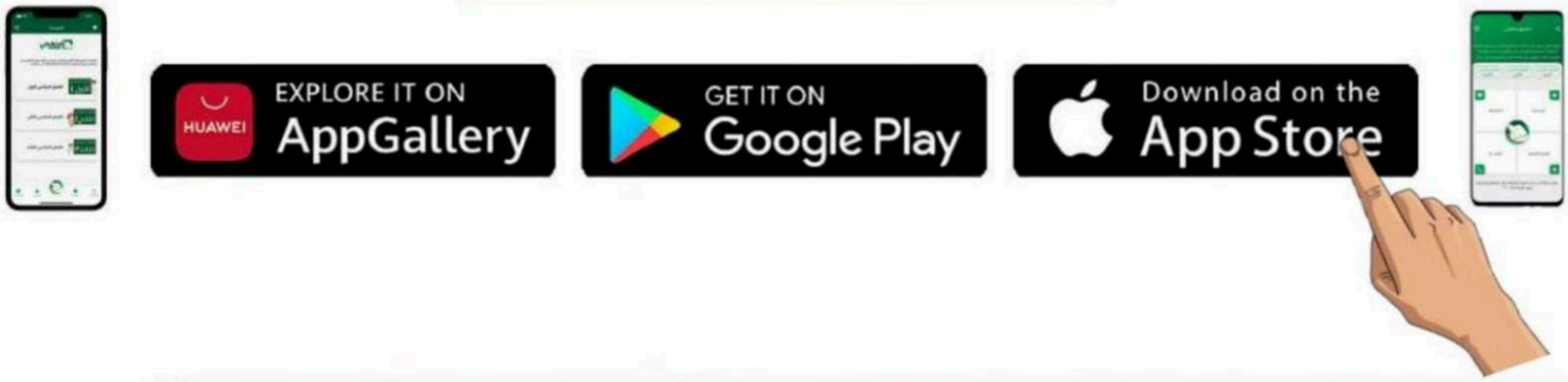
تم تحميل وعرض المادة من



موقع منهجي منصة تعليمية توفر كل ما يحتاجه المعلم والطالب من حلول الكتب الدراسية وشرح للدروس بأسلوب مبسط لكافة المراحل التعليمية وتوازيع المناهج وتحاضير وملخصات ونماذج اختبارات وأوراق عمل جاهزة للطباعة والتحميل بشكل مجاني

حمل تطبيق منهجي ليصلك كل جديد



قـــررت وزارة الـتـعـلـيـم تـــدريس
هـذا الـكـتـاب وطـبـعـه عـلـى نـفـقـتـهـا



المملكة العربية السعودية

الكيمياء 2-2

التعليم الثانوي - نظام المسارات

السنة الثانية

قام بالتأليف والمراجعة
فريق من المتخصصين

يُوزع مجّانًا ولا يُباع

طبعة 1447 - 2025

ⓒ المركز الوطني للمناهج ، ١٤٤٦هـ

المركز الوطني للمناهج

الكيمياء ٢ -٢ - التعليم الثانوي - السنة الثانية -نظام المسارات.

/ المركز الوطني للمناهج - الرياض ، ١٤٤٦ هـ .

٢٤٩ ص ؛ ٢١ X ٢٧,٥ سم

رقم الإيداع : ١٤٤٦/١٦٤٩٣

ردمك : ٩٧٨-٦٠٣-٨٥٣٣-٠٥-٥

حقوق الطبع والنشر محفوظة لوزارة التعليم

www.moe.gov.sa

مواد إثرائية وداعمة على "منصة عين الإثرائية"

ien.edu.sa

أعزاءنا المعلمين والمعلمات، والطلاب والطالبات، وأولياء الأمور، وكل مهتم بالتربية والتعليم:

يسعدنا تواصلكم؛ لتطوير الكتاب المدرسي، ومقترحاتكم محل اهتمامنا.

fb.ien.edu.sa


بسم الله الرحمن الرحيم

المقدمة

بِسْمِ اللهِ الرَّحْمنِ الرَّحيمِ

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

يأتي اهتمام المملكة بتطوير المناهج الدراسية وتحديثها من منطلق أحد التزامات رؤية المملكة العربية السعودية **2030** وهو: «إعداد مناهج تعليمية متطورة تركز على الممارسات الأساسية بالإضافة إلى تطوير المواهب وبناء الشخصية»، وذلك من منطلق تطوير التعليم وتحسين مُخرجاته ومواكبة التطورات العالمية على مختلف الصعد.

ويأتي كتاب كيمياء **2** للتعليم الثانوي (نظام المسارات) داعمًا لرؤية المملكة العربية السعودية **(2030)** نحو الاستثمار في التعليم عبر ضمان حصول كل طالب على فرص التعليم الجيد وفق خيارات متنوعة، بحيث يكون الطالب فيها هو محور العملية التعليمية التعلمية.

والكيمياء فرع من العلوم الطبيعية يتعامل مع بنية المادة ومكوناتها وخصائصها النشطة. ولأن المادة هي كل شيء يشغل حيزًا في الفراغ وله كتلة، إذن فالكيمياء تهتم بدراسة كل شيء يحيط بنا، ومن ذلك السوائل التي نشربها، والغازات التي نتنفّسها، والمواد التي يتكون منها جهازنا الخلوي، وطبيعة الأرض تحت أقدامنا. كما تهتم بدراسة جميع التغيرات والتحولات التي تطرأ على المادة. فالنفط الخام يحوّل إلى منتجات نفطية قابلة للاستخدام بطرائق كيميائية، وكذلك تحويل بعض المنتجات النفطية إلى مواد بلاستيكية. والمواد الخام المعدنية يستخلص منها الفلزات التي تستخدم في العديد من الصناعات الدقيقة، وفي صناعة السيارات والطائرات. والأدوية المختلفة تستخلص من مصادر طبيعية ثم تفصل وتركب في مختبرات كيميائية. ويتم في هذه المختبرات تعديل مواصفات هذه الأدوية لتتوافق مع المواصفات الصيدلانية، وتلبي متطلبات الطب الحديث.

وقد تم بناء محتوى كتاب الطالب بطريقة تتيح ممارسة العلم كما يمارسه العلماء، وجاء تنظيم المحتوى بأسلوب مشوق يعكس الفلسفة التي بنيت عليها سلسلة مناهج العلوم من حيث إتاحة الفرص المتعددة للطالب لممارسة الاستقصاء العلمي بمستوياته المختلفة، المبني والموجَّه والمفتوح. فقبل البدء في دراسة محتوى كل فصل من فصول الكتاب، يقوم الطالب بالاطلاع على الفكرة العامة للفصل التي تقدم صورة شاملة عن محتواه. ثم يقوم بتنفيذ أحد أشكال الاستقصاء المبني تحت عنوان التجربة الاستهلالية التي تساعد أيضًا على تكوين النظرة الشاملة عن محتوى الفصل. وتتيح التجربة الاستهلالية في نهايتها ممارسة شكل آخر من أشكال الاستقصاء الموجه من خلال سؤال الاستقصاء المطروح. وتتضمن النشاطات التمهيدية

للفصل إعداد مطوية تساعد على تلخيص أبرز الأفكار والمفاهيم التي سيتناولها الفصل. وهناك أشكال أخرى من النشاطات الاستقصائية الأخرى التي يمكن تنفيذها من خلال دراسة المحتوى، ومنها مختبرات تحليل البيانات، أو حل المشكلات، أو التجارب العملية السريعة، أو مختبر الكيمياء في نهاية كل فصل، الذي يتضمن استقصاءً مفتوحًا في نهايته ، بما يُعزز أيضاً مبدأ رؤية **2030** " نتعلم لنعمل " .

وعندما تبدأ دراسة المحتوى تجد في كل قسم ربطًا بين المفردات السابقة والمفردات الجديدة، وفكرة رئيسة خاصة بكل قسم ترتبط مع الفكرة العامة للفصل. وستجد أدوات أخرى تساعدك على فهم المحتوى، منها ربط المحتوى مع واقع الحياة، أو مع العلوم الأخرى، وشرحًا وتفسيرًا للمفردات الجديدة التي تظهر مظللة باللون الأصفر، وتجد أيضًا أمثلة محلولة يليها مسائل تدريبية تعمِّق معرفتك وخبراتك في فهم محتوى الفصل. وتضمّن كل قسم مجموعة من الصور والأشكال والرسوم التوضيحية بدرجة عالية الوضوح تعزز فهمك للمحتوى. وتجد أيضًا مجموعة من الشروح والتفسيرات في هوامش الكتاب، ومنها ما يتعلق بالربط بمحاور رؤية **2030** وأهدافها الاستراتيجية، منها ما يتعلق بالمهن، أو التمييز بين الاستعمال العلمي والاستعمال الشائع لبعض المفردات، أو إرشادات للتعامل مع المطوية التي تعدها في بداية كل فصل.

وقد وظفت أدوات التقويم الواقعي في مستويات التقويم بأنواعه الثلاثة، التمهيدي والتكويني والختامي؛ إذ يمكن توظيف الصورة الافتتاحية في كل فصل بوصفها تقويمًا تمهيديًّا لتعرّف ما يعرفه الطلاب عن موضوع الفصل، أو من خلال مناقشة الأسئلة المطروحة في التجربة الاستهلالية. ومع التقدم في دراسة كل جزء من المحتوى تجد سؤالاً تحت عنوان «ماذا قرأت؟»، وتجد تقويمًا خاصًّا بكل قسم من أقسام الفصل يتضمن أفكار المحتوى، وأسئلة تعزز فهمك لما تعلمت وما ترغب في تعلمه في الأقسام اللاحقة. وفي نهاية الفصل تجد دليلاً لمراجعة الفصل يتضمَّن تذكيرًا بالفكرة العامة والأفكار الرئيسة والمفردات الخاصة بأقسام الفصل، وخلاصة بالأفكار الرئيسة التي وردت في كل قسم. ثم تجد تقويمًا للفصل في صورة أسئلة متنوعة تهدف إلى إتقان المفاهيم، وحل المسائل، وأسئلة خاصة بالتفكير الناقد، والمراجعة العامة، والمراجعة التراكمية، ومسائل تحدٍّ، وتقويمًا إضافيًّا يتضمن تقويم مهارات الكتابة في الكيمياء، وأسئلة خاصة بالمستندات تتعلق بنتائج بعض التقارير أو البحوث العلمية. وفي نهاية كل فصل تجد اختبارًا مقننًا يهدف إلى تقويم فهمك للموضوعات التي قمت بتعلمها سابقًا.

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

قائمة المحتويات

دليل الطالب

كيف تستفيد من كتاب الكيمياء؟ 7

الفصل 1

الطاقة والتغيرات الكيميائية 10

1-1 الطاقة 12

1-2 الحرارة 19

1-3 المعادلات الكيميائية الحرارية 25

1-4 حساب التغير في المحتوى الحراري 31

كيف تعمل الأشياء ؟ المركبات ذات المرونة في استعمال الوقود 39

الفصل 2

سرعة التفاعلات الكيميائية 48

2-1 نظرية التصادم وسرعة التفاعل الكيميائي 50

2-2 العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل الكيميائي 58

2-3 قوانين سرعة التفاعل الكيميائي 63

الكيمياء والصحة: سرعة التفاعل ودرجة حرارة الجسم 67

الفصل 3

الاتزان الكيميائي 76

3-1 حالة الاتزان الديناميكي 78

3-2 العوامل المؤثرة في الاتزان الكيميائي 91

3-3 استعمال ثوابت الاتزان 98

الكيمياء والصحة: ارتفاع الهيموجلوبين إلى مستوى التحدي 109

الفصل 4

الهيدروكربونات 118

4-1 مقدمة إلى الهيدروكربونات 120

4-2 الألكانات 126

4-3 الألكينات والألكاينات 136

4-4 متشكلات الهيدروكربونات 143

4-5 الهيدروكربونات الأروماتية 149

كيف تعمل الأشياء؟ تحويل المخلفات إلى طاقة 155

الفصل 5

مشتقات المركبات الهيدروكربونية وتفاعلاتها 166

5-1 هاليدات الألكيل وهاليدات الأريل 168

5-2 الكحولات والإيثرات والأمينات 174

5-3 مركبات الكربونيل 178

5-4 تفاعلات أخرى للمركبات العضوية 184

5-5 البوليمرات 191

الكيمياء في الحياة اليومية: الثوم 197

الفصل 6

المركبات العضوية الحيوية 208

6-1 البروتينات 210

6-2 الكربوهيدرات 216

6-3 الليبيدات 219

6-4 الأحماض النووية 224

في الميدان: المهنة: عالم البيولوجيا الجزيئية 228

الملاحق

المصطلحات 238

الجدول الدوري للعناصر 248

كيف تستفيد من كتاب الكيمياء؟

هذا الكتـــاب ليس كتابًا أدبيًا أو رواية خيالية، بل يصف ظواهر ونظريات وقوانيـــن وحقائق علمية، ويربطها بحياة الناس، وتطبيقات تقنية؛ لذا فأنت تقرؤه طلبًا للعلم والمعلومات. وفيما يأتي بعض الأفكار والإرشادات التي تساعدك على قراءته:

قبـــل أن تقـــرأ

اقرأ كلًّا من الفكرة العامة و الفكرة الرئيسة والتجربة الاســـتهلالية ؛ فهي تـــزودك بنظرة عامـــة تمهيدية لهذا الفصل.

لكل فصـــل فكرة عامة تقدم صورة شـــاملة عنه.

ولكل قســـم من أقســـام الفصل فكرة رئيسة تدعم فكرته العامة.



يبدأ كل فصل بتجربة اســـتهلالية تقـــدم المادة التي يتناولها. نفذ التجربة الاستهلالية، لتكتشف المفاهيم التي سيتناولها الفصل.



لتحصل على رؤية عامة عن الفصل

- اقرأ عنوان الفصل لتتعرّف موضوعاته.
- تصفّح الصور والرسوم والتعليقات والجداول.
- ابحث عـــن المفردات البـــارزة والمظللـــة باللون الأصفر.
- اعمل مخططًا للفصل باســـتخدام العناوين الرئيسة والعناوين الفرعية.

كيف تستفيد من كتاب الكيمياء؟

عندما تقرأ

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



1–1

الأهداف

- تعرّف الطاقة.
- تميّز بين طاقة الوضع والطاقة الحركية.
- تربط بين طاقة الوضع الكيميائية والحرارة المفقودة أو المكتسبة في التفاعلات الكيميائية.
- تحسب كمية الحرارة المتصة أو المنطلقة عندما تتغير درجة حرارة المادة.

مراجعة المفردات

درجة الحرارة: مقياس لمتوسط الطاقة الحركية للجسيمات الموجودة في عينة من المادة.

المفردات الجديدة

الطاقة
قانون حفظ الطاقة
طاقة الوضع الكيميائية
الحرارة
السُّعر
الجول
الحرارة النوعية

الطاقة Energy

الفكرة الرئيسة قد يتغير شكل الطاقة، وقد تنتقل، ولكنها تبقى محفوظة دائمًا.

الربط مع الحياة هل راقبت يومًا العربة الأفعوانية وهي تنقل صعودًا ونزولاً على سِكَّتها؟ وهل جرّبت ركوبها؟ تتغير طاقة العربة في كل مرة تصعد فيها أو تهبط.

طبيعة الطاقة The Nature of Energy

لا بد أن مصطلح الطاقة مألوف لديك. ولعلك سمعت أحدهم يقول، "لقد استنفدت طاقتي" بعد المشاركة في لعبة مجهدة، أو بعد يوم عمل شاق. ويكثر النقاش في وسائل الإعلام عن الطاقة الشمسية، والطاقة النووية، والسيارات التي تعمل بالطاقة، وغيرها من المواضيع المتعلقة بالطاقة.

تستعمل الطاقة في طهو الطعام الذي تأكله وتحريك المركبات التي تنقلك، وفي تدفئة المنازل والمدارس في الأيام الباردة وتبريدها في الأيام الحارة. كما تزودنا الطاقة الكهربائية بالضوء، وتشغيل الكثير من الأجهزة التي نحتاج إليها، ومنها التلفاز والحاسوب والثلاجات. كما تدخل الطاقة في صناعة جميع المواد والأجهزة الموجودة في منزلك.

ولا تقتصر الحاجة إلى الطاقة على ذلك فقط، بل تتطلب كافة الأنشطة البدنية والذهنية التي تقوم بها طاقةً. إن كل خلية في جسمك هي مصنع صغير جدًّا يعمل بالطاقة المستمدة من الطعام الذي تأكله.

ما الطاقة؟ تعرف الطاقة بأنها القدرة على بذل شغل أو إنتاج حرارة، وهي توجد عمومًا في صورة طاقة وضع وطاقة حركية. تسمى الطاقة التي تعتمد على تركيب أو موضع جسم ما طاقة الوضع. الشكل 1a–1 يكون للمتزلج عند نقطة البداية في أعلى المسار أكبر طاقة وضع ولا يكون له طاقة حركية، وما إن يبدأ في الحركة حتى تتحول طاقة وضعه إلى طاقة حركية على طول المسار حتى خط النهاية، كما هو مبين في الشكل 1b–1. تنجم الطاقة الحركية عن حركة الأجسام، ويمكنك ملاحظتها في حركة الأجسام والناس من حولك. وتحتوي الأنظمة الكيميائية على طاقة حركية وطاقة وضع.

الشكل 1-1

a. تكون طاقة الوضع للمتزلج عالية في أعلى المسار بسبب موضعه.

b. تتحول طاقة الوضع المتزلج إلى طاقة حركية.

قارن فيم تختلف طاقة الوضع المتزلج عند بوابة البدء عنها عند خط النهاية؟

12

الربط مع الحياة: يصف ارتباط المحتوى مع الواقع.

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

مثال 2-1

حساب الحرارة النوعية عند بناء الجسور وناطحات السحاب تترك فراغات بين الدعامات الفولاذية لكي تتمدد وتنكمش عندما ترتفع أو تنخفض درجات الحرارة. إذا تغيرت درجة حرارة عينة من الحديد كتلتها 10.0 g من 25 °C إلى 50.4 °C وانطلقت كمية من الحرارة مقدارها 114 J، فما الحرارة النوعية للحديد؟

1 تحليل المسألة

لديك كتلة العينة، ودرجة الحرارة الابتدائية والنهائية، وكمية الطاقة المنطلقة. يمكنك حساب الحرارة النوعية للحديد بإعادة ترتيب المعادلة التي تربط بين هذه المتغيرات.

المعطيات

الطاقة المنطلقة = 114 J
كتلة الحديد = 10 g Fe
$T_i = 50.4°C$
$T_f = 25°C$

المطلوب

الحرارة النوعية للحديد = ؟ J/g °C

2 حساب المطلوب

احسب ΔT.

$\Delta T = 50.4\,°C - 25.0\,°C = 25.4\,°C$

اكتب معادلة لحساب كمية الحرارة

$q = c \times m \times \Delta T$

أوجد قيمة c

$c = \frac{q}{m \times \Delta T}$

عوض $q = 114$ J, $m = 10.0$ g, $\Delta T = 25.4$ °C

$c = \frac{114\ J}{(10.0\ g \times 25.4°C)}$

اضرب واقسم الأرقام والوحدات

$c = 0.449\ J/g \cdot °C$

3 تقويم الإجابة

قيمة مقام المعادلة تساوي ضعفي قيمة البسط تقريبًا، إذن النتيجة النهائية تقارب 0.5، وهي معقولة. كما أن القيمة المحسوبة تساوي القيمة المسجلة للحديد في الجدول 2-1.

مسائل تدريبية

4. إذا ارتفعت درجة حرارة 34.4 g من الإيثانول من 25 °C إلى 78.8 °C، فما كمية الحرارة التي امتصها الإيثانول؟ ارجع إلى الجدول 2-1.
5. سخنت عينة من مادة مجهولة كتلتها 155 g فارتفعت درجة حرارتها من 25 °C إلى 40.0 °C فامتصت 5696 J من الطاقة. ما الحرارة النوعية للمادة؟ عيّن المادة بالرجوع إلى الجدول 2-1.
6. **تحفيز** قطعة من الذهب النقي كتلتها 4.50 g، امتصت 276 J من الحرارة، وكانت درجة حرارتها الأولية 25 °C. ما درجة حرارتها النهائية؟

17

مهارات قرائية

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

كيف تستفيد من كتاب الكيمياء؟

بعدما قرأت

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



الشكل 3-1 مدرستان بالرياض (جبر بن عتيك، والأمير عبدالمجيد بن عبدالعزيز) تعملان بالطاقة الشمسية لإنتاج الطاقة الكهربية؛ تمهيدًا لإطلاق خطة الطاقة الشمسية (2030) الأكبر في العالم بهذا المجال.

الطاقة الشمسية يستغل الماء أحيانًا لأخذ الطاقة من الشمس؛ وذلك بسبب حرارته النوعية العالية. فبعد أن تسخن أشعة الشمس الماء يمكن تدويره في البيوت والأماكن الأخرى لتدفئتها، كما يمكن أن تزود أشعة الشمس احتياجات العالم من الطاقة، مما يقلل من استعمال أنواع الوقود التي تنتج ثاني أكسيد الكربون. ولكن هناك عدة عوامل أدت إلى تأخير تطوير التقنيات الشمسية. فمثلاً الشمس تسطع فترةً محددةً كل يوم، كما أن تراكم الغيوم فوق بعض الأماكن تخفف من كمية أشعة الشمس الساقطة عليها. وبسبب هذه المتغيرات كان لابد من ابتكار طرائق فعالة لتخزين الطاقة. إن تطوير الخلايا الكهروضوئية-انظر الشكل 3-1- هو السبيل الواعد لاستعمال الطاقة الشمسية؛ فهذه الخلايا تحول الإشعاع الشمسي مباشرة إلى كهرباء. فالخلايا الكهروضوئية تزود رواد الفضاء بالطاقة؛ ولكنها لا تستعمل لتوفير الطاقة اللازمة للاحتياجات العادية؛ وذلك لأن تكلفة إنتاج الكهرباء بالخلايا الكهروضوئية مرتفعة مقارنة بتكلفة حرق الفحم أو البترول.

ولذلك تُعدّ البحوث التطبيقية وسيلة فعّالة لتلبية حاجة المملكة لتطوير نشاط بحثيّ قويّ يُركّز على تحقيق أهداف حيوية محدّدة ذات أهمية اجتماعية واقتصادية وطنية تؤدي إلى خلق صناعات وخدمات وطنية رائدة في العالم، وتعتبر مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية (kacst) الجهة الوطنية الرائدة في مجالات البحوث التطبيقية وإحدى المجالات التي برزت فيها جهود المدينة هو مجال الطاقة كما يظهر في الشكل 3-1.

King Faisal PRIZE

تُمنح البروفيسور مايكل غرتزل جائزة الملك فيصل لمسرح العلوم عام 1436هـ في مجال الكيمياء، حيث عرف باكتشافاته في العلوم الأساسية والعملية في مجال تطوير أنظمة ضوئية وكهروكيميائية لاستخدامها في تحويل الطاقة الشمسية. إن خلايا الجيرزيل عالية بخلايا غرتزل هي أجهزة تم تطويرها من أفلام ثاني أكسيد التيتانيوم النانوية منخفضة بأسعار جزيئية.

للمزيد عن مركز جائزة الملك فيصل للعلوم http://kingfaisalprize.org/ar/science/

الرؤية حتى رؤية 2030

٣٠٠٤ زيادة مساهمة مصادر الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة.

التقويم 1-1

الخلاصة

- الطاقة هي القدرة على بذل شغل أو إنتاج حرارة.
- طاقة الوضع الكيميائية هي الطاقة المخزنة في الروابط الكيميائية للمادة تعتمد على عدد ونوع وترتيب الذرات والجزيئات.
- طاقة الوضع الكيميائية تطلق أو تمتص على عدة أشكال مثل: الحرارة أو الضوء أو الكهرباء في خلال العمليات أو التفاعلات الكيميائية.

7. **الفكرة الرئيسة** وضح كيف تتغير الطاقة من شكل إلى آخر في التفاعل الطارد للطاقة والتفاعل الماص لها.
8. ميّز بين الطاقة الحركية وطاقة الوضع في الأمثلة الآتية: مغناطيسين منفصلين؛ انهيار ثلجي، كتب موضوعة على رفوف، نهر، سباق سيارات، فصل الشحنات في بطارية.
9. وضح علاقة الضوء والحرارة في شمعة محترقة بطاقة الوضع الكيميائية.
10. احسب كمية الحرارة الممتصة عند تسخين 50.0 g ألومنيوم من درجة حرارة 25°C إلى درجة حرارة 95.0°C، علمًا أن الحرارة النوعية للألومنيوم 0.897 J/g°C.
11. تفسير البيانات وضعت كتل متساوية من الألومنيوم والذهب والحديد والفضة تحت أشعة الشمس في الوقت نفسه ولفترة زمنية محددة. استعمل الجدول 2-1 لترتيب الفلزات الأربعة وفق ازدياد درجات حرارتها من الأعلى إلى الأقل.

18

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



الفصل 1 دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة تمتص التفاعلات الكيميائية الحرارة أو تطلقها عادة.

1-1 الطاقة

الفكرة الرئيسة قد يتغير شكل الطاقة، وقد تنتقل، ولكنها تبقى محفوظة دائمًا.

المفردات
- الطاقة
- قانون حفظ الطاقة
- طاقة الوضع الكيميائية
- الجول
- الحرارة
- الحرارة النوعية

الأفكار الرئيسة
- الطاقة هي القدرة على بذل شغل أو إنتاج حرارة.
- طاقة الوضع الكيميائية هي الطاقة المختزنة في الروابط الكيميائية للمادة نتيجة ترتيب الذرات والجزيئات.
- طاقة الوضع الكيميائية تطلق أو تمتص على شكل حرارة خلال العمليات أو التفاعلات الكيميائية.

1-2 الحرارة

الفكرة الرئيسة التغيُّر في المحتوى الحراري للتفاعل يساوي المحتوى الحراري للنواتج مطروحًا منه المحتوى الحراري للمتفاعلات.

المفردات
- السعر
- الكيمياء الحرارية
- النظام
- المحيط
- الكون
- المحتوى الحراري
- المحتوى الحراري للتفاعل

الأفكار الرئيسة
- تعرّف الكيمياءُ الحرارية الكونَ على أنه النظام مع المحيط.
- تسمى كمية الحرارة المفقودة أو المكتسبة في النظام في أثناء التفاعل أو العملية التي تتم تحت ضغط ثابت التغيرّ في المحتوى الحراري (ΔH).
- عندما يكون ΔH موجبًا يكون التفاعل ماصًا للحرارة، أما عندما يكون ΔH سالبًا فيكون التفاعل طاردًا للحرارة.

1-3 المعادلات الكيميائية الحرارية

الفكرة الرئيسة تعبر المعادلات الكيميائية الحرارية عن مقدار الحرارة المنطلقة أو الممتصّة في التفاعلات الكيميائية.

المفردات
- المعادلة الكيميائية الحرارية
- حرارة الاحتراق
- حرارة التبخر الولارية
- حرارة الانصهار الولارية

الأفكار الرئيسة
- تحتوي المعادلة الكيميائية الحرارية على الحالات الطبيعية للمواد المتفاعلة والناتج، كما تبين التغير في المحتوى الحراري.
- حرارة التبخر الولارية ΔH_{vap} هي كمية الطاقة اللازمة لتبخر مول واحد من السائل.
- حرارة الانصهار الولارية ΔH_{fus} هي كمية الحرارة اللازمة لصهر مول واحد من المادة الصلبة.

1-4 حساب التغير في المحتوى الحراري

الفكرة الرئيسة يمكن حساب التغير في المحتوى الحراري للتفاعلات الكيميائية باستعمال قانون هس.

المفردات
- قانون هس
- حرارة التكوين القياسية

الأفكار الرئيسة
- يمكن حساب التغير في المحتوى الحراري للتفاعل بجمع معادلتين كيميائيتين حراريتين أو أكثر مع تغيرات المحتوى الحراري لها.
- حرارة التكوين القياسية للمركبات تحدد مقارنة بحرارة التكوين لعناصرها في حالاتها القياسية.

41

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

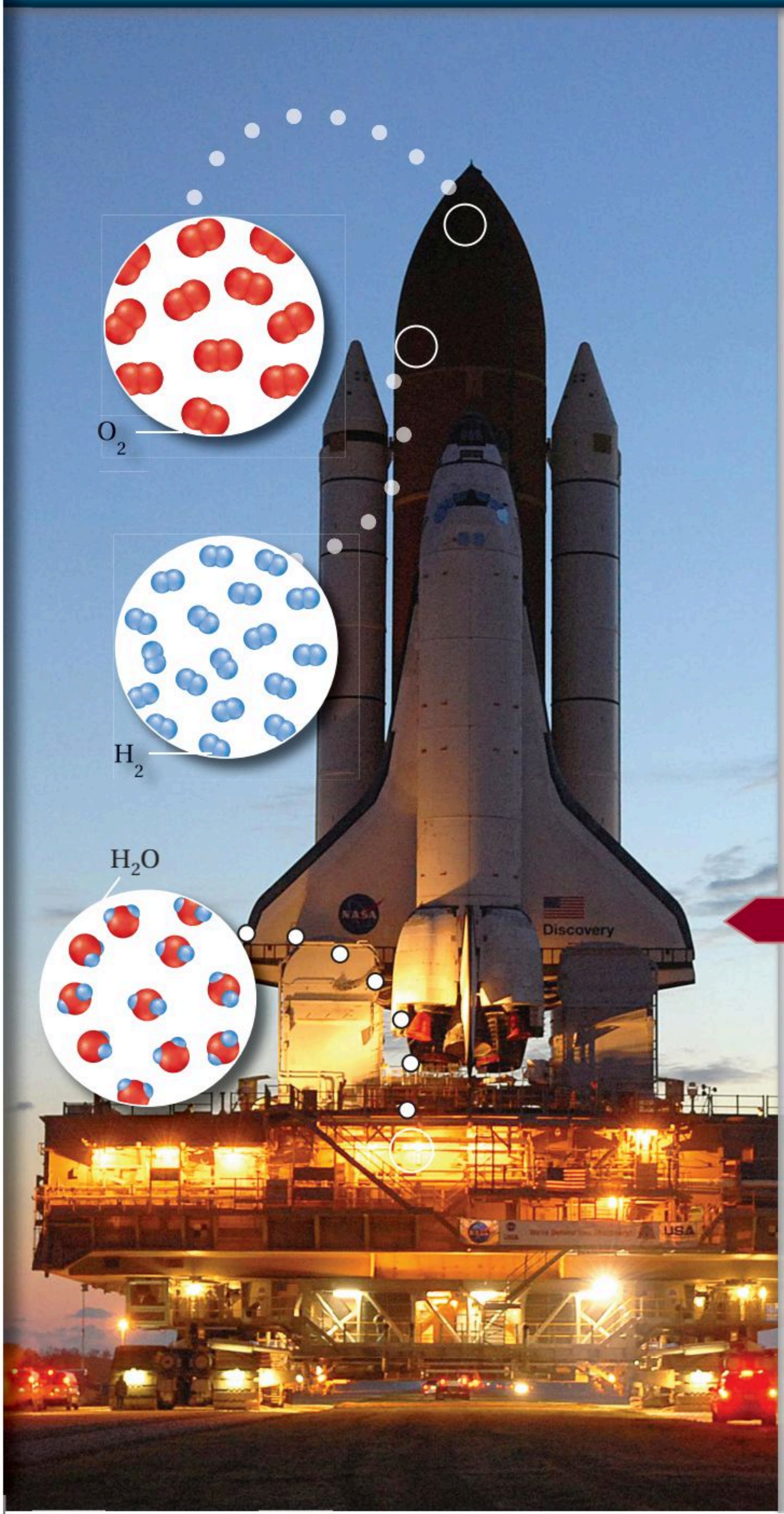
طرائق أخرى للمراجعة

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

الفصل 1

الطاقة والتغيرات الكيميائية

Energy and Chemical Changes



الفكرة العامة تمتص التفاعلات الكيميائية الحرارة أو تطلقها عادة.

1-1 الطاقة

الفكرة الرئيسة قد يتغير شكل الطاقة، وقد تنتقل، ولكنها تبقى محفوظة دائمًا.

1-2 الحرارة

الفكرة الرئيسة

التغير في المحتوى الحرارى للتفاعل يساوي المحتوى الحراري للنواتج مطروحاً منه المحتوى الحراري للمتفاعلات.

1-3 المعادلات الكيميائية الحرارية

الفكرة الرئيسة تعبر المعادلات الكيميائية الحرارية عن مقدار الحرارة المنطلقة أو الممتصة في التفاعلات الكيميائية.

1-4 حساب التغير في المحتوى الحراري

الفكرة الرئيسة يمكن حساب التغير في المحتوى الحراري للتفاعلات الكيميائية باستعمال قانون هس.

حقائق كيميائية

- تستعمل المحركات الثلاثة الرئيسة لمكوك الفضاء أكثر من 547,000 kg من الأكسجين السائل و 92,000 kg تقريبًا من الهيدروجين السائل.
- ترفع المحركات كتلة تصل إلى 2.04×10^6 kg
- يتسارع مكوك الفضاء إلى سرعة تزيد على 17,000 km /h خلال ثماني دقائق.

نشاطات تمهيدية

تجربة استهلالية

كيف تعمل كمّادة باردة؟



تستعمل الكمّادات الباردة الكيميائية لتخفيف الألم الناتج عن الإصابة؛ إذ تحتوي الكمادة على مركبين منفصلين؛ عند اتحادهما معًا يحدث امتصاص للحرارة. ما المركب الذي يكوّن أفضل كمادة باردة كيميائية؟

خطوات العمل

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. أحضر ثلاثة أنابيب اختبار.
3. استعمل **مخبارًا مدرجًا** لنقل 15 mL من **الماء المقطر** إلى كل أنبوب من **أنابيب الاختبار الثلاثة**.
4. استعمل **مقياس درجة حرارة غير زئبقي** لقياس درجة حرارة الماء المقطر، ثم سجل درجة الحرارة الأولية للماء في جدول البيانات.
5. استعمل **الميزان** لقياس كتلة 1.0 g من **نترات البوتاسيوم KNO_3** وضعها في أنبوب الاختبار رقم 1. **تحذير: أبعد جميع المواد الكيميائية المستعملة في هذه التجربة عن مصادر الحرارة.**
6. حرك الخليط جيدًا، وسجل درجة حرارة المحلول.
7. أعد الخطوتين 4 و 5 مستعملاً كلًّا من **كلوريد الكالسيوم $CaCl_2$**، ونترات **الأمونيوم NH_4NO_3** بدلاً من نترات البوتاسيوم KNO_3.

التحليل

1. **حلل واستنتج** أي المواد الكيميائية الثلاث المستعملة في التجربة تعد الأفضل لعمل كمّادة كيميائية باردة؟
2. **صف** استعمالاً أفضل لإحدى المادتين الأخريين المستعملتين في التجربة.

استقصاء ابحث عن تعديل يمكنك أن تعمله في خطوات العمل بحيث يزيد التغير في درجة الحرارة.

المطويات
منظمات الأفكار

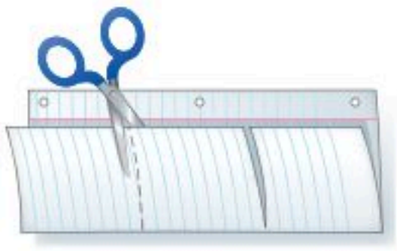
التغير في المحتوى الحراري اعمل المطوية الآتية لتنظيم دراستك عن المحتوى الحراري.



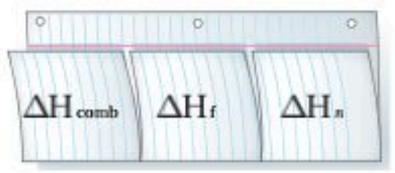
الخطوة 1 اطو الورقة طوليًّا من منتصفها على أن تكون الحافة الخلفية أطول من الأمامية 2cm تقريبًا.



الخطوة 2 اطو الورقة مرة أخرى مكوّنًا ثلاثة أجزاء.



الخطوة 3 افتح المطوية واقطع على خطّي الطي للجزء الأمامي مشكّلاً ثلاثة أشرطة.



الخطوة 4 عنون الأشرطة كما يأتي:
ΔH_{vap}، ΔH_{fus}، ΔH_{comb}

المطويات **استعمل هذه المطوية في القسم 3–1**، لخّص في أثناء قراءتك لهذا القسم معنى كل مصطلح.

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

1-1

الطاقة Energy

الأهداف

- **تعرّف** الطاقة.
- **تميّز** بين طاقة الوضع والطاقة الحركية.
- **تربط** بين طاقة الوضع الكيميائية والحرارة المفقودة أو المكتسبة في التفاعلات الكيميائية.
- **تحسب** كمية الحرارة الممتصة أو المنطلقة عندما تتغير درجة حرارة المادة.

مراجعة المفردات

درجة الحرارة: مقياس لمتوسط الطاقة الحركية للجسيمات الموجودة في عينة من المادة.

المفردات الجديدة

الطاقة
قانون حفظ الطاقة
طاقة الوضع الكيميائية
الحرارة
السُّعر
الجول
الحرارة النوعية

الفكرة الرئيسة **قد يتغير شكل الطاقة، وقد تنتقل، ولكنها تبقى محفوظة دائمًا.**

الربط مع الحياة هل راقبت يومًا العربة الأفعوانية وهي تنتقل صعودًا ونزولاً على سِكَّتها؟ وهل جرّبت ركوبها؟ تتغير طاقة العربة في كل مرة تصعد فيها أو تهبط.

طبيعة الطاقة The Nature of Energy

لا بد أن مصطلح الطاقة مألوف لديك. ولعلك سمعت أحدهم يقول، "لقد استنفدت طاقتي" بعد المشاركة في لعبة مجهدة، أو بعد يوم عمل شاق. و يكثر النقاش في وسائل الإعلام عن الطاقة الشمسية، والطاقة النووية، والسيارات التي تعمل بالطاقة، وغيرها من المواضيع المتعلقة بالطاقة.

تستعمل الطاقة في طهو الطعام الذي تأكله وتحريك المركبات التي تنقلك، وفي تدفئة المنازل والمدارس في الأيام الباردة وتبريدها في الأيام الحارة. كما تزودنا الطاقة الكهربائية بالضوء، وتشغيل الكثير من الأجهزة التي نحتاج إليها، ومنها التلفاز والحاسوب والثلاجات. كما تدخل الطاقة في صناعة جميع المواد والأجهزة الموجودة في منزلك.

ولا تقتصر الحاجة إلى الطاقة على ذلك فقط، بل تتطلب كافةُ الأنشطة البدنية والذهنية التي تقوم بها طاقةً. إن كل خلية في جسمك هي مصنع صغير جدًّا يعمل بالطاقة المستمدة من الطعام الذي تأكله.

ما الطاقة؟ تعرف **الطاقة** بأنها القدرة على بذل شغل أو إنتاج حرارة، وهي توجد عمومًا في صورة طاقة وضع وطاقة حركية. تسمى الطاقة التي تعتمد على تركيب أو موضع جسم ما طاقة الوضع. **الشكل 1a-1** يكون للمتزلج عند نقطة البداية في أعلى المسار أكبر طاقة وضع ولا يكون له طاقة حركية، وما إن يبدأ في الحركة حتى تتحول طاقة وضعه إلى طاقة حركية على طول المسار حتى خط النهاية، كما هو مبين في **الشكل 1b-1**. تنجم الطاقة الحركية عن حركة الأجسام، ويمكنك ملاحظتها في حركة الأجسام والناس من حولك. وتحتوي الأنظمة الكيميائية على طاقة حركية وطاقة وضع.

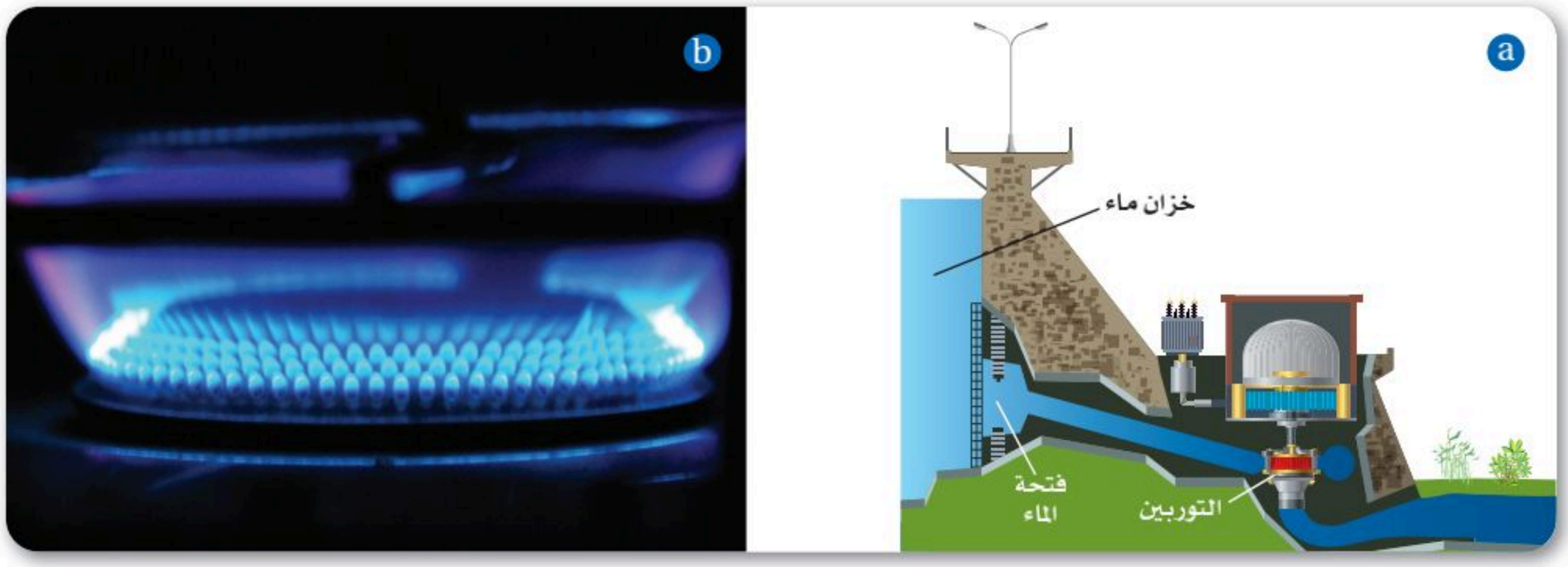


الشكل 1-1

a . تكون طاقة الوضع للمتزلج عالية في أعلى المسار بسبب موضعه.

b. تتحول طاقة الوضع للمتزلج إلى طاقة حركية.

قارن فيم تختلف طاقة الوضع للمتزلج عند بوابة البدء عنها عند خط النهاية؟



الشكل 2-1 يمكن أن تتحول الطاقة من شكل إلى آخر، ولكنها محفوظة دائمًا.

a. تتحول طاقة الوضع للماء إلى طاقة حركية عندما يتدفق من فتحة الخزان؛ إذ تدير المياه المندفعة التوربين لتوليد الطاقة الكهربائية.

b. تتحول طاقة الوضع المخزونة في روابط جزيئات البروبان إلى حرارة.

وقد عرفت من قبل أن الطاقة الحركية للمادة ترتبط مباشرة مع الحركة الدائمة العشوائية لجسيماتها، وتتناسب مع درجة الحرارة. فعندما ترتفع درجة الحرارة تزداد حركة الجسيمات. وتعتمد طاقة الوضع للمادة على تركيبها الكيميائي، من حيث: أنواع الذرات في المادة، وعدد الروابط الكيميائية التي تربط الذرات معًا ونوعها، وطريقة ترتيب هذه الذرات.

قانون حفظ الطاقة درست أن الطاقة تتحول من شكل إلى آخر، ولكنها تبقى محفوظة، أي أن مجموع كمية الطاقة يبقى ثابتًا. فمثلاً عندما يتدفق الماء عبر التوربينات في محطة التوليد الكهرومائية المبينة في **الشكل 2a-1** يتحول جزء من طاقته الحركية إلى طاقة كهربائية. وعلى سبيل المثال أيضًا، يعد غاز البروبان C_3H_8 وقودًا مهمًا للطهو والتسخين. انظر **الشكل 2b-1**؛ حيث يتحد غاز البروبان مع الأكسجين مكوّنًا ثاني أكسيد الكربون والماء، وتتحرر طاقة الوضع المخزنة في روابط البروبان في صورة حرارة. في كلا المثالين تحولت الطاقة من شكل إلى آخر، ولكنها بقيت محفوظة، أي أن مجموع كمية الطاقة بقي ثابتًا. ولفهم حفظ الطاقة بشكل أفضل، افترض أن لديك نقودًا في حسابين في البنك، وقد قمت بتحويل بعضها من أحد الحسابين إلى الآخر. فعلى الرغم من أن كمية النقود في كلا الحسابين قد تغيرت إلا أن مجموع نقودك في البنك بقي كما هو دون تغيير. وهذا يشبه قانون حفظ الطاقة.

ينص **قانون حفظ الطاقة** على أنه في أي تفاعل كيميائي أو عملية فيزيائية يمكن أن تتحول الطاقة من شكل إلى آخر، ولكنها لا تستحدث ولا تفنى. ويعرف هذا أيضًا بالقانون الأول في الديناميكا الحرارية.

