئات العضويّة، وهي: الصّيغ الجُزَيْئيّة، ونماذج الكرات والعصيّ، ونماذج ملء الفراغ، والصّيغ البنائيّة، والصّيغ البنائيّة المُكثَّفة، والصّيغ الهيكليّة.
- تميل المركّبات العضويّة إلى امتلاك خصائص مختلفة عن الجُزَيْئات غير العضويّة، وتتضمّن هذه الخصائص درجات الانصهار المنخفضة، ودرجات الغليان المنخفضة، وعدم قابليّة الذّوبان في الماء، وسرعات تفاعل بطيئة.

الدرس 6-2: الألكانات في الصّناعات البتروكيماويّة

- هنالك آلاف الاستخدامات للألكانات التي تنتج من الصّناعة البتروكيماويّة، وأحد أهمّ هذه الاستخدامات هو استخدامها كوقود.
- يتغيّر استخدام الألكانات عندما يتغيّر حجم الألكان، حيث تكون الألكانات الصّغيرة أكثر أهمّيّة ويمكن استخدامها كوقود.
- يُعدّ النّفط الخام مخلوطًا معقّدًا من الهيدروكربونات، ويتمّ فصل هذا المخلوط إلى مُركَّبات منفصلة في مصفاة تكرير النّفط باستخدام طريقة الفصل التّجزيئيّ (التّقطير التّجزيئيّ) Fractionation (Fractional distillation)، حيث تفصل هذه الطّريقة المُركَّبات اعتمادًا على الاختلاف في درجات غليانها.
- يُستخدم التّكسير الحفزي Catalytic cracking لتكسير الألكانات ذات السّلاسل الطّويلة إلى ألكانات ذات سلاسل قصيرة، فينتج عنها مركّبات ذات قيمة اقتصاديّة أكبر.
- يُعدّ النّفط الخام موردًا بالغ الأهمّيّة للحياة العصريّة، فكلّ شيء نمتلكه، ونستخدمه، ونأكله تقريبًا يعتمد بطريقة ما على المُركَّبات التي نحصل عليها من النّفط الخام.
- يُعدّ النّفط الخام مصدرًا محدودًا غير مُتجدّد يحتاج إلى حسن إدارة كما يحتاج إلى المحافظة عليه.

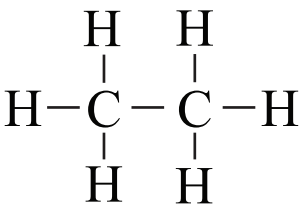
أسئلة اختيار من متعدّد

1. أيٌّ من الجمل الآتية صحيحة في ما يتعلّق بالألكانات؟
   a. جُزَيْئات مشبعة، وتحتوي على روابط تساهميّة أحاديّة فقط بين ذرّات الكربون.
   b. جُزَيْئات غير مشبعة، وتحتوي على روابط تساهميّة أحاديّة فقط بين ذرّات الكربون.
   c. جُزَيْئات مشبعة، وتحتوي على رابطة تساهميّة ثنائيّة واحدة، أو رابطة تساهميّة ثلاثيّة واحدة على الأقلّ بين ذرّات الكربون.
   d. جُزَيْئات غير مشبعَة، وتحتوي على رابطة تساهميّة ثنائيّة واحدة، أو رابطة تساهميّة ثلاثيّة واحدة على الأقلّ بين ذرّات الكربون.

2. ما الذي تعنيه البادئة "بيوت" في الكيمياء العضويّة؟
   a. ذرّتا كربون في سلسلة أو حلقة.
   b. 3 ذرّات كربون في سلسلة أو حلقة.
   c. 4 ذرّات كربون في سلسلة أو حلقة.
   d. 5 ذرّات كربون في سلسلة أو حلقة.