طاقة الوضع الكيميائية تسمى الطاقة المخزنة في الروابط الكيميائية للمادة **طاقة الوضع الكيميائية**. وتلعب هذه الطاقة دورًا مهمًا في التفاعلات الكيميائية. فطاقة الوضع الكيميائية للبروبان مثلاً تنتج عن ترتيب ذرات الكربون والهيدروجين وقوة الروابط التي تربط بينها.

ماذا قرأت؟ اذكر نص قانون حفظ الطاقة.

الجدول 1-1 العلاقات بين وحدات الطاقة

العلاقة	معامل التحويل
$1\ J = 0.2390\ cal$	$\frac{1\ J}{0.2390\ cal}$ $\frac{0.2390\ cal}{1\ J}$
$1\ cal = 4.184\ J$	$\frac{1\ cal}{4.184\ J}$ $\frac{4.184\ J}{1\ cal}$
$1Cal = 1Kcal$	$\frac{1\ Cal}{1000\ cal}$ $\frac{1000\ cal}{1\ Cal}$

الحرارة يعد الأوكتان C_8H_{18} المكون الرئيس في الجازولين. فعندما يحترق الجازولين في محرك السيارة يتحول جزء من طاقة الوضع الكيميائية للأوكتان إلى شغل يحرك المكابح التي بدورها تحرك الإطارات، فتتحرك السيارة. ولكن جزءًا كبيرًا من طاقة الوضع الكيميائية المختزنة في الأوكتان تنطلق في صورة حرارة. ويستعمل الرمز q ليدل على الحرارة، وهي طاقة تنتقل من الجسم الساخن إلى الجسم الأبرد. فعندما يفقد الجسم الساخن طاقة، تنخفض درجة حرارته. وعندما يمتص الجسم الأبرد طاقة ترتفع درجة حرارته.

قياس الحرارة Measuring Heat

يعد انتقال الطاقة، وما يتبعه من تغير في درجة الحرارة مفتاحين لطريقة قياس الحرارة. وتسمى كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 1 g من الماء النقي 1°C **السُّعر** calorie (cal). فعندما يحطم جسمك جزيئات السكر والدهون مكونًا ثاني أكسيد الكربون والماء ينتج عن هذا التفاعل الطارد للطاقة حرارة يمكن قياسها بالسُّعرات الغذائية (Cal).

لاحظ أن الطاقة الحرارية الناتجة عن الغذاء تقاس بالسُّعرات الغذائية (Calories)، والسُّعر الغذائي يساوي 1000 cal (1 kcal) . تذكر أن البادئة (كيلو) تعني 1000. فمثلاً، ملعقة طعام من الزبد تحتوي على 100 Cal تقريبًا. وهذا يعني أنه لو أحرقت ملعقة زبد حرقًا كاملاً لإنتاج ثاني أكسيد الكربون والماء، فسينطلق 100 kcal (100000 cal) من الحرارة.

تقاس الطاقة الحرارية وفق النظام الدولي للوحدات **بالجول** joule (J). ويعادل الجول الواحد 0.2390 cal، والسُّعر الواحد يعادل 4.184 J. ويلخص **الجدول 1-1** العلاقات بين السُّعر cal والسُّعر الغذائي Cal والجول J والكيلوجول kJ وعوامل التحويل التي يمكنك استعمالها للتحويل من وحدة إلى أخرى.

مثال 1-1

تحويل وحدات الطاقة إذا كانت وجبة إفطار مكونة من الحبوب وعصير البرتقال والحليب، تحتوي على 230 Cal من الطاقة، فعبِّر عن هذه الطاقة بوحدة الجول J.

1 تحليل المسألة

أعطيت كمية من الطاقة بوحدة السُّعر الغذائي Cal. عليك تحويل ذلك إلى سعرات cal، ثم إلى الجول J.

المعطيات

الطاقة = 230 Cal

المطلوب

الطاقة = ؟J

2 حساب المطلوب

حوّل Cal إلى cal.

طبق العلاقة 1 Cal = 1000 cal

$$230\ \cancel{\text{Cal}} \times \frac{1000\ \text{cal}}{1\ \cancel{\text{Cal}}} = 2.3 \times 10^5\ \text{cal}$$

حوّل cal إلى J

طبق العلاقة 1cal = 4.184 J

$$2.3 \times 10^5\ \text{cal} \times \frac{4.184\ \text{J}}{1\ \text{cal}} = 9.6 \times 10^5\ \text{J}$$

3 تقويم الإجابة

القيمة 10^5 إلى 10^6 متوقعة؛ لأن القيمة 10^2 Cal يجب ضربها في 10^3 لتحويلها إلى cal. ثم تضرب في عامل تحويل J الذي يساوي 4 تقريبًا. لذا الإجابة معقولة.

مسائل تدريبية

1. تحتوي حبة حلوى الفواكه والشوفان على 142 Cal من الطاقة. ما مقدار هذه الطاقة بوحدة cal؟
2. يطلق تفاعل طارد للطاقة 86.5 kJ من الحرارة. ما مقدار الحرارة التي أطلقت بوحدة Cal؟
3. **تحفيز** عرّف وحدة طاقة جديدة، وسمّها باسمك، واجعل قيمتها عُشر سُعر. ما عوامل التحويل التي تربط هذه الوحدة الجديدة مع الجول J، ومع السُّعر الغذائي Kcal؟

الحرارة النوعية Specific Heat

لقد قرأت أنه يلزم 1cal، أو 4.184 J، لرفع درجة حرارة 1g من الماء النقي 1°C. تعرف هذه الكمية 4.184 J /g.°C بأنها الحرارة النوعية c للماء. **الحرارة النوعية** لأي مادة هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة جرام واحد من تلك المادة درجة سيليزية واحدة (1°C). ولأن لكل مادة تركيبًا مختلفًا عن المواد الأخرى لذا فإن لكل مادة حرارة نوعية مميزة لها.

لرفع درجة حرارة كمية من الماء 1°C يجب أن يمتص كل جرام واحد من الماء 4.184 J من الطاقة، إلا أننا نحتاج إلى مقدار أقل من الطاقة لرفع درجة حرارة قطعة أسمنتية- لها كتلة مساوية لكتلة الماء- درجة سيليزية واحدة. ربما تكون قد لاحظت أن الأرصفة الأسمنتية تسخن في أيام الصيف. وتعتمد مدى سخونة هذه الأرصفة على الحرارة النوعية للأسمنت وعوامل أخرى. إن الحرارة النوعية للأسمنت هي 0.84 J /g.°C وهذا يعني أن درجة حرارة الأسمنت تكون أعلى خمس مرات من درجة حرارة الماء، عندما تمتص كتلتان متساويتان من الماء والأسمنت كمية الطاقة نفسها.

الجدول 2-1 الحرارة النوعية لبعض المواد عند 298k (25°C)

المادة	الحرارة النوعية J/g.°C
الماء (l)	4.184
الإيثانول (l)	2.44
الماء (s)	2.03
الماء (g)	2.01
البريليوم (s)	1.825
الماغنسيوم (s)	1.023
الألومنيوم (s)	0.897
الأسمنت (s)	0.84
الجرانيت (s)	0.803
الكالسيوم (s)	0.647
الحديد (s)	0.449
الإسترانشيوم (s)	0.301
الفضة (s)	0.235
الباريوم (s)	0.204
الرصاص (s)	0.128
الذهب (s)	0.129

حساب الحرارة الممتصة افترض أن قطعة من رصيف أسمنتي (Concreate) كتلتها $5.00\times10^3\,g$ زادت درجة حرارتها بمقدار $6.0\,^\circ C$ فهل يمكن حساب كمية الحرارة التي امتصتها؟ تذكرّ أن الحرارة النوعية للمادة هي كمية الحرارة التي يجب أن يمتصها 1g من المادة لترفع درجة حرارته $1^\circ C$.

يبين **الجدول 2-1** الحرارة النوعية لبعض المواد. الحرارة النوعية للأسمنت مثلاً، هي $0.84\ J/g.^\circ C$؛ إذن يمتص 1g من الأسمنت 0.84 J عندما تزداد درجة حرارته $1^\circ C$. لإيجاد الحرارة التي تمتصها $5.00\times10^3\,g$ من الأسمنت عليك أن تضرب 0.84 في $5.00\times10^3\,g$، ولأن درجة حرارة الأسمنت ازدادت $6.0^\circ C$ فإن عليك أن تضرب الناتج عن ضرب الكتلة والحرارة النوعية في $6^\circ C$.

معادلة حساب الحرارة

$$q = c \times m \times \Delta T$$

q: الطاقة الحرارية الممتصة أو المطلقة

c: الحرارة النوعية للمادة

m: كتلة المادة بالجرام

ΔT: التغير في درجة الحرارة (°C) أو T النهائية – T الأولية $(T_f - T_i)$

يمكنك استعمال هذه المعادلة لحساب الحرارة التي امتصتها قطعة الأسمنت.

$$q = c \times m \times \Delta T$$

$$q_{concrete} = \frac{0.84\ J}{(g\cancel{^\circ C})} \times (5.00 \times 10^3\,\cancel{g}) \times 6.0\cancel{^\circ C} = 25{,}200\ J = 25.2\ kJ$$

مجموع كمية الحرارة التي امتصتها قطعة الأسمنت هو 25,200 J أو 25.2 kJ. بالمقارنة مع الماء، ما كمية الحرارة التي يمتصها $5.00 \times 10^3\,g$ من الماء عندما تزداد درجة حرارته بمقدار $6.0^\circ C$؟ يمكننا حساب q_{water} بنفس طريقة حسابها للأسمنت، ولكن هنا يجب استعمال الحرارة النوعية للماء، $4.184\ J/g.^\circ C$

$$q_{water} = \frac{4.184\ J}{g\cancel{^\circ C}} \times (5.00 \times 10^3\,\cancel{g}) \times 6.0\cancel{^\circ C} = 1.3 \times 10^5\ J = 130\ kJ$$

إذا قسمت الحرارة التي امتصها الماء 130 kJ على الحرارة التي امتصها الأسمنت يكون الناتج 5.2؛ ويعني ذلك أن الماء يمتص كمية من الحرارة أكثر خمس مرات من كمية الحرارة التي يمتصها الأسمنت إذا طرأ تغير متساوٍ على درجتي حرارتهما.

حساب الحرارة المنطلقة قد تمتص المواد الحرارة أو تطلقها، لذا تستعمل معادلة حساب الحرارة نفسها لحساب الطاقة التي تطلقها المواد عندما تبرد. افترض أن قطعة من الأسمنت وصلت درجة حرارتها إلى $74.0^\circ C$ في يوم مشمس وانخفضت إلى $40.0^\circ C$ في أثناء الليل، فما كمية الحرارة المنطلقة؟ احسب أولاً ΔT:

$$\Delta T = 74.0^\circ C - 40.0^\circ C = 34.0^\circ C$$

ثم استعمل معادلة كمية الحرارة: $q = c \times m \times \Delta T$

$$q_{concrete} = \frac{0.84\ J}{g\cancel{^\circ C}} \times 5.00 \times 10^3\,\cancel{g} \times 34.0\cancel{^\circ C} = 142{,}800\ J = 142.8\ kJ$$

تجربة عملية

حرارة التفاعل وحرارة المحلول

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

مثال 2-1

حساب الحرارة النوعية عند بناء الجسور وناطحات السحاب تترك فراغات بين الدعامات الفولاذية لكي تتمدد وتنكمش عندما ترتفع أو تنخفض درجات الحرارة. إذا تغيرت درجة حرارة عينة من الحديد كتلتها 10.0 g من 25 °C إلى 50.4 °C وانطلقت كمية من الحرارة مقدارها 114 J، فما الحرارة النوعية للحديد؟

1 تحليل المسألة

لديك كتلة العينة، ودرجة الحرارة الابتدائية والنهائية، وكمية الطاقة المنطلقة. يمكنك حساب الحرارة النوعية للحديد بإعادة ترتيب المعادلة التي تربط بين هذه المتغيرات.

المعطيات

الطاقة المنطلقة = 114 J

كتلة الحديد = 10 g Fe

$T_i = 50.4°C$

$T_f = 25°C$

المطلوب

الحرارة النوعية للحديد = ؟ J/g °C

2 حساب المطلوب

احسب ΔT.

$$\Delta T = 50.4\ °C - 25.0\ °C = 25.4\ °C$$

اكتب معادلة لحساب كمية الحرارة

$$q = c \times m \times \Delta T$$

أوجد قيمة c

$$c = \frac{q}{m \times \Delta T}$$

عوض q=114 J. m=10.0 g.

ΔT= 25.4 °C

$$c = \frac{114\ J}{(10.0\ g \times 25.4°C)}$$

اضرب واقسم الأرقام والوحدات

$$c = 0.449\ J/g{\cdot}°C$$

3 تقويم الإجابة

قيمة مقام المعادلة تساوي ضعفي قيمة البسط تقريبًا، إذن النتيجة النهائية تقارب 0.5، وهي معقولة. كما أن القيمة المحسوبة تساوي القيمة المسجلة للحديد في **الجدول 2-1**.

مسائل تدريبية

4. إذا ارتفعت درجة حرارة 34.4 g من الإيثانول من 25 °C إلى 78.8 °C، فما كمية الحرارة التي امتصها الإيثانول؟ ارجع إلى **الجدول 2-1**.
5. سخنت عينة من مادة مجهولة كتلتها 155 g فارتفعت درجة حرارتها من 25 °C إلى 40.0 °C فامتصت 5696 J من الطاقة. ما الحرارة النوعية للمادة؟ عيّن المادة بالرجوع إلى **الجدول 2-1** .
6. **تحفيز** قطعة من الذهب النقي كتلتها 4.50 g، امتصت 276 J من الحرارة، وكانت درجة حرارتها الأولية 25 °C. ما درجة حرارتها النهائية؟



الشكل 3-1 مدرستان بالرياض (جبر بن عتيك، والأمير عبد المجيد بن عبد العزيز) تعملان بالطاقة الشمسية لإنتاج الطاقة الكهربية؛ تمهيدًا لإطلاق خطة الطاقة الشمسية (2030) الأكبر في العالم بهذا المجال.

الطاقة الشمسية يستغل الماء أحيانًا لأخذ الطاقة من الشمس؛ وذلك بسبب حرارته النوعية العالية. فبعد أن تسخن أشعة الشمس الماء يمكن تدويره في البيوت والأماكن الأخرى لتدفئتها، كما يمكن أن تزود أشعة الشمس احتياجات العالم من الطاقة، مما يقلل من استعمال أنواع الوقود التي تنتج ثاني أكسيد الكربون. ولكن هناك عدة عوامل أدت إلى تأخير تطوير التقنيات الشمسية. فمثلاً الشمس تسطع فترةً محددةً كل يوم، كما أنّ تراكم الغيوم فوق بعض الأماكن تخفف من كمية أشعة الشمس الساقطة عليها. وبسبب هذه المتغيرات كان لابد من ابتكار طرائق فعالة لتخزين الطاقة. إن تطوير الخلايا الكهروضوئية-انظر **الشكل 3-1**-هو السبيل الواعد لاستعمال الطاقة الشمسية؛ فهذه الخلايا تحول الإشعاع الشمسي مباشرة إلى كهرباء. فالخلايا الكهروضوئية تزود رواد الفضاء بالطاقة؛ ولكنها لا تستعمل لتوفير الطاقة اللازمة للاحتياجات العادية؛ وذلك لأن تكلفة إنتاج الكهرباء بالخلايا الكهروضوئية مرتفعة مقارنة بتكلفة حرق الفحم أو البترول.

ولذلك تُعدّ البحوث التطبيقيّة وسيلة فعّالة لتلبية حاجة المملكة لتطوير نشاط بحثيّ قويّ يُركّز على تحقيق أهداف حيويّة محدّدة ذات أهميّة اجتماعيّة واقتصاديّة وطنيّة تؤدّي إلى خلق صناعات وخدمات وطنيّة رائدة في العالم، وتعتبر مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية(kacst) الجهة الوطنية الرائدة في مجالات البحوث التطبيقية و إحدى المجالات التي برزت فيها جهود المدينة هو مجال الطاقة كما يظهر في **الشكل 3-1**.

King Faisal PRIZE



مُنح البروفيسور مايكل غراتزل جائزة الملك فيصل فرع العلوم عام 1436هـ في مجال الكيمياء، حيث عرف باكتشافاته في العلوم الأساسية والعملية في مجال تطوير أنظمة ضوئية وكهروكيميائية لاستخدامها في تحويل الطاقة الشمسية. إن الخلايا المعروفة عالميا بخلايا غراتزل هي أجهزة تم تطويرها من أفلام ثاني أكسيد التيتانيوم النانونية مغطاة بأصباغ جزيئية.

المصدر*: موقع جائزة الملك فيصل للعلوم
http://kingfaisalprize.org/ar/science/

الربط مع رؤية 2030

رؤية VISION 2030 المملكة العربية السعودية KINGDOM OF SAUDI ARABIA

اقتصاد مزدهر

٣.٢.٤ زيادة مساهمة مصادر الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة.

التقويم 1-1

الخلاصة

- الطاقة هي القدرة على بذل شغل أو إنتاج حرارة.
- طاقة الوضع الكيميائية هي الطاقة المخزنة في الروابط الكيميائية للمادة تعتمد على عدد ونوع وترتيب الذرات والجزيئات.
- طاقة الوضع الكيميائية تطلق أو تمتص على عدة أشكال مثل: الحرارة أو الضوء أو الكهرباء في خلال العمليات أو التفاعلات الكيميائية.

7. الفكرة الرئيسة **وضح** كيف تتغير الطاقة من شكل إلى آخر في التفاعل الطارد للطاقة والتفاعل الماصّ لها.

8. **ميّز** بين الطاقة الحركية وطاقة الوضع في الأمثلة الآتية: مغناطيسين منفصلين؛ انهيار ثلجي، كتب موضوعة على رفوف، نهر، سباق سيارات، فصل الشحنات في بطارية.

9. **وضح** علاقة الضوء والحرارة في شمعة محترقة بطاقة الوضع الكيميائية.

10. **احسب** كمية الحرارة الممتصة عند تسخين 50.0 g ألومنيوم من درجة حرارة 25 °C إلى درجة حرارة 95.0° C ، علمًا أن الحرارة النوعية للألومنيوم 0.897 J /g °C.

11. **تفسير البيانات** وضعت كتل متساوية من الألومنيوم والذهب والحديد والفضة تحت أشعة الشمس في الوقت نفسه ولفترة زمنية محددة. استعمل **الجدول 2-1** لترتيب الفلزات الأربعة وفق ازدياد درجات حرارتها من الأعلى إلى الأقل.

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

1–2

الحرارة Heat

الأهداف

- **تصف** كيف يستخدم المسعر لقياس الطاقة الممتصة أو المنطلقة.
- **توضح** المقصود بالمحتوى الحراري وتغير المحتوى الحراري في التفاعلات الكيميائية والعمليات الكيميائية.

مراجعة المفردات

الضغط: القوة الواقعة على وحدة المساحة.

مفردات جديدة

المسعر

الكيمياء الحرارية

النظام

المحيط

الكون

المحتوى الحراري

المحتوى الحراري للتفاعل (حرارة التفاعل)

الفكرة الرئيسة **التغيُّر في المحتوى الحراري للتفاعل يساوي المحتوى الحراري للنواتج مطروحًا منه المحتوى الحراري للمتفاعلات.**

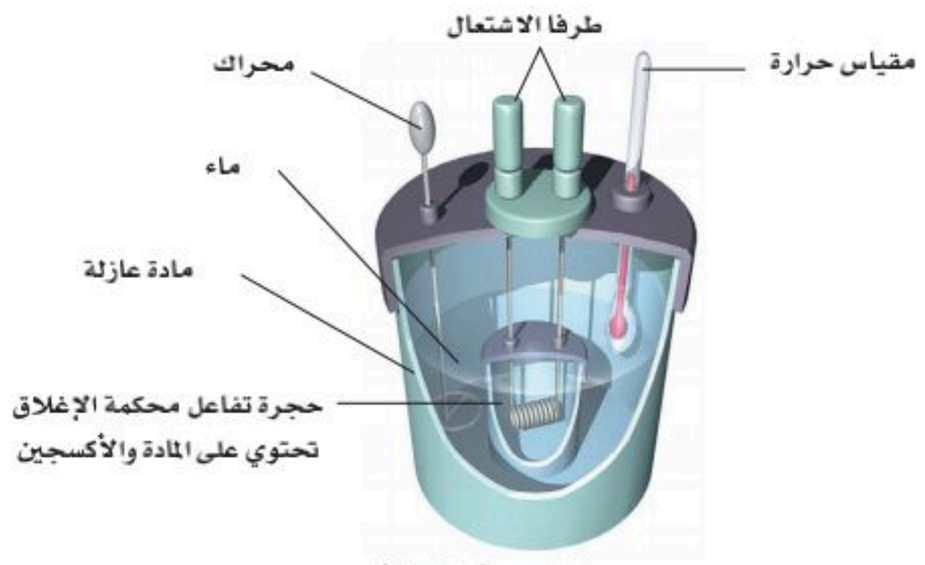
الربط مع الحياة لعلك تشعر بالاسترخاء عند وقوفك تحت الدش الدافئ؛ حيث يمتص جسمك حرارة من الماء، في حين أنك تشعر بالارتعاش عندما تقفز في مسبح بارد؛ حيث يفقد جسمك حرارة. بطريقة مشابهة تَمتص أو تطلِق بعضُ التفاعلات الكيميائية الحرارةَ.

المسعر Calorimetry

هل تساءلت يومًا كيف يعرف كيميائيو الغذاء القيمة الحرارية للأطعمة؟ لقد تم الحصول على المعلومات المدونة على عبوات المنتجات الغذائية من تفاعلات احتراق أجريت في مسعر. **والمسعر** جهاز معزول حراريًّا يستخدم لقياس كمية الحرارة الممتصة أو المنطلقة في أثناء عملية كيميائية أو فيزيائية؛ إذ توضع كمية معلومة من الماء في حجرة معزولة لكي تمتص الطاقة المنطلقة من التفاعل، أو لتزود الطاقة التي يمتصها التفاعل، ومن ثم يمكننا قياس التغير في درجة حرارة كتلة الماء. ويبين **الشكل 4–1** نوعًا من المساعر يسمى مسعر القنبلة، يستخدمه كيميائيو التغذية.

تحديد الحرارة النوعية يمكنك الحصول على نتائج مرضية لتجارب قياس الحرارة باستخدام مسعر أبسط من مسعر التفجير، وهو الكأس المصنوعة من البوليسترين. هذه المساعر مفتوحة على الجو، ولذلك فالتفاعلات التي تحدث فيها تكون تحت ضغط ثابت. ويمكنك استخدامها لتحديد الحرارة النوعية لفلز ما.

افترض أنك وضعت 125 g من الماء في مسعر (كأس مصنوعة من البوليسترين)، وقست درجة حرارته الأولية فوجدتها 25.60 °C، ثم سخنت عينة من فلز ما كتلتها 50.0 g إلى درجة حرارة 115.0 °C ووضعتها في الماء داخل المسعر. سوف تنتقل الحرارة من الفلز الساخن إلى الماء في المسعر، فترتفع درجة حرارة الماء. ويتوقف انتقال الحرارة فقط عندما تتساوى درجة حرارة الماء مع درجة حرارة الفلز.



مسعر التفجير (القنبلة)

الشكل 4-1 وضعت عينة في حجرة فولاذية داخلية تسمى القنبلة، مملوءة بالأكسجين المضغوط ضغطًا عاليًا، وحول القنبلة كمية معلومة من الماء تحرك بمحراك قليل الاحتكاك للمحافظة على درجة حرارة منتظمة. بدأ التفاعل بشرارة، وسجلت درجة الحرارة حتى وصلت إلى أقصاها.

استنتج لماذا يعد من المهم ألا ينتج المحراك احتكاكاً؟



الشكل 5-1 a. سجلت درجة الحرارة الأولية 25.60°C لـ 125 g من الماء في المسعر.

b . سخّنت قطعة من فلز مجهول كتلتها 50.0 g حتى أصبحت درجة حرارتها 115.0°C، ثم وضعت في المسعر

c . ينقل الفلز الحرارة إلى الماء حتى تتساوى درجة حرارة الفلز والماء. وكانت درجة الحرارة النهائية 29.30°C.

يبين **الشكل 5-1** خطوات عمل التجربة. لاحظ أن درجة الحرارة في المسعر تثبت عند 29.30°C، وهي درجة الحرارة النهائية التي وصل إليها كل من الفلز والماء. فإذا افترضنا أنه لم تُفقد حرارة إلى المحيط، فإن الحرارة التي اكتسبها الماء تكون مساوية للحرارة التي فقدها الفلز. ويمكن حساب كمية الحرارة هذه بالمعادلة:

$$q = c \times \mathrm{m} \times \Delta T$$

ماذا قرأت؟ حدد المتغيرات الأربعة في المعادلة أعلاه.

احسب أولاً كمية الحرارة التي اكتسبها الماء. وللقيام بذلك عليك أن تعرف أن الحرارة النوعية للماء تساوي 4.184(J/g.°C).

$$q_{\mathrm{water}} = 4.184\ \mathrm{J/(g{\cdot}°C)} \times 125\ \mathrm{g} \times (29.30°\mathrm{C} - 25.60°\mathrm{C})$$

$$q_{\mathrm{water}} = 4.184\ \mathrm{J/(g{\cdot}°C)} \times 125\ \mathrm{g} \times 3.70°\mathrm{C}$$

$$q_{\mathrm{water}} = 1935.1\ \mathrm{J}$$

إنّ كمية الحرارة التي اكتسبها الماء 1935.1 J تساوي كمية الحرارة التي فقدها الفلز، q_{metal}، لذلك يمكنك كتابة المعادلة:

$$q_{\mathrm{metal}} = q_{\mathrm{water}}$$

$$q_{\mathrm{metal}} = -1935.1\ \mathrm{J}$$

$$c_{\mathrm{metal}} \times \mathrm{m} \times \Delta T = -1935.1\ \mathrm{J}$$

استخرج الآن قيمة الحرارة النوعية للفلز، c_{metal} .

$$c_{\mathrm{metal}} = \frac{-1935.1\ \mathrm{J}}{\mathrm{m} \times \Delta T}$$

التغير في درجة حرارة الفلز ΔT هو الفرق بين درجة الحرارة النهائية للماء ودرجة الحرارة الأولية للفلز ($29.30°\mathrm{C} - 115.0°\mathrm{C} = -85.7°\mathrm{C}$). عوض بقيم كل من m و$\Delta T$ في المعادلة.

$$c_{\mathrm{metal}} = \frac{-1935.1\ \mathrm{J}}{(50.0\ \mathrm{g})(-85.7°\mathrm{C})} = 0.453\ \mathrm{J/(g{\cdot}°C)}$$

بمقارنة الحرارة النوعية للفلز 0.453 J/(g•°C) بالقيم الواردة في **الجدول 2-2** يتبين أن هذا الفلز هو الحديد.

مثال 3-1

استعمال الحرارة النوعية تمتص قطعة فلز كتلتها 4.68 g ما مقداره 256 J من الحرارة عندما ترتفع درجة حرارتها بمقدار 182°C. مـا الحرارة النوعية للفلز؟ هل يمكن أن يكون الفلز أحد الفلـزات القلوية الأرضية الموجودة في **الجدول 2-1**؟

1 تحليل المسألة

لديك كتلة الفلز، وكمية الحرارة التي اكتسـبها، والتغير في درجة الحرارة. عليك حساب الحرارة النوعية. استخدم معادلة كمية الحرارة، واستخرج قيمة الحرارة النوعية c.

المعطيات

كتلة الفلز $m = 4.68\ g$

كمية الحرارة المكتسبة، $? \ J/(g \cdot °C) =$

$\Delta T = 182°C$

المطلوب

الحرارة النوعية $c = ?\ J/g.°C$

2 حساب المطلوب

اكتب معادلة كمية الحرارة q

$$q = c \times m \times \Delta T$$

حل المعادلة لإيجاد C

$$c = \frac{q}{m \times \Delta T}$$

عوض $q = 256\ J.\ m = 4.68\ g$

$\Delta T = 182°C$

$$c = \frac{256\ J}{(4.68\ g)(182°C)} = 0.301\ J/(g.°C)$$

بالرجوع إلى **الجدول 2-1** فإن الفلز هو الإسترانشيوم.

3 تقويم الإجابة

الكميات الثلاث المسـتخدمة في الحل تحوي ثلاثة أرقام معنوية، والإجابة تتكون من ثلاثة أرقام، وهذا صحيح. الحسابات صحيحة وتعطي الوحدة المتوقعة.

مسائل تدريبية

12. عينة من فلز كتلتها 90.0 g امتصت 25.6 J من الحرارة عندما ازدادت درجة حرارتها 1.18°C. ما الحرارة النوعية للفلز؟

13. ارتفعت درجة حرارة عينة من الماء من 20.0°C إلى 46.6°C عند امتصاصها 5650 J من الحرارة. ما كتلة العينة؟

14. ما كميـة الحـرارة التي تكتسـبها صـخـرة مـن الجـرانيت كتلتهـا 2.00×10^3 g إذا ارتفعـت درجة حرارتها من 10.0°C إلى 29.0°C، إذا علمت أن الحرارة النوعية للجرانيت 0.803 J/(g.°C)؟

15. تحفيز إذا فقدت 335 g من الماء، عند درجة حرارة 65.5°C كمية حرارة مقدارها 9750 J، فما درجة الحرارة النهائية للماء؟

الطاقة الكيميائية والكون Chemical Energy and the Universe

يرافـق كل تفاعل كيميائي وكل تغير في الحالة الفيزيائية إطلاق أو امتصاص حرارة. وتدرس **الكيمياء الحرارية** تغيرات الحـرارة التي ترافق التفاعلات الكيميائية وتغيرات الحالة الفيزيائية. فمثلاً ينتج دائماً عن حرق الوقود حرارة، وتصمّم بعض المنتجات لتعطي حرارة عند الطلب. فمثلاً يستخدم الجنود في الميدان تفاعلاً شديدًا طاردًا للحرارة لتسخين وجباتهم. كما قد تُستخدم كمّادة ساخنة لتدفئة الأيدي في الأيام الباردة. وتنتج هذه الطاقة المنطلقة من الكمّادة الساخنة نتيجة للتفاعل الكيميائي الآتي:

$$4Fe_{(s)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 2Fe_2O_{3(s)} + 1625\ kJ$$

تجربة

تحديد الحرارة النوعية

كيف تستطيع أن تحدد الحرارة النوعية لفلز؟

يمكنك استخدام الكأس المصنوعة من البوليسترين بوصفها مسعرًا لتحديد الحرارة النوعية لفلز.

الخطوات

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. اعمل جدولاً لتسجل فيه بياناتك.
3. اسكب 150 mL تقريبًا من الماء المقطر في كأس زجاجية سعتها 250 mL. ثم ضع الكأس على السخان الكهربائي.
4. قس كتلة قطعة الفلز بالميزان.
5. أمسك قطعة الفلز بحذر بالملقط، وضعها في الكأس التي على السخان الكهربائي.
6. قس 90.0 mL من الماء المقطر بالمخبار المدرج.
7. اسكب الماء في كأس بوليسترين موضوعة داخل كأس زجاجية ثانية سعتها 250 mL.
8. قس درجة حرارة الماء بمقياس حرارة غير زئبقي.
9. عندما يبدأ الماء الموجود في الكأس التي على السخان الكهربائي في الغليان قس درجة الحرارة وسجلها على أنها درجة الحرارة الأولية للفلز.
10. أمسك قطعة الفلز الساخنة بالملقط بحذر، وضعها في الماء البارد الموجود في كأس البوليسترين. لا تلمس الفلز الساخن بيديك.
11. حرك الماء في الكأس، وقس أعلى درجة حرارة يصل إليها بعد إضافة الفلز.

التحليل

12. احسب كمية الحرارة التي اكتسبها الماء، علمًا بأن الحرارة النوعية للماء 4.184 J/(g.°C). ولأن كثافة الماء تساوي 1.0 g/mL، استخدم حجم الماء على أنه الكتلة.
13. احسب الحرارة النوعية للفلز. افترض أن الحرارة التي امتصها الماء تساوي الحرارة التي فقدها الفلز.
14. قارن القيمة التي حصلت عليها في التجربة بالقيمة المقبولة للفلز.
15. صف مصادر الخطأ الرئيسة في هذه التجربة. ما التحسينات التي يمكن أن تعملها في هذه التجربة لتقليل الخطأ؟

عرفت أن الحرارة التي تنطلق من الكمادة تنتج عن تفاعل كيميائي. لذا عليك أن تفكر بالكمادة ومحتوياتها بوصفها نظامًا. تُعرّف الكيمياء الحرارية **النظام** بأنه جزء معين من الكون يحتوي على التفاعل أو العملية التي تريد دراستها، وأن كل شيء في الكون غير النظام يسمى **المحيط**. لذلك يعرف **الكون** بأنه النظام مع المحيط.

الكون= النظام+المحيط

ما نوع انتقال الطاقة الذي يحدث في أثناء التفاعل الطارد للحرارة في الكمّادة الساخنة؟ تنتقل الحرارة الناتجة عن التفاعل من الكمادة الساخنة (النظام) إلى يديك الباردتين (جزء من المحيط). ماذا يحدث في العملية أو التفاعل الماصّ للحرارة؟ ينعكس انتقال الحرارة؛ إذ تنتقل الحرارة من المحيط إلى النظام. فعلى سبيل المثال، عند خلط هيدروكسيد الباريوم مع بلورات ثيوسيانات الأمونيوم في كأس، كما يظهر في **الشكل 6-1**، ينتج تفاعل ماصّ للحرارة بشدة. وعند وضع الكأس التي تحوي هذا التفاعل على لوح مبتل بالماء تنتقل الحرارة من الماء واللوح (المحيط) إلى داخل الكأس (النظام)، فيحدث تغير كبير في درجة الحرارة، يتسبب في تجمد الماء الذي بين اللوح والكأس، مما يجعل الكأس تلتصق باللوح. ولا ينصح بإجراء هذا التفاعل نظرًا للمخاطر المرافقة لاستخدام مادة ثيوسيانات الأمونيوم، إذ إنها مادة شديدة السميّة ضارة عند الاستنشاق والتلامس مع الجلد أو الابتلاع.

المحتوى الحراري وتغيراته تعتمد كمية الحرارة الكلية التي تحتوي عليها مادة ما على عوامل كثيرة، وبعض هذه العوامل غير مفهوم تمامًا حتى الآن. لذلك من المستحيل معرفة كمية الحرارة الكلية الموجودة في المادة. ومن حسن الحظ أن



الشكل 6-1 في هذا التفاعل الماص للحرارة يمتص خليط التفاعل كمية كافية من الطاقة من الماء الذي يبلل اللوح ومن اللوح نفسه، فتنخفض درجة حرارة الماء حتى التجمد فيمسك اللوح بالكأس.

الكيميائيين يهتمون بدراسة تغيرات الطاقة في أثناء التفاعلات الكيميائية أكثر من اهتمامهم بكمية الطاقة الموجودة في المواد المتفاعلة أو المواد الناتجة. يمكن قياس كمية الطاقة المكتسبة أو المفقودة للكثير من التفاعلات باستخدام المسعر عند ضغط ثابت، كما هو موضح في التجربة في **الشكل 5-1**. ولأنّ كأس البوليسترين غير مغلقة فالضغط ثابت. يحدث الكثير من التفاعلات عند ضغط جوي ثابت، ومن ذلك تلك التي تحدث في المخلوقات الحية التي تعيش على سطح الأرض، وفي البرك والمحيطات، وكذلك التفاعلات التي تحدث في الكؤوس والدوارق المفتوحة داخل المختبرات. يرمز إلى الطاقة المنطلقة أو المتولدة من التفاعلات التي تحدث عند ضغط ثابت في بعض الأحيان بالرمز q_p. ولتسهيل قياس أو دراسة تغيرات الطاقة التي ترافق تلك التفاعلات وضع الكيميائيون خاصية أسموها المحتوى الحراري. ويعرّف **المحتوى الحراري** (H) بأنه مقدار الطاقة الحرارية المخزنة في مول واحد من المادة تحت ضغط ثابت.

وعلى الرغم من عدم مقدرتك على قياس الطاقة الفعلية أو المحتوى الحراري للمادة إلا أنه يمكنك أن تقيس التغير في المحتوى الحراري، وهو كمية الحرارة الممتصّة أو المنطلقة في التفاعل الكيميائي. ويسمى التغير في المحتوى الحراري **المحتوى للتفاعل الحراري (أو حرارة التفاعل)** (ΔH_{rxn}). لقد تعلمت سابقًا أن الرمز المسبوق بالحرف اليوناني دلتا (Δ) يعني التغير في خاصية ما. لذا فإن ΔH_{rxn} يعني الفرق بين المحتوى الحراري للمواد التي توجد عند نهاية التفاعل H_{final} والمحتوى الحراري للمواد الموجودة في البداية $H_{initial}$.

$$\Delta H_{rxn} = H_{final} - H_{initial}$$

ولأن المواد المتفاعلة هي التي تكون عند بداية التفاعل reactants، والمواد الناتجة توجد عند نهايته Products، يمكن التعبير عن ΔH_{rxn} بالمعادلة:

$$\Delta H_{rxn} = H_{products} - H_{reactants}$$

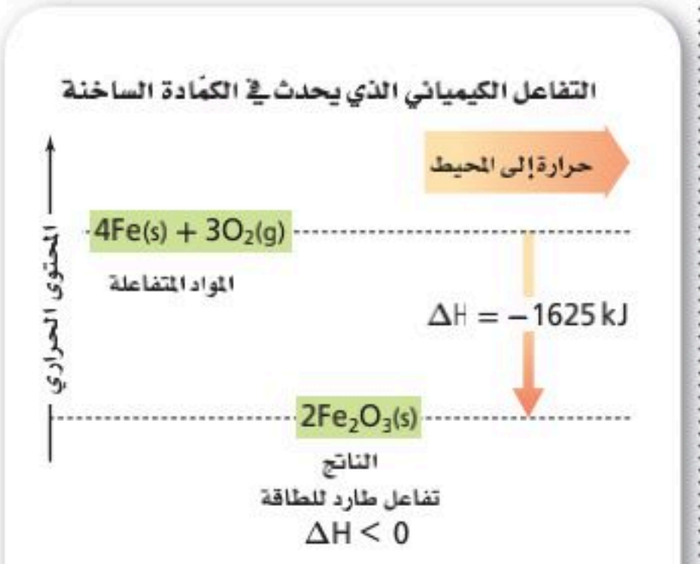
إشارة المحتوى الحراري للتفاعل تذكّر التفاعل الكيميائي الذي يحدث في الكمّادة الساخنة.

$$4Fe_{(s)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 2Fe_2O_{3(s)} + 1625\ kJ$$

يتبين من معادلة التفاعل أنّ المواد المتفاعلة في هذا التفاعل الطارد للحرارة تفقد حرارة، لذلك يكون $H_{products} < H_{reactants}$، لذا عند طرح $H_{reactants}$ من $H_{products}$ التي كميتها أصغر نحصل على قيمة سالبة لـ ΔH_{rxn}، ويقودنا ذلك إلى أنّ تغيرات المحتوى الحراري للتفاعلات الطاردة للحرارة سالبة دائمًا. لذلك فإن معادلة التفاعل الذي يحدث في الكمّادة الساخنة والتغير في محتواه الحراري تكتب عادةً كما يأتي:

$$4Fe_{(s)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 2Fe_2O_{3(s)}\ \Delta H_{rxn} = -1625\ kJ$$

ويبين **الشكل 7-1** مخطط التغير في المحتوى الحراري.





الشكل 7-1 يشير السهم المتجه إلى أسفل إلى أن 1625 J من الحرارة انطلقت إلى المحيط، في التفاعل بين الحديد والأكسجين لتكوين Fe_2O_3. يمكن استخدام كمّادة ساخنة من هذا النوع لتدفئة الأيدي الباردة.

اشرح كيف يبين المخطط أن التفاعل طارد للحرارة؟



الشكل 8-1 يبين السهم الذي يشير إلى أعلى أن 27 kJ من الحرارة قد تم امتصاصها من المحيط في أثناء عملية إذابة NH_4NO_3. يعد هذا التفاعل الأساس في صناعة الكمّادة الباردة؛ فعند وضع الكمّادة على كاحل الشخص يزود الكاحل الكمادة بالحرارة و يبرد هو بدوره.

حدد ما مقدار الطاقة التي تمتصها نترات الأمونيوم عند استعمال الكمّادة الباردة؟

الآن تذكر عملية الكمّادة الباردة.

$$27\ kJ + NH_4NO_{3(s)} \rightarrow NH_{4\,(aq)}^{+} + NO_{3\,(aq)}^{-}$$

في هذه العملية الماصة للحرارة يكون $H_{products} > H_{reactants}$، لذلك عندما تطرح $H_{reactants}$ من الكمية الكبرى $H_{products}$ نحصل على قيمة موجبة لـ ΔH_{rxn}. يكتب الكيميائيون معادلة التفاعل الذي يحدث في الكمّادة الباردة والتغير في محتواه الحراري بالطريقة الآتية:

$$NH_4NO_{3(s)} \rightarrow NH_{4\,(aq)}^{+} + NO_{3\,(aq)}^{-} \quad \Delta H_{rxn} = 27\ kJ$$

يبين **الشكل 8-1** التغير في الطاقة في الكمّادة الباردة، حيث يزيد المحتوى الحراري للنواتج بمقدار 27 kJ على المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة؛ لأنه تم امتصاص طاقة. لذلك تكون إشارة ΔH لهذا التفاعل وجميع التفاعلات والعمليات الماصّة للحرارة موجبة. تذكر أن إشارة ΔH_{rxn} سالبة للتفاعلات والعمليات الطاردة للحرارة.

التغير في المحتوى الحراري ΔH يساوي الحرارة المكتسبة أو المفقودة q_p في أي تفاعل أو عملية تحدث عند ضغط ثابت. ولأن جميع التفاعلات الواردة في هذا الفصل تحدث عند ضغط ثابت يمكنك أن تفترض أن $q = \Delta H_{rxn}$.

التقويم 1-2

الخلاصة

- تعرِّف الكيمياء الحرارية الكون على أنه النظام مع المحيط.
- تسمى كمية الحرارة المفقودة أو المكتسبة في النظام في أثناء التفاعل أو العملية التي تتم تحت ضغط ثابت التغيُّر في المحتوى الحراري (ΔH_{rxn}).
- عندما يكون ΔH_{rxn} موجبًا يكون التفاعل ماصًّا للحرارة، أما عندما يكون ΔH سالبًا فيكون التفاعل طاردًا للحرارة.

16. **الفكرة الرئيسة** **صف** كيف تحسب كمية الحرارة المكتسبة أو المنطلقة من المادة عندما تتغير درجة حرارتها؟

17. **اشرح** لماذا تكون إشارة ΔH_{rxn} سالبة للتفاعل الطارد للحرارة؟

18. **اشرح** لماذا يشكل الحجم المعلوم من الماء جزءًا مهمًّا من المسعر؟

19. **اشرح** لماذا يجب أن تعرف الحرارة النوعية للمادة حتى تحسب الحرارة المكتسبة أو المفقودة من المادة نتيجة تغير درجة الحرارة؟

20. **صف** معنى النظام في الديناميكا الحرارية، واشرح العلاقة بين النظام والمحيط والكون.

21. **احسب** الحرارة النوعية J/(g.°C) لمادة مجهولة؛ إذ تطلق عينة كتلتها 2.50 g منها 12.0 cal عندما تتغير درجة حرارتها من 25°C إلى 20.0°C (استعن **بالجدول 1 - 1** صفحة 14).

22. **صمّم تجربة** صِف خطوات العمل التي يمكنك أن تتبعها لإيجاد الحرارة النوعية لقطعة فلز كتلتها 45.0 g .

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

1–3

المعادلات الكيميائية الحرارية
Thermochemical Equations

الأهداف

- **تكتب** معادلات كيميائية حرارية تمثل تفاعلات كيميائية وعمليات أخرى.
- **تصف** كيف تفقد الطاقة أو تكتسب في أثناء تغيرات الحالة الفيزيائية للمادة.
- **تحسب** الطاقة الممتصة أو المنطلقة في تفاعل كيميائي.

مراجعة المفردات

تفاعل الاحتراق: هو تفاعل كيميائي يحدث عند تفاعل مادة مع الأكسجين، مطلقًا طاقة على شكل حرارة وضوء.

المفردات الجديدة

المعادلة الكيميائية الحرارية

حرارة الاحتراق

حرارة التبخر المولارية

حرارة الانصهار المولارية

الفكرة الرئيسة **تعبر المعادلات الكيميائية الحرارية عن مقدار الحرارة المنطلقة أو الممتصّة في التفاعلات الكيميائية.**

الربط مع الحياة هل شعرت في أي وقت بالإجهاد بعد سباق صعب أو أي نشاط شاق؟ إذا شعرت أن طاقة جسمك أصبحت أقل مما كانت عليه قبل ذلك الحدث فقد كنت على حق. يتعلق ذلك الشعور بالتعب بتفاعلات الاحتراق التي تحدث داخل خلايا جسمك، وهو الاحتراق نفسه الذي قد تشاهده عند احتراق الوقود.

كتابة المعادلات الكيميائية الحرارية
Writing Thermochemical Equations

إن التغير في الطاقة جزء مهم من التفاعلات الكيميائية، لذلك يضمّن الكيميائيون ΔH في الكثير من المعادلات الكيميائية. وتسمى المعادلات الكيميائية التي تكتب فيها قيم ΔH معادلات كيميائية حرارية.

$$4Fe_{(s)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 2Fe_2O_{3(s)} \qquad \Delta H = -1625\ kJ$$
$$NH_4NO_{3(s)} \rightarrow NH^+_{4\,(aq)} + NO^-_{3(aq)} \qquad \Delta H = 27\ kJ$$

تكتب **المعادلة الكيميائية الحرارية** في صورة معادلة كيميائية موزونة تشتمل على الحالات الفيزيائية لجميع المواد المتفاعلة والناتجة، والتغير في الطاقة، والذي يعبّر عنه عادة بأنه تغير في المحتوى الحراري ΔH.

ينتج عن تفاعل احتراق الجلوكوز $C_6H_{12}O_6$ الطارد للحرارة – في أثناء عملية الأيض في الجسم – كمية كبيرة من الطاقة، كما هو مبين في المعادلة الكيميائية :

$$C_6H_{12}O_{6(s)} + 6O_{2(g)} \rightarrow 6CO_{2(g)} + 6H_2O_{(l)} \quad \Delta H_{comb} = -2808\ kJ$$

يسمى المحتوى الحراري الناتج عن حرق 1 mol من المادة احتراقًا كاملاً **حرارة الاحتراق** enthalpy (heat) of combustion(ΔH_{comb}). ويبين **الجدول 3-1** تغيرات المحتوى الحراري القياسية لعدة مواد. ويستعمل الرمز ΔH° ليدل على تغير المحتوى الحراري القياسي. فالرمز (°) يبين أن تغيرات المحتوى الحراري قد تم تحديدها للمواد المتفاعلة والنواتج جميعها عند الظروف القياسية (ضغط جوي 1 atm ودرجة حرارة 25 °C)، ويجب عدم الخلط بينها وبين درجة الحرارة والضغط القياسيين STP.

المطويات

أدخل معلومات من هذا القسم في مطويتك.

الجدول 3-1	حـرارة الاحتراق القياسية	
المادة	الصيغة الكيميائية	ΔH°_{comb} kJ/mol
السكروز (سكر المائدة)	$C_{12}H_{22}O_{11(s)}$	−5644
الأوكتان (أحد مكونات البنزين)	$C_8H_{18(l)}$	−5471
الجلوكوز (سكر بسيط يوجد في الفواكه)	$C_6H_{12}O_{6(s)}$	−2808
البروبان (وقود غازي)	$C_3H_{8(g)}$	−2219
الميثان (وقود غازي)	$CH_{4(g)}$	−891

تغيرات الحالة Changes of State

هناك الكثير من العمليات غير الكيميائية التي تُمتص الطاقة فيها أو تُطلق. فكّر مثلاً فيما يحدث عندما تخرج من حمّام ساخن، لا بد أنك تشعر برعشة جسمك في أثناء تبخّر الماء عن جلدك؛ وذلك لأن جلدك يزود الماء بالحرارة التي يحتاج إليها لكي يتبخر، وكلما امتص الماء الحرارة من جلدك وتبخر ازدادت برودة جسمك.

تسمّى الحرارة اللازمة لتبخر 1 mol من سائل **حرارة التبخر المولارية** (ΔH_{vap}) Molar enthalpy (heat) of vaporization. وبالمثل أيضًا إذا أردت شرب كأس ماء بارد فقد تضع فيه مكعبًا من الثلج؛ فيبرد الماء؛ لأنه يزود مكعب الثلج بالحرارة لكي ينصهر. تسمى الحرارة اللازمة لصهر 1 mol من مادة صلبة **حرارة الانصهار المولارية** Molar enthalpy (heat) of fusion (ΔH_{fus}). ولأن تبخر السائل وصهر المادة الصلبة عمليتان ماصتان للحرارة، تكون ΔH لكل من العمليتين موجبة. يبين **الجدول 4-1** حرارة التبخر والانصهار القياسية لعدد من المواد المألوفة.

الجدول 4-1	حرارة التبخر والانصهار القياسية		
المادة	الصيغة الكيميائية	ΔH°_{vap} kJ/mol	ΔH°_{fus} kJ/mol
الماء	H_2O	40.7	6.01
الإيثانول	C_2H_5OH	38.6	4.94
الميثانول	CH_3OH	35.2	3.22
حمض الإيثانويك (الخل)	CH_3COOH	23.4	11.7
الأمونيا	NH_3	23.3	5.66

المعادلات الكيميائية الحرارية لتغيرات الحالة يمكن وصف تبخر الماء وصهر الجليد بالمعادلتين الآتيتين:

$$H_2O_{(l)} \rightarrow H_2O_{(g)} \qquad \Delta H_{vap} = 40.7\ kJ$$

$$H_2O_{(s)} \rightarrow H_2O_{(l)} \qquad \Delta H_{fus} = 6.01\ kJ$$

تبين المعادلة الأولى أن 40.7 kJ من الطاقة تُمتص عندما يتحول 1 mol من الماء الى 1 mol من بخار الماء. بينما تشـير المعادلة الثانية إلى أن 6.01 kJ من الطاقـة تُمتص عندما ينصهر مول واحد من الجليـد ليكون مولاً واحدًا من الماء السائل.

ماذا يحدث في العمليتين العكسـيتين عندما يتكثّف بخـار الماء ليكوِّن الماء السائل أو عندما يتجمد الماء مكونًا الجليد؟ كميات الحرارة في هذه العمليات الطاردة للحرارة مسـاوية لكميات الحرارة التي تمتـص في عمليتي التبخر والانصهـار الماصتين للحرارة. وهكذا فإن قيمة حـرارة التكثّف المولارية Molar enthalpy (heat) of condensation (ΔH_{cond}) وقيمـة حرارة التبخير المولارية متسـاويتان رقميًّا وإن اختلفتا في الإشارة. كذلك فإن قيمـة حرارة التجمـد المولارية (ΔH_{solid}) وقيمة حـرارة الانصهار المولاريـة لهما القيمة الرقمية نفسـها، ولكنهما تختلفان في الإشـارة. وهذه العلاقات موضحة في **الشكل 9-1**.

$$\Delta H_{vap} = -\Delta H_{cond}$$

$$\Delta H_{fus} = -\Delta H_{solid}$$

قارن بين معادلتي تكثّف وتجمد الماء الآتيتين بالمعادلتين المتعلقتين بتبخر الماء وصهره.

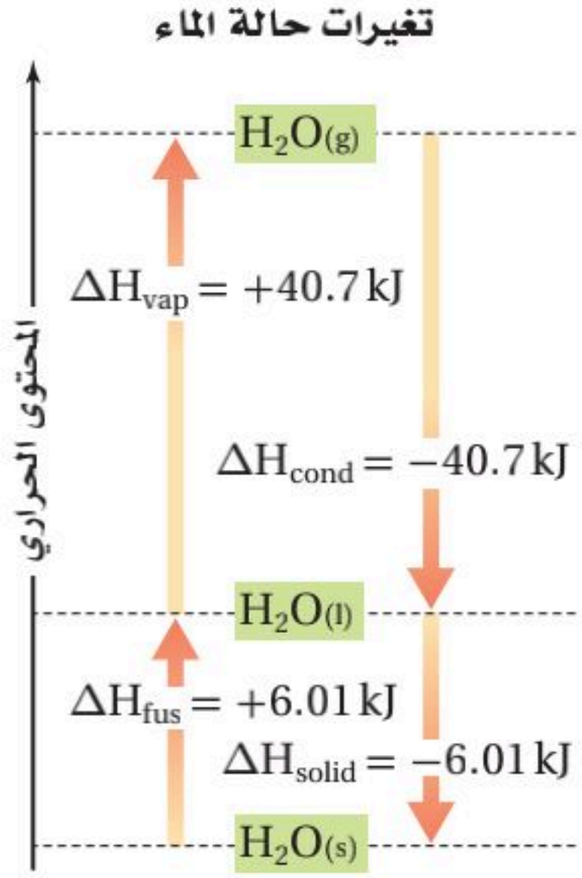
$$H_2O_{(g)} \rightarrow H_2O_{(l)} \qquad \Delta H_{cond} = -40.7\ kJ$$

$$H_2O_{(l)} \rightarrow H_2O_{(s)} \qquad \Delta H_{solid} = -6.01\ kJ$$

يسـتغل بعض المزارعين في البلاد الباردة حرارة انصهار الماء لحماية الفاكهة والخضراوات من التجمد. فـإذا كان من المتوقع أن تنخفض درجة الحرارة إلى درجة التجمد في أحد الأيام فإنهم يغمرون بسـاتينهم وحقولهم بالماء في تلك الليلة. ويعود السـبب في ذلك إلى أن عمليـة تجمد الماء تطلق طاقة ΔH_{solid} تدفـئ الهواء المحيط لدرجة كافيـة لمنع الفاكهة والخضراوات من التلف. وسـوف ترسم في مختبر حل المشـكلات الآتي منحنى تسخين الماء لتفسير استعمال حرارة الانصهار والتبخر.

ماذا قرأت؟ صنف عمليات كل مـن التكثّف، والتجمّد، والتبخّر، والانصهار، إلى طاردة للحرارة أو ماصّة لها.

الشكل 9-1 الأسهم التي تشير إلى أعلى تدل على أن طاقة النظام تزداد عندما ينصهر الماء، ثم يتبخر. وتدل الأسهم التي تشير إلى أسفل على أن طاقة النظام تقل عندما يتكثَّف الماء ويتجمد.



مختبر حل المشكلات

اعمل رسومًا بيانية واستعملها

كيف ترسم منحنى التسخين للماء؟

تتجاذب جزيئات الماء بشدة بعضها نحو بعض لأنها قطبية، وتكوِّن روابط هيدروجينية فيما بينها. وتفسر قطبية الماء حرارته النوعية العالية، وحرارة الانصهار والتبخير العاليتين نسبيًّا.

التحليل

استعمل بيانات الجدول لرسم منحنى التسخين لعينة من الماء كتلتها 180 g عند تسخينها بمعدل ثابت من −20°C إلى 120°C. ثم سجل الوقت الذي يحتاج إليه الماء ليمر في كل قطاع من الرسم البياني.

التفكير الناقد

1. **حلل** كلًّا من الأجزاء الخمسة من الرسم. والتي تتميز بتغير حاد في ميل المنحنى. وبين كيف يغير امتصاص الحرارة من طاقة الوضع وطاقة الحركة لجزيئات الماء.
2. **احسب** كمية الحرارة اللازمة لكل منطقة من الرسم.

$180\ g\ H_2O = 10\ mol\ H_2O, \Delta H_{fus} = 6.01\ kJ/mol,$
$\Delta H_{vap} = 40.7\ kJ/mol,\ C_{H_2O(s)} = 2.03\ J/g \cdot °C,$
$C_{H_2O(\ell)} = 4.184\ J/g \cdot °C,\ C_{H_2O(g)} = 2.01\ J/g \cdot °C$

ما علاقة الزمن اللازم في كل منطقة في الرسم بكمية الحرارة الممتصة؟

3. **استنتج** كيف يبدو شكل منحنى التسخين للإيثانول؟ ينصهر الإيثانول عند −114 °C ويغلي عند 78 °C. ارسم منحنى تسخين الإيثانول في مدى درجات الحرارة من −120 °C إلى 90 °C. ما العوامل التي تحدد طول الأجزاء التي تثبت فيها درجة الحرارة (الخطوط الأفقية)، وميل المنحنى بين الأجزاء التي تتغير فيها درجة الحرارة؟

بيانات الزمن ودرجة حرارة الماء

الزمن min	درجة الحرارة C°	الزمن min	درجة الحرارة C°
0.0	−20	13.0	100
1.0	0	14.0	100
2.0	0	15.0	100
3.0	9	16.0	100
4.0	26	17.0	100
5.0	42	18.0	100
6.0	58	19.0	100
7.0	71	20.0	100
8.0	83	21.0	100
9.0	92	22.0	100
10.0	98	23.0	100
11.0	100	24.0	100
12.0	100	25.0	120

مثال 4-1

الحرارة المنطلقة من تفاعل يستعمل المسعر في قياس الحرارة الناتجة عن تفاعلات الاحتراق؛ إذ يتم التفاعل في حجم ثابت يحوي أكسجينًا مضغوطًا ضغطًا عاليًا. ما كمية الحرارة الناتجة عن احتراق 54.0 g جلوكوز $C_6H_{12}O_6$ بحسب المعادلة الآتية:

$$C_6H_{12}O_{6(s)} + 6O_{2(g)} \rightarrow 6CO_{2(g)} + 6H_2O_{(l)} \qquad \Delta H_{comb} = -2808\ kJ$$

1 تحليل المسألة

لديك كتلة معروفة من الجلوكوز، ومعادلة احتراق الجلوكوز، و ΔH_{comb}. عليك تحويل جرامات الجلوكوز إلى مولات. ولأن الكتلة المولية للجلوكوز أكثر ثلاث مرات من كتلة الجلوكوز المحترق، يمكنك أن تتوقع أن الحرارة الناتجة ستكون أقل من ثلث ΔH_{comb}.

المعطيات

كتلة الجلوكوز $C_6H_{12}O_6 = 54.0\ g$

$\Delta H_{comb} = -2808\ kJ$

المطلوب

$q = ?\ kJ$

2 حساب المطلوب

حول جرامات $C_6H_{12}O_6$ إلى مولات $C_6H_{12}O_6$

اضرب في مقلوب الكتلة المولية $\frac{1\ mol}{180.18\ g}$

$$54.0\ \cancel{g\ C_6H_{12}O_6} \times \frac{1\ mol\ C_6H_{12}O_6}{180.18\ \cancel{g\ C_6H_{12}O_6}} = 0.300\ mol\ C_6H_{12}O_6$$

اضرب مولات $C_6H_{12}O_6$ في المحتوى الحراري للاحتراق، ΔH_{comb}

اضرب مولات الجلوكوز في $\frac{2808\ kJ}{1\ mol\ C_6H_{12}O_6}$

$$0.300\ \cancel{mol\ C_6H_{12}O_6} \times \frac{2808\ kJ}{1\ \cancel{mol\ C_6H_{12}O_6}} = 842\ kJ$$

3 تقويم الإجابة

الطاقة الناتجة أقل من ثلث ΔH_{comb}.

مسائل تدريبية

23. احسب الحرارة اللازمة لصهر 25.7g من الميثانول الصلب عند درجة انصهاره. استعن **بالجدول 4-1** .

24. ما كمية الحرارة المنطلقة عن تكثّف 275g من غاز الأمونيا إلى سائل عند درجة غليانه؟ استعن **بالجدول 4-1** لتحديد ΔH_{cond} .

25. تحفيز. ما كتلة الميثان CH_4 التي يجب احتراقها لإطلاق 12880 kJ من الحرارة؟ استعن **بالجدول 3-1** .

الربط مع علم الأحياء عند احتراق 1 mol من الجلوكوز في مسعر ينطلق 2808 kJ من الحرارة. وتنطلق الكمية نفسها من الحرارة في عملية أيض كتلة مساوية من الجلوكوز خلال عملية التنفس الخلوي. وتحدث هذه العملية في كل خلية داخل جسمك في سلسلة من الخطوات المعقدة؛ حيث يتكسّر الجلوكوز وينطلق ثاني أكسيد الكربون والماء اللذان ينتجان أيضًا عن حرق الجلوكوز في المسعر، وتخزن الحرارة الناتجة في صورة طاقة وضع كيميائية في روابط جزيئات ثلاثي فوسفات الأدينوسين ATP. وعندما يحتاج أي جزء من الجسم إلى الطاقة تقوم جزيئات ATP بإطلاق كمية الطاقة المطلوبة.

تجربة عملية

حرارة احتراق مادة الشمع

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

تفاعلات الاحتراق Combustion Reactions

تفاعل الاحتراق عبارة عــن تفاعل الوقود مع الأكســجين. وفي الأنظمة الحيوية يعد الطعامُ الوقودَ اللازمَ للاحتراق. يبين **الشــكل 10-1** بعض الأغذية العديدة التــي تحتوي على الجلوكوز بالإضافة إلى أغذية أخرى تحتوي على الكربوهيدرات، والتي تتحول بدورها إلى جلوكوز داخل جســمك. كما أنك تعتمد على تفاعلات الاحتراق في تدفئة منزلك. فمثلاً يُحرق غاز الميثان بوصفه وســيلة لطهو الطعام أو تدفئة المنازل؛ إذ ينتج عن حرق 1 mol من الميثان 891 kJ من الطاقة الحرارية، كما تبين المعادلة الكيميائية:

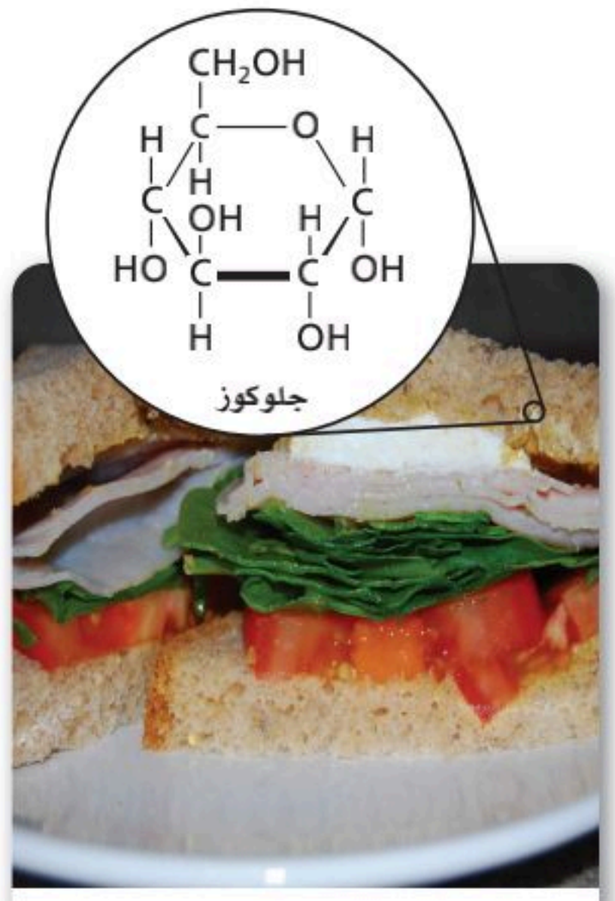
$$CH_{4(g)} + 2O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)} + 891\ kJ$$

تعمل معظم المركبات- ومنها الســيارات والطائرات والســفن والشــاحنات- باحتراق الجاوزلين، والذي يتكون غالبًا من الأوكتان C_8H_{18}. ويبين **الجدول 3-2** أن احتراق 1mol من الأوكتان ينتج 5471kJ من الحرارة.

$$C_8H_{18(l)} + \frac{25}{2}O_{2(g)} \rightarrow 8CO_{2(g)} + 9H_2O_{(l)} + 5471\ kJ$$

كما يتفاعل الهيدروجين والأكسجين معًا لتوفير الطاقة اللازمة لرفع مكوك الفضاء إلى ارتفاعات شاهقة في الفضاء.

$$H_{2(g)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \rightarrow H_2O_{(l)} + 286\ kJ$$



الشكل 10-1 هذه الأغذية هي وقود للجسم. فهي تزود الجسم بالجلوكوز الذي يحترق لإنتاج 2808 kJ/mol ليقوم الجسم بأنشطته الحيوية.

التقويم 3-1

الخلاصة

- تحتوي المعادلة الكيميائية الحرارية على الحالات الطبيعيــة للمواد المتفاعلة والنواتج، كما تبين التغير في المحتوى الحراري.
- حرارة التبخــر المولارية ΔH_{vap}، هي كمية الطاقة اللازمة لتبخر مول واحد من السائل.
- حــرارة الانــصــــهار الــمــولارية ΔH_{fus}، هي كمية الحرارة اللازمة لــصــهر مول واحـــد من الــمادة الصلبة.

26. الفكرة الرئيسة **اكتــب** مــعادلة كيميائية حرارية كاملة لاحتراق الإيثانول C_2H_5OH إذا علمت أن $\Delta H_{comb} = -1367\ kJ/mol$

27. حدد أي العمليات الآتية طاردة للحرارة، وأيها ماصّة لها؟

a. $C_2H_5OH_{(l)} \rightarrow C_2H_5OH_{(g)}$

b. $Br_{2(l)} \rightarrow Br_{2(s)}$

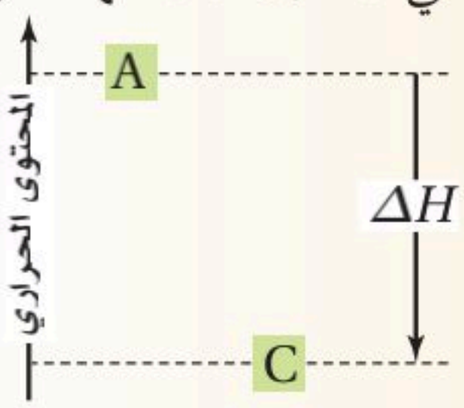
c. $C_5H_{12(g)} + 8O_{2(g)} \rightarrow 5CO_{2(g)} + 6H_2O_{(l)}$

28. اشرح كيف يمكنك حساب الحرارة المنطلقة عند تجمد 0.25 mol ماء.

29. احسب كمية الحــرارة المنطلقة عنــد احتراق 206 g من غــاز الهيدروجين؟ $\Delta H_{comb} = -286\ kJ/mol$

30. طبّــق إذا كانت حرارة التبخُّر المولارية للأمونيا هي 23.3 kJ /mol فما مقدار حرارة التكثّف المولارية للأمونيا؟

31. تفسير الرسوم العلمية يبين الرسم المجاور المحتــوى الحــراري للتفاعــل $A \rightarrow C$. هل التفاعل طارد أم ماصّ للحرارة؟ فسر إجابتك.



رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

1–4

الأهداف

- **تطبق** قانون هس لحساب التغير في المحتوى الحراري لتفاعل ما.
- **توضح** المقصود بحرارة التكوين القياسية.
- **تحسب** التغير في المحتوى الحراري للتفاعل ΔH°_{rxn} مستعملاً المعادلات الكيميائية الحرارية.
- **تحسب** التغير في المحتوى الحراري لتفاعل باستعمال بيانات حرارة التكوين القياسية.

مراجعة المفردات

التآصل: ظاهرة وجود شكل أو أكثر لعنصر بتراكيب وخصائص مختلفة عند الحالة الفيزيائية نفسها.

المفردات الجديدة

قانون هس

حرارة التكوين القياسية

حساب التغير في المحتوى الحراري

Calculating Enthalpy Change

الفكرة الرئيسة يمكن حساب التغير في المحتوى الحراري للتفاعلات الكيميائية باستعمال قانون هس.

الربط مع الحياة لعلك قرأت قصة من فصلين أو من جزأين، بحيث يخبر كل جزء ببعض أحداث القصة. عليك أن تقرأ الجزأين معًا لتفهم القصة كلها. بعض التفاعلات تشبه ذلك؛ إذ يمكن فهمها بشكل أفضل إذا نظرت إليها في مجموع تفاعلين بسيطين أو أكثر.

قانون هس Hess's Law

يكون من المستحيل أحيانًا أو من غير العملي أن تقيس التغير في المحتوى الحراري ΔH لتفاعل باستعمال المسعر. يبين **الشكل 11-1** تغير الكربون في صورته المتآصلة (الألماس)، إلى الكربون في صورته المتآصلة (الجرافيت). $C(s, \text{جرافيت}) \rightarrow C(s, \text{ألماس})$.

يحدث هذا التفاعل ببطء شديد، مما يجعل من المستحيل أن نقيس التغير في محتواه الحراري. وهناك تفاعلات أخرى تحدث في ظروف يصعب إيجادها في المختبر، كما أن هناك تفاعلات تعطي نواتج غير النواتج المطلوبة منها، فيستعمل الكيميائيون طريقة نظرية لإيجاد ΔH لمثل هذه التفاعلات. لنفترض أنك تدرس تكوين ثالث أكسيد الكبريت في الجو، فعليك أن تحدد ΔH للتفاعل.

$$2S_{(s)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 2SO_{3(g)} \quad \Delta H = ?$$

لسوء الحظ، إن التجارب المختبرية التي تجرى لإنتاج ثالث أكسيد الكبريت لتحديد ΔH للتفاعل ينتج عنها مخلوط من النواتج، معظمها يتكون من ثاني أكسيد الكبريت SO_2. في مثل هذه الحالة يمكنك حساب ΔH باستعمال قانون هس للجمع الحراري. ينص **قانون هس** على أن حرارة التفاعل أو التغير في المحتوى الحراري تتوقف على طبيعة المواد الداخلة في التفاعل والمواد الناتجة منه، وليس على الخطوات أو المسار الذي يتم فيه التفاعل.



الشكل 11-1 إن التعبير الذي يقول إن "الألماس يبقى إلى الأبد diamonds are forever" يدل على أن عملية تحويل الألماس إلى جرافيت عملية بطيئة جدًّا حتى أنه من المستحيل أن تقيس التغير في محتواه الحراري.

تطبيق قانون هس كيف يمكن استعمال قانون هس لحساب التغير في المحتوى الحراري للتفاعل الذي ينتج ثالث أكسيد الكبريت SO_3؟

$$2S_{(s)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 2SO_{3(g)} \quad \Delta H = ?$$

الخطوة 1 نحتاج إلى الاطلاع على معادلات كيميائية حرارية معلومة تُظهر التغير في المحتوى الحراري للمواد الداخلة والناتجة في التفاعل المطلوب حسابَ التغير في المحتوى الحراري له. المعادلتان الآتيتان تحتويان على SO_3 و O_2 و S:

$$\text{a. } S_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow SO_{2(g)} \quad \Delta H = -297\ kJ$$
$$\text{b. } 2SO_{3(g)} \rightarrow 2SO_{2(g)} + O_{2(g)} \quad \Delta H = 198\ kJ$$

الخطوة 2 تبين معادلة التفاعل الكلي أنّ 2mol من الكبريت يتفاعلان، إذن أعد كتابة المعادلة a لمولين من الكبريت بضرب معاملات المعادلة في اثنين. ثم ضاعف التغير الحراري ΔH؛ لأنه عند تفاعل 2mol من الكبريت تتضاعف الحرارة بهذه التغيرات، وتصبح المعادلة a كما يأتي (المعادلة c):

$$\text{c. } 2S_{(s)} + 2O_{2(g)} \rightarrow 2SO_{2(g)} \quad \Delta H = 2(-297\ kJ) = -594\ kJ$$

الخطوة 3 تبين معادلة التفاعل المطلوب حساب التغير في المحتوى الحراري له أنّ ثالث أكسيد الكبريت هو ناتج وليس مادة متفاعلة، لذا اعكس المعادلة b.

عندما تعكس المعادلة يجب عليك أيضًا أن تغير إشارة ΔH، فتصبح المعادلة b كما يأتي:

$$\text{d. } 2SO_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2SO_{3(g)} \quad \Delta H = -198\ kJ$$

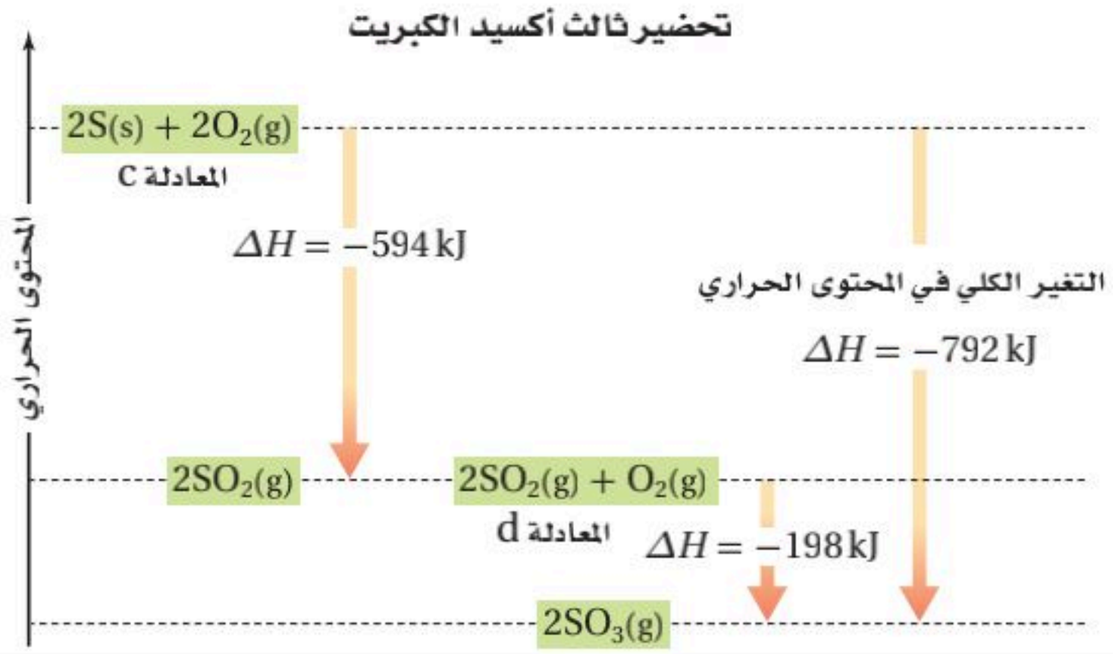
الخطوة 4 اجمع المعادلتين c و d لتحصل على المعادلة المطلوبة.

$$2S_{(s)} + 2O_{2(g)} \rightarrow 2SO_{2(g)} \qquad \Delta H = -594\ kJ$$
$$2SO_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2SO_{3(g)} \qquad \Delta H = -198\ kJ$$
$$2SO_{2(g)} + 2S_{(s)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 2SO_{2(g)} + 2SO_{3(g)} \quad \Delta H = -792\ kJ$$

وهكذا تصبح المعادلة الكيميائية الحرارية لاحتراق الكبريت وتكوين ثالث أكسيد الكبريت كما يأتي:

$$2S_{(s)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 2SO_{3(g)} \quad \Delta H = -792\ kJ$$

ويبين **الشكل 12-1** تغيرات الطاقة في هذا التفاعل.



الشكل 12-1 يدل السهم الموجود عن اليسار على إطلاق 594 kJ عند اتحاد S و O_2 لتكوين SO_2 (المعادلة c). ثم يتحد SO_2 مع O_2 لتكوين SO_3 (المعادلة d) عند إطلاق 198 kJ (السهم الأوسط). إن التغير الكلي في الحرارة (مجموع العمليتين) يمثله السهم الأيمن.

أوجد التغير في المحتوى الحراري لتحلّل SO_3 إلى S و O_2.

تكون المعادلات الكيميائيــة الحرارية عادةً موزونةً لمول واحد من الناتج. لــذا نجد أنه في الكثير من هذه المعادلات استعمال معاملات كسرية. مثلاً تُكتب المعادلة الكيميائية الحرارية لتفاعل الكبريت مع الأكسجين لإنتاج مول واحد من ثالث أكسيد الكبريت كما يأتي:

$$S_{(s)} + \frac{3}{2}O_{2(g)} \rightarrow SO_{3(g)} \quad \Delta H = -396\ kJ$$

ماذا قرأت؟ **قارن** بين المعادلة أعلاه والمعادلة الكيميائية الحرارية للمواد نفسها على الصفحة السابقة.

مثال 5-1

قانـون هســ: اســتعمل المعادلتين الكيميائيتين الحراريتين a و b أدناه لإيجاد ΔH لتحلّل فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2، وهو مركب له عدة استعمالات، منها إزالة لون الشعر، وتزويد محركات الصواريخ بالطاقة.

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

a. $2H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2H_2O_{(l)} \qquad \Delta H = -572\ kJ$

b. $H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow H_2O_{2(l)} \qquad \Delta H = -188\ kJ$

1 تحليل المسألة

لديك معادلتان كيميائيتان وتغير المحتوى الحراري لكل منهما. وهاتان المعادلتان تحتويان على جميع المواد الموجودة في المعادلة المطلوبة.

المعطيات

$2H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2H_2O_{(l)} \quad \Delta H = -572\ kJ$

$H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow H_2O_{2(l)} \quad \Delta H = -188\ kJ$

المطلوب

$\Delta H = ?\ kJ$

2 حساب المطلوب

H_2O_2 هو مادة متفاعلة

اعكس المعادلة b وغيّر إشارة ΔH $\qquad H_2O_{2(aq)} \rightarrow H_{2(g)} + O_{2(g)} \qquad \Delta H = 188\ kJ$

يلزم 2 mol من H_2O_2

اضرب المعادلة b بعد عكسها في 2 لتحصل على المعادلة c

اضرب 188 kJ في 2 لتحصل على ΔH للمعادلة c $\qquad \Delta H = 188\ kJ \times 2 = 376\ kJ$

اكتب المعادلة c متضمنة ΔH $\qquad$ **c.** $2H_2O_{2(aq)} \rightarrow 2H_{2(g)} + 2O_{2(g)} \qquad \Delta H = 376\ kJ$

اجمع المعادلة a مع المعادلة c، واحذف كل حدّين موجودين على طرفي المعادلة المدمجة. اجمع المحتوى الحراري للمعادلتين a و c.

اكتب المعادلة a $\qquad$ **a.** $2H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2H_2O_{(l)} \qquad \Delta H = -572\ kJ$

اكتب المعادلة c $\qquad$ **c.** $2H_2O_{2(l)} \rightarrow 2H_{2(g)} + 2O_{2(g)} \qquad \Delta H = 376\ kJ$

اجمع المعادلتين a و c $\qquad 2H_2O_{2(l)} \rightarrow 2H_2O_{(l)} + O_{2(g)} \qquad \Delta H = -196\ kJ$

3 تقويم الإجابة

ينتج عن جمع المعادلتين معادلة التفاعل المطلوب حساب التغير في محتواه الحراري.

مسائل تدريبية

32. استعمل المعادلتين a و b لإيجاد ΔH للتفاعل الآتي:

$$2CO_{(g)} + 2NO_{(g)} \rightarrow 2CO_{2(g)} + N_{2(g)} \qquad \Delta H = ?$$
$$a.\ 2CO_{(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2CO_{2(g)} \qquad \Delta H = -566.0\ kJ$$
$$b.\ N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2NO_{(g)} \qquad \Delta H = -180.6\ kJ$$

33. تحفيز إذا كانت قيمة ΔH للتفاعل الآتي 1789 kJ-، فاستعمل ذلك مع المعادلة a لإيجاد ΔH للتفاعل b.

$$4Al_{(s)} + 3MnO_{2(s)} \rightarrow 2Al_2O_{3(s)} + 3Mn_{(s)} \qquad \Delta H = -1789\ kJ$$
$$a.\ 4Al_{(s)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 2Al_2O_{3(s)} \qquad \Delta H = -3352\ kJ$$
$$b.\ Mn_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow MnO_{2(s)} \qquad \Delta H = ?$$



الشكل 13-1 يتحد ثالث أكسيد الكبريت مع الماء في الجو مكونًا حمض الكبريتيك H_2SO_4، وهو حمض قوي يصل إلى الأرض على شكل مطر حمضي، فيدمّر الأشجار والممتلكات ببطء.

حرارة التكوين القياسية

Standard Enthalpy (Heat) of Formation

يمكّنك قانون هس من حساب التغير في المحتوى الحراري ΔH، وذلك بالاعتماد على تفاعلات تم حساب ΔH لها من قبل من خلال تجارب مختبرية. ولكن عملية حساب وتسجيل قيم ΔH لكافة التفاعلات الكيميائية المعروفة مهمة صعبة وضخمة. وعوضًا عن ذلك يسجل العلماء ويستعملون التغيرات في المحتوى الحراري فقط لنوع واحد من التفاعل، وهو التفاعل الذي يتكون فيه المركب من عناصره في حالاتها القياسية؛ عند ضغط جوي واحد (1atm) ودرجة حرارة 25°C (298 K). فالحديد مثلاً صلب، والزئبق سائل، والأكسجين غاز ثنائي الذرة في الحالة القياسية.

ويسمى ΔH لهذا التفاعل المحتوى الحراري، أو حرارة التكوين القياسية للمركب. ويعرف المحتوى الحراري أو **حرارة التكوين القياسية** ΔH_f° بأنها التغير في المحتوى الحراري الذي يرافق تكوين مول واحد من المركب في الظروف القياسية من عناصره في حالاتها القياسية.

ويعد تفاعل تكوّن ثالث أكسيد الكبريت SO_3 مثالاً على تفاعل حرارة تكوين قياسية.

$$S_{(s)} + \frac{3}{2}O_{2(g)} \rightarrow SO_{3(g)} \qquad \Delta H_f^\circ = -396\ kJ$$

ينتج عن هذا التفاعل ثالث أكسيد الكبريت SO_3، وهو غاز خانق يتسبب في إنتاج المطر الحمضي عندما يختلط بالرطوبة الموجودة في الجو. والشكل **13-1** يبين النتائج المدمرة للمطر الحمضي.

ما مصدر حرارة التكوين؟ إن حرارة التكوين القياسية تعتمد على الفرضية الآتية: العناصر في حالاتها القياسية يكون لها ΔH_f° تساوي 0.0 kJ /mol. فإذا أخذنا الصفر نقطة بداية أمكننا أن ننظم تدريجًا قيم حرارة التكوين للمركبات، والتي تم إيجادها عمليًا. يمكنك التفكير في الصفر على هذا التدريج بما يشبه الصفر المئوي 0.0°C الذي حُدِّد درجةً لتجمد الماء. وهكذا كل مادة أدفأ من الماء المتجمد تكون درجة حرارتها أعلى من الصفر. وكل المواد التي تكون أبرد من الماء المتجمد يكون لها درجة حرارة أقل من الصفر.

إيجاد حرارة التكوين بالتجارب المختبرية تم قياس حرارة تكوّن كثير من المركبات في المختبر، ومنها على سبيل المثال تفاعل تكوين مول واحد من ثاني أكسيد النيتروجين الموضح بالمعادلة :

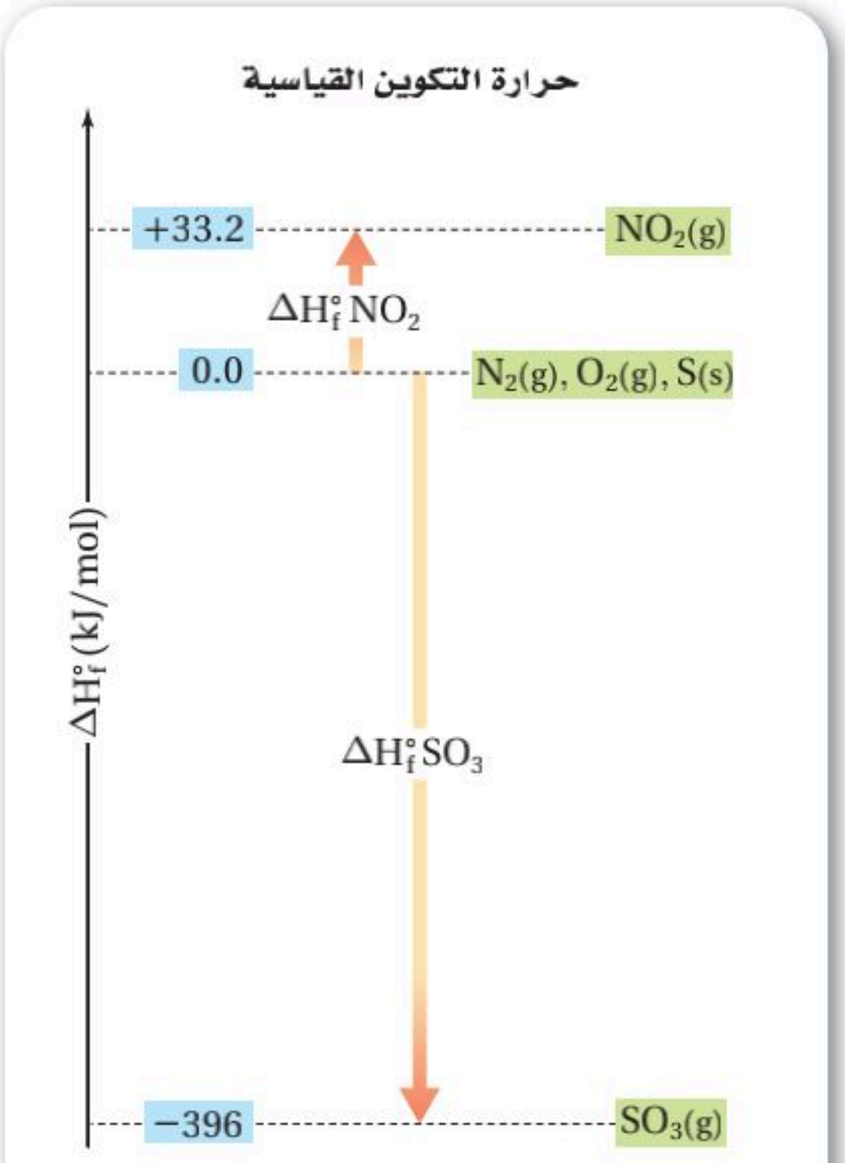
$$\frac{1}{2}N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow NO_{2(g)} \quad \Delta H_f^\circ = +33.2\ kJ$$

النيتروجين والأكسجين في الحالة القياسية غازان ثنائيًا الذرة، لذا تكون حرارة التكوين لكل منهما صفرًا. وعند تفاعل النيتروجين مع الأكسجين لتكوين مول واحد من ثاني أكسيد النيتروجين وجد عمليًا أن ΔH يساوي +33.2 kJ.

وهذا يعني أن +33.2 kJ من الطاقة قد امتصت في هذا التفاعل الماصّ للحرارة. أي أنّ المحتوى الحراري للناتج NO_2 أعلى من المحتوى الحراري للمتفاعلات بمقدار +33.2 kJ. يبين **الشكل 14-1** أنه على تدريج حرارة التكوين القياسية يوضع NO_2 فوق العناصر المكونة له بمقدار +33.2 kJ. ويوضع ثالث أكسيد الكبريت SO_3 بمقدار 396 kJ تحت الصفر؛ لأن $SO_{3(g)}$ ينتج عن تفاعل طارد للحرارة، أي أن حرارة التكوين لثالث أكسيد الكبريت ΔH_f° تساوي −396 kJ. يحتوي **الجدول 5-1** على قيم حرارة التكوين القياسية لبعض المواد الشائعة.

الجدول 5-1 حرارة التكوين القياسية

المركب	معادلة التكوين	ΔH_f° (kJ/mol)
$H_2S_{(g)}$	$H_{2(g)} + S_{(s)} \rightarrow H_2S_{(g)}$	−21
$HF_{(g)}$	$\frac{1}{2}H_{2(g)} + \frac{1}{2}F_{2(g)} \rightarrow HF_{(g)}$	−273
$SO_{3(g)}$	$S_{(s)} + \frac{3}{2}O_{2(g)} \rightarrow SO_{3(g)}$	−396
$SF_{6(g)}$	$S_{(s)} + 3F_{2(g)} \rightarrow SF_{6(g)}$	−1220



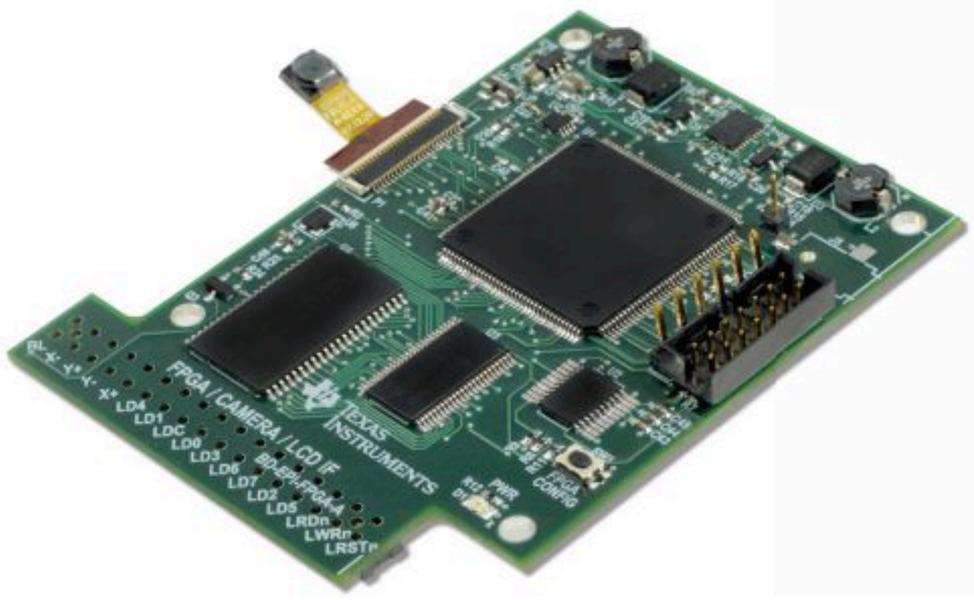
الشكل 14-1 ΔH_f° للعناصر N_2 و O_2 و S تساوي (0.0 kJ). عندما يتفاعل N_2 مع O_2 لتكوين مول واحد من NO_2 يتم امتصاص 33.2kJ من الطاقة.