3. ما القيمة التّقريبيّة لزاوية الرّابطة بين روابط الألكانات؟
   a. 45°
   b. 90°
   c. 180°
   d. 109.5°

4. ما اسم الألكان الذي له الصّيغة البنائيّة في الشّكل المُجاور؟



   a. إيثان
   b. بيوتان
   c. بروبان
   d. ميثان

5. ما اسم الألكان الذي له الصّيغة الهيكليّة في الشّكل المُجاور؟

   a. بيوتان
   b. هكسان
   c. بنتان
   d. هبتان

6. ما الاستخدام الشّائع للألكانات ذات السّلاسل الطّويلة (C_{45} <)؟
   a. الوقود
   b. الأصماغ
   c. الأسفلت
   d. المذيبات

7. أيّ من الجمل الآتية صحيحة في ما يتعلّق بعمليّة التّقطير التّجزيئيّ الّتي تحدث في مصافي تكرير النّفط؟
   a. تغلي الجُزَيْئات ذات السّلاسل القصيرة أوّلًا عند درجات حرارة أقلّ من الجُزَيْئات ذات السّلاسل الطّويلة.
   b. تغلي الجُزَيْئات ذات السّلاسل القصيرة أوّلًا عند درجات حرارة أعلى من الجُزَيْئات ذات السّلاسل الطّويلة.
   c. تغلي الجُزَيْئات ذات السّلاسل الطّويلة أوّلًا عند درجات حرارة أقلّ من الجُزَيْئات ذات السّلاسل القصيرة.
   d. تغلي الجُزَيْئات ذات السّلاسل الطّويلة أوّلًا عند درجات حرارة أعلى من الجُزَيْئات ذات السّلاسل القصيرة.

8. أيّ من المعادلات الكيميائيّة الآتية توضّح عمليّة تكسير حفزيّ لألكان؟
   a. $C_2H_4 + H_2 \rightarrow C_2H_6$
   b. $C + 2H_2 \rightarrow CH_4$
   c. $C_7H_{16} \rightarrow C_5H_{12} + C_2H_4$
   d. $C_3H_8 + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$

9. أيّ من الخيارات الآتية لن تجعل احتياطيّات النّفط الخام تدوم مدّة زمنيّة أطول؟
   a. إيجاد مصادر طاقة بديلة.
   b. تكرير كمّيّة أكبر من النّفط الخام.
   c. تكرير كمّيّة أقلّ من النّفط الخام.
   d. تقليل كمّيّة النّفط الخام المُستهلَكة في جميع أنحاء العالم.

10.* استخدم البيانات المُدرَجة في **الجدول 6-7** (صفحة 117) للإجابة عن السّؤال الآتي: ما متوسّط كمّيّة استهلاك النّفط المُقدَّرة لكلّ شخص في العام الواحد في دولة قطر عام 2021 م بوحدة البرميل؟
   a. 21.6
   b. 2.16
   c. 4.62
   d. 0.0462

أسئلة الإجابات القصيرة

الدّرس 6-1: المفاهيم الأساسيّة للكيمياء العضويّة

11. عرّف الهيدروكربونات غير المُشبَعة.

12. ما البادئة التي تشير إلى وجود 3 ذرّات كربون موجودة في سلسلة أو حلقة لمُركّب عضويّ؟

13. ما المقطع النّهائيّ المُستخدَم لتحديد أنّ الهيدروكربون عبارة عن ألكان؟

14. اكتب الصّيغة العامّة للألكانات.

15. ما اسم الألكان الذي يتكوّن من ذرّة كربون واحدة فقط؟

16. ما الصّيغة الجُزيئيّة لألكان يتكوّن من 9 ذرّات كربون؟

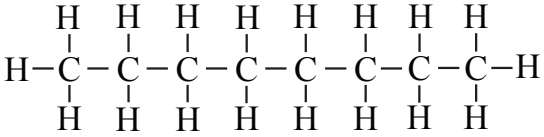
17. ارسم الصّيغة البنائيّة لمُركّب البيوتان.

18. اكتب الصّيغة البنائيّة المُكثّفة لمُركّب الدّيكان.

19. ارسم الصّيغة الهيكليّة لمُركّب الهكسان.

20. ما اسم الألكان الذي له الصّيغة الجُزَيْئيّة الآتية: C_5H_{12}؟

21. ما اسم الألكان الذي له الصّيغة البنائيّة في الشّكل المُجاور؟

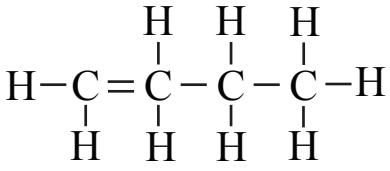


22. ما اسم الألكان الذي له الصّيغة البنائيّة المكثّفة الآتية: $CH_3(CH_2)_5CH_3$؟

23. ما اسم الألكان الذي له الصّيغة الهيكليّة المبينة في الشّكل المجاور؟

24. ما اسم الألكان الذي له الصّيغة الهيكليّة المُبيَّنة في الشّكل المُجاوِر؟

25. من حيث ذرّات الهيدروجين المرتبطة، وضِّح الخطأ في الصّيغة البنائيّة في الشّكل المُجاوِر.