لذا فإن ΔH_f° لـ NO_2 تساوي 33.2 kJ/mol. أما عند تفاعل S مع O_2 لتكوين مول واحد من SO_3 فينطلق 396 kJ من الطاقة. لذا فإن ΔH_f° لـ SO_3 تساوي −369 kJ/mol.

توقع صف الموقع التقريبي للماء على الرسم أعلاه.

$$H_{2(g)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \rightarrow H_2O_{(l)}$$

$$\Delta H_f^\circ = -286\ kJ/mol$$



الشكل 15-1 يستعمل سادس فلوريد الكبريت في الحفر على رقائق السليكون في عملية إنتاج الأجهزة شبه الموصلة. تعد أشباه الموصلات أجزاء مهمة في الأجهزة الإلكترونية الحديثة ومنها الحواسيب والهواتف الخلوية ومشغلات MP3، وغيرها.

استعمال حرارة التكوين القياسية تستعمل حرارة التكوين القياسية في حساب حرارة التفاعل ΔH°_{rxn} لكثير من التفاعلات في الظروف القياسية باستعمال قانون هس. افترض أنك أردت أن تحسب ΔH°_{rxn} لتفاعل ينتج سادس فلوريد الكبريت، وهو غاز مستقر، غير نشط، له تطبيقات مهمة، أحدها مبين في **الشكل 15-1**.

$$H_2S_{(g)} + 4F_{2(g)} \rightarrow 2HF_{(g)} + SF_{6(g)} \qquad \Delta H^\circ_{rxn} = ?$$

الخطوة 1 ارجع إلى **الجدول 5-1** لتجد معادلة تفاعل تكوين كل من المركبات الثلاثة في معادلة التفاعل المراد حساب حرارته القياسية ΔH°_{rxn}.

a. $\frac{1}{2}H_{2(g)} + \frac{1}{2}F_{2(g)} \rightarrow HF_{(g)} \qquad \Delta H^\circ_f = -273\ kJ$

b. $S_{(s)} + 3F_{2(g)} \rightarrow SF_{6(g)} \qquad \Delta H^\circ_f = -1220\ kJ$

c. $H_{2(g)} + S_{(s)} \rightarrow H_2S_{(g)} \qquad \Delta H^\circ_f = -21\ kJ$

الخطوة 2 المعادلتان **a** و **b** تصفان تكوُّن الناتجين HF و SF_6 في معادلة التفاعل المراد حساب حرارته القياسية ΔH°_{rxn}، لذا استعمل المعادلتين **a** و **b** كما هما.

المعادلة **c** تصف تكوُّن H_2S، ولكن H_2S هو أحد المواد المتفاعلة في معادلة التفاعل المراد حساب حرارته القياسية. لذا اعكس المعادلة **c** وغيّر إشارة ΔH°_{rxn} فيها.

$$H_2S_{(g)} \rightarrow H_{2(g)} + S_{(s)} \qquad \Delta H^\circ_f = 21\ kJ$$

الخطوة 3 تحتاج إلى 2 mol من HF. لذلك اضرب المعادلة **a** في 2.

$$H_{2(g)} + F_{2(g)} \rightarrow 2HF_{(g)} \qquad \Delta H^\circ_f = 2(-273) = -546\ kJ$$

الخطوة 4 اجمع معادلات التفاعلات الثلاث، واجمع قيم حرارة التكوين القياسية.

$$\cancel{H_{2(g)}} + F_{2(g)} \rightarrow 2HF_{(g)} \qquad \Delta H^\circ_f = -546\ kJ$$
$$\cancel{S_{(s)}} + 3F_{2(g)} \rightarrow SF_{6(g)} \qquad \Delta H^\circ_f = -1220\ kJ$$
$$H_2S_{(g)} \rightarrow \cancel{H_{2(g)}} + \cancel{S_{(s)}} \qquad \Delta H^\circ_f = 21\ kJ$$
$$H_2S_{(g)} + 4F_{2(g)} \rightarrow 2HF_{(g)} + SF_{6(g)} \qquad \Delta H^\circ_{rxn} = -1745\ kJ$$

يمكن تلخيص خطوات حساب حرارة التفاعل القياسية ΔH°_{rxn} بالصيغة أدناه:

معادلة التجميع

$$\Delta H^\circ_{rxn} = \Sigma \Delta H^\circ_{f(\text{ products})} - \Sigma \Delta H^\circ_{f(\text{ reactants})}$$

ΔH°_{rxn} تمثل حرارة التفاعل القياسية، و Σ تمثل مجموع الحدود.

انظر كيف تطبق هذه الصيغة على تفاعل كبريتيد الهيدروجين مع الفلور.

$$H_2S_{(g)} + 4F_{2(g)} \rightarrow 2HF_{(g)} + SF_{6(g)}$$

$$\Delta H^\circ_{rxn} = [(2)\Delta H^\circ_f (HF) + \Delta H^\circ_f (SF_6)] - [\Delta H^\circ_f (H_2S) + (4)\ \Delta H^\circ_f (F_2)]$$

$$\Delta H^\circ_{rxn} = [(2)(-273\text{ kJ}) + (-1220\text{ kJ})] - [-21\text{ kJ} + (4)(0.0\text{ kJ})]$$

$$\Delta H^\circ_{rxn} = -1745\text{ kJ}$$

مثال 6-1

إيجاد تغير المحتوى الحراري من حرارة التكوين القياسية استعمل حرارة التكوين القياسية لحساب ΔH°_{rxn} لتفاعل احتراق الميثان.

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

1 تحليل المسألة

لديك معادلة والمطلوب أن تحسب التغير في المحتوى الحراري. يمكن استعمال العلاقة الرياضية:

$$\Delta H^\circ_{rxn} = \Sigma \Delta H^\circ_{f\ (\text{ products})} - \Delta H^\circ_{f\ (\text{ reactants})}$$

المعطيات

$\Delta H^\circ_f (CO_2) = -394\text{ kJ}$

$\Delta H^\circ_f (H_2O) = -286\text{ kJ}$

$\Delta H^\circ_f (CH_4) = -75\text{ kJ}$

$\Delta H^\circ_f (O_2) = 0.0\text{ kJ}$

المطلوب

$\Delta H^\circ_{rxn} = ?\text{ kJ}$

2 حساب المطلوب

استعمل العلاقة الرياضية:

$$\Delta H^\circ_{rxn} = \Sigma \Delta H^\circ_{f\ (\text{ products})} - \Sigma \Delta H^\circ_{f\ (\text{reactants})}$$

عوض عن المواد الناتجة بـ CO_2، H_2O وعن المواد المتفاعلة بـ CH_4، O_2. واضرب كلًّا من H_2O، و O_2 في 2

$$\Delta H^\circ_{rxn} = [\Delta H^\circ_f (CO_2) + (2)\Delta H^\circ_f (H_2O)] - [\Delta H^\circ_f (CH_4) + (2)\Delta H^\circ_f (O_2)]$$

عوض في قيم حرارة التكوين في المعادلة

$$\Delta H^\circ_{rxn} = [(-394\text{ kJ}) + (2)(-286\text{ kJ})] - [(-75\text{ kJ}) + (2)(0.0\text{ kJ})]$$

احتراق 1mol من CH_4 يعطي 891 kJ

$$\Delta H^\circ_{rxn} = [-966\text{kJ}] - [-75\text{kJ}] = -966\text{kJ} + 75\text{kJ} = -891\text{kJ}$$

3 تقويم الإجابة

القيمة التي تم حسابها هي القيمة المعطاة في **الجدول 3-1** نفسها.

مسائل تدريبية

34. بيّن كيف أن مجموع معادلات حرارة التكوين يعطي كلًّا من التفاعلات الآتية، دون البحث عن قيم ΔH واستعمالها في الحل.

a. $2NO_{(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2NO_{2(g)}$ **b.** $SO_{3(g)} + H_2O_{(l)} \rightarrow H_2SO_{4(aq)}$

35. مستعينًا بجدول قيم حرارة التكوين القياسية في صفحة (79)، احسب ΔH°_{rxn} للتفاعل الآتي.

$$4NH_{3(g)} + 7O_{2(g)} \rightarrow 4NO_{2(g)} + 6H_2O_{(l)}$$

36. أوجد ΔH°_{comb} لحمض البيوتانويك، $C_3H_7COOH_{(l)} + 5O_{2(g)} \rightarrow 4CO_{2(g)} + 4H_2O_{(l)}$

مستعينًا بجدول قيم حرارة التكوين والمعادلة الكيميائية أدناه:

$$4C_{(s)} + 4H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow C_3H_7COOH_{(l)} \quad \Delta H = -534\ kJ$$

37. تحفيز بدمج معادلتي حرارة التكوين a وb تحصل على معادلة تفاعل أكسيد النيتروجين مع الأكسجين، الذي ينتج عنه ثاني أكسيد النيتروجين. ما قيمة ΔH°_f للتفاعل b؟

$$NO_{(g)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \rightarrow NO_{2(g)} \quad \Delta H^\circ_{rxn} = -58.1\ kJ$$

a. $\frac{1}{2}N_{2(g)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \rightarrow NO_{(g)} \quad \Delta H^\circ_f = 91.3\ kJ$

b. $\frac{1}{2}N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow NO_{2(g)} \quad \Delta H^\circ_f = ?$

التقويم 1-4

الخلاصة

- يمكن حساب التغير في المحتوى الحراري للتفاعل بجمع معادلتين كيميائيتين حراريتين أو أكثر مع تغيرات المحتوى الحراري لها.
- حرارة التكوين القياسية للمركبات تحدد مقارنة بحرارة التكوين لعناصرها في حالاتها القياسية.

38. الفكرة الرئيسة **وضح** المقصود بقانون هس، وكيف يستعمل لإيجاد ΔH°_{rxn}؟

39. اشرح بالكلمات الصيغة التي يمكن استعمالها لإيجاد ΔH°_{rxn} عند استعمال قانون هس.

40. صف كيف تعرّف العناصر في حالاتها القياسية على تدريج حرارة التكوين القياسية؟

41. تفحص البيانات في **الجدول 5-1**. ماذا يمكن أن تستنتج عن ثبات أو استقرار المركبات المذكورة مقارنةً بالعناصر في حالاتها القياسية؟ تذكر أن الثبات أو الاستقرار يرتبط مع الطاقة المنخفضة.

42. احسب استعمل قانون هس لإيجاد ΔH للتفاعل أدناه:

$NO_{(g)} + O_{(g)} \rightarrow NO_{2(g)} \quad \Delta H = ?$. مستعينًا بالتفاعلات الآتية:

$$O_{2(g)} \rightarrow 2O_{(g)} \quad \Delta H = +495\ kJ$$

$$2O_{3(g)} \rightarrow 3O_{2(g)} \quad \Delta H = -427\ kJ$$

$$NO_{(g)} + O_{3(g)} \rightarrow NO_{2(g)} + O_{2(g)} \quad \Delta H = -199\ kJ$$

43. تفسير الرسوم العلمية استعمل البيانات أدناه لعمل رسمٍ لحرارة التكوين القياسية مشابهٍ **للشكل 14-1**، واستعمله في إيجاد حرارة تبخر الماء عند درجة حرارة 298 K.

الماء السائل: $\Delta H^\circ_f = -285.8\ kJ/mol$؛

الماء في الحالة الغازية: $\Delta H^\circ_f = -241.8\ kJ/mol$

كيف تعمل الأشياء؟



المركبات ذات المرونة في استعمال الوقود

قــد لا تزودنا محطات الوقود في المســتقبل غير البعيد بأنواع مــن الجازولين فقط، ولكنها ستضخ أيضًا وقودًا يســمى E85. يمكن استعمال هذا الوقود في المركبات ذات المرونة في اســتعمال الوقود flexible fuel – vehicle أو (FFV). والفرق بين هذا النوع من المركبات والمركبات التقليديــة أن المركبات التقليدية تعمل على الجازولين بنسبة 100% أو على خليط يتكون من 10% إيثانول و90% جازولين، في حين تعمل FFV عــلى أنواع الوقود التي تعمل بها المركبــات التقليدية، وعلى E85 الذي يحتوي على 85% كحول. ويتميز الوقود E85 بعدم اعتماده على الوقود الأحفوري بنسبة عالية.



الكتابة في الكيمياء

اكتب معادلات كيميائية حرارية تمثل الاحتراق الكامل لكل من 1mol من الأوكتان C_8H_{18}، وهو أحد مكونات البنزين، و 1mol من الإيثانول.
($\Delta H_{comb}\ C_8H_{18} = -5471\ kJ/mol$; $\Delta H_{comb}\ C_2H_5OH = -1367\ kJ/mol$)،
أيهما يطلق كمية أكبر من الطاقة لكل 1mol من الوقود؟
أيهما يطلق كمية أكبر من الطاقة لكل 1 Kg من الوقود؟

مختبر الكيمياء

قياس السُّعرات الحرارية

الخلفية يطلِق حرقُ شريحة بطاطس الحرارةَ المختزنة في المواد الموجودة في الشريحة. استعمل المسعر لتجد الكمية التقريبية للطاقة الموجودة في شريحة بطاطس.

سؤال ما عدد السُّعرات في شريحة البطاطس؟

المواد والأدوات اللازمة

شريحة بطاطس كبيرة أو أي طعام خفيف مشابه	حامل معدني مع حلقة
كأس سعتها 250 mL	شبكة تسخين
مخبار مدرج سعته 100 mL	أعواد ثقاب
طبق تبخير	ساق تحريك زجاجية
مقياس حرارة غير زئبقي	ميزان

إجراءات السلامة

تحذير: بعض الأشياء الساخنة قد لا تبدو ساخنة.

لا تسخنِّ أواني زجاجية مكسورة أو جزء منها مكسور، أو متصدعة. اربط الشعر الطويل إلى الخلف. لا تأكل أي شيء يستعمل في المختبر.

خطوات العمل

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. قس كتلة شريحة البطاطس، وسجلها في جدول بيانات.
3. ضع شريحة البطاطس في صحن تبخير على القاعدة الفلزية لحامل الحلقة. ثبت الحلقة وشبكة التسخين بحيث تكونان على ارتفاع 10 cm فوق شريحة البطاطس.
4. قس كتلة كأس سعتها 250 mL فارغة وسجلها في جدول البيانات.
5. استعمل المخبار المدرج، لقياس 50 mL ماء، وصبه في الكأس. قس كتلة الكأس والماء وسجلها في جدول البيانات.
6. قس وسجل درجة الحرارة الأولية للماء.
7. ضع الكأس على شبكة التسخين على الحامل الحلقي، ثم أشعل شريحة البطاطس أسفل الكأس.



8. حرك الماء في الكأس بلطف في أثناء احتراق الشريحة. قس أعلى درجة حرارة يصل إليها الماء وسجلها.
9. **التخلص من النفايات** اتبع تعليمات المعلم للتخلص من المواد المستعملة في التجربة.

التحليل والاستنتاج

1. **صنف** هل التفاعل طارد للحرارة أو ماصّ لها؟ كيف عرفت ذلك؟
2. **لاحظ واستنتج** صف المادة المتفاعلة ونواتج التفاعل الكيميائي. هل استُهلكت المادة المتفاعلة (شرائح البطاطس) كليًّا؟ ما الدليل الذي يؤيد إجابتك؟
3. **احسب** كتلة الماء والتغير في درجة حرارته. استعمل المعادلة $q = c \times m \times \Delta T$ لحساب كمية الحرارة J، التي انتقلت إلى الماء من الشريحة المحترقة.
4. **احسب** حول كمية الحرارة من جول/ شريحة إلى سعر/ شريحة.
5. **احسب** كتلة الحصة الواحدة بالجرام من المعلومات الموجودة على عبوة الشرائح. حدد عدد السُّعرات الغذائية في الحصة الواحدة. استعمل بياناتك لحساب عدد السُّعرات الغذائية الناتجة عن احتراق حصة واحدة.
6. **تحليل الخطأ** قارن عدد السُّعرات الذي حسبته لكل حصة بالقيمة المذكورة على العبوة. احسب نسبة الخطأ المئوية.

الاستقصاء

توقع هل لشرائح البطاطس جميعها عدد السُّعرات نفسه؟ اعمل خطة لفحص أنواع مختلفة من الشرائح.

الفصل 1

دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة تمتص التفاعلات الكيميائية الحرارة أو تطلقها عادة.

1-1 الطاقة

الفكرة الرئيسة قد يتغير شكل الطاقة، وقد تنتقل، ولكنها تبقى محفوظة دائمًا.

المفردات

- الطاقة
- قانون حفظ الطاقة
- طاقة الوضع الكيميائية
- الحرارة
- السُّعر
- الجول
- الحرارة النوعية

الأفكار الرئيسة

- الطاقة هي القدرة على بذل شغل أو إنتاج حرارة.
- طاقة الوضع الكيميائية هي الطاقة المختزنة في الروابط الكيميائية للمادة نتيجة ترتيب الذرات والجزيئات.
- طاقة الوضع الكيميائية تطلق أو تمتص على شكل حرارة خلال العمليات أو التفاعلات الكيميائية.

1-2 الحرارة

الفكرة الرئيسة التغيُّر في المحتوى الحراري للتفاعل يساوي المحتوى الحراري للنواتج مطروحًا منه المحتوى الحراري للمتفاعلات.

المفردات

- المسعر
- الكيمياء الحرارية
- النظام
- المحيط
- الكون
- المحتوى الحراري
- المحتوى الحراري للتفاعل

الأفكار الرئيسة

- تعرِّف الكيمياءُ الحرارية الكونَ على أنه النظام مع المحيط.
- تسمى كمية الحرارة المفقودة أو المكتسبة في النظام في أثناء التفاعل أو العملية التي تتم تحت ضغط ثابت التغيرَ في المحتوى الحراري (ΔH).
- عندما يكون ΔH موجبًا يكون التفاعل ماصًّا للحرارة، أما عندما يكون ΔH سالبًا فيكون التفاعل طاردًا للحرارة.

1-3 المعادلات الكيميائية الحرارية

الفكرة الرئيسة تعبر المعادلات الكيميائية الحرارية عن مقدار الحرارة المنطلقة أو الممتصّة في التفاعلات الكيميائية.

المفردات

- المعادلة الكيميائية الحرارية
- حرارة الاحتراق
- حرارة التبخر المولارية
- حرارة الانصهار المولارية

الأفكار الرئيسة

- تحتوي المعادلة الكيميائية الحرارية على الحالات الطبيعية للمواد المتفاعلة والنواتج، كما تبين التغير في المحتوى الحراري.
- حرارة التبخر المولارية ΔH_{vap} هي كمية الطاقة اللازمة لتبخر مول واحد من السائل.
- حرارة الانصهار المولارية ΔH_{fus} هي كمية الحرارة اللازمة لصهر مول واحد من المادة الصلبة.

1-4 حساب التغير في المحتوى الحراري

الفكرة الرئيسة يمكن حساب التغير في المحتوى الحراري للتفاعلات الكيميائية باستعمال قانون هس.

المفردات

- قانون هس
- حرارة التكوين القياسية

الأفكار الرئيسة

- يمكن حساب التغير في المحتوى الحراري للتفاعل بجمع معادلتين كيميائيتين حراريتين أو أكثر مع تغيرات المحتوى الحراري لها.
- حرارة التكوين القياسية للمركبات تحدد مقارنة بحرارة التكوين لعناصرها في حالاتها القياسية.

1-1

إتقان المفاهيم

44. قارن بين درجة الحرارة والحرارة.

45. كيف تتغير طاقة الوضع الكيميائية لنظام خلال تفاعل ماصّ للحرارة؟

46. صف تطبيقات عملية تبين فيها كيف تتغير طاقة الوضع إلى طاقة حركية؟

47. السيارات كيف تتحول الطاقة في الجازولين؟ وما الطاقة الناتجة عن احتراقه في محرك السيارة؟

48. التغذية قارن بين السُّعر الغذائي والسُّعر. ما العلاقة بين السُّعر الغذائي والكيلو سعر؟

49. ما ا لكمية التي تقاس بوحدة J /g.°C؟

50. صف ما يمكن أن يحدث في **الشكل 16-1** عندما يكون الهواء فوق سطح البحيرة أبرد من الماء.



الشكل 16-1

51. الحرارة النوعية للإيثانول هي 2.44 J /g.°C. ماذا يعني ذلك؟

52. اشرح كيف تحدد كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة شيء ما؟

إتقان حل المسائل

53. التغذية يحتوي أحد أصناف الطعام على 124 Cal. كم cal يوجد في هذا الصنف من الطعام؟

54. كم جولاً J من الطاقة يتم امتصاصه في عملية يمتص خلالها 0.5720 Kcal من الطاقة؟

55. المواصلات يستعمل الإيثانول بوصفه مادة مضافة إلى البنزين. ينتج عن احتراق 1 mol من الإيثانول 1367 kJ من الطاقة. ما مقدار هذه الطاقة بـ Cal؟

56. لتبخير 2.00 g من الأمونيا يلزم 656 Cal من الطاقة. كم kJ تلزم لتبخير الكتلة نفسها من الأمونيا؟

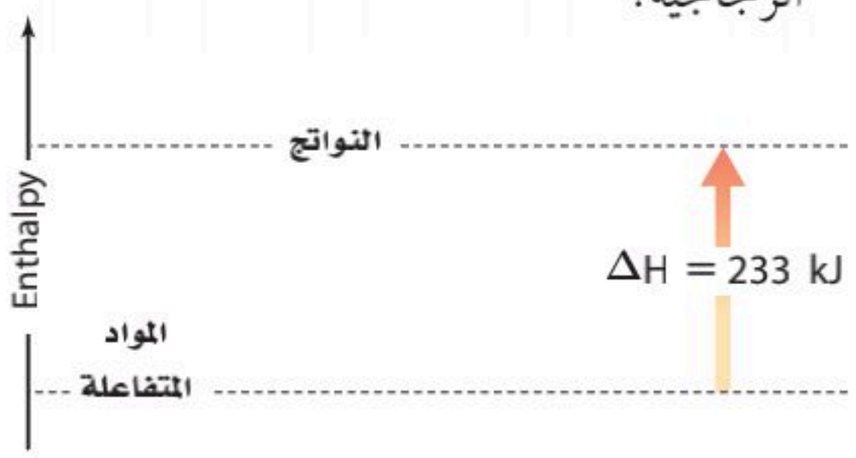
57. احتراق 1mol من الإيثانول يطلق 326.7 Cal من الطاقة. ما مقدار هذه الكمية بـ kJ؟

58. التعدين برغي كتلته 25 g مصنوع من سبيكة امتصت 250 J من الحرارة فتغيرت درجة حرارتها من 25 °C إلى 78 °C. ما الحرارة النوعية للسبيكة؟

1-2

إتقان المفاهيم

59. لماذا يستخدم كوب البوليسترين مسعراً بدلاً من الكأس الزجاجية؟



الشكل 17-1

60. هل التفاعل المبين في **الشكل 17-1** ماصّ أم طارد للحرارة؟ كيف عرفت ذلك؟

61. أعط مثالين على أنظمة كيميائية وعرّف مفهوم الكون في هذين المثالين.

62. متى تكون كمية الحرارة (q) الناتجة أو الممتصة في تفاعل كيميائي مساوية للتغير في المحتوى الحراري ΔH ؟

تقويم الفصل 1

63. إذا كانت قيمــة التغير في المحتوى الحراري ΔH لتفاعل سالبة. فبم يوحي لك ذلك عن الطاقة الكامنة الكيميائية للنظام قبل التفاعل وبعده؟

64. ما إشــارة ΔH لتفاعل طارد للحــرارة، ولتفاعل ماصّ للحرارة؟

إتقان حل المسائل

65. كم جولاً(J) من الحرارة تفقدها 3580 Kg من الجرانيت عندما تبرد درجــة حرارتها من 41.2°C إلى 12.9°C- ؟ (الحرارة النوعية للجرانيت هي 0.803 J /g.°C).

66. حوض الســباحةُ ملئ حوض سباحة 20 m× 12.5 m بالمــاء إلى عمــق 3.75 m . إذا كانت درجــة حرارة ماء الحوض الابتدائيــة 18.4 0°C، فما كمية الحرارة اللازمة لرفــع درجــة حرارتــه إلى 29.0°C؟ كثافــة الماء هي 1.000 g /mL.

67. ما كمية الحرارة التي تمتصها قطعة رصاص كتلتها 44.7 g إذا زادت درجة حرارتها بمقدار 65.4°C؟

68. إعــداد الطعام وضــع 10.2 g مــن زيــت الكانولا في مقلاة، ولــزم 3.34 kJ لرفع درجة حرارته من 25°C إلى 196.4°C. ما الحرارة النوعية لزيت الكانولا؟

69. الســبائك إذا وضعت ســبيكة كتلتها 58.8 g في 125 g من الماء البارد في مســعر، فنقصت درجة حرارة السبيكة بمقــدار 106.1°C، بينــما ارتفعت درجة حــرارة الماء 10.5°C، فما الحرارة النوعية للسبيكة؟

1-3

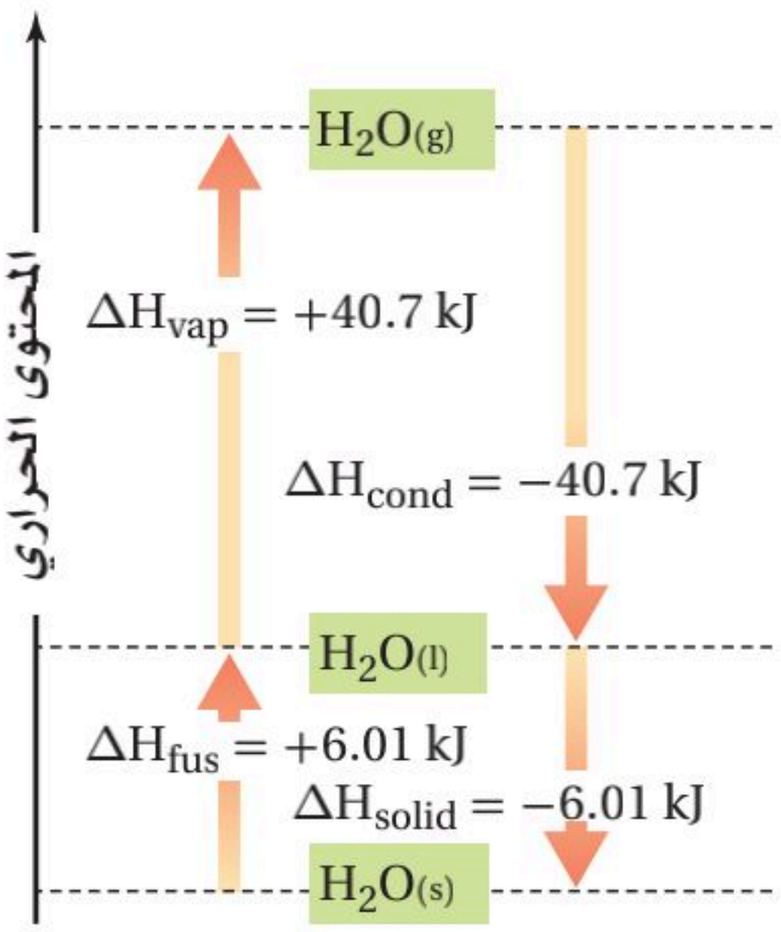
إتقان المفاهيم

70. حــرارة الانصهــار المولاريــة للميثانــول CH_3OH هي 3.22 kJ /mol. ماذا يعني ذلك؟

71. اكتب المعادلة الكيميائية الحرارية لاحتراق الميثان CH_4.

إتقان حل المسائل

72. اســتعن بالمعلومات الواردة في **الشــكل 18-1** لحساب كمية الحــرارة اللازمة لتبخــر 4.33 mol من الماء عند درجة حرارة 100°C.



الشكل 18-1

73. شــوّاية ما كتلة البروبــان C_3H_8 التي يجــب حرقها في شــوّاية لكي تطلق 4560 kJ من الحرارة؟ إذا علمت أنّ ΔH_{comb} للبروبان 2219 kJ /mol- .

74. التدفئة باســتعمال الفحم ما كمية الحرارة التي تنطلق عند احتراق 5.0 Kg من الفحم إذا كانت نسبة كتلة الكربون فيه 96.2% والمواد الأخرى التــي يحتــويها الفحم لا تتـفاعل؟

(ΔH_{comb} للكربون يساوي 394 kJ /mol-) .

75. ما كمية الحرارة المنطلقة من تكثف 1255 g بخار ماء إلى ماء سائل عند درجة حرارة 100 °C؟

76. إذا أُطلقت عينــة من الأمونيا NH_3 5.66 kJ من الحرارة عندما تصلبت عند درجة انصهارها. فما كتلة العينة؟

تقويم الفصل 1

1-4

إتقان المفاهيم

77. مالذي تصفه حرارة التكوين القياسية لمركب معين؟

78. كيف تتغير ΔH في معادلة كيميائية حرارية إذا تضاعفت كميات المواد جميعها ثلاث مرات وعكست المعادلة؟

إتقان حل المسائل

79. استعمل حرارة التكوين القياسية لحساب ΔH°_{rxn} للتفاعل الآتي:

$$P_4O_{6(s)} + 2O_{2(g)} \rightarrow P_4O_{10(s)}$$

80. استعمل قانون هس والمعادلتين الكيميائيتين الحراريتين الآتيتين لإيجاد المعادلة الكيميائية الحرارية للتفاعل $C(s, \text{ألماس}) \rightarrow C(s, \text{جرافيت})$. ما مقدار ΔH للتفاعل؟

a. $C(s, \text{جرافيت}) + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} \quad \Delta H = -394\ kJ$

b. $C(s, \text{ألماس}) + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} \quad \Delta H = -396\ kJ$

مراجعة عامة

81. إذا أردت أن تحفظ الشاي ساخنًا فإنك تضعه في ترمس. وضِّح لماذا قد تغسل الترمس بالماء الساخن قبل حفظ الشاي الساخن فيه؟

82. فرّق بين حرارة تكوين $H_2O_{(l)}$ و $H_2O_{(g)}$. لماذا من الضروري تحديد الحالة الفيزيائية للماء في المعادلة الكيميائية الحرارية الآتية:

$$CH_{4(g)} + 2O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)} \text{ أو } {}_{(g)} \quad \Delta H = ?$$

83. استعمل قانون هس والتغيرات في المحتوى الحراري للتفاعلين الآتيين لحساب ΔH للتفاعل:

$$2A + B_2C_3 \rightarrow 2B + A_2C_3$$

$$2A + \frac{3}{2}C_2 \rightarrow A_2C_3 \qquad \Delta H = -1874\ kJ$$

$$2B + \frac{3}{2}C_2 \rightarrow B_2C_3 \qquad \Delta H = -285\ kJ$$

التفكير الناقد

84. طبّق يعد ثالث كلوريد الفوسفور مادة أولية في تحضير مركبات الفوسفور العضوية. بين كيف يمكن استعمال المعادلتين الكيميائيتين الحراريتين a و b لتحديد التغير في المحتوى الحراري للتفاعل:

$$PCl_{3(l)} + Cl_{2(g)} \rightarrow PCl_{5(s)}$$

a. $P_{4(s)} + 6Cl_{2(g)} \rightarrow 4PCl_{3(l)} \quad \Delta H = -1280\ kJ$

b. $P_{4(s)} + 10Cl_{2(g)} \rightarrow 4PCl_{5(s)} \quad \Delta H = -1774\ kJ$

85. توقع أي المركبين: غاز الميثان CH_4، وبخار الميثانال CH_2O، له حرارة احتراق أكبر؟ وضح إجابتك. (ملاحظة: اكتب وقارن المعادلتين الكيميائيتين الموزونتين لتفاعلي الاحتراق لكل منهما).

مسألة تحفيز

86. حللت عينة من الغاز الطبيعي فوجد أنها تتكون من 88.4% ميثان CH_4 و 11.6% إيثان C_2H_6. فإذا كانت حرارة الاحتراق القياسية للميثان هي 891 kJ / mol−، وينتج عن احتراقه غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 وماء سائل H_2O، فاكتب معادلة احتراق غاز الإيثان مكونًا ثاني أكسيد الكربون والماء، ثم احسب حرارة الاحتراق القياسية للإيثان مستعملاً حرارة التكوين القياسية. استعمل النتيجة وحرارة الاحتراق القياسية للميثان من **الجدول 3-2**، في حساب الطاقة المنطلقة عن احتراق 1 kg من الغاز الطبيعي.

مراجعة تراكمية

87. ما التركيز المولاري لمحلول تم تحضيره بإذابة 25.0 g من ثيوسيانات الصوديوم (NaSCN) في كمية كافية من الماء لعمل 500 mL من المحلول؟

88. عدد ثلاث خصائص جامعة للمحاليل.

1 تقويم الفصل

تقويم إضافي

الكتابة في الكيمياء

89. الوقـود البديـل ابحث من خلال المصادر وشـبكة الإنترنت كيف يمكـن إنتـاج الهيدروجين وشـحنه واسـتعماله وقودًا للسيارات؟ لخص فوائد وعوائق اسـتعمال الهيدروجين وقودًا بديلاً في محركات الاحتراق الداخلي.

أسئلة المستندات

زيـت الطبخ قامت مجموعة بحث جامعيـة بحرق أربعة أنواع من زيوت الطبخ في مسـعر لتحديد ما إذا كان هنـاك علاقة بين حرارة الاحتراق وعـدد الروابط الثنائية في جـزيء الزيت. تحتوي زيوت الطبخ على سلاسـل طويلة من ذرات الكربـون التي ترتبط بروابط مفـردة أو ثنائية. السلسـلة التي لا تحتوي على روابط ثنائية تسـمى المشـبعة. والزيوت التي تحتوي على رابطة ثنائية أو أكثر تسـمى غير مشبعة. حـرارة الاحتراق للزيـوت الأربعـة مـوجودة في **الجدول 6-1** .حسب الباحثون نسـبة انحراف النتائج فوجدوا أنها 0.6%، واستنتجوا أنه لا يمكن تحري أي علاقة بين التشبع وحرارة الاحتراق بالطريقة المختبرية المستعملة.

الجدول 6-1 نتائج حرق الزيوت

نوع الزيت	ΔH_{comb} kJ/g
زيت الصويا	40.81
زيت الكانولا	41.45
زيت الزيتون	39.31
زيت الزيتون البكر الممتاز	40.98

90. أي الزيوت أعطى أكبر كمية مـن الحرارة لكل وحدة كتلة عند احتراقه؟

91. ما مقدار الحرارة التي قد تنطلق عند حرق 0.554 kg من زيت الزيتون؟

92. افترض أنه عند حرق 12.2 g من زيت الصويا استعملت الطاقة الناتجة جميعها في تسخين 1.600 kg من الماء الذي درجة حرارته الأولية 20.0 °C، فما درجة الحرارة النهائية للماء؟

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

1. الحـــرارة النوعية للإيثانـــول 2.44 J /g.˚C. ما الطاقة (KJ) اللازمة لتســـخين 50 g مـــن الإيثانول من درجة حرارة 20.0 ˚C إلى 68.0 ˚C؟
   a. 10.7 KJ
   b. 8.30 KJ
   c. 2.44 KJ
   d. 5.86 KJ

2. إذا سُـــخِّنت رقاقـــة ألومنيوم كتلتهـــا 3.00 g في فرن، فارتفعت درجة حرارتها من 20.0 ˚C إلى 662.0 ˚C، وامتصـــت 1728 J من الحـــرارة، فما الحـــرارة النوعية للألومنيوم؟
   a. 0.131 J/g.˚C
   b. 0.870 J/g.˚C
   c. 0.897 J/g.˚C
   d. 2.61 J/g.˚C

3. يســـمى التغير في المحتوى الحـــراري الذي يرافق تكون مول واحد من المركب في الظروف القياسية من عناصره في حالاتها القياسية:
   a. حرارة الاحتراق
   b. حرارة التبخّر المولارية
   c. حرارة الانصهار المولارية
   d. حرارة التكوين القياسية

4. تكون إشارة قيمة حرارة التفاعل الماص للحرارة:
   a. موجبة أو سالبة
   b. تعتمد على طاقة الروابط في المواد المتفاعلة
   c. موجبة دائمًا
   d. سالبة دائمًا

5. ادرس العبارات الآتية:

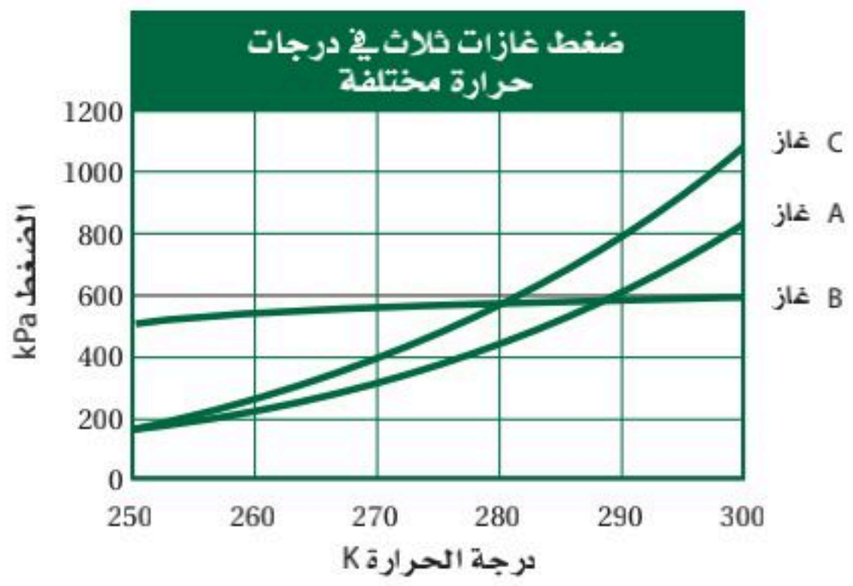
العبـــارة الأولى : تحتوي المعادلة الكيميائية الحرارية على الحالات الفيزيائية للمـــواد المتفاعلة والمواد الناتجة، كما تبين التغير في المحتوى الحراري.

العبارة الثانية: حرارة التبخر المولارية هي كمية الطاقة اللازمة لصهر مول واحد من المادة.

العبارة الثالثة: الحرارة التى يفقدها أو يكتســـبها النظام خلال تفاعـــل أو عملية تتم عند ضغط ثابت تســـمى التغير في المحتوى الحراري ΔH .

أي العبارات أعلاه صحيحة:
   a. الأولى والثانية
   b. الأولى والثالثة
   c. الثانية والثالثة
   d. الأولى والثانية والثالثة

استعمل الرسم البياني أدناه للإجابة عن السؤال الآتي:



6. ما الضغط المتوقع للغاز B عند 310 K؟
   a. 500 kPa
   b. 600 kPa
   c. 700 kPa
   d. 900 kPa

اختبار مقنن

7. وضعت كمية مـــن الماء درجة حرارتـــه 25.60 °C في مسعر، ثم ســـخنت قطعة من الحديد كتلتها 50.0 حتى أصبحت درجة حرارتها 115.0 °C، ووضعت في الماء الموجود بالمسعر، وبعد التبادل الحراري بين الماء وقطعة الحديد أصبحت درجة الحرارة النهائية لمحتويات المسعر 29.30°C، وكانـــت كميـــة الحرارة التـــي امتصها الماء 1940 J. ما كتلة الماء؟

a. 50.0 g

b. 125 g

c. 3589609 g

d. 143.56 g

أسئلة الإجابات القصيرة

8. اكتب إشـــارة ΔH لكل من تغيرات الحالـــة الفيزيائية الآتية:

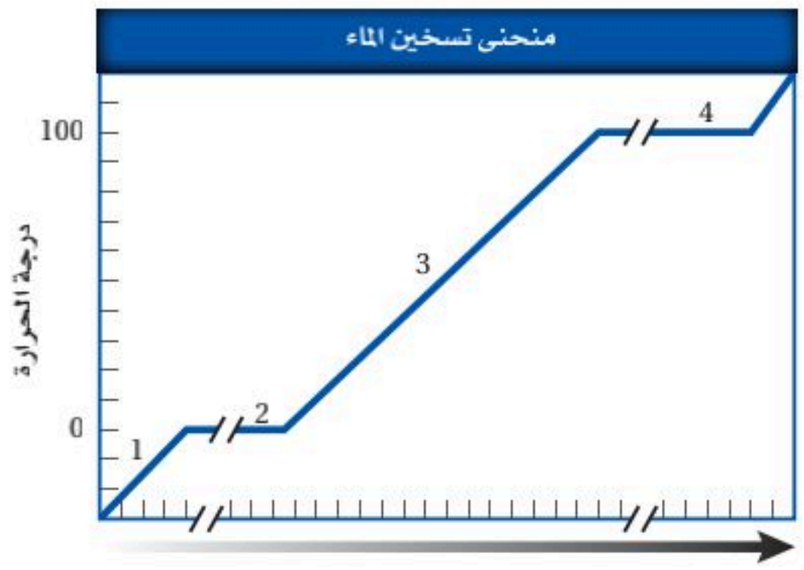
a. $C_2H_5OH_{(s)} \rightarrow C_2H_5OH_{(l)}$

b. $H_2O_{(g)} \rightarrow H_2O_{(l)}$

c. $CH_3OH_{(l)} \rightarrow CH_3OH_{(g)}$

d. $NH_{3(l)} \rightarrow NH_{3(s)}$

9. زوّدت عينة من الماء بالحرارة بصورة ثابتة لإنتاج منحنى التسخين في **الشـــكل** أدناه. حدّد ماذا يحدث في المقاطع 1، 2، 3، 4 الموضحة على المنحنى؟



أسئلة الإجابات المفتوحة

10. يرش الماء على البرتقال في ليلة باردة. إذا كان متوسط ما يتجمّد من الماء على كل برتقالة 11.8 g فما كمية الحرارة المنطلقة؟

11. اشرح كيف يساعد التعرّق على تبريد جسمك؟

الفصل 2

سرعة التفاعلات الكيميائية
Reaction Rates

الفكرة العامة لكل تفاعل كيميائي سرعة محددة يمكـــن زيادتها أو إبطاؤها بتغيير ظروف التفاعل.

2-1 نظرية التصادم وسرعة التفاعل الكيميائي

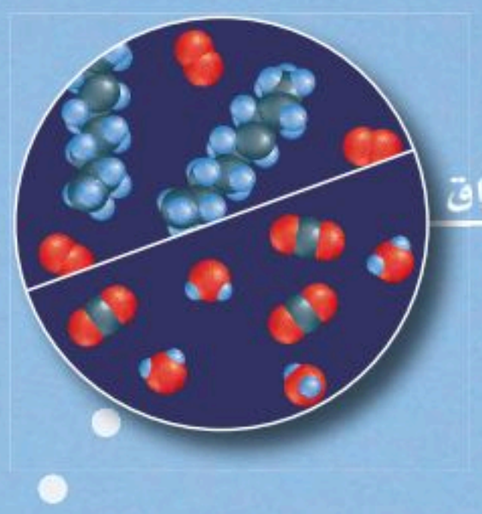
الفكرة الرئيسة نظريــة التصادم هــي المفتاح لفهم الاختلاف في سرعة التفاعلات.

2-2 العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل الكيميائي

الفكرة الرئيسة تؤثر عوامل كثيرة في سرعة التفاعل الكيميائي، منها: طبيعة المواد المتفاعلة، والتركيز، ودرجة الحرارة، ومســاحة السطح، والمحفزات.

2-3 قوانين سرعة التفاعل الكيميائي

الفكرة الرئيسة قانون سرعــة التفاعل عبارة عــن علاقة رياضية -يمكــن تحديدها بالتجربة- تربط بين سرعة التفاعل وتركيز المادة المتفاعلة.



متفاعلات ونواتج الاحتراق



مكبس وأسطوانة



محرك



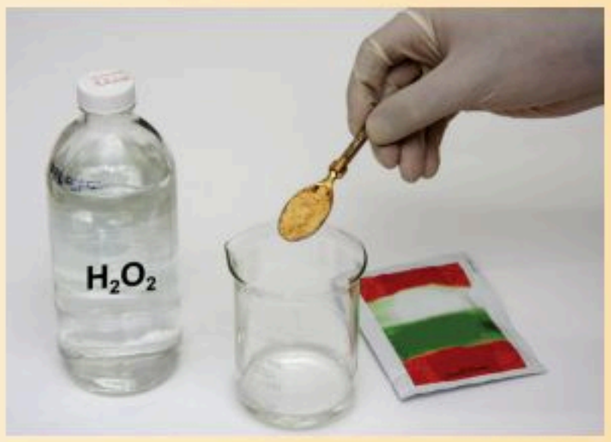
حقائق كيميائية

- ما زالت معظم السيارات حتى اليوم تستعمل نظام الاحتراق الداخلي الذي اخترعه العالم ألفونس بيير دي روشاز عام 1862م.
- تتحد مكونات الجازولين مع الأكسجين في عملية الاحتراق التام داخل أسطوانة محرك الســيارة لتنتج ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء وطاقة كافية لتحريك السيارة.

تجربة استهلالية

كيف يمكن زيادة سرعة التفاعل؟

تحدث بعض التفاعلات الكيميائية ببطء شديد، بحيث يصعب ملاحظتها. وستقوم في هذه التجربة بتقصيّ طريقة واحدة لتسريع تفاعل بطيء.



خطوات العمل

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. اعمل جدولاً لتسجيل المشاهدات والملاحظات قبل وبعد التجربة.
3. اسكب 10 mL تقريبًا من **فوق أكسيد الهيدروجين في كأس زجاجي**. ثم سجّل ملاحظاتك الأولية في جدول الملاحظات والمشاهدات.

   تحذير: فوق أكسيد الهيدروجين مادة حارقة، لذا تجنب ملامستها للجلد والعيون.
4. أضف 0.1 g من **خميرة الخبز** إلى فوق أكسيد الهيدروجين، حرك بلطف مستعملاً **عود تنظيف الأسنان**، ولاحظ المخلوط مرة أخرى، وسجل ملاحظاتك في جدول الملاحظات.

التحليل

1. **حدد** المواد الناتجة عن تحلل فوق أكسيد الهيدروجين.
2. **فسر** لماذا ظهرت الفقاعات في الخطوة رقم 4، ولم تظهر في الخطوة رقم 3؟

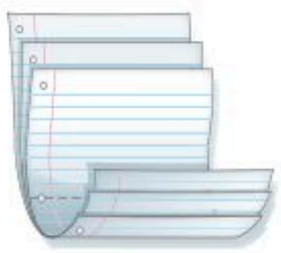
استقصاء ماذا يحدث إذا قمت بإضافة كمية أكبر أو أقل من الخميرة؟ وماذا يحدث لو لم يتم مزج المخلوط؟ صمم تجربة لاختبار أحد هذه المتغيرات.

المطويات
منظمات الأفكار

سرعة التفاعل اعمل المطوية الآتية لتساعدك على تنظيم المعلومات حول العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل الكيميائي.



الخطوة 1 ضع ثلاث أوراق بعضها فوق بعض، بحيث تبعد حافة كل منها عن الأخرى 2 cm تقريبًا من أعلى. حافظ على بقاء الحواف عن اليمين واليسار متطابقة.



الخطوة 2 اطوِ الحواف السفلية للورقِ إلى أعلى لتكوين ستة أجزاء متساوية، ثم اضغط على الحواف لتثبيتها في أماكنها.

الخطوة 3 ثبّت الطيات، كما في **الشكل**، واكتب عنوانًا لكل جزء على النحو الآتي: المحفزات والمثبطات، درجة الحرارة، مساحة السطح، التركيز، طبيعة المواد المتفاعلة، العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل.



المطويات **استعمل هذه المطوية في القسم 2–2** من هذا الفصل. قم بتعريف كل عامل في أثناء قراءتك للفصل، واكتب ملخصًا حول تأثيره في سرعة التفاعل، ثم أعط أمثلة عليها.

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

2–1

نظرية التصادم وسرعة التفاعل الكيميائي
Collision Theory and Reaction Rate

الأهداف

- **تحسب** متوسط سرعة التفاعل الكيميائي من بيانات التجربة.
- **تربط** بين سرعة التفاعل الكيميائي والتصادمات بين جسيمات المواد المتفاعلة.

مراجعة المفردات

الطاقة: القدرة على بذل شغل أو إنتاج حرارة. وتكون الطاقة في صورة طاقة وضع أوطاقة حركة.

المفردات الجديدة

سرعة التفاعل الكيميائي

نظرية التصادم

المعقد المُنشط

طاقة التنشيط

الفكرة الرئيسة **نظرية التصادم هي المفتاح لفهم الاختلاف في سرعة التفاعلات.**

الربط مع الحياة أيهما أسرع: الذهاب إلى المدرسة سيرًا على الأقدام، أم ركوب الحافلة، أم السيارة؟ إن تحديد سرعة وصول شخص إلى المدرسة لا يختلف كثيرًا عن حساب سرعة التفاعل الكيميائي؛ ففي الحالتين نقوم بقياس التغير الناتج خلال الزمن.

التعبير عن سرعة التفاعل Expressing Reaction Rates

اكتشفت في التجربة الاستهلالية أن تفاعل تحلل فوق أكسيد الهيدروجين يمكن أن يكون تفاعلاً سريعًا أو بطيئًا. فالمصطلحان (سريع و بطيء) مصطلحان غير دقيقين؛ إذ يجب أن يكون تعبيرنا أكثر دقة وتحديدًا.

فكّر في كيفية التعبير عن سرعة أو متوسط سرعة الأشياء المتحركة. فمثلاً، يبين عداد السرعة في **الشكل 1–2** أن سيارة السباق تتحرك بسرعة مقدارها 100 Km /h، بينما يمكن التعبير عن سرعة العدّاء في مضمار السباق بوحدة m /s. وعمومًا يعرف متوسط السرعة لحدث ما أو عملية محددة بالتغير الكمي خلال زمن محدد. ولاشتقاق العلاقة الرياضية نستعمل الرمز دلتا (Δ) قبل الكمية (quantity) لتشير إلى التغير في هذه الكمية كما في المعادلة الآتية:

$$\text{متوسط السرعة} = \frac{\Delta_{\text{quantity}}}{\Delta_t}$$

$$\text{متوسط السرعة} = \frac{\text{التغير في كمية المادة المتفاعلة أوالناتجة}}{\text{التغير في الزمن } \Delta t}$$

الشكل 1-2 يبين عداد السرعة في سيارة السباق السرعة بوحدة Km/h أو ميل لكل ساعة (M/h)، وكلاهما يعني التغير في المسافة في وحدة الزمن. وقد تقاس سرعة العداء بوحدة m/s.







الشكل 2-2 تتحول المواد المتفاعلة مع مرور الزمن إلى مواد ناتجة. ويمكن التعبير عن سرعة التفاعل الكيميائي بالتغير في عدد مولات المواد المتفاعلة أو الناتجة خلال فترة محددة من الزمن.

احسب سرعة التغير لكل فترة من الزمن.

يبين **الشكل 2-2** عملية تحوّل المواد المتفاعلة إلى مواد ناتجة مع مرور الزمن. لاحظ أن كمية المواد المتفاعلة تقل بينما تزداد المواد الناتجة. فإذا علمت متوسط التغير في كميات النواتج أو المتفاعلات مع مرور الزمن أمكنك حساب متوسط سرعة التفاعل. وفي الغالب يحتاج الكيميائيون إلى معرفة التغير في التركيز المولاري M لمادة متفاعلة أو ناتجة خلال التفاعل. ولذلك جاء تعريف **سرعة التفاعل الكيميائي** ليعبر عن التغير في تركيز المواد المتفاعلة أو الناتجة في وحدة الزمن، ويعبر عنها بوحدة mol /L.s. وتشير الأقواس التي تكون حول الصيغة الجزيئية للمواد إلى التركيز المولاري. فمثلاً $[NO_2]$ تمثل التركيز المولاري لـ NO_2.

يمكن تحديد سرعة التفاعل الكيميائي بشكل عملي عن طريق حساب تركيز المواد المتفاعلة أو المواد الناتجة عن التفاعل الكيميائي، بينما لا يمكن حساب سرعة التفاعل من المعادلات الموزونة.

لنفترض أنك ترغب في التعبير عن متوسط سرعة التفاعل الآتي خلال فترة زمنية بدأت عند t_1 وانتهت عند t_2.

$$CO_{(g)} + NO_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} + NO_{(g)}$$

من خلال التفاعل السابق تكُون قيمة سرعة تكوُّن المواد الناتجة موجبة. ويمكن التعبير عن حساب سرعة تكوُّن NO كما يأتي:

$$\text{Rate} = \frac{\Delta[NO]}{\Delta t} = \frac{[NO]_{t_2} - [NO]_{t_1}}{t_2 - t_1}$$

ولنفترض على سبيل المثال أن تركيز NO هو 0.000 M عندما كان $t_1 = 0.0$ s، وقد أصبح تركيزه 0.010 M بعد ثانيتين من بداية التفاعل، فما متوسط سرعة التفاعل بوحدة عدد مولات NO الناتجة لكل لتر في الثانية؟

$$\text{Rate} = \frac{0.010\ \text{M} - 0.000\ \text{M}}{2.00\ \text{s} - 0.00\ \text{s}}$$

$$= \frac{0.010\ \text{M}}{2.00\ \text{s}} = 0.0050\ \text{mol/L·s}$$

لاحظ كيفية اشتقاق الوحدة:

$$\frac{\text{M}}{\text{S}} = \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times \frac{1}{\text{S}} = \frac{\text{mol}}{\text{L.S}}$$

المفردات

المفردات الأكاديمية

التركيز Concentration

الاستعمال العلمي: كمية المذاب في كمية محددة من المذيب أو المحلول. ونقول مثلاً: *إن تركيز المحلول هو 6 mol /L.*

الاستعمال الشائع: تركيز الانتباه على هدف أو غرض واحد.

فنقول مثلاً: *اقتصر تركيز الجمهور على الأداء فقط.*

كما يمكنك تحديد سرعة التفاعل بمعرفة متوسط استهلاك غاز CO، كما في العلاقة الآتية:

$$\text{Rate} = \frac{\Delta[CO]}{\Delta t} = \frac{[CO]_{t_2} - [CO]_{t_1}}{t_2 - t_1}$$

هل تتوقع أن تكون قيمة سرعة التفاعل السابق سالبة أم موجبة؟ في هذه الحالة تكون القيمة سالبة، مما يعني أن تركيز CO يقل مع استمرار التفاعل. ولكن يجب أن تكون سرعة التفاعل دائمًا موجبة. لذلك يضع العلماء إشارة سالبة عندما يقومون بحساب سرعة التفاعل بناءً على مقدار استهلاك المواد المتفاعلة. وبذلك تكون معادلة حساب سرعة استهلاك المواد المتفاعلة هي:

معادلة متوسط سرعة التفاعل

$$\text{Rate} = -\frac{\Delta[\text{reactants}]}{\Delta t}$$

حيث تمثل Δ [reactants] التغير في تركيز المواد المتفاعلة.

Δt تمثل التغير في الزمن $t_2 - t_1$

مثال 1-2

حساب متوسط سرعة التفاعل إذا علمت أن تركيز كلوريد البيوتيل C_4H_9Cl في بداية تفاعله مع الماء 0.22 M ثم أصبح 0.100 M بعد مرور 4.00 ثوانٍ على التفاعل. احسب متوسط سرعة التفاعل خلال هذه الفترة بوحدة mol /L.s.

1 تحليل المسألة

لقد أعطيت التركيز والزمن الابتدائيين والنهائيين لـ C_4H_9Cl، لذا يمكنك حساب متوسط سرعة التفاعل الكيميائي باستعمال التغير في تركيز كلوريد البيوتان خلال أربع ثوان.

المعطيات

$t_1 = 0.00$ s

$t_2 = 4.00$ s

$[C_4H_9Cl]_{t_1} = 0.220$ mol /L

$[C_4H_9Cl]_{t_2} = 0.100$ mol /L

المطلوب

Rate = ?mol/L.s

2 حساب المطلوب

اكتب معادلة متوسط سرعة التفاعل

$$\text{Rate} = -\frac{[C_4H_9Cl]_{t_2} - [C_4H_9Cl]_{t_1}}{t_2 - t_1}$$

عوض عن الزمن والتركيز الابتدائيين والنهائيين

$$= -\frac{0.100\text{ M} - 0.220\text{ M}}{4.00\text{ s} - 0.00\text{ s}}$$

$$= -\frac{0.100\text{ mol/L} - 0.220\text{ mol/L}}{4.00\text{ s} - 0.00\text{ s}}$$

احسب الناتج بوحدة mol/ L.s

$$= -\frac{-0.120\text{ mol/L}}{4.00\text{ s}} = 0.0300\text{ mol/L.s}$$

3 تقويم الإجابة

متوسط سرعة التفاعل 0.0300 mol /L.s ، وهو قيمة مناسبة اعتمادًا على الكمية الموجودة في بداية التفاعل ونهايته.

مسائل تدريبية

استعمل البيانات الموجودة في الجدول أدناه لحساب متوسط سرعة التفاعل :

بيانات التجربة للتفاعل $H_2 + Cl_2 \rightarrow 2HCl$			
الزمن s	$[H_2]$	$[Cl_2]$	$[HCl]$
0.00	0.030	0.050	0.000
4.00	0.020	0.040	

1. احسب متوسط سرعة التفاعل معبرًا عنه بعدد مولات H_2 المستهلكة لكل لتر في كل ثانية.
2. احسب متوسط سرعة التفاعل معبرًا عنه بعدد مولات Cl_2 المستهلكة لكل لتر في كل ثانية.
3. **تحفيز** إذا علمت أن متوسط سرعة التفاعل لحمض الهيدروكلوريك HCl الناتج هو 0.050 mol /L.s، فما تركيز HCl الذي يتكون بعد مرور 4.00 s؟

نظرية التصادم Collision Theory

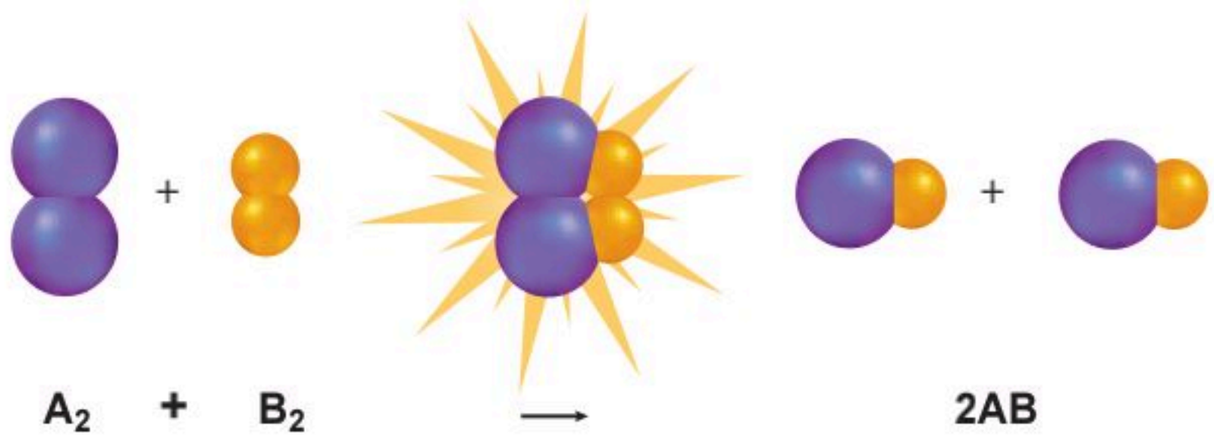
في التفاعل الكيميائي؛ يجب أن تتصادم جزيئات المواد المتفاعلة لتكوين النواتج. يمثل **الشكل 3-2** التفاعل بين جزيئات A_2 و B_2 لتكوين مركب AB . ويجب أن تتصادم جزيئات المواد المتفاعلة معًا لتكوين جزيئات AB. لذا يوضح هذا الشكل **نظرية التصادم** التي تنص على وجوب تصادم الذرات والأيونات والجزيئات بعضها ببعض لكي يتم التفاعل.

ماذا قرأت؟ توقع لماذا يجب حدوث اصطدامات بين الجسيمات لحدوث التفاعل.

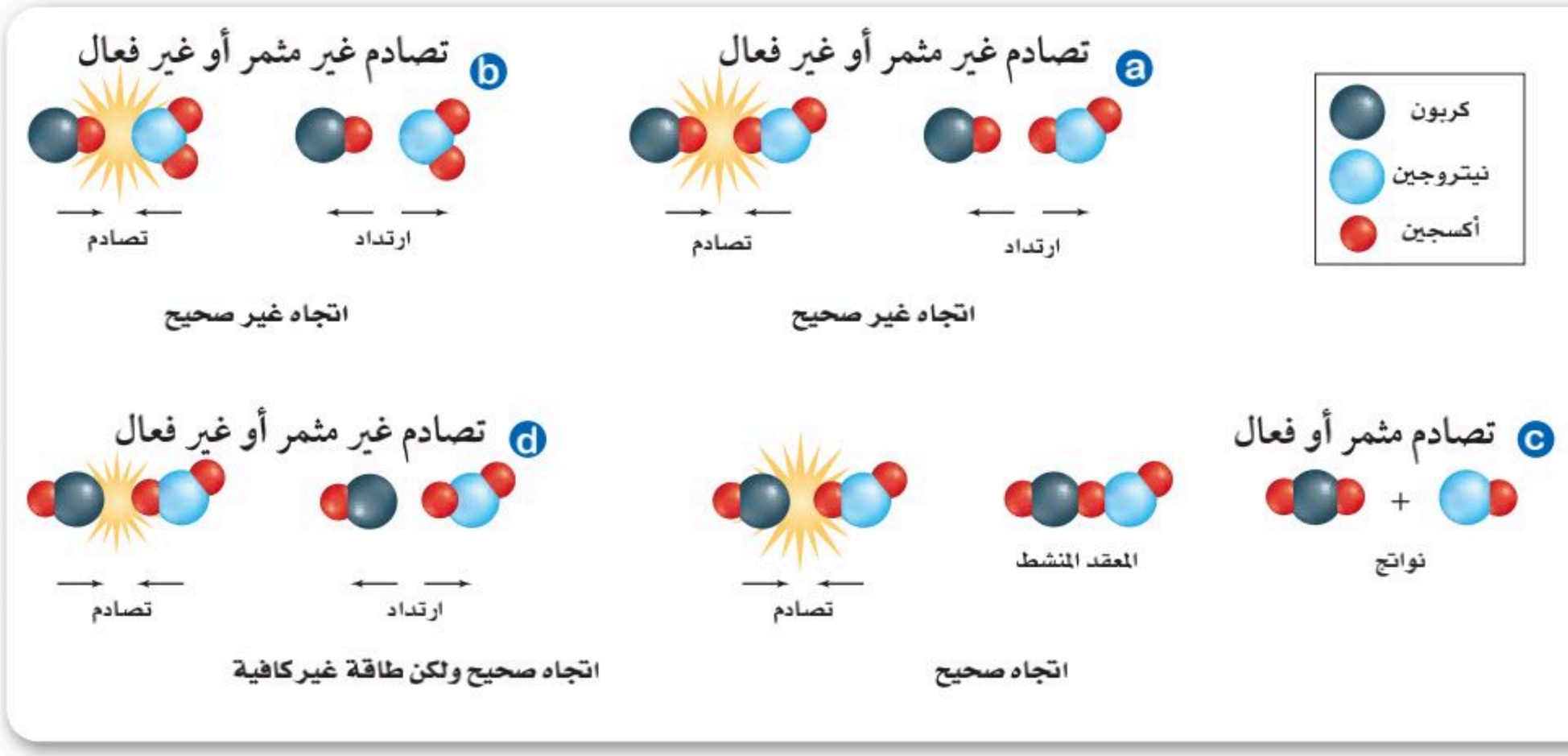
لاحظ تفاعل غاز أول أكسيد الكربون CO مع غاز ثاني أكسيد النيتروجين NO_2 الذي يحدث عند درجة حرارة أعلى من 500 K والموضح بالمعادلة:

$$CO_{(g)} + NO_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} + NO_{(g)}$$

تتصادم جزيئات المواد المتفاعلة لإنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون وغاز أول أكسيد النيتروجين. وعند حساب عدد الاصطدامات بين الجزيئات في كل ثانية تكون النتيجة محيّرة؛ إذ يكوِّن عدد قليل فقط من هذه الاصطدامات نواتج.



الشكل 3-2 في التفاعلات الكيميائية يجب أن تتصادم الجسيمات بكمية كافية من الطاقة لكي يحدث تفاعل.



الشكل 4 - 2 يبين الشكل أربعة احتمالات مختلفة لاتجاهات التصادم بين جزيئات CO و NO_2. لا تؤدي الاصطدامات في كل من الحالتين a و b إلى حدوث تفاعل؛ لأن الجزيئات لا تستطيع تكوين روابط. أما تصادم الجزيئات في الحالة c فهو في اتجاه مناسب لحدوث التفاعل. وعلى الرغم من أن تصادم الجزيئات في d في الاتجاه المناسب، إلا أن طاقتها غير كافية لحدوث تفاعل.

اتجاه التصادم وتكوين المعقد المنشط لماذا تفشل معظم الاصطدامات في تكوين نواتج؟ ما العوامل الأخرى التي يجب أخذها في الحسبان؟

يوضّح **الشكلان 4a-2، 4b-2** الإجابة المحتملة عن هذا السؤال؛ فلكيْ يؤدي الاصطدام إلى حدوث تفاعل يجب أن ترتبط ذرة الكربون من جزيء CO مع ذرة أكسجين من جزيء NO_2 في لحظة الاصطدام، وهذه هي الطريقة الوحيدة لتتكون رابطة مؤقتة. أما الاصطدامات الموضّحة في **الشكلين 4b-2** و **4a-2** فلا تؤدي إلى حدوث تفاعل؛ لأن الجزيئات تتصادم بشكل غير مناسب؛ حيث لا تلامس ذرة الكربون ذرة الأكسجين في لحظة التصادم، فترتد الجزيئات دون تكوين روابط.

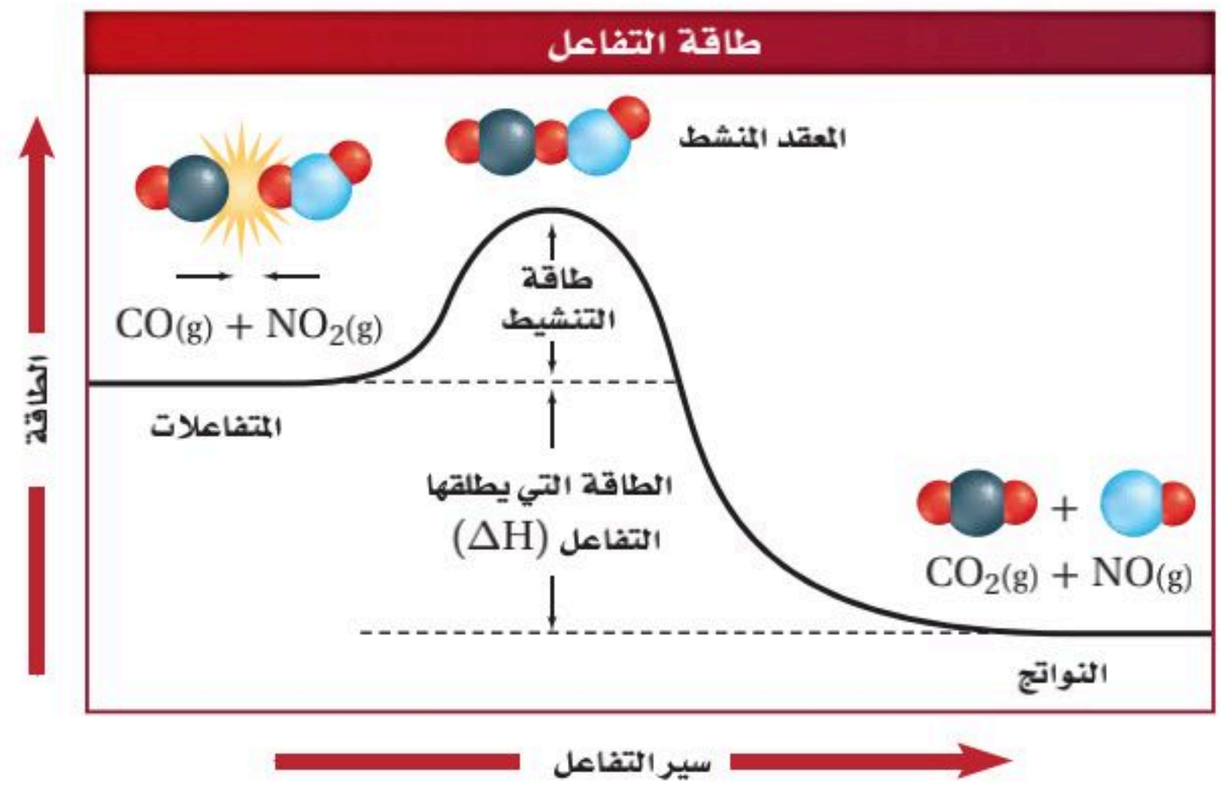
ولكن عندما يكون اتجاه الجزيئات مناسبًا في أثناء التصادم، كما في **الشكل C 4-2**، يحدث التفاعل، وتنتقل ذرة أكسجين من جزيء NO_2 إلى جزيء CO. وعندما يحدث ذلك تتكون جسيمات عمرها قصير تسمى **المعقد المنشط** Activated Complex، وتسمى هذه المرحلة الحالة الانتقالية، وهي حالة غير مستقرة من تجمع الذرات، يحدث خلالها تكسير الروابط وتكوين روابط جديدة. ونتيجة لذلك قد يؤدي المعقد المنشط إلى تكوين المواد الناتجة، أو يتكسر لتكوين المواد المتفاعلة مرة أخرى.

طاقة التنشيط وسرعة التفاعل لا يؤدي التصادم في **الشكل 4d-2** إلى تفاعل لعدم توافر طاقة كافية لحدوث التفاعل، لذلك لا يحدث تفاعل بين جزيئات CO و NO_2 ما لم تتصادم بقوة كافية. ويسمى الحد الأدنى من الطاقة لدى الجزيئات المتفاعلة واللازم لتكوين المعقد المنشط وإحداث التفاعل **طاقة التنشيط** Activation energy (E_a).

الجدول 2-1 فروض نظرية التصادم	شروط التصادم الفعال أو المثمر
1. يجب أن تتصادم (ذرات أو أيونات أو جزيئات) المواد المتفاعلة.	1. يجب أن تتصادم المواد المتفاعلة في الاتجاه الصحيح.
2. ليس من الضروري أن يؤدي كل تصادم بين الـذرات أو الأيونات أو الجزيئات إلى حدوث تفاعل.	2. يجب أن تتصادم المواد المتفاعلة بطاقة كافية لتكوين المعقد المنشط.

يلخص **الجدول 1-2** الظروف الواجب توافرها لحدوث التفاعل. فعندما تكون قيمة E_a عالية فهذا يعني أن عددًا قليلاً من الاصطدامات له طاقة كافية لتكوين المعقد المنشط، ولذا تكون سرعة التفاعل بطيئة. أما إذا كانت قيمة E_a منخفضة فهـذا يعني أن هناك عددًا كبيرًا من الاصطدامـات التي لها طاقة كافية لحدوث التفاعل، لذا يكون التفاعل أسرع. فكّر في هذه العلاقة من خلال شخص يقوم بدفع عربة ثقيلة إلى قمة تل. فإذا كان التل مرتفعًا فسـوف يحتاج الشـخص إلى طاقة كبيرة لدفع العربة نحو القمة، كما أنه سيسـتغرق وقتًا طويلاً للوصول إلى قمة التل. أما إذا كان التل منخفضًا فسوف يحتاج إلى كمية أقل من الطاقة اللازمة لدفع العربة إلى قمة التل، إضافة إلى قدرته على إنجاز المهمّة في وقت أسرع.

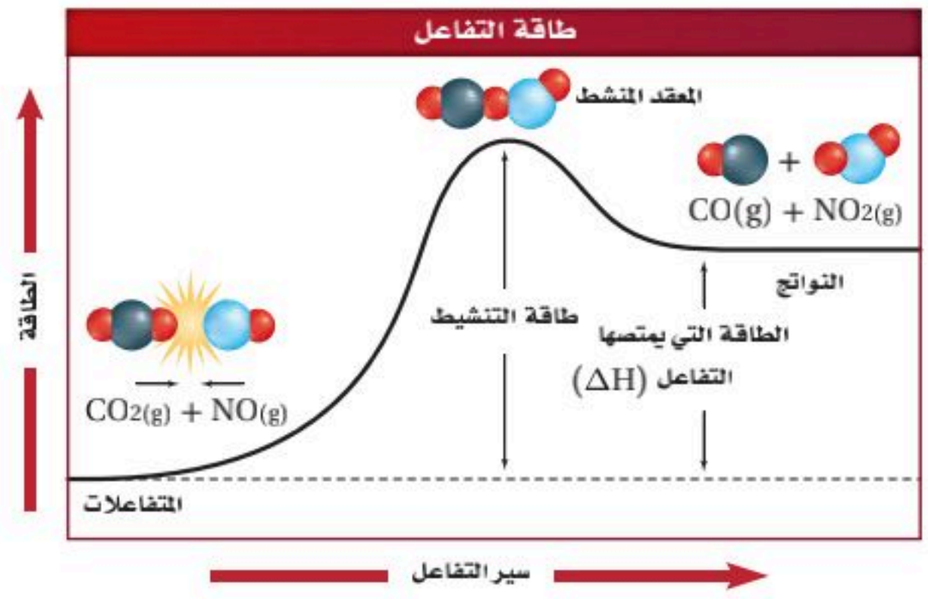
يبين **الشـكل 5-2** مخطط الطاقة لتفاعل أول أكسـيد الكربون مع ثاني أكسيد النيتروجـين. هل يختلف مخطـط الطاقة هذا عما تعلمته سـابقًا في فصل الطاقة والتغيرات الكيميائية؟ ولماذا؟ يبين هذا المخطط طاقة التنشيط للتفاعل التي تعد حاجزًا أمام حدوث التفاعل. لذلك يجب أن تتغلب المواد المتفاعلة عليه لتكوّن مواد ناتجة. وفي هذه الحالة تتصادم جزيئات CO و NO_2 ، مع وجود كمية كافية من الطاقة؛ لتتغلب على هذا الحاجـز، وتكون طاقة النواتج أقل من طاقة المواد المتفاعلة. وتسمى التفاعلات التي تفقد طاقةً التفاعلاتِ الطاردةَ للحرارة.



الشـكل 5-2 عندما يحدث تفاعل طارد للحرارة تصطدم الجزيئات التي لها طاقة كافية فتكون المعقد المنشط وتطلق طاقة، وتكوِّن نواتج ذات محتوى طاقة أقل من المواد المتفاعلة.

اختبار الرسم البياني

فسر كيف يمكنك أن تعرف من خلال الرسـم ما إذا كان التفاعل طاردًا للحرارة.



الشكل 6-2 تكون طاقة جزيئات المواد المتفاعلة في التفاعل العكسي الماصّ للحرارة أقل من طاقة النواتج. ولكي يحدث التفاعل يجب أن تمتص المواد المتفاعلة طاقة لتتغلب على طاقة التنشيط وتكون نواتج ذات طاقة عالية.

اختبار الرسم البياني

قارن بين طاقتي التنشيط، للتفاعلين الأمامي والعكسي؟

تعد عملية التحول بين المواد المتفاعلة والناتجة لبعض التفاعلات عمليات انعكاسية. ويبين **الشكل 6-2** التفاعل العكسي الماصّ للطاقة بين CO_2 و NO لإعادة إنتاج CO و NO_2. ويكون مستوى طاقة المتفاعلات في هذا التفاعل أدنى من مستوى طاقة النواتج. لذلك يجب التغلب على طاقة التنشيط لإعادة إنتاج CO و NO_2. وهذا يحتاج إلى طاقة عالية أكبر من طاقة التفاعل الأمامي. وإذا حدث هذا التفاعل العكسي وأنتج CO و NO_2 فسيكون مستوى طاقتها أعلى.

مختبر حل المشكلات

تفسير البيانات

كيف تتغير سرعة التحلل خلال الزمن؟ يتحلل مركب خامس أكسيد ثنائي النيتروجين N_2O_5 في الهواء وفقًا للمعادلة الآتية:

$$2N_2O_{5(g)} \rightarrow 4NO_{2(g)} + O_{2(g)}$$

ويمكن تحديد التركيز في أي وقت من خلال معرفة سرعة التحلل.

التحليل

يبين الجدول المقابل النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها عند قياس تركيز N_2O_5 خلال فترة زمنية محددة، عند الضغط الجوي العادي، ودرجة حرارة $45\ ^\circ C$.

الزمن(min)	$[N_2O_5]$
0	0.01756
20.0	0.00933
40.0	0.00531
60.0	0.00295
80.0	0.00167
100.0	0.00094

التفكير الناقد

1. **احسب** متوسط سرعة التفاعل خلال كل فترة زمنية: (0- 20 min)، (40 – 60 min)، (80– 100 min). عبّر عن سرعة التفاعل في كل فترة بقيمة موجبة، وبوحدة mol /L.s من N_2O_5.
2. **أحسب** متوسط سرعة التفاعل خلال كل فترة زمنية بعدد مولات NO_2 الناتجة لكل لتر في الدقيقة (mol/L.s) واستعمل المعادلة الكيميائية لتفسير العلاقة بين السرعات المحسوبة في هذا السؤال، وتلك المحسوبة في السؤال 1.
3. **فسّر** البيانات والنتائج التي توصلت إليها، ثم استعملها في وصف كيفية تغير سرعة تحلل N_2O_5 خلال الزمن.
4. **طبّق** نظرية التصادم لتفسير سبب تَغير سرعة التفاعل.

التقويم 2-1

الخلاصة

- يعبر عن سرعة التفاعل الكيميائي بمعدل التغير في تركيز المواد المتفاعلة أو الناتجة في وحدة الزمن.
- غالبًا ما تحسب سرعة التفاعل الكيميائي معبرًا عنها بوحدة mol /L.s.
- لا بد من تصادم الجسيمات لحدوث التفاعل.

4. الفكرة الرئيسة **جد** العلاقة بين نظرية التصادم وسرعة التفاعل.
5. **فسّر** علام تدل سرعة التفاعل لتفاعل كيميائي محدّد؟
6. **قارن** بين تركيز المواد المتفاعلة والمواد الناتجة خلال فترة التفاعل (على افتراض عدم إضافة أي مادة جديدة).
7. **فسر** لماذا يعتمد متوسط سرعة التفاعل على طول الفترة الزمنية اللازمة لحدوث التفاعل؟
8. **صف** العلاقة بين طاقة التنشيط وسرعة التفاعل الكيميائي.
9. **لخّص** ماذا يحدث خلال فترة تكون المعقد المنشط القصيرة؟
10. **طبق** نظرية التصادم لتفسر لماذا لا تؤدي الاصطدامات بين جسيمات التفاعل دائمًا إلى تفاعل؟
11. **احسب** متوسط سرعة التفاعل بين جزيئات A و B إذا تغير تركيز A من 1.00 M إلى 0.5 M خلال 2.00 s.

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

2–2

الأهداف

- **تحدد** العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل.
- **تفسر** دور العوامل المحفزة.

مراجعة المفردات

التركيز: طريقة كمية لقياس كمية المذاب في كمية محددة من المذيب أو المحلول.

المفردات الجديدة

المحفزات

المثبطات

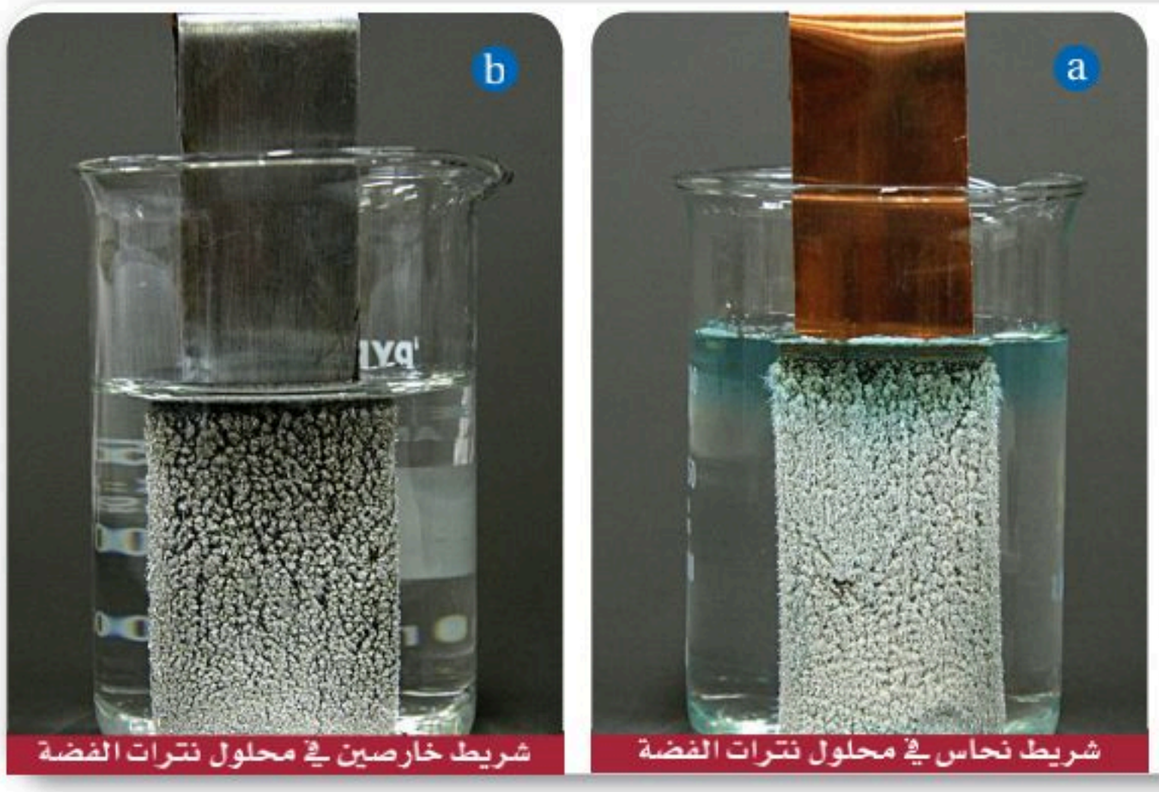
العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل الكيميائي
Factors Affecting Reaction Rates

الفكرة الرئيسة **تؤثر عوامل كثيرة في سرعة التفاعل الكيميائي، منها: طبيعة المواد المتفاعلة، والتركيز، ودرجة الحرارة، ومساحة السطح، والمحفزات.**

الربط مع الحياة تُرى، ما سرعة انتشار النار في غابة إذا كانت أشجارها متباعدًا بعضها عن بعض أو كان الخشب رطبًا؟ وبشكل مماثل، تعتمد سرعة التفاعل الكيميائي على عدة عوامل، منها تركيز المواد المتفاعلة، وخواصها الفيزيائية.

طبيعة المواد المتفاعلة The Nature of Reactants

تتفاعل بعض المواد أسرع من غيرها. فمثلاً يتشابه فلزَّا النحاس والخارصين (الزنك) في خواصهما الفيزيائية؛ بسبب قرب موقعيهما في الجدول الدوري، ومع ذلك فهما يتفاعلان بسرعات مختلفة عند وضع كل منهما في كأس تحتوي على محلول نترات الفضة بالتركيز نفسه. فعند وضع شريط من النحاس في محلول نترات الفضة تركيزه 0.05 M كما في **الشكل 2-7a**، يتفاعل النحاس مع نترات الفضة ليكوّن فلز الفضة ومحلول نترات النحاس II. وعند وضع شريط من الخارصين في محلول نترات الفضة تركيزه 0.05 M ، كما في **الشكل 2-7b**، يتفاعل الخارصين مع محلول نترات الفضة ليكوّن فلز الفضة ومحلول نترات الخارصين. يمكنك ملاحظة التشابه في التفاعلين، ولكن عند مقارنة كمية الفضة المتكونة في كلتا الحالتين كما هو موضح في **الشكل 2-7**، يظهر أن كمية الفضة المتكونة من تفاعل الخارصين مع نترات الفضة أكبر من الكمية الناتجة عن تفاعل النحاس مع الكمية نفسها من نترات الفضة. كما أن تفاعل الخارصين مع نترات الفضة يحدث أسرع؛ لأن الخارصين أنشط كيميائيًّا من النحاس.



الشكل 2-7 الخارصين أنشط من النحاس، لذلك يتفاعل مع نترات الفضة أسرع من تفاعل النحاس.

اكتب المعادلات الكيميائية الموزونة التي تمثل التفاعلات الظاهرة في الشكل.



يبلغ تركيز الأكسجين في الهواء حول الشمعة 20% تقريبًا.



تحترق الشمعة بسرعة أكبر؛ لأن الوعاء يحتوي على أكسجين تركيزه 100% تقريبًا.

الشكل 8-2 تشير شدة إضاءة اللهب المغطى في الزجاجة التي تحتوي تركيزًا أكبر من الأكسجين إلى زيادة سرعة التفاعل. لذا يفسر الازدياد في سرعة التفاعل إلى الزيادة في تركيز الأكسجين.

التركيز Concentration

من الطرائق التي يستطيع الكيميائيون بها تغيير سرعة التفاعل تغيير تركيز المواد المتفاعلة. وكما تذكر فإن نظرية التصادم تنص على أنه يجب أن تتصادم الجسيمات حتى يحدث التفاعل، وكلما ازداد عدد الجسيمات ازداد عدد الاصطدامات. وهذا شبيه بلعبة السيارات الكهربائية في مدينة الألعاب الترفيهية. فعندما يكون عدد السيارات كبيرًا في الحلبة يزداد عدد الاصطدامات. والشيء نفسه صحيح في التفاعلات الكيميائية؛ فعندما تتفاعل المادة A مع المادة B بتركيز معين تصطدم جزيئات كل من A وB لتكوين AB بسرعة محددة. ولكن ماذا يحدث إذا ازداد تركيز B؟ تزداد تصادمات جزيئات A مع جزيئات B؛ وذلك لازدياد عدد جزيئات B. لذا يؤدي ازدياد عدد الاصطدامات إلى زيادة سرعة التفاعل الكيميائي.

ماذا قرأت؟ توقع ماذا يحدث لسرعة التفاعل إذا زاد تركيز المادة A؟

تأمل التفاعلات الموضحة في **الشكل 8-2**، حيث تحترق الشمعتان. ولكن كيف يمكن مقارنة الشمعة في الصورة اليمنى بالشمعة في الصورة اليُسرى التي وُضعت داخل زجاجة تحتوي على 100% أكسجين تقريبًا، وهذا يشكل خمسة أضعاف تركيز الأكسجين في الهواء الجوي؟ بالاعتماد على نظرية التصادم، كلما زاد تركيز الأكسجين زاد عدد الاصطدامات بين جزيئات الشمع وجزيئات الأكسجين. ونتيجة لذلك تزداد سرعة التفاعل، وينتج لهب شديد الإضاءة.

مساحة السطح Surface Area

إذا تأملت التفاعل في **الشكل 9-2** فستلاحظ أن المسمار الساخن يتوهج عند وجود الأكسجين، كما في **الشكل 9a-2**، بينما تشتعل كتلة سلك تنظيف الأواني المعدنية بشدة في **الشكل 9b-2**؛ حيث تعمل زيادة مساحة سطح التفاعل على زيادة سرعة التفاعل؛ بسبب زيادة عدد الاصطدامات بين الجسيمات المتفاعلة.

المطويات

أدخل معلومات من هذا القسم في مطويتك.



الشكل 9-2 توفر مساحة سطح سلك تنظيف الأواني المعدنية الكبيرة عددًا أكبر من الاصطدامات بين الأكسجين والفلز.

درجة الحرارة Temperature

تؤدي الزيادة في درجــة الحرارة إلى زيادة سرعة التفاعل الكيميائي. فأنت تعلم مثلاً أن التفاعلات التي تســبّب تلف الأطعمة تكون أسرع كثيرًا عند درجة حرارة الغرفة منها عند وضع الأطعمة في الثلاجة. يوضح الرسم البياني في **الشكل 10-2** أن زيادة درجة الحرارة بمقــدار 10 K تؤدي إلى مضاعفة سرعة التفاعــل تقريبًا. فكيف يمكن لزيادة طفيفة في درجة الحرارة أن يكون لها هذا التأثير الكبير؟

إن زيادة درجة حرارة المادة يزيد من متوســط الطاقة الحركية للجسيمات التي تتكون منها المادة. ولهذا السبب تتصادم الجسيمات على نحو أكثر عند درجات الحرارة المرتفعة مما عليه الحال عند درجات الحرارة المنخفضة. ومع ذلك لا تفسر هذه الحقيقة وحدها الزيادة في سرعــة التفاعل مع ارتفاع درجة الحرارة. ولفهــم أفضل للعلاقة بين تغير سرعة التفاعل مع ارتفاع درجة الحرارة، تفحّص الرســم البياني في **الشــكل 10-2**، الذي يقارن بين أعداد الجسيمات التي لها الطاقة الكافية للتفاعل عند درجات الحرارة T_1 و T_2؛ حيث T_2 أكبر من T_1. ويمثل الخط المتقطع طاقة التنشيط E_a للتفاعل. وتمثل المنطقة المظللة تحت كل منحنى عدد الاصطدامات التي لها طاقة مســاوية أو أكبر من طاقة التنشــيط. كيف يمكن المقارنة بين المناطق المظللــة؟ عدد الاصطدامات العالية الطاقــة عند درجة الحــرارة العالية T_2 أكبر كثيرًا من عــدد الاصطدامات عند درجة الحرارة المنخفضة T_1. لذلك كلما كانت درجــة الحرارة أعلى كان عدد الاصطدامات التي ينتج عنها تفاعلٌ أكبرَ.

اختبار الرسم البياني حدّد السرعة النسبية للتفاعل عند درجة حرارة 325 K.