26. هل الجملة الآتية صحيحة أم لا؟ "تميل الهيدروكربونات إلى التّفاعل بشكل أسرع من المُركّبات غير العضويّة".

27. قارن قابليّة ذوبان الهيدروكربونات في الماء بقابلية ذوبان المُركّبات غير العضويّة.

الدّرس 6-2: الألكانات في الصّناعات البتروكيماويّة

28. هل تميل الألكانات ذات السّلاسل الطّويلة أم القصيرة إلى أن تُستخدم كوقود؟

29. من حيث درجة الغليان، متى تنفصل جُزَيْئات الألكانات ذات السّلاسل الطّويلة من النّفط الخام مقارنة بجُزَيْئات الألكانات ذات السّلاسل القصيرة أثناء حدوث عمليّة التّقطير التّجزيئيّ في مصافي تكرير النّفط؟

30. طابق أطوال سلاسل الكربون الآتية مع درجات حرارة التّكثيف المُرجّحة في الشّكل المُجاوِر، والتي تحدث في برج التّقطير التّجزيئيّ في إحدى مصافي تكرير النّفط: C_{40}، وC_{12}، وC_3.

20°C

200°C

400°C

31. من حيث طول سلاسل الكربون، ما حجم جُزَيْئات الألكانات التي تنتج أثناء عمليّة التّكسير الحفزي؟

32. ما الصّيغة الكيميائيّة للهيدروكربون "X" الموجود في المعادلة الكيميائيّة الآتية التي تمثّل عمليّة التّكسير الحفزيّ؟

$$X \rightarrow C_8H_{18} + C_2H_4$$

33. ما الصّيغة الكيميائيّة للهيدروكربون "X" الموجود في المعادلة الكيميائيّة الآتية التي تمثّل عمليّة التّكسير الحفزيّ؟

$$C_{10}H_{22} \rightarrow C_5H_{12} + X + C_2H_4$$

34. ما أحد الأسباب التي قد تجعل علماء كيمياء البترول يرغبون في تطوير عوامل حفّازة جديدة لاستخدامها في عمليّة التّكسير الحفزي؟

35. باستخدام مجموعة النّماذج الجُزَيْئيّة، ابنِ جُزَيْئًا لتمثّل عمليّة التّكسير الحفزي لمُركَّب الأوكتان الذي ينتج منه جُزَيْئا هيدروكربون أصغر منه. علمًا أنّ تمثيل العامل الحفّاز غير ضروريّ في مجموعة النّماذج.

36. ابحث وحدّد مُنتَجَيْن لأقمشة مُصنّعة من مركبات عضوية. حدّد المُركّب العضوي المُستخدَم في هذه الصّناعة وسَمِّ على الأقلّ مُنتجًا واحدًا من الألبسة المَصنوعة منه. من الممكن أن لا يكون هذا المركب العضوي من الألكانات.

37. ابحث عن مُكوّنات النّفط العاديّ. أعطِ قِيمًا تقريبيَّة للأسئلة الآتية:

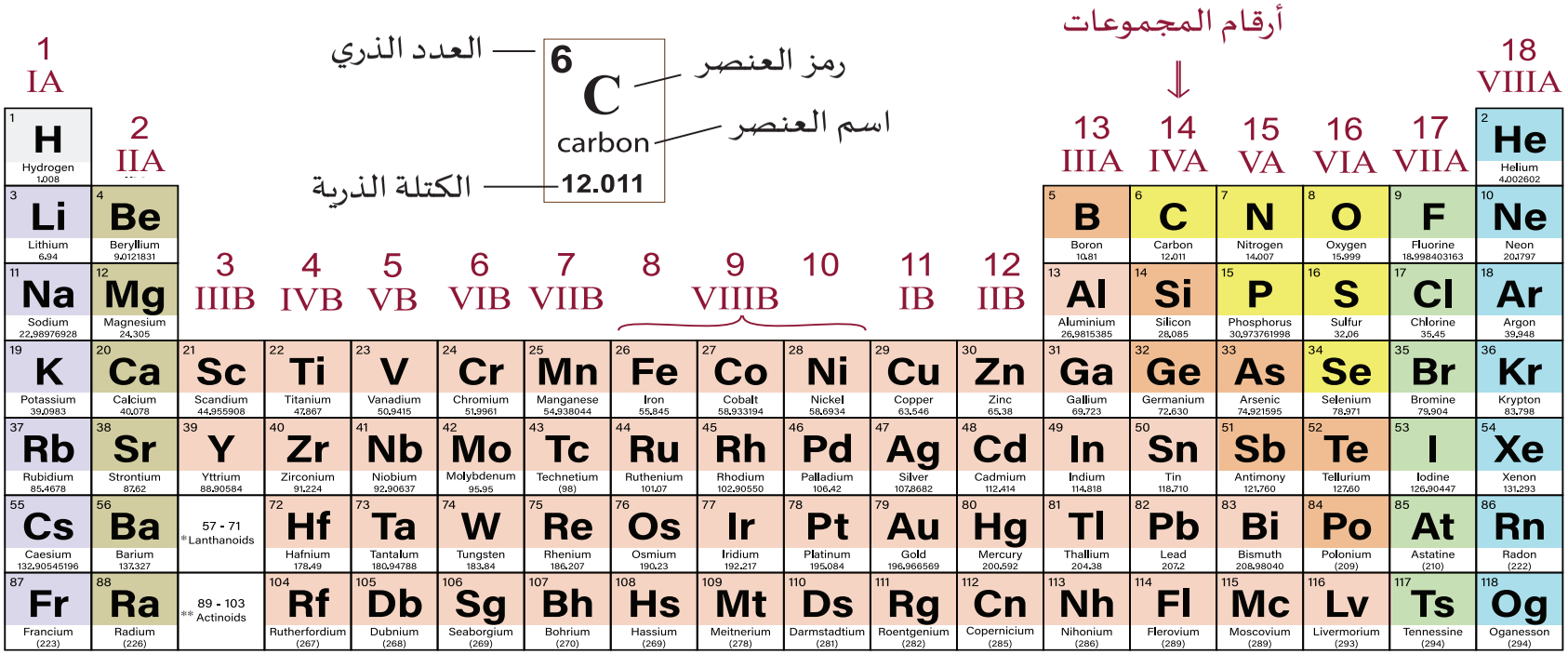
a. ما نسبة المُركّبات التي تحتوي جُزَيْئاتها على 4 ذرّات كربون وأقلّ؟

b. ما نسبة المُركّبات التي تحتوي جُزَيْئاتها على 5 إلى 10 ذرّات كربون؟

c. ما نسبة المُركّبات التي تحتوي جُزَيْئاتها على أكثر من 10 ذرّات كربون؟

ملاحظة: قد تختلف الإجابات بحسب منطقة استخراج النّفط الخام إذ تختلف نسبة وجود كلّ مُكوّن من مُكوّنات النّفط الخام بحسب مناطق وجوده.

الجدول الدوري الحديث للعناصر



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

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;

المملكة الاردنية الهاشمية
وزارة التربية والتعليم

السلام عليكم ورحمة الله وبركاته
نرحب بكم في
موقع ومنتديات صقر الجنوب التعليمية
منهاج المملكة الأردنية الهاشمية
ويسعدنا ويشرفنا ان نستمر معكم في تقديم
كل ما هو جديد للمنهاج المحدثة المطورة ولجميع
المستويات والمواد
ملفات نجمعها من كل مكان ونضعها لكم في مكان واحد
ليسهل تحميلها
علما ان جميع ما ننشر مجاني 100%

أخي الزائر - أختي الزائرة ان دعمكم لنا هو انمامكم لنا
فهو شرف كبير
صفحتنا على الفيس بوك هنا
مجموعتنا على الفيس بوك هنا
قناتنا على اليوتيوب هنا

جميع ملفاتنا نرفعها على مركز تحميل خاص في صقر الجنوب

نحن نسعى دائما الى تقديم كل ما هو أفضل لكم و هذا وعد منا ان شاء الله
شجعونا دائما حتى نواصل في العطاء و نسأل الله ان يوفقنا و يسدد خطانا

في حال واجهتك اي مشكلة في تحميل اي ملف من منتديات صقر الجنوب المنهاج الاردني
صفحة اتصل بنا