تجربة عملية

سرعة التفاعل

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

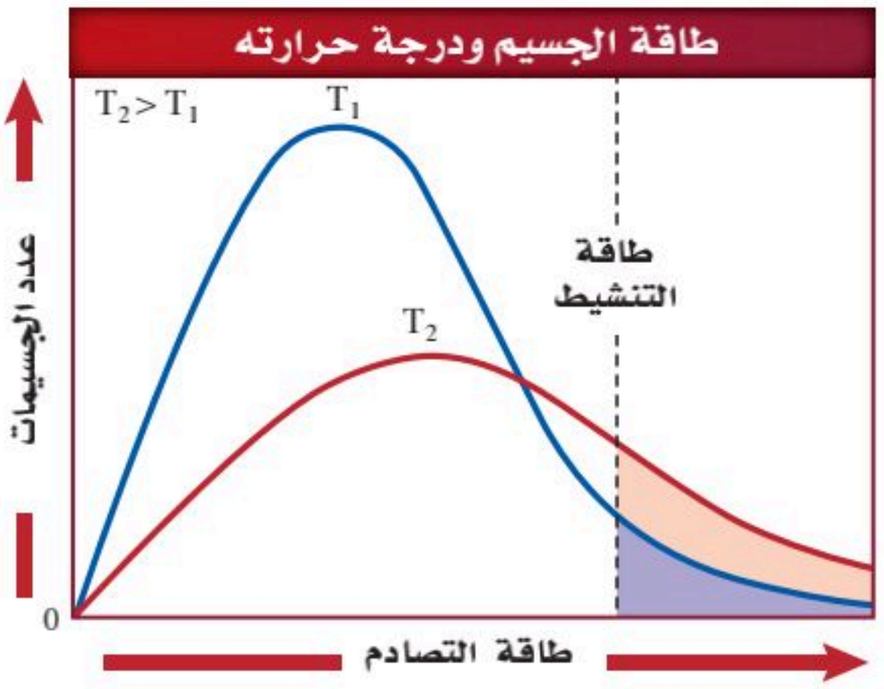
تجربة عملية

مساحة السطح وسرعة التفاعل

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

الشــكل 10-2 يـؤدي الارتفـاع في درجـة الحرارة إلى زيـادة الطاقة الحركية للجسـيمات، وبالتالي زيادة عدد الجسـيمات التـي تمتلك طاقة التنشيط، وهذا يؤدي إلى زيادة عدد الاصطدامات وزيادة سرعة التفاعل. إضافة إلى ذلك فإن للكثير من الاصطدامات طاقة كافية للتغلب على طاقة التنشيط، لذا تؤدي إلى التفاعل.





تجربة

دراسة العلاقة بين سرعة التفاعل ودرجة الحرارة

ما تأثير درجة الحرارة في التفاعل الكيميائي؟

خطوات العمل

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. جزّئ قرصًا من الأقراص الفوّارة إلى أربع قطع متساوية.
3. استعمال الميزان لقياس كتلة قطعة واحدة منها. ضع 50 mL من الماء عند درجة حرارة الغرفة (25°C تقريبًا) في كأس زجاجية سعتها 250 mL. استعمل مقياس حرارة لقياس درجة حرارة الماء.
4. ضع قطعة القرص الفوّار في الماء، وسجل الوقت لحظة ملامستها للماء، ولحظة ذوبانها تمامًا، باستعمال ساعة إيقاف أو ساعة يد بها عقرب ثوان.
5. كرّر الخطوتين 3 و 4، لكن في هذه المرة سخّن الماء تدريجيًّا على سخّان كهربائي حتى تصل درجة حرارته إلى 50°C، وحافظ على درجة حرارة الماء عند هذه الدرجة طوال وقت التفاعل.

التحليل

1. **حدد** الكتلة الابتدائية، والكتلة النهائية، والزمن الابتدائي t_1 والزمن النهائي t_2 لكل محاولة.
2. **احسب** سرعة التفاعل من خلال إيجاد كتلة المادة المتفاعلة المستهلكة لكل محاولة في الثانية الواحدة.
3. **صف** العلاقة بين سرعة التفاعل ودرجة الحرارة لهذا التفاعل.
4. **توقع** سرعة التفاعل لو تم إجراؤه عند درجة حرارة 40°C، وفسر الأسس التي اعتمدت عليها في توقعك. وللتأكد من توقعك كرّر التجربة عند 40°C باستعمال قطعة أخرى من القرص الفوّار.
5. **قوّم** مدى دقة وصحة توقعك لسرعة التفاعل عند 40°C، مقارنة بالقيمة المقيسة لسرعة التفاعل.

المحفِّزات والمثبِّطات Catalysts and Inhibitors

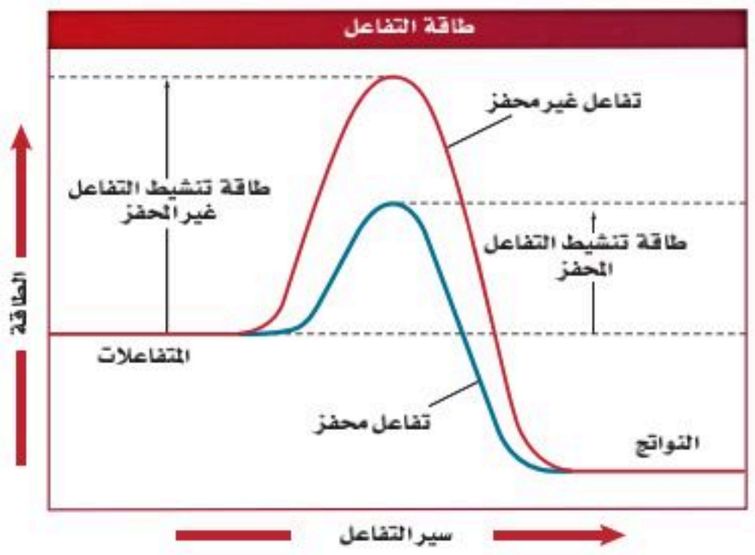
يؤثر كل من درجة الحرارة وتركيز المواد المتفاعلة في سرعة التفاعل. إلا أن زيادة درجة الحرارة ليست دائمًا أفضل طريقة عملية لتسريع التفاعل الكيميائي. فإذا أردت مثلاً زيادة سرعة تحلل الجلوكوز في الخلية الحية فلن يكون الحل في زيادة درجة الحرارة أو زيادة تركيز المواد المتفاعلة؛ لأن ذلك قد يضر بالخلية أو يقتلها، ولكنْ هناك نوعان من المواد التي تؤثر في سرعة التفاعل، هما:

المحفّزات لا يحدث كثير من التفاعلات الكيميائية في المخلوقات الحية بالسرعة الكافية للمحافظة على الحياة عند درجات الحرارة الطبيعية لولا وجود الإنزيمات التي خلقها الله تعالى. فالإنزيم نوع من أنواع **المحفّزات** التي تعمل على زيادة سرعة التفاعل الكيميائي، دون أن تُستهلك في التفاعل. وتستعمل المحفزات على نطاق واسع في الصناعات الكيميائية لإنتاج كمية أكبر من المنتج بسرعة كبيرة، مما يقلل من تكلفته. ولكن لا يزيد المحفّز من عدد النواتج، ولا يعد ضمن المواد المتفاعلة أو الناتجة عن التفاعل، لذا لا يتم تضمينه في المعادلات الكيميائية.

المثبّطات يسمى النوع الآخر من المواد التي تؤثر في سرعة التفاعل **المثبّطات**. وخلافًا للمحفز الذي يزيد سرعة التفاعل، تعمل المثبطات على إبطاء سرعة التفاعل. كما تَحُول بعض المثبطات دون حدوث التفاعل على الإطلاق.



الشكل 12-2 طاقة تنشيط أعلى تعني أنه يجب أن يكون للجسيمات طاقة أعلى لكي تتفاعل؛ فالحصان والفارس يحتاجان إلى القليل من الطاقة للقفز فوق حاجز منخفض، بينما يحتاجان إلى مزيد من السرعة والطاقة لاجتياز الحاجز المرتفع.



الشكل 11-2 يبين الشكل أن طاقة تنشيط التفاعل المحفز أقل من طاقة تنشيط التفاعل غير المحفز، لذا ينتج التفاعل المحفز النواتج بسرعة أكبر من التفاعل غير المحفز.

اختبار الرسم البياني

حدّد من الرسم كيف أثر استعمال العامل المحفز في الطاقة المنطلقة من التفاعل؟

يبين الرسم البياني في **الشكل 11-2** مخطط الطاقة لتفاعل كيميائي طارد للطاقة. ويمثل الخط الأحمر مسار التفاعل دون وجود أي محفز، في حين يمثل الخط الأزرق سير التفاعل مع وجود المحفزِ. لاحظ أن طاقة التنشيط للتفاعل المحفَّز أقل كثيرًا من طاقة التنشيط في التفاعل غير المحفَّز. يمكنك اعتبار طاقة التنشيط في التفاعل عقبة يجب تخطّيها، كما هو مبين في **الشكل 12-2**. ففي هذا السياق يحتاج الحصان والفارس مثلاً طاقة أقل كثيرًا لاجتياز الحاجز المنخفض، مقارنة بالطاقة اللازمة للقفز فوق الحاجز المرتفع.

تعمل المثبطات بطرائق متنوعة؛ فبعضها يغلق المسارات المنخفضة الطاقة، لذا تزيد طاقة التنشيط للتفاعل، وتعمل مثبطات أخرى على التفاعل مع المحفّز، فتدمره أو تمنعه من أداء وظيفته. وفي أحيان أخرى، كما في التفاعلات الحيوية، ترتبط المثبطات مع الإنزيمات التي تحفز التفاعل، فتمنع حدوثه. أما في صناعة الأغذية فتسمى المثبطات الموادَّ الحافظة، أو المواد المضادة للأكسدة. وتعدّ بعض المواد الحافظة آمنة للأكل، وتعطي فترة صلاحية أطول للغذاء.

التقويم 2-2

الخلاصة

- تتضمن العوامل الرئيسة التي تؤثر في سرعة التفاعل طبيعةَ المواد المتفاعلة، والتركيز، ومساحة السطح، والحرارة، والمحفزات.
- تؤدي زيادة درجة الحرارة إلى زيادة سرعة التفاعل؛ وذلك بزيادة عدد الاصطدامات التي تشكل المعقد المنشط.
- تزيد المحفزات من سرعة التفاعل الكيميائي بتقليل طاقة التنشيط.

12. **الفكرة الرئيسة** **وضّح** سبب سرعة تفاعل فلز الماغنسيوم مع حمض الهيدروكلوريك HCl مقارنة بالحديد.
13. **فسّر** تأثير التركيز في سرعة التفاعل حسب نظرية التصادم.
14. **قارن** بين المحفزات والمثبطات.
15. **صف** تأثير طحن إحدى المواد الداخلة في التفاعل على شكل مسحوق بدلاً من وضعها قطعة واحدة ـ في سرعة التفاعل.
16. **استنتج** إذا كانت زيادة درجة حرارة التفاعل بمقدار 10 K يؤدي إلى تضاعف سرعة التفاعل، فماذا تتوقع أن يكون أثر زيادة درجة الحرارة بمقدار 20 K.
17. **ابحث** في كيفية استعمال المحفزات في الصناعة، أو الزراعة، أو في معالجة التربة الملوثة، أو النفايات، أو الماء الملوث. اكتب تقريرًا قصيرًا يلخص النتائج التي حصلت عليها حول دور المحفزات في أحد هذه التطبيقات.

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

2–3

الأهداف

- **تكتب** العلاقة بين سرعة التفاعل والتركيز.
- **تحدد** رتبة التفاعل الكيميائي بمقارنة السرعات الابتدائية.

مراجعة المفردات

المتفاعلات: المواد التي يبدأ بها التفاعل الكيميائي.

المفردات الجديدة

قانون سرعة التفاعل

ثابت سرعة التفاعل

رتبة التفاعل

قوانين سرعة التفاعل الكيميائي
Reaction Rate Laws

الفكرة الرئيسة **قانون سرعة التفاعل عبارة عن علاقة رياضية - يمكن تحديدها بالتجربة- تربط بين سرعة التفاعل وتركيز المادة المتفاعلة.**

الربط مع الحياة عندما يزداد انهمار المطر تزداد سرعة جريان الماء فوق سطح الأرض. وبالطريقة نفسها، عندما يزيد الكيميائي تركيز المواد المتفاعلة تزداد سرعة التفاعل.

كتابة قوانين سرعة التفاعلات Writing Reaction Rate Laws

تعلمت من قبل كيفية حساب متوسط السرعة للتفاعل الكيميائي. وكلمة (متوسط rate) مهمة؛ لأن معظم التفاعلات الكيميائية تتناقص سرعتها عند استهلاك المواد المتفاعلة، ويقل عدد الجسيمات المتوافرة للتصادم. لقد وضع الكيميائيون نتائج نظرية التصادم في معادلة سميت **قانون سرعة التفاعل**، وهو يعبر عن العلاقة بين سرعة التفاعل الكيميائي وتركيز المواد المتفاعلة. فعلى سبيل المثال، يعدّ التفاعل A→B تفاعلاً من خطوة واحدة، ويعبَّر عن قانون سرعة تفاعله على النحو الآتي:

$$R = k[A]$$

R يمثل سرعةالتفاعل، [A] تركيز المادة المتفاعلة، بينما k هو ثابت سرعة التفاعل

يعبر عن سرعة التفاعل بخطوة واحدة بحاصل ضرب كمية ثابتة في تركيز المادة المتفاعلة.

والرمز k قيمة عددية ثابتة تسمى **ثابت سرعة التفاعل**. وتربط هذه القيمة العددية سرعة التفاعل بتركيز المواد المتفاعلة عند درجة حرارة معينة. وثابت السرعة قيمة محددة لكل تفاعل، وله وحدات قياس مختلفة مثل: $L^2/mol^2.s$ ، أو $L/mol.s$ ، أو s^{-1}. ويجب تحديد قانون سرعة التفاعل تجريبيًّا، كما هو موضح في **الشكل 13-2**.



الشكل 13-2 يتم سحب عينات من خليط التفاعل على فترات منتظمة لتحديد سرعة التفاعل في أثناء حدوثه، ثم تحقن هذه العينات فورًا في جهاز الكروماتوجرافيا، الذي يقوم بتعرّف مكوناتها، ثم فصل بعضها عن بعض.

يبين قانون السرعة أن سرعة التفاعل تتناسب طرديًّا مع التركيز المولاري للمركب A. كما أن ثابت سرعة التفاعل k لا يتغير مع التركيز، ولكنه يتغير مع تغير درجة الحرارة. وتعني القيمة الكبيرة لـ k أن A يتفاعل بسرعة لتكوين B.

قوانين سرعة التفاعل من الرتبة الأولى يُفهم من المعادلة الرياضية لسرعة التفاعل $R = k[A]$ أن التعبير $[A]$ يعني $[A]^1$. ويعرف الرقم العلوي الذي يمثل الأس للمادة المتفاعلة A **برتبة التفاعل**، والتي يمكن تحديدها من خلال معرفة تأثير التغير في تركيز المادة المتفاعلة على سرعة التفاعل. فعلى سبيل المثال، يُعبَّر عن قانون سرعة تفاعل تحلل فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 بالمعادلة: $R = k\,[H_2O_2]$.

ولأن سرعة التفاعل تتناسب طرديًّا مع تركيز H_2O_2 مرفوعة إلى الأس 1 أي: $[H_2O_2]^1$ فإن تحلل H_2O_2 هو تفاعل من الرتبة الأولى، لذلك فإن سرعة التفاعل ستتغير التغير نفسه في تركيز H_2O_2. فإذا انخفض تركيز H_2O_2 إلى النصف فإن سرعة التفاعل ستنخفض أيضًا بمقدار النصف.

تذكر أنه يتم تحديد سرعة التفاعل من البيانات التجريبية. ولأن رتبة التفاعل تعتمد على سرعة التفاعل فإنه يترتب على ذلك أن رتبة التفاعل تحدد تجريبيًّا أيضًا. وأخيرًا، ولأن ثابت السرعة k يصف سرعة التفاعل، فإنه يجب تحديده تجريبيًّا أيضًا. ويبين **الشكل 14-2** كيف تتغير سرعة التفاعل الابتدائية لتحلل H_2O_2 مع التغير في تركيز H_2O_2.

ماذا قرأت؟ استنتج إذا كانت رتبة المادة المتفاعلة في تفاعل كيميائي من الرتبة الأولى، فكيف تتغير سرعة التفاعل إذا تضاعف تركيز المادة المتفاعلة ثلاثة أضعاف؟

قوانين سرعة التفاعل لرُتب أخرى الرتبة الكليّة للتفاعل الكيميائي هي ناتج جمع رتب المواد المتفاعلة في التفاعل الكيميائي. ومن المعلوم أن الكثير من التفاعلات ـ وبخاصة تلك التي تحتوي على أكثر من مادة متفاعلة ـ ليست من الرتبة الأولى. لنتفحص الشكل العام لتفاعل كيميائي مكون من مادتين متفاعلتين، كما هو مبين في المعادلة الآتية؛ حيث ترمز a وb في هذه المعادلة الكيميائية للمعاملات.

$$aA + bB \rightarrow \text{نواتج}$$

يكون **الشكل** العام لسرعة مثل هذا التفاعل كما يأتي:

القانون العام لسرعة التفاعل

$$R = k[A]^m[B]^n$$

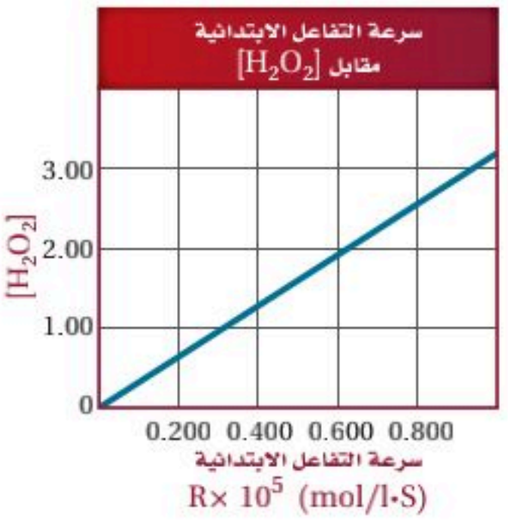
حيث $[A]$ و $[B]$ يمثلان تراكيز المواد المتفاعلة، وm و n يمثلان رتب التفاعل.

سرعة التفاعل تساوي حاصل ضرب ثابت سرعة التفاعل في تراكيز المواد المتفاعلة كل منها مرفوع للأس (الرتبة) التي يتم تحديدها تجريبيًّا.

إذا حدث التفاعل بين A و B في خطوة واحدة، وتكوَّن معقد نشط واحد فقط فستكون $a = m$ و $b = n$. وهذا غير محتمل؛ لأن تفاعلات الخطوة الواحدة ليست شائعة. فعلى سبيل المثال، تأمل التفاعل بين أول أكسيد النيتروجين NO والهيدروجين H_2، الموضح في المعادلة الآتية:

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

الشكل 14-2 يبين الرسم البياني العلاقة المباشرة بين تركيز H_2O_2 وسرعة التحلل.



اختبار الرسم البياني

طبق استعمل الرسم لتحديد سرعة التفاعل عندما $[H_2O_2] = 1.5\ mol/L$.

يحدث هذا التفاعل في أكثر من خطوة، لذا فإن قانون سرعة التفاعل له يكون: $R = k\,[H_2]\,[NO]^2$ ويُحَدَّد قانون السرعة من البيانات التجريبية التي تشير إلى أن السرعة تعتمد على تركيز المواد المتفاعلة على النحو الآتي: إذا تضاعف [NO] مرتين فإن السرعة تتضاعف أربع مرات؛ وإذا تضاعف $[H_2]$ مرة واحدة فإن السرعة تتضاعف مرة واحدة.

يوصف التفاعل بأنه من الرتبة الثانية في NO، ومن الرتبة الأولى في H_2، وبذلك يكون التفاعل من الرتبة الثالثة. فالرتبة الكلية للتفاعل هي مجموع الرتب لكل مادة متفاعلة (مجموع الأسس)، الذي هو $(2 + 1 = 3)$.

ماذا قرأت؟ اشرح كيف يمكنك تحديد الرتبة الكلية للتفاعل من معادلة سرعة التفاعل؟

تحديد رتبة التفاعل Determining Reaction Order

تحدد رتبة التفاعل من خلال مقارنة السرعات الابتدائية للتفاعل بتغير تركيز المواد المتفاعلة. إن السرعة الابتدائية تقيس سرعة التفاعل في اللحظة التي يتم فيها إضافة المواد المتفاعلة ذات التراكيز المعروفة، وخلط بعضها ببعض. انظر إلى التفاعل العام الآتي (نواتج $\rightarrow aA + bB$)، وافترض أنه أجري ثلاث مرات بتراكيز مختلفة لكل من A وB ، وأن سرعة التفاعل الابتدائية كما هو مبين في **الجدول 2-2**. تذكر أن قانون سرعة التفاعل العام لهذا النوع من التفاعلات هو: $R = k\,[A]^m\,[B]^n$

قارن بين التركيز وسرعة التفاعل في المحاولتين الأولى والثانية من خلال البيانات في **الجدول 2-2**، لتحديد m رتبة (أس) المادة [A] مع بقاء تركيز المادة B ثابتًا، لاحظ أن تركيز المادة A في المحاولة 2 هو ضعف التركيز في المحاولة 1. ولاحظ أيضًا أن سرعة التفاعل في المحاولة 2 قد تضاعفت مرتين، مما يعني أن تفاعل المادة A أحادي الرتبة. ولأن $2 = 2^m$، فلا بد إذن أن تكون قيمة m تساوي 1.

وسنستعمل الطريقة نفسها لتحديد قيمة الأس n في المادة [B]. فعند مقارنة تركيز المادة B في المحاولتين الثانية والثالثة سنجد أن تركيزها قد تضاعف في المحاولة الثالثة مع بقاء تركيز المادة A ثابتًا، مما يعني زيادة سرعة التفاعل أربع مرات عن المحاولة الثانية. ولأن $4 = 2^n$، فلا بد إذن أن تكون قيمة n تساوي 2.

تدل المعلومات السابقة على أن التفاعل للمادة A أحادي الرتبة، بينما التفاعل للمادة B ثنائي الرتبة، وهذا يوصلنا إلى القانون العام الآتي لسرعة التفاعل. $R = k\,[A]^1[B]^2$

لذا فإن التفاعل عمومًا من الرتبة الثالثة (مجموع الأسس $3 = 1 + 2$).

الجدول 2-2 بيانات السرعات الابتدائية للتفاعل نواتج $\rightarrow aA + bB$

المحاولة	السرعة الابتدائية mol/l • s	التركيز الابتدائي [A] (M)	التركيز الابتدائي [B] (M)
1	2.00×10^{-3}	0.100	0.100
2	4.00×10^{-3}	0.200	0.100
3	16.00×10^{-3}	0.200	0.200

مسائل تدريبية

18. اكتب معادلة قانون سرعة التفاعل $aA \rightarrow bB$ إذا كان تفاعل المادة A من الرتبة الثالثة.

19. إذا علمت أن التفاعل $2NO_{(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2NO_{2(g)}$ من الرتبة الأولى للأكسجين، والرتبة الكلية للتفاعل هي الرتبة الثالثة، فما القانون العام لسرعة التفاعل؟

20. في ضوء البيانات التجريبية الواردة في الجدول الآتي، حدد قانون سرعة التفاعل: نواتج $\rightarrow aA + bB$

(ملاحظة : أي رقم مرفوع إلى القوة صفر يساوي 1. على سبيل المثال: $(55.6)^0 = 1$ و $(0.22)^0 = 1$)

بيانات تجريبية			
رقم المحاولة	التركيز الابتدائي [A](M)	التركيز الابتدائي [B](M)	السرعة الابتدائية mol/(l·s)
1	0.100	0.100	2.00×10^{-3}
2	0.200	0.100	2.00×10^{-3}
3	0.200	0.200	4.00×10^{-3}

21. تحفيز إذا علمت أن قانون سرعة التفاعل: $CH_3CHO_{(g)} \rightarrow CH_{4(g)} + CO_{(g)}$ هو: $R = k[CH_3CHO]^2$.

فاستعمل هذه المعلومات لتعبئة البيانات المفقودة في الجدول الآتي:

بيانات تجريبية		
رقم المحاولة	التركيز الابتدائي [A](M)	السرعة الابتدائية (mol/(l·s))
1	2.00×10^{-3}	2.70×10^{-11}
2	4.00×10^{-3}	10.8×10^{-11}
3	8.00×10^{-3}	

التقويم 2-3

الخلاصة

- تسمى العلاقة الرياضية بين سرعة التفاعل الكيميائي عند درجة حرارةٍ وتركيز محدَّدين للموادِ المتفاعلة قانونَ سرعة التفاعل.
- يحدد قانون سرعة التفاعل تجريبيًّا باستخدام طريقة مقارنة السرعات الابتدائية.

22. الفكرة الرئيسة **اشرح** ماذا يمكن أن نعرف عن التفاعل من خلال قانون سرعة التفاعل الكيميائي؟

23. طبق اكتب معادلات قانون سرعة التفاعل التي تظهر الفرق بين التفاعل من الرتبة الأولى والتفاعل من الرتبة الثانية لمادة متفاعلة واحدة.

24. اشرح وظيفة ثابت سرعة التفاعل في معادلة قانون سرعة التفاعل.

25. وضح متى يمكن أن يصبح ثابت سرعة التفاعل k ليس ثابتًا؟ وعلام تدل قيمة k في قانون سرعة التفاعل؟

26. اقترح تفسيرًا لأهميّة أن نعرف أنّ قيمة قانون سرعة التفاعل هو متوسط سرعة التفاعل.

27. فسّر كيفية ارتباط الأسس في معادلة قانون سرعة تفاعل كيميائي بالمعاملات في المعادلة الكيميائية التي تمثله.

28. حدد الرتبة الكلية لتفاعل المادتين A و B إذا علمت أن معادلة سرعته: $R = k[A]^2[B]^2$.

29. صمم تجربة اشرح كيف يمكن تصميم تجربة لتحديد القانون العام لسرعة التفاعل باستعمال طريقة مقارنة السرعات الابتدائية للتفاعل: نواتج $\rightarrow aA + bB$

الكيمياء والصحة

سرعة التفاعل ودرجة حرارة الجسم

تخّيــل أنك خرجت من المنزل في يوم بارد مسرعًا؛ لأنك متأخر عن المدرسة دون أن تلبس معطفك، وبدأت تركض، وبعد وقت قصير بدأت ترتجف. إن الارتجاف استجابة تلقائية من قبل الجسم، وهي عملية مهمة للحفاظ على درجة حرارته.

درجة حرارة الجسم الطبيعية Normal body temperature

درجة حرارة الجســم الطبيعيــة 37°C تقريبًــا، ولكنها قد تختلف باختلاف العمر، أو الجنس، أو الوقت، أو مســتوى النشاط الذي يقوم به الشــخص؛ فترتفع درجــة حرارة جســمك عندما تقوم بأنشــطة شــاقة، أو عندما تكون درجة حرارة الهــواء المحيط بك مرتفعة. ويمكن أن تنخفض درجة حرارة جســمك عند أخذ حمام بارد، أو ارتداء ملابس خفيفة في طقس بارد.

التفاعلات الكيميائية تسخّن الجسم

Chemical reactions heat the body

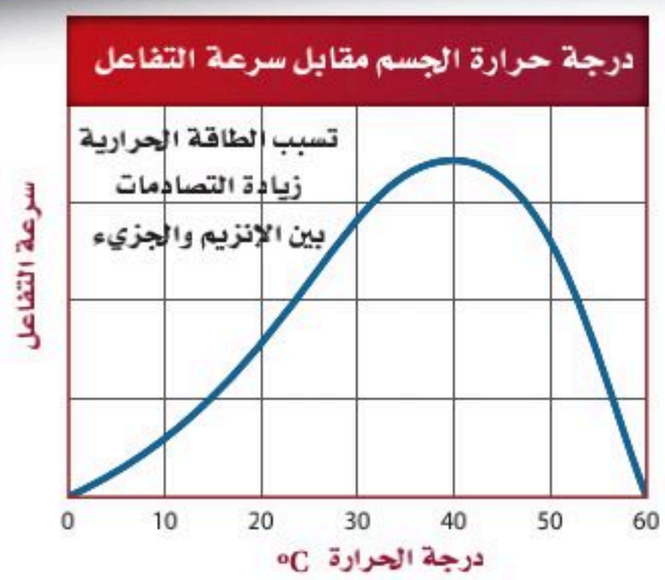
يتم هضم الطعام داخل كل خلية من خلايا الجســم؛ لإنتاج الطاقة التي تُستعمل أو تخزّن على شــكل جزيئات كبيرة تسمى أدينوسين ثلاثي الفوســفات (ATP). وعند الحاجة إلى الطاقة يتحول ATP إلى أدينــوسين ثنائي الفوسفات (ADP) ومجــموعة الفوسفات (P_i)، وتتحرر طاقة.

$$ATP \rightarrow ADP + P_i + \text{طاقة}$$

تتطلب مثل هذه التفاعلات إنزيــمات خاصة لكي تنظم سرعتها. والإنزيمات بروتينــات محفّزة تكون أكثر كفاءة ضمن درجة حرارة جسم الإنســان الطبيعية. لا يمكن أن تحدث مثل هذه التفاعلات بسرعة تلبي احتياجات الجســم دون مســاعدة الإنزيمات ودرجة حرارة قريبة مــن 37 °C. أما خارج نطاق هــذه الحرارة، فتصبح سرعة التفاعل أبطأ، كما هو مبين في **الشكل 1**.

تنظيم درجة حرارة الجسم Regulating body temperature

يقوم المهاد – وهو جزء من الدماغ – بتنظيم درجة حرارة الجسم عن طريق نظام التغذية الراجعة المعقد؛ حيث يحافظ النظام على التوازن بين الطاقــة الحرارية الصادرة عــن التفاعــلات الكيميائية داخل الجسم، والطاقة الحرارية المتبادلة بين الجسم والبيئة المحيطة به.



الشــكل 1 تقترب درجة حرارة الجســم من 37°C. تؤدي الزيادة الكبيرة في الطاقة الحرارية إلى كسر التركيب البنائي للبروتينات، مما يوقف قدرتها على العمل كما ينبغي.

انخفاض درجة حرارة الجسم

Hypothermia-Low body remperature

عندما تنخفــض درجة حرارة الجســم تبدأ غــدة تحت المهاد القيام بالعمليات التي من شــأنها زيادة تحرير الطاقة الحرارية. فالقشــعريرة أو الارتجــاف عملية تنتج عــن تقلصات سريعة للعضــلات نتيجة التفاعــلات الكيميائية التــي تطلق الطاقة الحرارية. كما يبدأ الجســم أيضًا إجــراءات للحفاظ على الطاقة الحرارية للجسم، ومن ذلك الحد من تدفق الدم إلى الجلد.

ارتفاع درجة حرارة الجسم

Hyperthermia-High body temperature

تؤدي الطاقة الحرارية المفرطة ســواء من البيئة أو بســبب زيادة التفاعلات الكيميائية داخل الجسم إلى استجابة الجسم بواسطة التعرق. وينتج ذلك عن توســع الأوعية الدمويــة القريبة من سطح الجلد وتمددها، إضافة إلى زيادة عمل القلب والرئة. ومن شأن هذه العمليات زيادة انتقال الطاقة الحرارية للبيئة. وقد خلق الله عز وجل النظــام الكامل للتحكم في درجة الحرارة من أجل الحفاظ على حدوث التفاعلات داخل الجسم بالسرعة المثلى.

الكتابة في الكيمياء **بحث** صمــم كتيبًــا للمرضى حول العــلاج الطبــي لانخفاض درجــة حرارة الجســم أو ارتفاعها. ثم صف المدى الطويل لتأثير هذه الأمراض، وكيف يمكن منعها؟

مختبر الكيمياء

تأثير التركيز في سرعة التفاعل الكيميائي

الخلفيـة تصف نظرية التصادم كيف يؤثر التغير في تركيز إحدى المواد المتفاعلة في سرعة التفاعل الكيميائي؟

سؤال كيف يؤثر تركيز المواد المتفاعلة في سرعة التفاعل؟

المواد والأدوات اللازمة

ماصة مدرجة سعتها 10 mL
ماء مقطر
شريط ماغنسيوم
مقص
ملاقط
مالئة ماصة
حامل أنابيب اختبار
ورق صنفرة
مسطرة بلاستيكية
ساعة إيقاف
حمض الهيدروكلوريك تركيزه 6 M
أنابيب اختبار قطرها 25 mm وطولها 150 mm مرقمة من 1 إلى 4
ساق تحريك زجاجية

إجراءات السلامة

تحذير: تجنب سحب أي مواد كيميائية عن طريق الفم. تجنب أن يلامس حمض الهيدروكلوريك الجلد أو العيون؛ فهو مادة كاوية.

خطوات العمل

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. استعمل الماصة المدرَّجة البلاستيكية لسحب 10 mL من حمض الهيدروكلوريك HCl الـذي تركيزه 6 M، ثم ضعها في أنبوب الاختبار رقم 1.
3. اسـحب 5 mL من حمض HCl الذي تركيزة 6 M، باسـتعمال الماصة من أنبـوب الاختبار رقم 1، ثم ضعها في أنبوب الاختبار رقم 2، وأضف إليها 5mL من الماء المقطر، ثم حرّك المزيج بساق التحريك، ليصبح تركيز المحلول 3.0 M HCl
4. اسـحب 5 mL من محلول حمض HCl الذي تركيزه 3.0 M من أنبوب الاختبار رقم 2، وضعها في أنبوب الاختبار رقم 3. أضف إليها 5 مل من المـاء المقطر، وحركها بسـاق التحريك، ليصبح تركيز المحلول 1.5 M HCl.
5. اسـحب 5 mL من محلول حمض HCl الـذي تركيزه 1.5 M من أنبوب الاختبار رقم 3، وضعها في أنبوب الاختبار رقم 4.



وأضـف إليها 5 mL من الماء المقطـر، وحرك المزيج، ليصبح تركيز المحلول 0.75 M HCl.

6. اسحب 5 mL من حمض HCl الذي تركيزه 0.75 M من أنبوب الاختبار رقم 4، ثم خففها بالماء، وتخلص منها في المغسلة.
7. ضع شريطـا من الماغنسـيوم طوله 1 cm باسـتعمال الملقط في الأنبوب رقم 1. سـجل في جـدول البيانات الزمن المسـتغرق بالثانية، حتى تتوقف الفقاعات عن الظهور.
8. كرر الخطوة رقم 7 مع أنابيب الاختبار الثلاثة المتبقية. وسـجل الزمن اللازم لتوقف الفقاعات عن الظهور.
9. **التنظيـف والتخلص من النفايـات** أفرغ المحاليل الحمضية في وعاء التخلص من الأحماض، واغسل أنابيب الاختبار وأدوات المختبر جيدًا باسـتعمال الماء، وتخلّص من المواد الأخرى بحسـب توجيهات المعلم. ثـم أعد الأدوات المختبرية جميعها إلى أماكنها.

التحليل والاستنتاج

1. **الرسـم البياني** ارسـم منحنى بيانيًّا يمثل تركيز الحمض (على محور السينات)، وزمن التفاعل (على محور الصادات).
2. **اسـتنتج** العلاقة بين تركيز الحمض وسرعة التفاعل الكيميائي، بالاعتماد على الرسم البياني.
3. **ضـع فرضية** بالاعتماد على: نظريـة التصادم، وسرعة التفاعل، وتركيز المواد المتفاعلة؛ لتفسير النتائج التي حصلت عليها.
4. **تحليل الخطأ** قارن نتائـج التجربة التي حصلت عليها بالنتائج التي حصل عليها الطلبة الآخرون في المختبر، وفسّر الاختلافات.

الاستقصاء

صمّم تجربة اعتمادًا على مشاهداتك والنتائج التي حصلت عليها، هل يؤثر التغيّر في درجة الحرارة في سرعة التفاعل؟ صمّم تجربة لاختبار فرضيتك.

الفصل 2

دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة لكل تفاعل كيميائي سرعة محددة يمكن زيادتها أو إبطاؤها بتغيير ظروف التفاعل.

2-1 نظرية التصادم وسرعة التفاعل الكيميائي

الفكرة الرئيسة نظريـة التصـادم هـي المفتاح لفهـم الاختـلاف في سرعة التفاعلات.

المفردات

- سرعة التفاعل الكيميائي
- نظرية التصادم
- المعقد المنشط
- طاقة التنشيط

الأفكار الرئيسة

- يعبر عن سرعة التفاعل الكيميائي بسرعة اسـتهلاك المواد المتفاعلة أو سرعة تكوّن المواد الناتجة.
- متوسط سرعة التفاعل = $\frac{\text{التغير في كمية المادة المتفاعلة أو الناتجة}}{\text{التغير في الزمن } \Delta t}$
- تحسب سرعة التفاعل عمومًا ويعبر عنها بوحدة mol /L.s.
- لا بد من تصادم الجسيمات لحدوث التفاعل.

2-2 العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل الكيميائي

الفكرة الرئيسة تـؤثر عـوامل كـثيرة في سرعة التفاعل الكيميائي، ومنها: طبيعة المواد المتفاعلة، والتركيز، ودرجة الحرارة، ومساحة السطح، والمحفزات.

المفردات

- المحفزات
- المثبطات

الأفكار الرئيسة

- تتضمّن العوامل الرئيسـة التي تؤثر في سرعة التفاعل طبيعةَ المواد المتفاعلة، والتركيز، ومساحة السطح، والحرارة، والمحفزات.
- تؤدّي زيادة درجة الحرارة عمومًا إلى زيادة سرعة التفاعل؛ وذلك بزيادة عدد الاصطدامات التي تشكل المعقد المنشط.
- تزيد المحفزات من سرعة التفاعل الكيميائي بتقليل طاقة التنشيط.

2-3 قوانين سرعة التفاعل الكيميائي

الفكرة الرئيسة قـانون سـرعة الـتفاعل عبارة عن علاقة رياضية -يمكن تحديدها بالتجربة- تربط بين سرعة التفاعل وتركيز المادة المتفاعلة.

المفردات

- قانون سرعة التفاعل
- ثابت سرعة التفاعل
- رتبة التفاعل

الأفكار الرئيسة

- تسمى العلاقة الرياضية بين سرعـة الـتـفـاعل الكيميائي عـند درجة حرارةٍ وتركيزٍ محدَّدين للمواد المتفاعلة قانونَ سرعة التفاعل.

$$R = k\,[A]$$

$$R = k[A]^{m}[B]^{n}$$

- يحدد قانون سرعة التفـاعل تجريبيًّا باستخدام طريقـة مقارنة السرعات الابتدائية.

تقويم الفصل 2

2-1

إتقان المفاهيم

30. ماذا يحدث لتراكيز المواد المتفاعلة والناتجة في أثناء حدوث التفاعل؟

31. اشرح المقصود بمتوسط سرعة التفاعل.

32. كيف يمكن أن تعبر عن سرعة التفاعل الكيميائي $A \rightarrow B$ بالاعتماد على تركيز المادة المتفاعلة A؟ وكيف يمكن مقارنة سرعة التفاعل بالاعتماد على المادة الناتجة B؟

33. ما دور المعقد المنشط في التفاعل الكيميائي؟

34. طبّق نظرية التصادم لتفسير السبب في عدم تفاعل مادتين مع بعضهما البعض؟

إتقان حل المسائل

35. يتفاعل الماغنسيوم مع حمض الهيدروكلوريك بحسب المعادلة:

$$Mg_{(s)} + 2HCl_{(aq)} \rightarrow H_{2(g)} + MgCl_{2(aq)}$$

إذا كانت كتلة Mg تساوي 6 g لحظة بدء التفاعل، وبقي منها 4.5 g، بعد مضي 3.00 min فما متوسط سرعة التفاعل بدلالة عدد مولات Mg المستهلكة/ دقيقة؟

36. وجد أن سرعة تفاعل كيميائي 2.25×10^{-2} mol /L.s عند درجة حرارة 322 K، فما مقدار هذه السرعة بوحدة mol /L.min؟

2-2

إتقان المفاهيم

37. ما دور نشاط المواد المتفاعلة في تحديد سرعة التفاعل الكيميائي؟

38. ما العلاقة بين سرعة التفاعل عمومًا وتركيز المواد المتفاعلة؟

39. طبّق نظرية التصادم لتفسير سبب زيادة سرعة التفاعل بزيادة تركيز المادة المتفاعلة.

40. فسر لماذا تتفاعل المادة الصلبة – التي على شكل مسحوق– مع الغاز أسرع من تفاعل المادة الصلبة نفسها إذا كانت قطعة واحدة؟

41. حفظ الأغذية طبّق نظرية التصادم لتفسير فساد الطعام ببطء عند وضعه في الثلاجة بالمقارنة ببقائه خارجها عند درجة حرارة الغرفة.

42. طبّق نظرية التصادم لتفسير سبب تفاعل مسحوق الخارصين لإنتاج غاز الهيدروجين أسرع من تفاعل قطع كبيرة منه عند وضع كليهما في محلول حمض الهيدروكلوريك.

43. يتحلل فوق أكسيد الهيدروجين إلى ماء وغاز الأكسجين بسرعة أكبر عند إضافة ثاني أكسيد المنجنيز. اشرح دور ثاني أكسيد المنجنيز في هذا التفاعل إذا علمت أنه لا يُستهلك في التفاعل.

إتقان حل المسائل

44. لنفترض أن كمية كبيرة من محلول فوق أكسيد الهيدروجين الذي تركيزه 3% قد تحلّلت لإنتاج 12 mL من غاز الأكسجين خلال 100 ثانية عند درجة حرارة 298 K. قدّر كمية غاز الأكسجين التي تنتج عن مقدار مماثل من المحلول في 100 ثانية وعند درجة حرارة 308 K.

45. استعمل المعلومات في السؤال 44 لتقدير كمية غاز الأكسجين التي تنتج عن كمية مماثلة من المحلول خلال 100 ثانية وعند درجة حرارة 318 K، ثم قدّر الزمن اللازم لإنتاج 12 mL من غاز الأكسجين عند درجة حرارة 288 K.

تقويم الفصل 2

2-3

إتقان المفاهيم

46. عند اشتقاق قانون سرعة التفاعل، فسّر لماذا يجب الاعتماد على الأدلة التجريبية أكثر من الاعتماد على المعادلات الكيميائية الموزونة للتفاعل؟

47. إذا كانت معادلة التفاعل العام هي: $A + B \rightarrow AB$ وقد وُجِدَ بالاعتماد على البيانات التجريبية أن رتبة التفاعل من الرتبة الثانية للمادة المتفاعلة A، فكيف تتغير سرعة التفاعل إذا انخفض تركيز المادة A إلى النصف وبقيت جميع الظروف الأخرى ثابتة؟

إتقان حل المسائل

48. تم الحصول على البيانات التجريبية المدرجة في **الجدول 2-3** من تحلل مركب الآزوميثان $CH_3N_2CH_3$ عند درجة حرارة محددة حسب المعادلة:

$$CH_3N_2CH_{3(g)} \rightarrow C_2H_{6(g)} + N_{2(g)}$$

استعمل البيانات الواردة في الجدول 2-3 لتحديد قانون سرعة التفاعل.

الجدول 2-3 تحلل مادة الأزوميثان

رقم التجربة	$[CH_3N_2CH_3]$ الابتدائي	السرعة الابتدائية للتفاعل
1	0.012 M	2.5×10^{-6} mol/L•s
2	0.024 M	5.0×10^{-6} mol/L•s

49. استعمل بيانات **الجدول 2-3** لحساب قيمة ثابت سرعة التفاعل k .

50. استعمل بيانات **الجدول 2-3** لتوقع سرعة التفاعل، إذا كان التركيز الابتدائي لـ $CH_3N_2CH_3$ هو 0.048 M، ودرجة الحرارة ثابتة.

مراجعة عامة

51. قوّم صحة الجملة الآتية: يمكنك تحديد سرعة تفاعل كيميائي عن طريق معرفة نسبة مولات المواد المتفاعلة في معادلة موزونة. فسّر إجابتك.

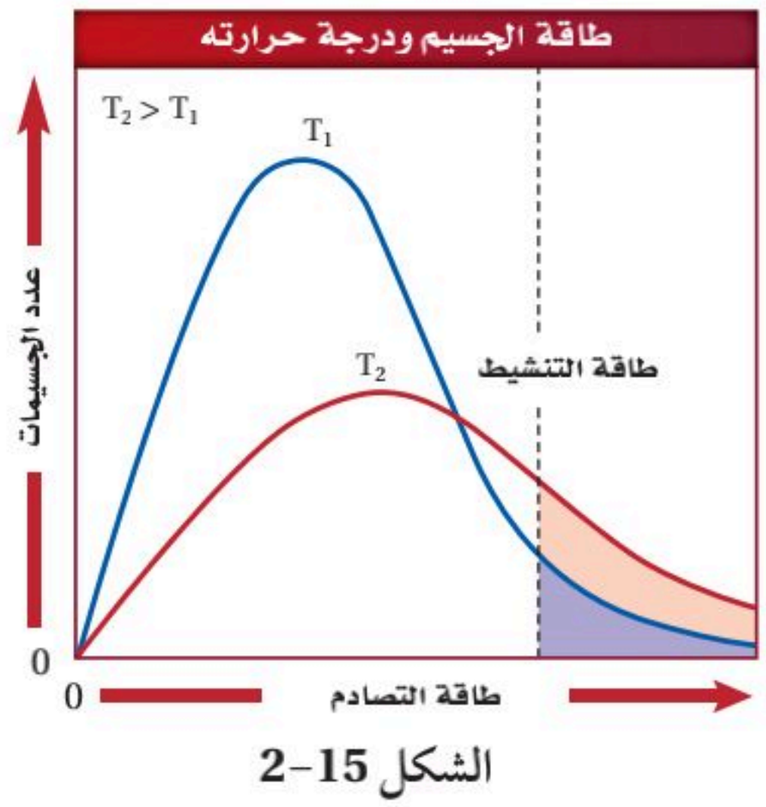
52. يتناقص تركيز المادة المتفاعلة A من 0.400 mol /L إلى 0.384 mol /L خلال 4.00 min. احسب متوسط سرعة التفاعل خلال هذه الفترة بوحدة mol /L.min.

53. إذا زاد تركيز إحدى المواد الناتجة من 0.0882 mol /L إلى 0.1446 mol /L خلال 12.0 min، فما متوسط سرعة التفاعل خلال تلك الفترة؟

54. يعبّر عن التركيز في التفاعل الكيميائي بوحدة mol /L وعن الزمن بوحدة s. فإذا كان التفاعل الكلي من الرتبة الثالثة، فما وحدة ثابت سرعة التفاعل؟

التفكير الناقد

55. ميّز بين المناطق المظللة في **الشكل 2-15** عند درجتي الحرارة T_1 و T_2 بالاعتماد على عدد الاصطدامات التي تحدث في وحدة الزمن والتي لها طاقة أكبر من أو تساوي طاقة التنشيط.



الشكل 2-15

تقويم الفصل 2

56. تأمل مخطط الطاقة لتفاعل ماصّ للطاقة، مكوّن من خطوة واحدة، ثم قارن ارتفاع طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي والتفاعل العكسي.

57. طبق طريقة مقارنة السرعات الابتدائية لتحديد رتبة التفاعل الكيميائي للمادة المتفاعلة X، واكتب مجموعة من البيانات التجريبية الافتراضية التي تقود إلى استنتاج أن تفاعل المادة X من الرتبة الثانية .

58. طبّق نظرية التصادم لتفسير سببين يوضحان أن الزيادة في درجة حرارة التفاعل بمقدار 10 K تؤدي غالبًا إلى مضاعفة سرعة التفاعل.

59. ارسم مخططًا يبين جميع الاحتمالات للتصادمات بين جزيئين من المادة المتفاعلة A، وجزيئين من المادة المتفاعلة B، ثم زد عدد جزيئات A من 2 إلى 4، وارسم جميع احتمالات التصادم التي يتحد فيها A مع B. كم سيزداد عدد التصادمات التى ينتج عنها اتحاد A مع B؟ وعلام يدل ذلك فيما يتعلق بسرعة التفاعل؟

60. صمّم جدولاً لكتابة تراكيز المواد المتفاعلة في المعادلة الآتية، مبتدئًا بـ 0.100 M لكل المتفاعلات، ثم حدّد قانون سرعة التفاعل باستعمال طريقة مقارنة السرعات الابتدائية:

$$aA + bB + cD \rightarrow \text{نواتج}$$

مسألة تحفيز

61. الهيدروكربونات يتحول البروبان الحلقي C_3H_6 عند تسخينه إلى بروبين $CH_2 = CHCH_3$. فإذا علمت أن سرعة التفاعل من الرتبة الأولى للبروبان الحلقي، وكان ثابت السرعة عند درجة حرارة معينة $6.22 \times 10^{-4}\ s^{-1}$ ، وثبت تركيز البروبان الحلقي عند 0.0300 mol /L، فما كتلة البروبين الناتجة خلال 10.0 min في حجم مقداره 2.50 L ؟

مراجعة تراكمية

62. ما كتلة كلوريد الحديد III اللازمة لتحضير محلول مائي منه حجمه 1.0 L وتركيزه 0.225 M؟

63. ما المعلومات التي يجب معرفتها لحساب الارتفاع في درجة غليان محلول الهكسان في البنزين؟

64. إذا كانت ΔH لتفاعل ما سالبة، فقارن طاقة المواد الناتجة بطاقة المواد المتفاعلة، وهل التفاعل ماصّ أم طارد للطاقة؟

تقويم الفصل 2

تقويم إضافي

الكتابة في الكيمياء

65. الأدوية تخيّل انتشار مرض الأنفلونزا في بلد ما. ولحسن الحظ قام العلماء باكتشـــاف محفز جديد يزيد من سرعة إنتاج دواء فعّال ضد هـــذا المرض. اكتب مقالا صحفيًّا يصف كيفية عمل هذا المحفز على أن يشمل المقال مخطط الطاقة في التفاعلات التي تحدث، وشرحًا مفصلاً لأهمية هذا الاكتشاف.

أسئلة المستندات

الكواشـف الكيميائيـة يســتعمل الكاشــف الكيميائي (الفينولفثالين) للكشف عن القواعد. تبين بيانات **الجدول 4-2** انخفاض تركيز الفينولفثالين مع مرور الزمن عند إضافة محلول الفينولفثالين ذا التركيز 0.0050 M إلى محلول مركز من مادة قاعدية تركيزها 0.6 M .

الجدول 4-2 التفاعل بين الفينولفثالين وكمية فائضة من مادة قاعدية.

تركيز الفينولفثالين (M)	الزمن (s)
0.0050	0.0
0.0040	22.3
0.0020	91.6
0.0010	160.9
0.00050	230.3
0.00015	350.7

تم الحصول على البيانات من: شبكة بوند للأبحاث. 2006 ، الكيمياء الحركة.

66. ما متوســط سرعة التفاعــل في أول 22.3 s معبرًا عنه بوحدة mol /(L.s)؟

67. ما متوســط سرعة تفاعل الفينولفثالين عندما ينخفض تركيزه من 0.0050 M إلى 0.00015 M ؟

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

1. جميع العبـــارات الآتية حول سرعة التفاعـــل الكيميائي صحيحة ما عدا:

a. السرعة التي يحدث بها التفاعل.

b. التغير في تراكيز المواد المتفاعلة خلال وحدة الزمن.

c. التغير في تراكيز المواد الناتجة خلال وحدة الزمن.

d. كمية المواد الناتجة المتكونة في كل فترة زمنية.

2. ادرس العبارات الآتية:

العبارة الأولى: من العوامل التى تؤثر في سرعة التفاعل طبيعـــة المـــادة المتفاعلة، والتركيز، ومســـاحة ســـطح التفاعل، ودرجة الحرارة، والمحفزات.

العبارة الثانية : تزيد المحفّـــزات من سرعة التفاعلات بزيادة طاقة التنشيط

العبارة الثالثة: يجب أن تصطدم جسيمات المواد المتفاعلة حتى يحدث تفاعل.

أي العبارات السابقة صحيحة؟

a. الأولى والثانية.

b. الثانية والثالثة.

c. الأولى والثالثة.

d. الأولى والثانية والثالثة.

3. ما حجم الماء الذي يجب إضافته إلى 6.0 ml من محلول قياسي تركيـــزه 0.050 M لتخفيفـــه إلى محلول تركيزه 0.020 M؟

a. 15 mL

b. 9.0 mL

c. 6.0 mL

d. 2.4 mL

4. أي الوحدات لا تستعمل للتعبير عن سرعة التفاعل؟

a. M/min

b. L/s

c. mol/mL•h

d. mol/L•min

5. أي أنواع القوى بين الجزيئية الآتية يعد الأقوى؟

a. الرابطة الأيونية.

b. قوى ثنائية القطب.

c. قوى التشتت.

d. الرابطة الهيدروجينية.

استعمل الأشكال أدناه للإجابة عن السؤالين 6 و 7.



6. أي العينات تحتوي على جزيئات غاز الأكسجين؟

a. x

b. y

c. z

d. كل من x وy

7. أي العينات تحتوي على جزيئات فلوريد الماغنسيوم؟

a. x

b. y

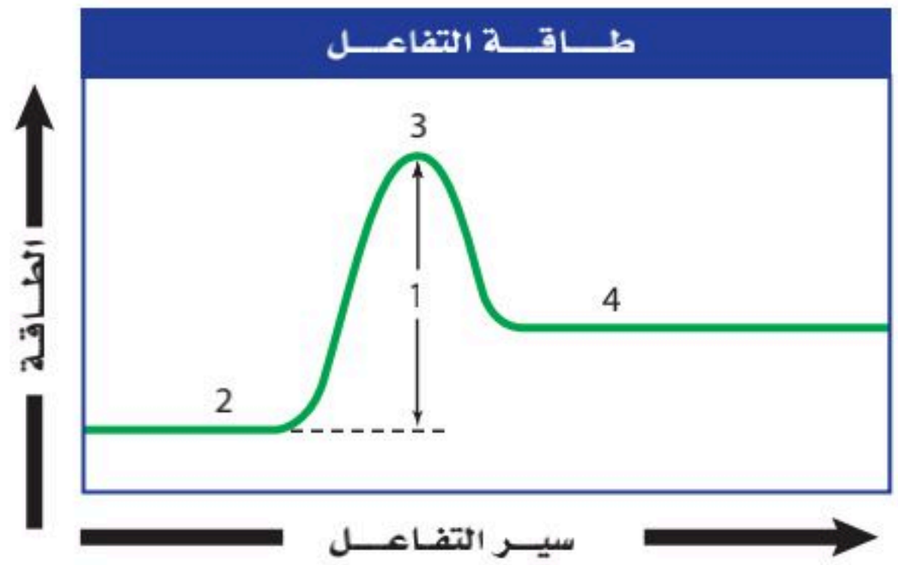
c. z

d. كل من x وy

اختبار مقنن

أسئلة الإجابات القصيرة

8. افــترض أن قانون السرعة العام هو: $R = [A][B]^3$.
ما رتبة التفاعل لــكل من المادة A والمادة B؟ وما رتبة التفاعل الكلية؟



9. يبين **الشكل** أعلاه منحنى طاقة تفاعل. إلام يشير كل رقم من الأرقام المبينة في الرسم؟

10. المعادلــة $R=K[A]$ تصف سرعة تفاعــل من الرتبة الأولى. إذا تضاعف تركيز المادة المتفاعلة A فماذا يطرأ على سرعة التفاعل؟

أسئلة الإجابات المفتوحة

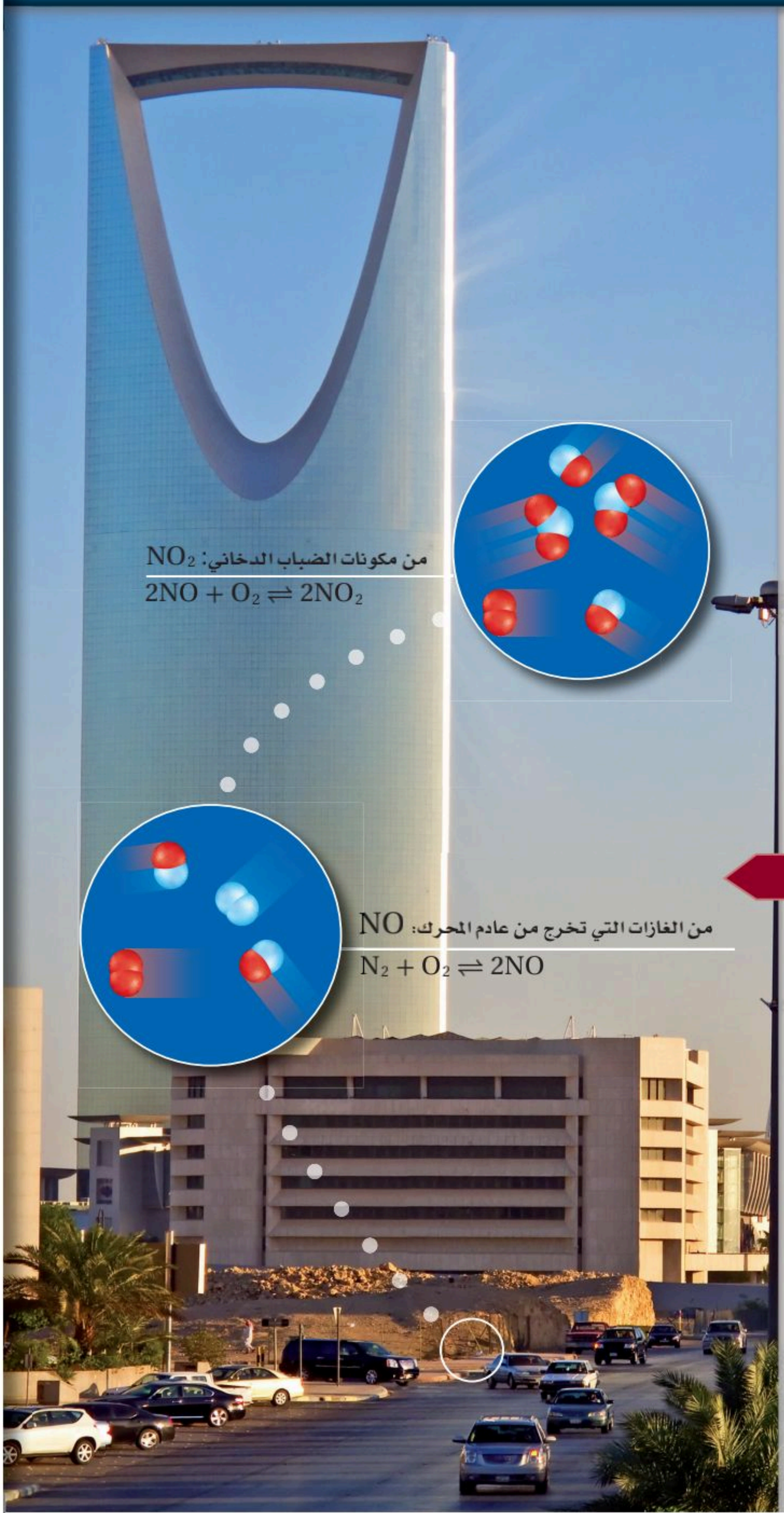
11. يتفاعل اليود والكلور في الحالة الغازية:

$$I_2 + Cl_2 \rightarrow 2ICl$$

فإذا كان $[I_2]$ يساوي 0.400 M عند بداية التفاعل وأصبح 0.300 M بعد مضي 4.00 min فاحسب متوسط سرعة التفاعل بوحدة mol /L.min.

الفصل 3

الاتزان الكيميائي
Chemical Equilibrium



الفكرة العامة يصل الكثير من التفاعلات إلى حالة من الاتـــزان الكيميائي؛ حيث تتكون كل مـــن المـــواد المتفاعلـــة والناتجـــة بسرعات متساوية.

3-1 حالة الاتزان الديناميكي

الفكرة الرئيسة يوصف الاتزان الكيميائي بتعبـــير ثابت الاتزان، الـــذي يعتمد على تراكيز المواد المتفاعلة والناتجة.

3-2 العوامل المؤثرة في الاتزان الكيميائي

الفكرة الرئيسة عندما تطرأ تغيرات في نظام متزن يزاح إلى موضع اتزان جديد.

3-3 استعمال ثوابت الاتزان

الفكرة الرئيسة يمكـن استعمال تعبير ثابت الاتزان في حســـاب تراكيز المـــواد في التفاعل وذوبانيتها.

حقائق كيميائية

- يتسبب استعمال السيارات في تلويث الهواء أكثر من أي نشاط إنساني آخر.
- لقد أسهمت المحولات المحفزة والتغيرات الناجمة عن إضافة بعض المواد إلى الجازولين في جعل الســـيارات أنظف 40% مما كانت عليه قبل عقد من الزمن.

نشاطات تمهيدية

تجربة استهلالية

ما التساوي في الاتزان؟

الاتزان هو نقطة توازن تلغي عندها التغييرات المتعارضة بعضها بعضًا.



خطوات العمل

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. قس 20 mL من الماء في **مخبار مدرج** وأفرغها في **كأس زجاجية مدرجة** سعتها 100 mL، ثم املأ المخبار المدرج بالماء إلى 20 mL، وأضف ثلاث نقاط من **ملون الطعام** إلى الماء في كل من الكأس والمخبار المدرج.
3. **أحضر ماصتين مفتوحتي الطرفين** لهما القطر نفسه.
4. بمساعدة زميلك، اغمر أحد الماصتين في الماء الملون في الكأس، والأخرى في الماء الملون في المخبار المدرج، وعند ارتفاع الماء الملون في الماصتين يغلق كل منكما الطرف العلوي للماصة بسبابته، وينقل محتوياته إلى الوعاء الآخر.
5. كرر عملية النقل 25 مرة، وسجل ملاحظاتك.

التحليل

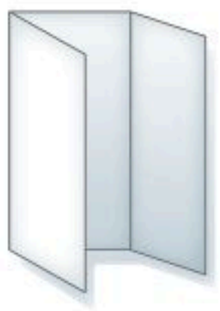
1. **صف** ملاحظاتك خلال عملية النقل.
2. **فسر** هل تختلف النتيجة النهائية إذا تابعت عملية النقل فترة أطول؟

استقصاء هل يمكن توضيح الاتزان إذا استعملت ماصات أو أنابيب زجاجية لها أقطار مختلفة؟ فسر ذلك.

المطويات منظمات الأفكار

التغيرات المؤثرة في الاتزان قم بعمل المطوية الآتية لمساعدتك على تنظيم المعلومات عن العوامل المؤثرة في الاتزان

الخطوة 1 اطو ورقة إلى ثلاثة أقسام أفقيًا.



الخطوة 2 افتح الورقة ثم اطو الجزء العلوي إلى أسفل 2 cm.



الخطوة 3 افتح الورقة، ثم ارسم خطوطًا على حدود الطيات، وعنون الأعمدة: التغير في التركيز، التغير في الحجم والضغط، التغير في درجة الحرارة.



المطويات **استعمل هذه المطوية في القسم 2–3**، ولخص ما تعلمته عن تأثير التغيرات في اتزان النظام، مستعملاً المعادلات.

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

3–1

الأهداف

- **تعدّد** خواص الاتزان الكيميائي.
- **تكتب** تعابير الاتزان للأنظمة المتزنة.
- **تحسب** ثوابت الاتزان من بيانات التركيز.

مراجعة المفردات

التفاعل الكيميائي: العملية التي يُعاد فيها ترتيب ذرات مادة أو أكثر لإنتاج مواد جديدة مختلفة.

المفردات الجديدة

التفاعل العكسي

الاتزان الكيميائي

قانون الاتزان الكيميائي

ثابت الاتزان

الاتزان المتجانس

الاتزان غير المتجانس

حالة الاتزان الديناميكي
A State of Dynamic Balance

الفكرة الرئيسة **يوصف الاتزان الكيميائي بتعبير ثابت الاتزان، الذي يعتمد على تراكيز المواد المتفاعلة والناتجة.**

الربط مع الحياة لعلك شاهدت شد الحبل بين فريقين. قد يبدو في بعض الأحيان وكأن الفريقين لا يسحب كلًا منهما الآخر؛ لأن الحبل بينهما لا يتحرك. وفي الحقيقة أن كلا الفريقين يسحب الآخر، ولكن القوة المبذولة من كلا الفريقين متساوية ومتعاكسة، لذلك يكونان في حالة اتزان.

ما الاتزان؟ What is Equilibrium?

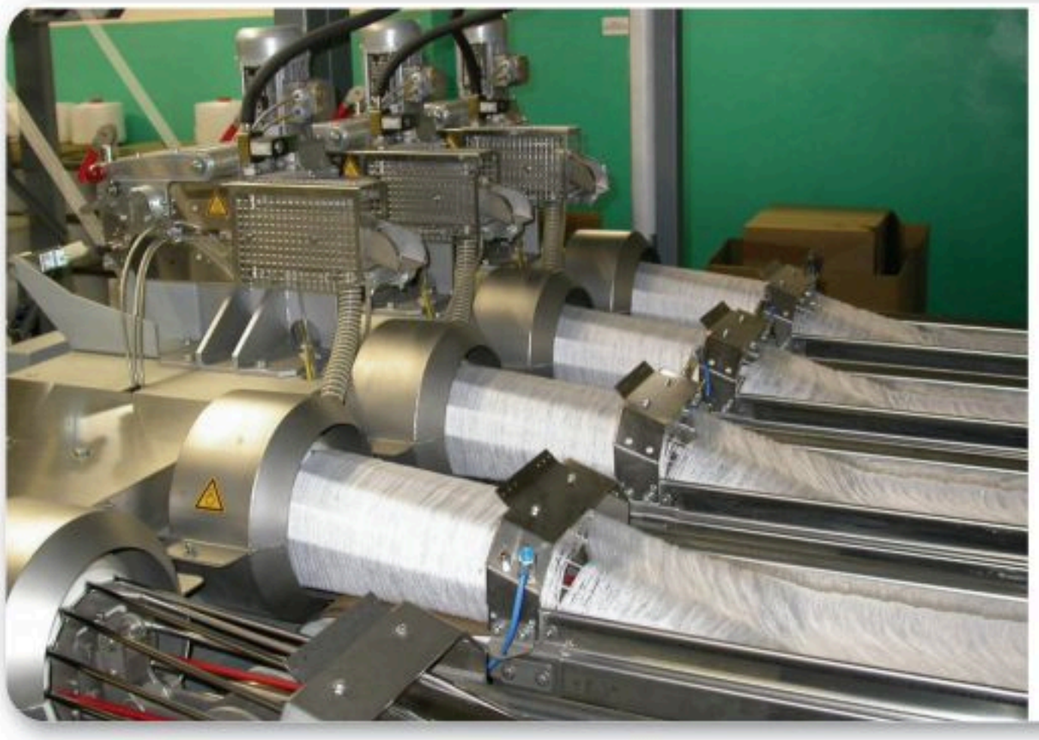
في كثير من الأحيان تصل التفاعلات الكيميائية إلى نقطة اتزان. إذا كنت قد أجريت التجربة الاستهلالية فستجد أنك وصلت إلى نقطة الاتزان من خلال نقل الماء من المخبار المدرج إلى الكأس، ومن الكأس إلى المخبار المدرج.

تأمل تفاعل تحضير غاز الأمونيا من غاز النيتروجين وغاز الهيدروجين باستعمال طريقة هابر:

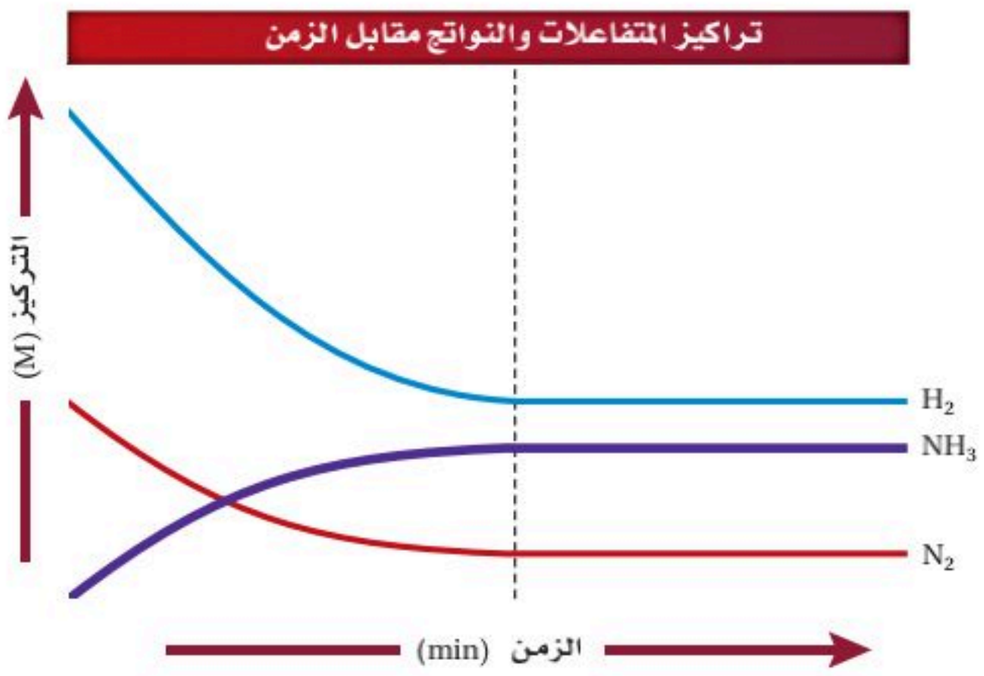
$$N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightarrow 2NH_{3(g)}$$

للأمونيا أهمية كبيرة في الزراعة؛ حيث تستعمل سمادًا ومادة إضافية في أطعمة الحيوانات. وفي الصناعة تمثل الأمونيا مادة خامًا في صناعة الكثير من المنتجات، ومنها النايلون، كما يظهر في **الشكل 1-3**.

يحدث تفاعل تحضير الأمونيا تلقائيًّا في الظروف القياسية (درجة حرارة 298 K، وضغط جوي 1atm)، ولكن التفاعلات التلقائية ليست دائمًا سريعة. فعند إجراء هذا التفاعل في الظروف القياسية تتكون الأمونيا ببطء شديد. ولإنتاج الأمونيا بسرعة عملية يجب إجراء التفاعل في درجات حرارة أعلى وضغط أكبر.



الشكل 1-3 تتفاعل الأمونيا مع نهايتي جزيء مكون من 6 ذرات كربون، لتكون 1، 6 – ثنائي أمينوهكسان. تمثل هذه إحدى خطوات تكوّن بوليمر النايلون. وتُظهر الصورة لف ألياف النايلون على ملفات حيث تستعمل في صناعة الإطارات.



الشكل 2-3 يتناقص تركيز المواد المتفاعلة H_2 ، N_2 في البداية، في حين يزداد تركيز الناتج NH_3، بحيث لا تستهلك المتفاعلات تمامًا وتصبح تراكيز جميع المواد ثابتة.

اختبار الرسم البياني

وضح كيف يبين الرسم البياني أنّ تراكيز المواد المتفاعلة والمواد الناتجة تصبح ثابتة.

ماذا يحدث عندما يوضع 1 mol من النيتروجين مع 3 mol من الهيدروجين في وعاء مغلق للتفاعل عند درجة حرارة 723 K ؟ سوف يتفاعل النيتروجين والهيدروجين تلقائيًا.

يوضح **الشكل 2-3** سير التفاعل. لاحظ أن تركيز الأمونيا NH_3 الناتجة يساوي صفرًا في البداية، ويزداد مع الوقت، وأن المتفاعلات N_2 وH_2 تستهلك في أثناء التفاعل، لذلك يقل تركيزها تدريجيًّا. وبعد مرور فترة من الزمن لا تتغير تراكيز NH_3 وN_2 وH_2 (أي تصبح جميع التراكيز ثابتة) كما هو موضح في الخطوط الأفقية في الجانب الأيمن من الرسم البياني. لاحظ أنّ تراكيز H_2 و N_2 لا تساوي صفرًا، وهذا يعني أنه لم يتم تحويل كامل المتفاعلات إلى نواتج.

اختبار الرسم البياني صف ميل منحنى كل من الهيدروجين والنيتروجين والأمونيا في الطرف الأيسر من الرسم البياني. كيف يختلف ميل كل منحنى في الطرف الأيسر عن ميله في الطرف الأيمن من الرسم؟

التفاعلات العكسية والاتزان الكيميائي عندما تتحول المتفاعلات كاملة إلى نواتج يصف العلماء التفاعل بأنه مكتمل. إلا أنّ معظم التفاعلات لا تكتمل، بل تظهر وكأنها توقفت. **التفاعل العكسي** هو التفاعل الكيميائي الذي يحدث في الاتجاهين الأمامي والعكسي.

الأمامي: $N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightarrow 2NH_{3(g)}$

العكسي: $N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \leftarrow 2NH_{3(g)}$

يدمج الكيميائيون المعادلتين في معادلة واحدة يستعمل فيها السهم الثنائي ليشير إلى اتجاهي التفاعلين الحادثين. $N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)}$

تكون المتفاعلات للتفاعل الأمامي في الجهة اليسرى من الأسهم، في حين تكون المتفاعلات للتفاعل العكسي في الجهة اليمنى من الأسهم. في التفاعل الأمامي يتحد النيتروجين والهيدروجين لتكوين الأمونيا. أما في التفاعل العكسي فتتحلل الأمونيا لتكوِّن كلًا من غاز الهيدروجين وغاز النيتروجين .

المفردات

المفردات الأكاديمية

تحويل Convert

هو التغيرُّ من شكل أو وظيفة إلى أخرى.

حولت الغرفة الزائدة في منزلنا إلى مكتب.

كيف يؤثر التفاعل العكسي في إنتاج الأمونيا؟ يوضح **الشـكل** 3-3a بدء تفاعل مزيج من الهيدروجين والنيتروجين بسرعة أولية محددة. ولا توجد أي كمية ناتجة من الأمونيا، وهذا يعني أنّ ما يحدث هو التفاعل الأمامي فقط.

$$N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightarrow 2NH_{3(g)}$$

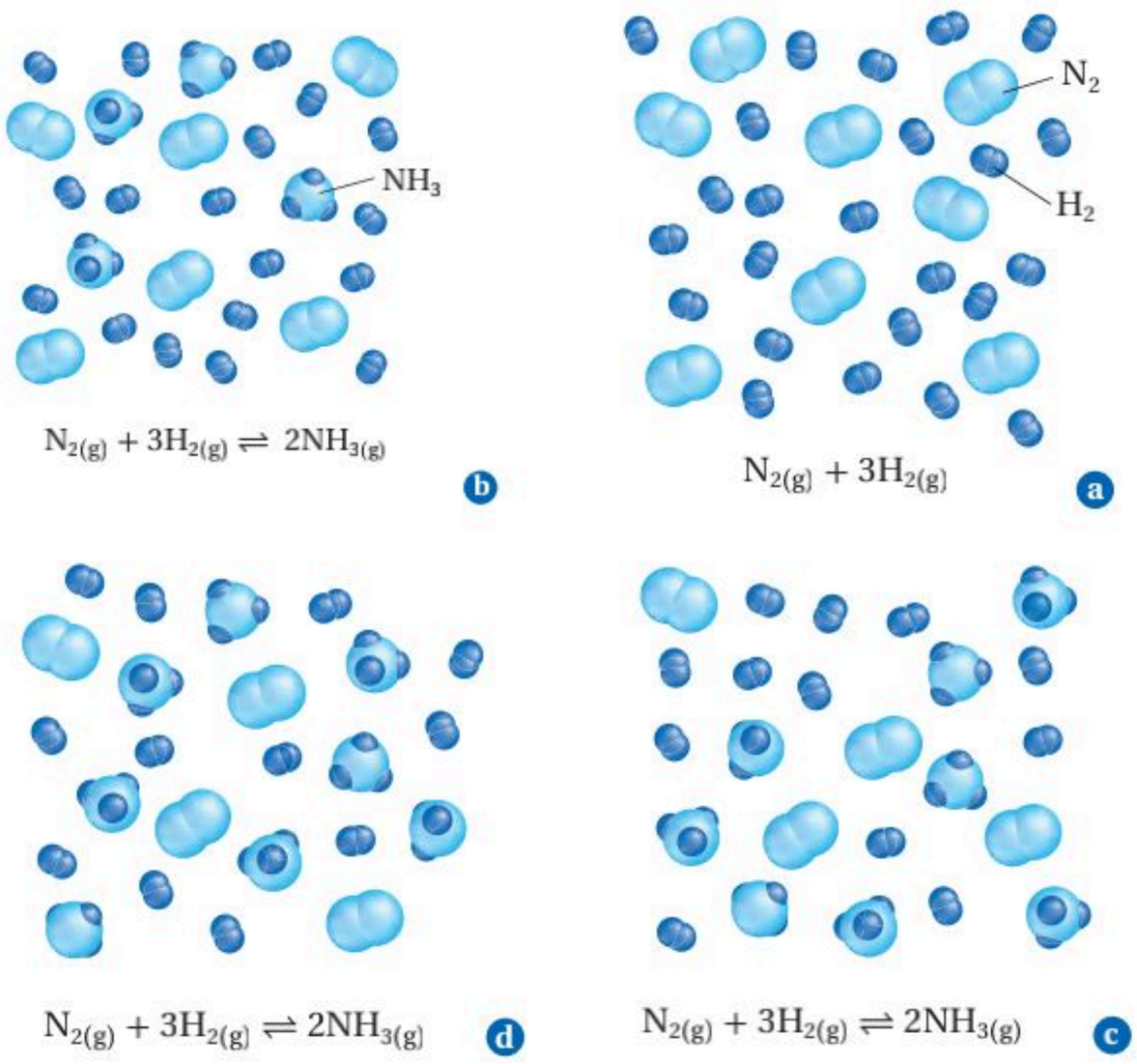
يقـل تركيز كل من الهيدروجـين والنيتروجين في أثناء اتحادهمـا لتكوين الأمونيا، كما هو موضح في **الشـكل** 3-3b. وتذكر مما درست سـابقًا أن سرعة التفاعل الكيميائي تعتمد على تراكيز المتفاعلات؛ إذ يسـبِّب نقص تراكيز المتفاعلات إبطاء سرعة التفاعل الأمامي. وفي هذا التفاعل، بمجـرد أن تنتج الأمونيا يحدث التفاعل العكسي ببطء، ثم تزداد سرعته مع زيادة تركيزها.

$$N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \leftarrow 2NH_{3(g)}$$

وفي أثناء سير التفاعل تستمر سرعة التفاعل الأمامي في النقصان، وتستمر سرعة التفاعل العكسي في الزيادة حتى تتسـاوى السرعتان. عند هذه النقطـة تتكون الأمونيا بالسرعة نفسـها التي تتحلـل بها، لذلك تبقى تراكيـز N_2 وH_2 وNH_3 ثابتـة كما هو موضح في **الشكلين** 3-3c و3-3d، ويكون النظام عندها قد وصل إلى حالة الاتزان.

ولذا يعرف **الاتزان الكيميائي** بأنه حالة النظام عندما تتسـاوى سرعتا التفاعل الأمامي والعكسي، وعندها تثبت تراكيز المواد المتفاعلة والناتجة.

سرعة التفاعل الأمامي = سرعة التفاعل العكسي



الشـكل 3-3 توضـح الرسـوم مـن a إلـى d سـير التفاعـل لتكويـن الأمونيـا مـن الهيدروجين والنيتروجين.

استنتج

ادرس الأشكال وأجب عن الأسئلة الآتية:

a: **كيـف تعـلم أن التفاعل لم يبدأ بعد؟**

b: **مـا الدليـل الـذي يشـير إلى بدايـة التفاعـل العكسـي؟ قـارن الشـكلين** c **و** d**، كيـف تعلـم أن النظـام وصـل إلى حالـة الاتزان؟**

يمكنك معرفة أن تفاعل تكوّن الأمونيا وصل إلى حالة الاتزان الكيميائي؛ لأن معادلته كتبت بسهم مزدوج كما يأتي:

$$N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)}$$

عند الاتزان تكـــون تراكيز المواد المتفاعلة والناتجة ثابتة، كما يظهر في **الشـــكلين** 3c–3 و3d–3 لكـــن هذا لا يعني أن كميات أو تراكيز المتفاعلات والنواتج متســـاوية؛ فهذه الحالة نادرة الحدوث، بل تكون سرعة تكون النواتج مساوية لسرعة تكون المتفاعلات.

ماذا قرأت؟ فسر معنى السهم المزدوج في المعادلات الكيميائية.

الطبيعة الديناميكية للاتزان

يمثل كل من الدفع أو الســـحب المؤثر في جســـم ما قوةً؛ فأنت تبـــذل قوة عندما تدفع الباب أو تســـحب مقعدك من مكانه. إذا أثرت قوتان أو أكثر في جسم وفي الاتجاه نفسه فإن محصلة هذه القوى تساوي مجموعها. أما إذا كانت القوى المؤثرة في الجسم متعاكسة في الاتجاه فإن القوة المحصلة تســـاوي الفرق بينها، ويكون اتجاه القوة المحصلة في اتجاه القوة الكبرى. لهذا في لعبة شـــد الحبل عندما يســـحب الفريقان الحبل بقوى متساوية تكون محصلة القوى صفـــرًا، فلا يتحرك الحبل، ويُوصف النظـــام بأنه في حالة اتزان. وبالمثل، في **الشكل** 4a–3 فالأشـــخاص الذين يلعبون لعبة التوازن (السيسو) يمثلون نظامًا متزنًا؛ إذ تســـمى القوى المتماثلة والمتعاكســـة على لعبة التوازن (السيسو) القوى المتوازنـــةَ، أما إذا كانـــت واحدة من هذه القوى أكبر من الأخـــرى فإن القوة المحصلة تكون أكبر من صفر وتســـمى القوى غير المتوازنة. وتسبب القوى غير المتوازنة تسارع الجسم، كما يحدث في **الشكل** 4b–3.



الشكل 4-3

a: تكون جميع القوى في توازن لذلك لا يتحرك موقع لعبة التوازن (السيسو).

b: تتسبب القوى غير المتوازنة في الجهة اليسرى في تغير موقع لعبة التوازن (السيسو).

وضح كيف تشبه لعبة التوازن (السيسو) الاتزان الكيميائي؟



الشكل 5-3 افترض أن عددًا معينًا من الأشخاص محصورون في مبنيين متصلين بممر يسمح للناس بالعبور ذهابًا وإيابًا بينهما. إن عدد الأشخاص في كل مبنى يبقى ثابتًا إذا كان عدد الأشخاص الذين يعبرون الممر في أحد الاتجاهين مساويًا لعدد الأشخاص الذين يعبرون في الاتجاه المعاكس.

حدد هل يكون الأشخاص أنفسهم موجودين دائمًا في المبنى نفسه؟ كيف تطبق إجابتك على الاتزان الكيميائي؟

يمكن تشبيه ما ورد في **الشكل** 5-3 بالطبيعة الديناميكية للاتزان الكيميائي عند وضع كميات متساوية من بلورات اليود في دورقين متصلين، كما هو موضح في **الشكل** 6a - 3. يحتوي الدورق في الجهة اليسرى على جزيئات يود من النظير غير المشع I-127، ويحتوي الدورق في الجهة اليمنى على جزيئات يود من النظير المشع I-131 . تبين عدادات الإشعاع الفرق في مستويات الإشعاع في كل دورق.

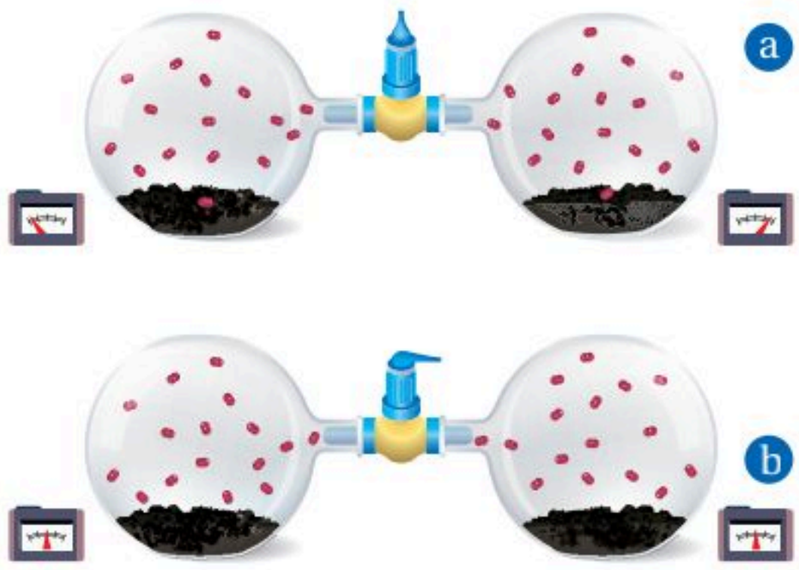
إذ يمثل كل دورق نظامًا مغلقًا، لذا لا يمكن لأي من المتفاعلات أو النواتج أن تدخل أو تخرج من الدورق. فعند درجة حرارة 298 K وضغط 1 atm يحدث الاتزان في كلا الدورقين.

$$I_{2(s)} \rightleftharpoons I_{2(g)}$$

في التفاعل الأمامي الذي يسمى التسامي، تتغير جزيئات اليود من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية مباشرة. وفي التفاعل العكسي تعود جزيئات اليود الغازية إلى الحالة الصلبة. أي يتكون اتزان صلب-غاز في كل دورق.

عندما يتم فتح المحبس في الأنبوب الذي يصل الدورقين، كما هو موضح في **الشكل** 6b-3، ينتقل بخار اليود بين الدورقين. وبعد فترة من الزمن تشير قراءات عدادات الإشعاع إلى وجود عدد من جزيئات اليود المشع I-131 في الدورق في الجهة اليسرى، كما في الدورق في الجهة اليمنى في الحالتين الصلبة والغازية.

توحي الأدلة بأن جزيئات اليود تتغير بشكل مستمر من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية بحسب التفاعل الأمامي. وأن جزيئات اليود الغازية تتغير إلى الحالة الصلبة وفقًا للتفاعل العكسي. وتشير قراءات عدادات الإشعاع إلى أن الاتزان قد تحقق في الحجم الكلي في الدورقين.



في الشكل 6-3 a. تفصل جزيئات اليود المشع في الدورق الأيمن عن جزيئات اليود غير المشع في الدورق الأيسر. لاحظ قراءات عدادات الإشعاع.

b. بعد فتح المحبس فترة من الزمن توضح قراءات عدادات الإشعاع وجود جزيئات مشعة في كلا الدورقين. لقد تحركت الجسيمات ذهابًا وإيابًا بين الدورقين وبين الحالتين الصلبة والغازية.

خواصّ الاتزان لعلك لاحظت خواصّ معينــة للتفاعلات الكيميائية التي تصل إلى حالة الاتزان .

أولاً: يجــب أن يتم التفاعــل في نظام مغلق، أي لا يخرج من النظــام أو يدخله أي من النواتج أو المتفاعلات. ثانيًا: يجب أن تبقى درجة الحرارة ثابتة.

ثالثًــا: توجد النواتج والمتفاعلات معًا، وهي في حركــة ديناميكية ثابتة، وهذا يعني أن الاتزان ديناميكي، وليس ساكنًا.

تعابير الاتزان Equilibrium Expressions

لبعض الأنظمة الكيميائية ميل قليل للتفاعل، في حين تســتمر أنظمة أخرى في التفاعل حتى تكتمل. وتصل معظم التفاعــلات إلى حالة الاتزان مع وجود بعض المتفاعلات غير مســتهلكة. عندما لا تستهلك المتفاعلات تمامًا تكون كمية النواتج أقل من المتوقع بحسب المعادلة الكيميائية الموزونة. وبالنظر إلى معادلة تحضير الأمونيا نجد أنه يتكون 2 mol من الأمونيــا عند تفاعل 1 mol من النيتروجين مع 3 mol من الهيدروجين. ولأن هذا التفاعل يصل إلى حالة اتزان فإننا نحصل على أقل من 2 mol من الأمونيا.

قانــون الاتــزان الكيميائــي قدم وطــور الكيميائيان النرويجيان كاتو ماكســمليان جولدبرج Guldberg وبيتر ويــج Waage في عام 1864م **قانون الاتزان الكيميائي** الذي ينص على أنه عند درجة حرارة معينة يمكن للتفاعل الكيميائي أن يصل إلى حالة تصبح فيها نســب تراكيز المتفاعلات والنواتج ثابتة. وتكــون معادلة التفاعل العامة للتفاعل الذي في حالة اتزان كما يأتي:

$$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$$

إذا تم تطبيق قانون الاتزان الكيميائي على المعادلة نحصل على النسبة الآتية:

تعبير ثابت الاتزان

تمثل [A]و[B] التراكيز المولارية للمتفاعلات

[C] و[D] التراكيز المولارية للنواتج

تمثل الأسس a وb وc وd معاملات المعادلة الموزونة

$$K_{eq} = \frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b}$$

يمثل ثابت الاتزان نسبة التراكيز المولارية للنواتج إلى التراكيز المولارية للمتفاعلات. ويُرفع كل تركيز إلى أس يساوي المعامل الخاص به في المعادلة الموزونة.

ثابت الاتزان K_{eq} هو القيمة العددية لنســبة حاصل ضرب تراكيز النواتج على حاصل ضرب تراكيز المتفاعلات، ويُرفع كل تركيز إلى أس مساوٍ للمعامل الخاص به في المعادلة الموزونة. وتكون قيمة K_{eq} ثابتة عند درجة حرارة معينة فقط.

كيف يمكن تفسير قيمة ثابت الاتزان؟ تعلم أن قيمة الكسر الذي بسطه أكبرُ من مقامه تكون أكبر من 1. وتكون قيمة الكسر الذي بسطه أقل من مقامه أقلَّ من 1. على سبيل المثال ، قارن بين الكسرين $\frac{5}{1}$ و $\frac{1}{5}$. فالخمســة أكبر مــن الخُمس. ولأن تراكيز النواتج

توجد في بسـط معادلة ثابت الاتزان فـإن التفاعل يكون محتويًا عـلى نواتج أكثر من المتفاعلات إذا كانت القيمة العددية للثابـت K_{eq} كبيرة ، وبالمثل تكون المواد المتفاعلة أكثر من النواتج عندما تكون القيمة العددية للثابت K_{eq} صغيرة .

$K_{eq} > 1$ ، تراكيز المواد الناتجة أكبر من تراكيز المواد المتفاعلة عند الاتزان.

$K_{eq} < 1$ ، تراكيز المواد المتفاعلة أكبر من تراكيز المواد الناتجة عند الاتزان.

تعابير الاتزان المتجانس ينتج غـاز يوديد الهيدروجين عـن تفاعل الاتزان لغاز الهيدروجين مع اليود. لليود ومركباته اسـتعمالات مهمة في الطب، كما هو موضح في **الشكل** 7-3. كيف يمكنك كتابة تعبير ثابت الاتزان لهذا التفاعل؟

$$H_{2(g)} + I_{2(g)} \rightleftharpoons 2HI_{(g)}$$

هـذا تفاعل **اتزان متجانس**، وهـذا يعني أن المتفاعلات والنواتـج موجودة في الحالة الفيزيائية نفسها؛ فكل المواد المشاركة في هذا التفاعل في الحالة الغازية.

أولاً ضع تراكيز النواتج في البسط وتراكيز المتفاعلات في المقام.

$$\frac{[HI]}{[H_2][I_2]}$$

يصبح هذا التعبير مساويًا لثابت الاتزان K_{eq}، عندما نضيف المعاملات بوصفها أسسًا من المعادلة الكيميائية الموزونة

$$K_{eq} = \frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]}$$

ثابت الاتزان لهذا التفاعل يسـاوي 49.7 عنـد درجة حرارة 731 K. لاحظ أن 49.7 ليست لها وحدة. من المعتاد حذف الوحدات عند كتابة تعابير ثابت الاتزان.



الشـكل 7-3 بسـبب خـواصّ اليود المضادة للجراثيم، يسـتعمل محلول اليود ومركباته مطهراتٍ خارجية. كما تدخل بعض مركبات يوديد البوتاسيوم KI في الأدوية التي تعالج تضخم الغدة الدرقية.

مثال 1-3

تعبير ثابت الاتزان للتفاعلات المتجانسة تنتج ملايين الأطنان من الأمونيا NH_3 لاستعمالها في صناعة الأسمدة والألياف الصناعية. ويمكن أن تستعمل الأمونيا منظفًا منزليًّا؛ فهي مفيدة جدًّا في تنظيف الزجاج. وتصنع الأمونيا من عناصرها الهيدروجين والنيتروجين باستعمال طريقة هابر. اكتب تعبير ثابت الاتزان للتفاعل الآتي:

$$N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)}$$

1 تحليل المسألة

توفر معادلة التفاعل المعلومات المطلوبة لكتابة تعبير ثابت الاتزان. وهذا الاتزان متجانس؛ لأن المتفاعلات والنواتج في الحالة الفيزيائية نفسها.

المعطيات

$[A] = [N_2]$، معامل $N_2 = 1$

$[B] = [H_2]$، معامل $H_2 = 3$

$[C] = [NH_3]$، معامل $NH_3 = 2$

المطلوب

$K_{eq} = ?$

2 حساب المطلوب

عوض $A = N_2$، $B = H_2$، $C = NH_3$

$$K_{eq} = \frac{[NH_3]^c}{[N_2]^a[H_2]^b}$$

عوض $a = 1$، $b = 3$، $c = 2$

$$K_{eq} = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3}$$

3 تقويم الإجابة

تراكيز النواتج في البسط وتراكيز المتفاعلات في المقام. ترفع التراكيز إلى أسس مساوية لمعاملاتها.

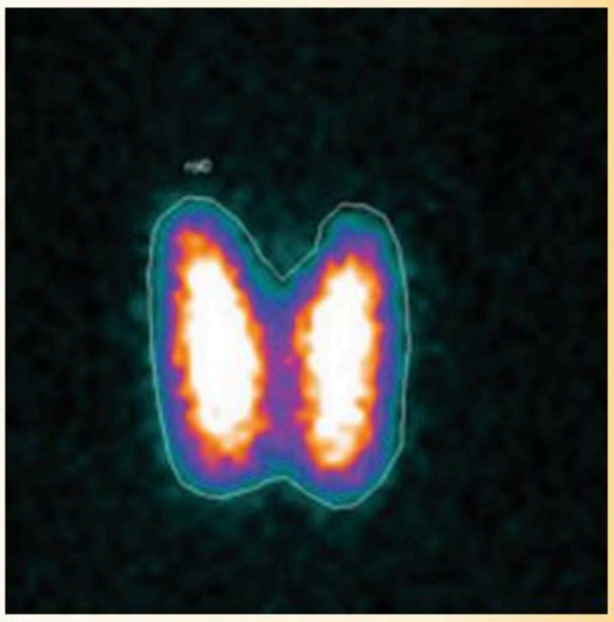
مسائل تدريبية

1. اكتب تعابير ثابت الاتزان للمعادلات الآتية:
   a. $N_2O_{4(g)} \rightleftharpoons 2NO_{2(g)}$
   b. $2H_2S_{(g)} \rightleftharpoons 2H_{2(g)} + S_{2(g)}$
   c. $CO_{(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_{4(g)} + H_2O_{(g)}$
   d. $4NH_{3(g)} + 5O_{2(g)} \rightleftharpoons 4NO_{(g)} + 6H_2O_{(g)}$
   e. $CH_{4(g)} + 2H_2S_{(g)} \rightleftharpoons CS_{2(g)} + 4H_{2(g)}$
2. **تحفيز** اكتب المعادلة الكيميائية التي تمثل تعبير ثابت الاتزان الآتي:

$$K_{eq} = \frac{[CO]^2[O_2]}{[CO_2]^2}$$

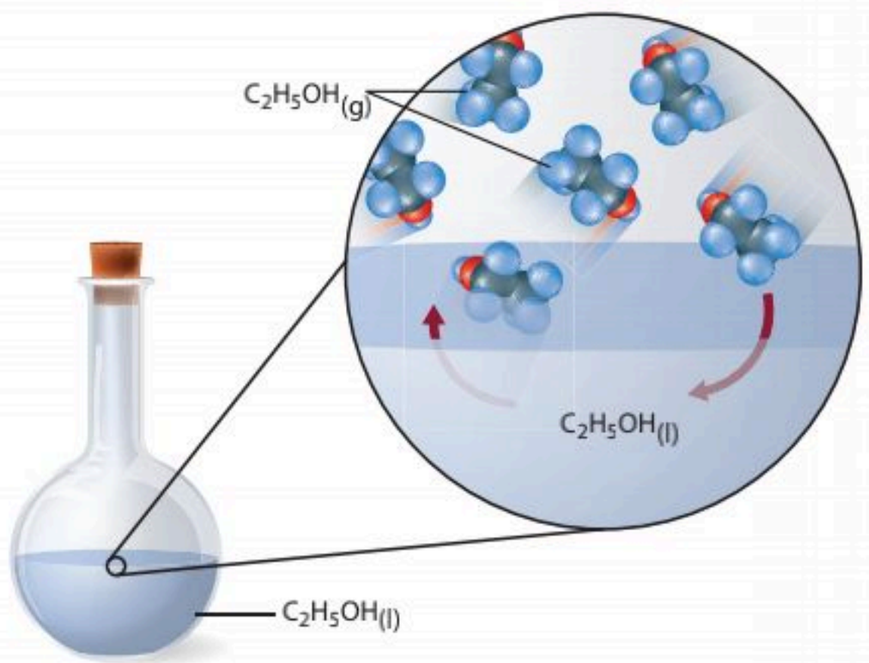
الكيمياء في واقع الحياة

صحة الغدة الدرقية



الطب النووي تمتص الغدة الدرقية نظير اليود المشع I–131، الذي يستعمل في الطب لتشخيص وعلاج أمراض الغدة الدرقية. فعندما يتناوله المريض تعمل إشعاعات اليود على إعطاء صورة للغدة تكشف عن أي قصور.

تُظهر الصورة أعلاه الغدة الدرقية لمريض يعاني من مرض تضخم الغدة، وهو مرض يمكن علاجه، وسببه فرط نشاط الغدة الدرقية.



الشكل 8-3 عنـد الاتزان، تكون سرعة تبخر الإيثانول C_2H_5OH مساويةً لسرعة التكثّف. يسمى هذا الاتزان المكـون بـين حالتـين فيزيائيتـين للمـادة الاتـزانَ غـير المتجانس. تعتمد قيمة K_{eq} على $[C_2H_5OH_{(g)}]$ فقط.

تعابير الاتـزان غـير المتجانس لقد تعلمت كتابة تعابـير ثابت الاتزان K_{eq} للاتـزان المتجانس؛ إذ تكون المتفاعلات والنواتج في الحالة الفيزيائية نفسـها. أما عندما توجد المتفاعلات و النواتج في أكثر من حالة فيزيائية واحدة فيسـمى **الاتزانَ غير المتجانس**. فمثلاً إذا وضعت كمية من الإيثانول في دورق مغلق فإنه بعد فترة من الزمن يحدث اتزان غاز – سائل، كما هو موضح في **الشكل** 8-3

$$C_2H_5OH_{(l)} \rightleftharpoons C_2H_5OH_{(g)}$$

لكتابة تعبير ثابت الاتزان لهذه العملية، يجب أن تكتب نسـبة تركيز المادة الناتجة إلى تركيز المادة المتفاعلة. وفي درجة حرارة معينة تكون قيمة النسبة ثابتة K.

$$K = \frac{[C_2H_5OH_{(g)}]}{[C_2H_5OH_{(l)}]}$$

لاحظ أن المقام في القانون يمثل الإيثانول السـائل؛ وهو مادة نقية، لذلك فإن تركيزه هو كثافته معـبر عنها بوحدة mol/L. تذكر أن الكثافة ثابتة عند درجة حرارة ثابتة، لذلك مهما كانت كمية الإيثانول السـائل $C_2H_5OH_{(l)}$ صغيرة أو كبيرة فإن تركيزه يبقـى ثابتًا. لذلك فإن القيمة الموجودة في المقام ثابتة، ويمكن دمجها مع K لتعطي K_{eq}.

$$K[C_2H_5OH_{(l)}] = [C_2H_5OH_{(g)}] = K_{eq}$$

ويمكن كتابة تعبير ثابت الاتـزان لهذا التغيير في الحالة الفيزيائية للإيثانول على النحو الآتي: $K_{eq} = [C_2H_5OH_{(g)}]$

المواد الصلبة مواد نقية بتراكيز ثابتة، لذلك يمكن تبسـيط الاتزان الذي يحتوي مواد صلبة بالطريقة نفسها. تذكر تجربة تسامي جزيئات اليود في **الشكل** 3-6.

$$I_{2(s)} \rightleftharpoons I_{2(g)}$$
$$K_{eq} = [I_{2(g)}]$$

يعتمد ثابت الاتزان K_{eq} على تركيز غاز اليود في النظام فقط.

مهن في الكيمياء

كاتـب علمـي لنقـل المعلومـات العلميـة للقـارئ غير العلمـي، يجـب أن يكون لدى الكاتـب خلفيـة علمية واسـعة وقـدرة على الكتابـة بشـكل مفهـوم وواضـح ودقيـق. يجعـل الكاتب العلمي المواضيـع المعقدة – مثـل الاتزان الكيميائـي – في متناول قراء ليس لديهم أي معلومات عن الموضوع.



الشكل 3-9 تمتص كربونات الصوديوم الهيدروجينية (صودا الخبز) الروائح وتنعش الهواء داخل الثلاجة. وهي أيضًا من المكونات الرئيسة في بعض معاجين الأسنان.

مثال 2-3

تعابير ثابت الاتزان غير المتجانس تستعمل صودا الخَبز (كربونات الصوديوم الهيدروجينية) في الخبز، ومضادًّا للحموضة، وفي التنظيف، كما أنّها توضع في أوعية مفتوحة في الثلاجات لإبقاء الجو منعشًا، كما هو موضح في **الشكل** 9-3. اكتب تعبير ثابت الاتزان لتحلل صودا الخبز.

$$2NaHCO_{3(s)} \rightleftharpoons Na_2CO_{3(s)} + CO_{2(g)} + H_2O_{(g)}$$

1 تحليل المسألة

هذا الاتزان غير المتجانس يحتوي على غازات ومواد صلبة، يتم إزالة المواد الصلبة من تعبير ثابت الاتزان.

المعطيات

$[C] = [Na_2CO_3]$ ، معاملها = 1

$[D] = [CO_2]$ ، معاملها = 1

$[E] = [H_2O]$ ، معاملها = 1

$[A] = [NaHCO_3]$ ، معاملها = 2

المطلوب

تعبير ثابت الاتزان = ؟

2 حساب المطلوب

كوّن نسبة تراكيز النواتج إلى تراكيز المتفاعلات.

ضع التعبير العام لثابت الاتزان

$$K_{eq} = \frac{[C]^c[D]^d[E]^e}{[A]^a[B]^b}$$

عوض $A = NaHCO_3$ $D = CO_2$

$C = Na_2CO_3$ $E = H_2O$

$$K_{eq} = \frac{[Na_2CO_3]^c[CO_2]^d[H_2O]^e}{[NaHCO_3]^a}$$

عوض $a = 2$، $c = 1$، $d = 1$، $e = 1$

$$K_{eq} = \frac{[Na_2CO_3]^1[CO_2]^1[H_2O]^1}{[NaHCO_3]^2}$$

قم بإزالة المواد الصلبة

$$K_{eq} = [CO_2][H_2O]$$

3 تقويم الإجابة

يطبق تعبير ثابت الاتزان قوانين الاتزان الكيميائي بصورة صحيحة على المعادلة.

مسائل تدريبية

3. اكتب تعبير ثابت الاتزان غير المتجانس لكل مما يلي:

a. $C_{10}H_{8(s)} \rightleftharpoons C_{10}H_{8(g)}$

b. $H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_2O_{(g)}$

c. $CaCO_{3(s)} \rightleftharpoons CaO_{(s)} + CO_{2(g)}$

d. $C_{(s)} + H_2O_{(g)} \rightleftharpoons CO_{(g)} + H_{2(g)}$

e. $FeO_{(s)} + CO_{(g)} \rightleftharpoons Fe_{(s)} + CO_{2(g)}$

4. تحفيز يتفاعل الحديد الصلب مع غاز الكلور لتكوين كلوريد الحديد III $FeCl_3$. اكتب معادلة كيميائية موزونة وتعبير ثابت الاتزان للتفاعل.

ثوابت الاتزان Equilibrium Constants

تبقى قيمة K_{eq} ثابتة لتفاعل معين عند درجة حرارة معينة، بغض النظر عن التراكيز الابتدائية للنواتج والمتفاعلات. لفحص هذه النظرية تم تنفيذ ثلاث تجارب للتفاعل:

$$H_{2(g)} + I_{2(g)} \rightleftharpoons 2HI_{(g)}$$

ويلخص **الجدول 1-3** نتائج تلك التجارب. في المحاولة الأولى وضع 1.0000 mol من H_2 و2.0000 mol من I_2 في وعاء حجمه 1.0000 L وليس هناك أي كمية من HI في بداية المحاولة 1. في بداية المحاولة 2 فقط كان HI موجودًا. أما في المحاولة 3 فكان لكل مادة من المواد الثلاث التركيز الابتدائي نفسه. وقد أجريت التفاعلات جميعها في درجة حرارة 731 K.

تراكيز الاتزان تم تحديد تركيز كل مادة تجريبيًا عند الاتزان. لاحظ أن تراكيز الاتزان في التجارب الثلاث ليست متساوية. لكن عند التعويض بتراكيز المواد عند الاتزان في تعبير ثابت الاتزان تم الحصول على قيمة K_{eq} نفسها في المحاولات الثلاث.

قيمة K_{eq} رغم أن نظام الاتزان له قيمة K_{eq} ثابتة عند درجة حرارة معينة، إلا أن له عددًا غير محدود من مواضع الاتزان، والتي تعتمد على التراكيز الابتدائية للمتفاعلات والنواتج.

تعني قيمة K_{eq} العالية في التفاعل $H_{2(g)} + I_{2(g)} \rightleftharpoons 2HI_{(g)}$ أن النواتج موجودة بكميات أكبر من المتفاعلات عند الاتزان. لاحظ أن قيمة ثابت الاتزان ثابتة في التجارب الثلاث، بحيث تعطي كل تجربة موضع اتزان مختلف. لكن في كثير من التفاعلات تكون قيمة K_{eq} صغيرة.

فعلى سبيل المثال ثابت الاتزان K_{eq} للتفاعل $N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2NO_{(g)}$ يساوي 4.6×10^{-31} عند درجة حرارة 298 K. وتعني القيمة الصغيرة لـ K_{eq} أن كمية أكسيد النيتروجين NO الناتجة عمليًا تكون شبه معدومة عند الاتزان.

الجدول 1-3 **بيانات تجريبية لتفاعل يوديد الهيدروجين عند الاتزان**

	التراكيز الابتدائية			تراكيز الاتزان			K_{eq}
تجربة	$[H_2]$	$[I_2]$	$[HI]$	$[H_2]$	$[I_2]$	$[HI]$	$K_{eq} = \frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]}$
1	1.0000	2.0000	0	0.06587	1.0659	1.8682	$49.70 = \frac{[1.8682]^2}{[0.06587][1.0659]}$
2	0	0	5.0000	0.5525	0.5525	3.8950	$49.70 = \frac{[3.8950]^2}{[0.5525][0.5525]}$
3	1.0000	1.0000	1.0000	0.2485	0.2485	1.7515	$49.70 = \frac{[1.7515]^2}{[0.2485][0.2485]}$

ماذا قرأت؟ **فسر** لماذا يعد من المهم وجود المتفاعلات والنواتج معًا في الاتزان؟

مثال 3-3

قيمة ثابت الاتزان احسب قيمة K_{eq} لتعبير ثابت الاتزان $K_{eq} = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3}$ إذا علمت أن تراكيز المواد في أحد مواضع الاتزان $[NH_3] = 0.933\ mol/L, [N_2] = 0.533\ mol/L, [H_2] = 1.600\ mol/l$

1 تحليل المسألة

لقدأعطيت تعبير ثابت الاتزان وتراكيز المتفاعلات والنواتج، يجب حساب ثابت الاتزان.

المعطيات

$K_{eq} = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3}$

$[NH_3] = 0.933\ mol/L$

$[N_2] = 0.533\ mol/L$

$[H_2] = 1.600\ mol/L$

المطلوب

$K_{eq} = ?$

2 حساب المطلوب

عوض $[NH_3] = 0.933 mol/L$

$[N_2] = 0.533 mol/L, [H_2] = 1.6\ mol/L$

$K_{eq} = \frac{[0.933]^2}{[0.533][1.600]^3} = 0.399$

3 تقويم الإجابة

توجد القيمة الكبرى للتركيز في مقام المعادلة، وهي مرفوعة للأس (3)، لذا قيمة K_{eq} الناتجة أقل من 1 معقولة.

مسائل تدريبية

5. احسب قيمة K_{eq} للاتزان $N_2O_{4(g)} \rightleftharpoons 2NO_{2(g)}$ إذا علمت أنّ:

$[N_2O_4] = 0.0185\ mol/L, [NO_2] = 0.0627\ mol/L$

6. احسب قيمة K_{eq} للاتزان $CO_{(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_{4(g)} + H_2O_{(g)}$. إذا علمت أنّ:

$[CO] = 0.0613\ mol/L,$

$[H_2] = 0.1839\ mol/L,$

$[CH_4] = 0.0387\ mol/L,$

$[H_2O] = 0.0387\ mol/L$

7. **تحفيز** يصل التفاعل $COCl_{2(g)} \rightleftharpoons CO_{(g)} + Cl_{2(g)}$ إلى حالة الاتزان عند درجة حرارة 900 K ، فإذا كان تركيز كل من CO و Cl_2 هو 0.150 M عند الاتزان، فما تركيز $COCl_2$؟ علمًا أنّ ثابت الاتزان K_{eq} عند درجة الحرارة نفسها يساوي 8.2×10^{-2}.

التقويم 1-3

الخلاصة

- يكون التفاعل في حالة اتزان إذا كانت سرعة التفاعل الأمامي مساوية لسرعة التفاعل العكسي.
- يعبر عن حالة الاتزان بثابت الاتزان وهو نسبة حاصل ضرب التراكيز المولارية للمواد الناتجة إلى حاصل ضرب التراكيز المولارية للمواد المتفاعلة؛ حيث ترفع هذه التراكيز إلى أسس مساوية لمعاملاتها في المعادلة الكيميائية الموزونة.
- تكون قيمة تعبير ثابت الاتزان K_{eq} ثابتة عند درجة حرارة معينة .

8. الفكرة الرئيسة **فسر** كيف ترتبط قيمة ثابت الاتزان مع كمية النواتج K_{eq}؟

9. قارن بين الاتزان المتجانس والاتزان غير المتجانس.

10. عدِّد ثلاث خواص يجب أن توجد في خليط تفاعل ليصل إلى حالة اتزان.

11. احسب قيمة K_{eq} عند درجة حرارة 400 K للتفاعل الآتي:

$$PCl_{5(g)} \rightleftharpoons PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)}$$

إذا علمت أنّ:

$$[PCl_5] = 0.135\ mol/L$$

$$[PCl_3] = 0.550\ mol/L$$

$$[Cl_2] = 0.550\ mol/L$$

12. فسر البيانات يوضح الجدول الآتي قيم ثابت الاتزان عند ثلاث درجات حرارة مختلفة. في أي منها يكون تركيز النواتج أكبر؟ فسر إجابتك.

ثابت الاتزان ودرجات الحرارة		
373 K	273 K	263 K
4.500	0.500	0.0250

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

3–2

الأهداف

- **تصف** العوامل المتعددة التي تؤثر في الاتزان الكيميائي.
- **تفسر** كيف يطبق مبدأ لوتشاتلييه على أنظمة في حالة اتزان.

مراجعة المفردات

سرعة التفاعل: التغير في تركيز متفاعل أو ناتج في وحدة الزمن. ويحسب عادةً بوحدة مول لكل لتر في الثانية.

المفردات الجديدة

مبدأ لوتشاتلييه

العوامل المؤثرة في الاتزان الكيميائي

Factors Affecting Chemical Equilibrium

الفكرة الرئيسة **عندما تطرأ تغييرات على نظام متزن يزاح إلى موضع اتزان جديد.**

الربط مع الحياة عندما يتساوى الطلب على منتج ما مع المعروض من هذا المنتج يبقى السعر ثابتًا. أما إذا زاد الطلب على المنتج فإن سعر المنتج سوف يزيد. ويصبح السعر ثابتًا مرة أخرى عندما يصل العرض والطلب إلى حالة اتزان. وهذا يشبه تصرف الأنظمة في حالة الاتزان.

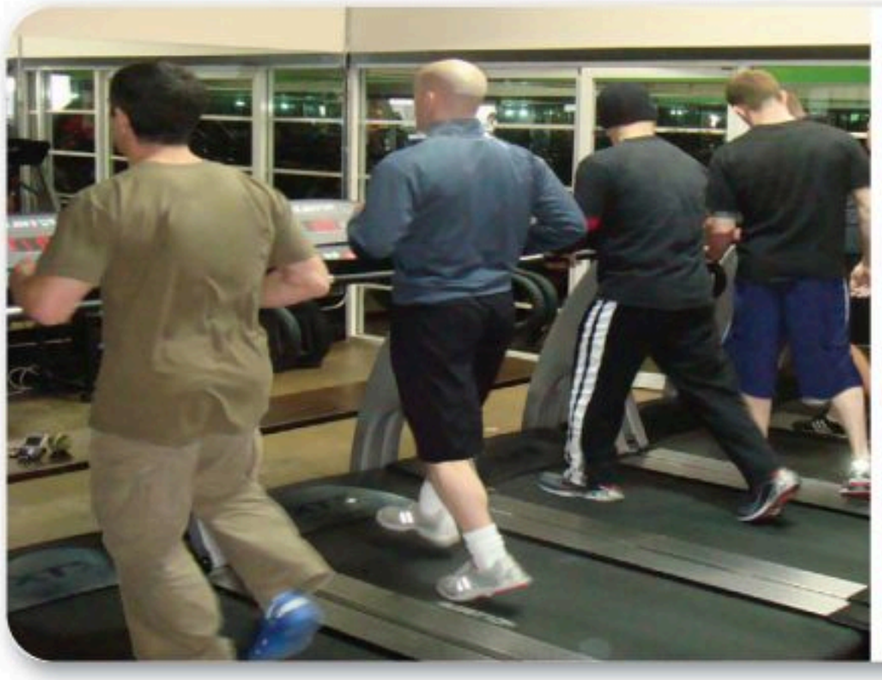
مبدأ لوتشاتلييه Le Châtelier's Principle

افترض أن غازي الهيدروجين وأول أكسيد الكربون من النواتج الجانبية لعملية صناعية. وأن الكيميائيين في الشركة يعتقدون أنه يمكن دمج الغازين لإنتاج وقود الميثان CH_4. فعند وضع كل من غاز أول أكسيد الكربون CO وغاز الهيدروجين H_2 في وعاء مغلق عند درجة حراره 1200 K، يصل التفاعل الطارد للحرارة ($\Delta H = -206.5\ kJ$) إلى حالة الاتزان.

$$\underset{0.30000\ M}{CO_{(g)}} + \underset{0.10000\ M}{3H_{2(g)}} \rightleftharpoons \underset{0.05900\ M}{CH_{4(g)}} + \underset{0.02000\ M}{H_2O_{(g)}} \quad \Delta H^\circ = -206.5\ kJ$$

$$K_{eq} = \frac{[CH_4][H_2O]}{[CO][H_2]^3} = \frac{(0.05900)(0.02000)}{(0.30000)(0.10000)^3} = 3.933$$

ولأن تركيز الميثان 0.0590 mol /L قليل جدًّا فإنه لا يمكن استعماله عمليًّا. فهل يمكن لعلماء الكيمياء التحكم في موضع الاتزان للحصول على كمية أكبر من الميثان؟ يشبه هذا عدّاءً يركض على آلة المشي، كما في **الشكل 10–3**، فإذا زادَ العداء سرعة الآلة فإن عليه زيادة سرعته للعودة إلى حالة الاتزان.



الشكل 10-3 يزيد العداء من سرعة آلة المشي تدريجيًّا. لذا عليه عند كل زيادة أن يزيد سرعة ركضه ليحقق اتزانه على الآلة مرة أخرى. وبشكل مماثل يمكن لعالم الكيمياء تغيير ظروف التفاعل عند الاتزان لزيادة كمية النواتج.

المطويات

أضف معلومات من هذا القسم إلى مطويتك.

في عام 1888م اكتشـف العالم الفرنسي هنـري لويس لوتشـاتلييه Le chatielier أن هناك طرائق للتحكم في الاتزان لجعل التفاعل أكثر إنتاجًا. وقد طرح ما يسمى الآن **مبدأ لوتشاتلييه**: إذا بُذل جهد عـلى نظام في حالة اتزان فإن ذلك يؤدي إلى إزاحة النظام في اتجاهٍ يخفف أثر هذا الجهد. والجهد هو أي تغيير يؤثر في اتزان نظام معين.

تطبيق مبدأ لوتشاتلييه Applying Le Châtelier's Principle

كيف يمكن للكيميائي الصناعي تطبيق مبدأ لوتشاتلييه لزيادة إنتاج الميثان؟ إنه يحتاج إلى تعديل أي من العوامل التي من شأنها أن تؤدي إلى إزاحة الاتزان نحو النواتج في التفاعل.

التغير في التركيز يؤثر تغيير تراكيز النواتـج أو المتفاعلات في الاتزان؛ إذ تنص نظرية التصادم على أن الجسيمات يجب أن تتصادم حتى تتفاعل، وأنّ عدد التصادمات بين جسيمات المواد المتفاعلة يعتمد على تركيزها. إذن من الممكن أن يغير الكيميائي الاتزان بتغيير التراكيز.

إضافة مواد متفاعلة إذا أضيفت كمية من أول أكسيد الكربون إلى وعاء التفاعل وزادت تركيزه من 0.300 M إلى 1.00 M، فسيؤدي ذلك إلى زيادة عدد التصادمات الفعالة بين جزيئات غاز أول أكسـيد الكربون CO وجزيئات غاز الهيدروجين H_2، ويؤثر ذلك في اتزان التفاعل؛ إذ تزيد سرعة التفاعل الأمامي، كما هو موضح من السهم الأطول الذي يشير نحو اليمين في معادلة التفاعل .

$$CO_{(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_{4(g)} + H_2O_{(g)}$$

مـع الوقت، تقل سرعة التفاعل الأمامي مع انخفاض تركيز كل من CO و H_2، وفي الوقت نفسـه تزداد سرعة التفاعل العكسي، مع إنتاج المزيد من CH_4 و H_2O حتى يصل التفاعل إلى موضع اتزان جديد (موضع 2).

$$\underset{0.99254\ M}{CO_{(g)}} + \underset{0.07762\ M}{3H_{2(g)}} \rightleftharpoons \underset{0.06648\ M}{CH_{4(g)}} + \underset{0.02746\ M}{H_2O_{(g)}}$$

$$K_{eq} = \frac{[CH_4][H_2O]}{[CO][H_2]^3} = \frac{(0.06648)(0.02746)}{(0.99254)(0.07762)^3} = 3.933$$

لاحـظ أن قيمة K_{eq} لا تتغير، وأن موضع الاتزان الجديد قد حقق النتائج المرجوة، حيث زاد تركيز الميثان. ويبين **الجدول 2-3** ملخصًا لنتائج هذه التجربة.

هل كان يمكنك توقع هذه النتيجة باسـتعمال مبدأ لوتشـاتلييه؟ نعم، يعتبر مبدأ لوتشاتلييه زيادة تركيز CO جهدًا مبذولاً على الاتزان، فيسـتجيب نظام الاتزان لهذا الجهد باسـتهلاك CO بسرعة أكبر. وتسـمى هذه الاسـتجابة إزاحةً نحو اليمين، وإنتاج المزيد من CH_4 و H_2O. لذا تؤدي أي زيادة في تركيز أي من المتفاعلات إلى الإزاحة نحو اليمين وزيادة النواتج.

تجربة عملية

التفاعلات الانعكاسية

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

الجدول 2-3 عند الاتزان للتفاعل $CO_{(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_{4(g)} + H_2O_{(g)}$

موضع الاتزان	$[CO]_{eq}$ (M)	$[H_2]_{eq}$ (M)	$[CH_4]_{eq}$ (M)	$[H_2O]_{eq}$ (M)	K_{eq}
1	0.30000	0.10000	0.05900	0.02000	3.933
2	0.99254	0.07762	0.06648	0.02746	3.933



الشكل 11-3 يعرف التاجر المواد الموجودة في متجره كل حين، ولذلك عندما يقل المخزون فإنه يعوّضه.

فسر هذا التشبيه في ضوء مبدأ لوتشاتلييه.

إزالة النواتج افترض أنه بدل زيادة أي من المتفاعلات قرر الكيميائي إزالة الماء H_2O الناتج عن التفاعل بإضافة مجفف- مادة تمتص الماء - إلى وعاء التفاعل. وفق مبدأ لوتشاتلييه ماذا يمكن أن يحدث للاتزان استجابة لنقصان تركيز الماء؟ سوف تتم إزاحة الاتزان نحو الاتجاه الذي يزيد من تركيز الماء مرة أخرى. وهذا يعني إزاحة الاتزان نحو اليمين وتكوين المزيد من النواتج.

فكر كيف تبقى رفوف المتاجر مملوءة بالمنتجات، كما في **الشكل 11-3**. عندما يشتري الزبائن المواد فإن أحد الموظفين يعوض تناقص المنتجات على الرفوف. وبشكل مشابه يعيد تفاعل الاتزان الماء الذي تمت إزالته؛ حيث يزيد إنتاج الماء لتعويض النقص. في أي نظام متزن تؤدي إزالة أي كمية من أي من النواتج إلى إزاحة الاتزان نحو الجهة اليمنى، وإنتاج المزيد من النواتج.

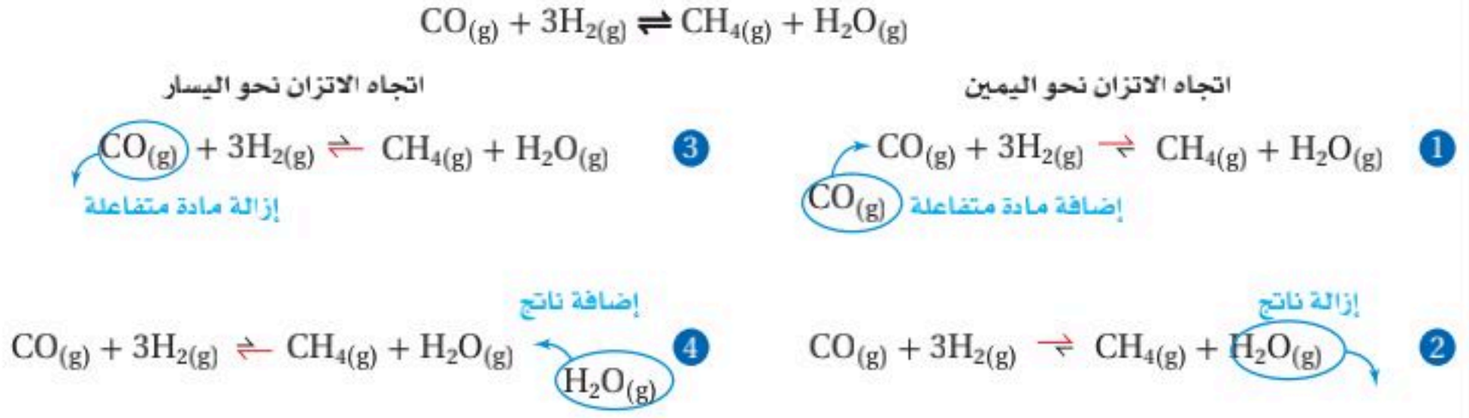
إضافة النواتج يمكن أيضًا إزاحة موضع الاتزان نحو اليسار في اتجاه المتفاعلات؛ إذ يتوقع مبدأ لوتشاتلييه أنه إذا تمت إضافة أحد النواتج إلى تفاعل في حالة اتزان فإن ذلك يؤدي إلى إزاحة الاتزان نحو اليسار، ومن ثم تخفيف الجهد بتحويل النواتج إلى متفاعلات. كما أنه إذا تم إزالة أحد المتفاعلات فسوف يحدث إزاحة مشابهة نحو اليسار. لتتوقع أثر جهد ما على الاتزان باستعمال مبدأ لوتشاتلييه، ارجع إلى معادلة التفاعل. يلخص **الشكل 12-3** تأثير تغيير التراكيز في الاتزان.

ماذا قرأت؟ **صف** اتجاه الاتزان عند إزالة مادة متفاعلة.

التغير في الحجم والضغط انظر إلى تفاعل تكوين الميثان الموضح بالمعادلة الكيميائية:

$$CO_{(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_{4(g)} + H_2O_{(g)}$$

هل يمكن دفع التفاعل لتكوين المزيد من الميثان عن طريق تغير حجم وعاء التفاعل؟ افترض أن حجم الوعاء يمكن تغييره عن طريق مكبس، كما هو موضح في **الشكل 13-3**، إذا تم تحريك المكبس إلى أسفل يقل حجم الوعاء. حيث إن تقليل الحجم عند درجة حرارة ثابتة يزيد الضغط. إذن يمثل هذا الضغط الزائد جهدًا مبذولاً على التفاعل المتزن. كيف يستجيب الاتزان لهذا التغير في الضغط؟ وكيف يخفف من هذا التغير؟

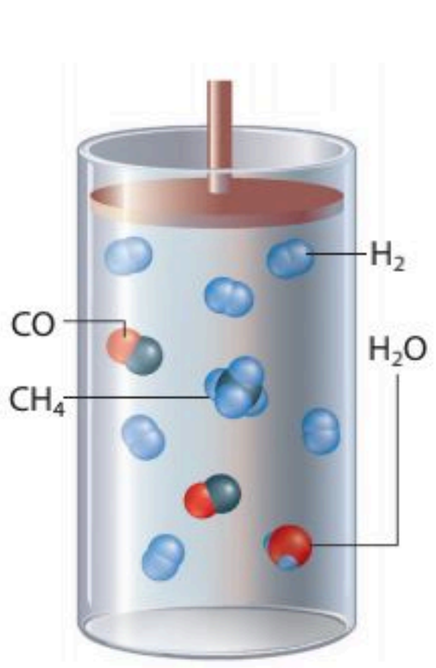


الشكل 12-3 تعمل إضافة أو إزالة إحدى النواتج أو إحدى المتفاعلات على إزاحة الاتزان نحو الاتجاه الذي يخفف الجهد. لاحظ الأسهم غير المتساوية التي تدل على اتجاه الإزاحة.

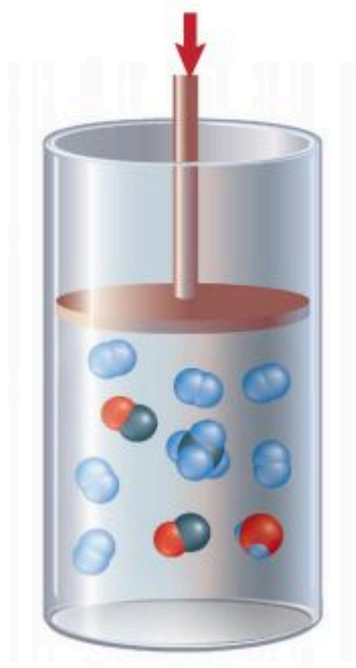
صف كيف يتم إزاحة الاتزان إذا أضيفت كمية من H_2 أو أزيلت كمية من CH_4.

الشكل 13-3 في التفاعل بين CO و H_2 عند درجة حرارة ثابتة، فإن تغيير حجم الوعاء يغير تراكيز الغازات المتفاعلة والناتجة، كما تؤدي زيادة الضغط إلى إزاحة الاتزان نحو اليمين، ومن ثم زيادة كمية النواتج.

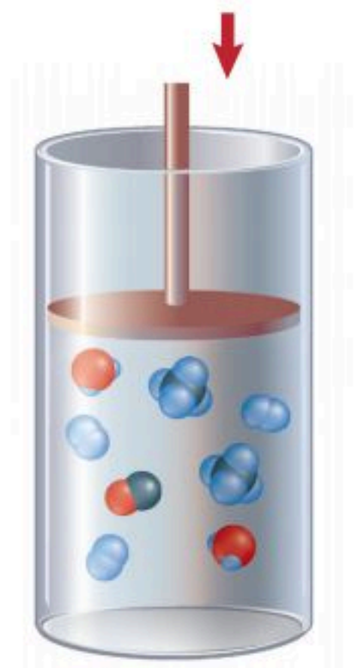
قارن بين عدد جزيئات الناتج في الصورة اليمنى وعددها في الجهة اليسرى.



التفاعل بين CO و H_2 في حالة اتزان



ضغط المكبس إلى أسفل يقلل حجم الوعاء ويزيد الضغط.



يتكون المزيد من جزيئات النواتج نتيجة اختلاف حجم الوعاء والضغط، مما يخفف من الجهد على النظام.

يعتمد الضغط المبذول بواسطة الغاز المثالي على عدد جسيمات الغاز التي تتصادم مع جدران الوعاء. كلما زاد عدد جسيمات الغاز في الوعاء ازداد الضغط. كما أنه إذا زاد عدد جسيمات الغاز في درجة حرارة ثابتة زاد ضغط الغاز، وإذا قل عدد جسيمات الغاز قل الضغط. كيف تطبق العلاقة بين عدد جسيمات الغاز والضغط على تفاعل تكوين غاز الميثان؟

عدد مولات المتفاعلات مقابل عدد مولات النواتج قارن بين عدد مولات المتفاعلات الغازية في المعادلة بعدد مولات النواتج الغازية. يتم استهلاك أربعة مولات من المتفاعلات الغازية لتكوين مولين من النواتج الغازية؛ حيث يقل العدد الكلي مولين. إذا طبقت مبدأ لوتشاتلييه أمكنك ملاحظة أن الاتزان يخفف الجهد الواقع عليه من زيادة الضغط في الاتجاه نحو اليمين حيث عدد المولات الأقل. يوضح **الشكل 13-3** أن هذه الإزاحة تقلل عدد المولات الكلي للغاز، لذا يقل الضغط داخل وعاء التفاعل. رغم أن الإزاحة نحو اليمين لا تقلل الضغط إلى قيمته الأصلية، إلا أنها تعطي التأثير المطلوب، وهو تكوُّن المزيد من الميثان. يؤدي تغيير حجم (وضغط) نظام في حالة اتزان إلى إزاحة الاتزان فقط إذا كان عدد مولات المتفاعلات الغازية تختلف عن عدد مولات النواتج الغازية. أما إذا تساوت أعداد مولات الغازات على طرفي المعادلة فإن تغيير الحجم والضغط لا يؤثران في الاتزان.

تغير درجة الحرارة أي تغير في درجات الحرارة يغير موضع وثابت الاتزان. تذكر أن معظم التفاعلات الكيميائية إمَّا ماصّة للحرارة أو طاردة لها. فمثلاً يحظى تفاعل تكوين الميثان بـ ΔH° سالبة، وهذا يعني أن التفاعل الأمامي طارد للحرارة والتفاعل العكسي ماصّ للحرارة.

$$CO_{(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_{4(g)} + H_2O_{(g)} \quad \Delta H^\circ = -206.5\ kJ$$

في هذه الحالة يمكن اعتبار الحرارة ناتجًا في التفاعل الأمامي ومتفاعلاً في التفاعل العكسي.

$$CO_{(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_{4(g)} + H_2O_{(g)} + \text{حرارة}$$

تجربة عملية

الاتزان

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

الحـرارة وموضع الاتزان إذا أضيفت كمية من الحرارة إلى نظام متزن فإن الاتزان - وفقًا لمبدأ لوتشـاتلييه - يتجه نحو الاتجاه الذي تسـتهلك فيه الحرارة. لذا يزاح الاتزان نحو اليسار، ويقلل من تركيز الميثان CH_4. أما خفض درجة الحرارة فيؤدي إلى إزاحة الاتزان نحو اليمين؛ لأن التفاعل الأمامي ينتج طاقة ويقلل من الجهد، لذا تنتج كمية أكبر من الميثان.

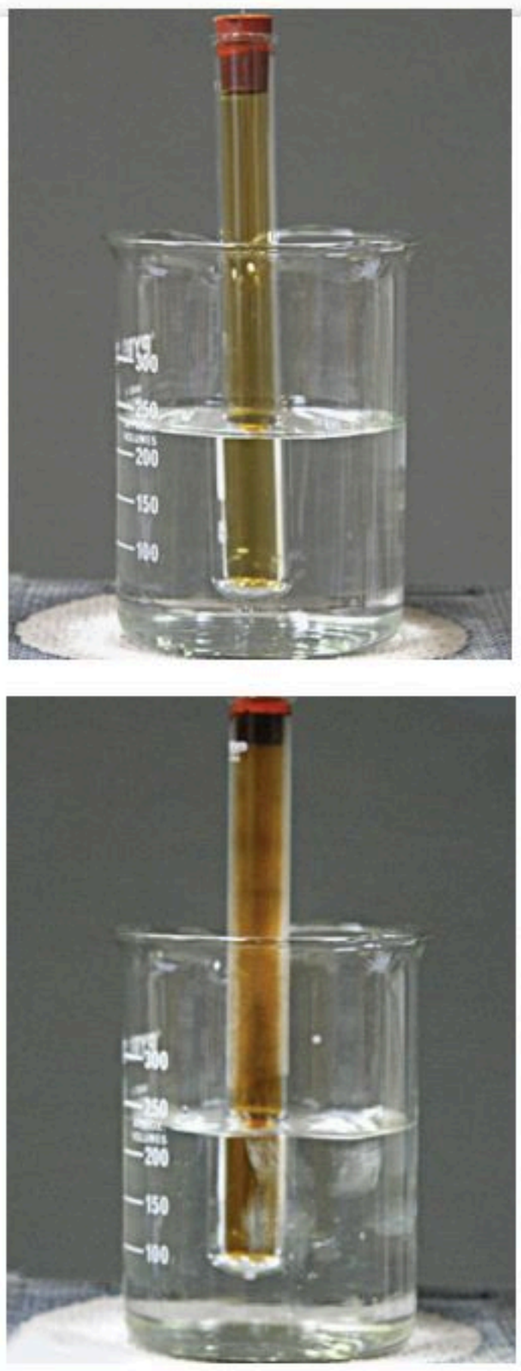
درجة الحرارة و K_{eq} ينتج عن أي تغيير في درجة الحرارة تغير في K_{eq}، وكلما زادت قيمة K_{eq} كان الناتج في خليط الاتزان أكبر. ولذلك فإنه في تفاعل إنتاج الميثان تزداد K_{eq} عندما تنخفض درجة الحرارة، وتنخفض قيمة K_{eq} عند ارتفاع درجة الحرارة.

التحول بين رابع أكسـيد ثنائي النيتروجين N_2O_4 وثاني أكسـيد النيتروجين NO_2 يسـتجيب للتغيرات في درجة الحرارة بشكل ملحوظ. ويمكن وصف هذا الاتزان الماص للحرارة في المعادلة الآتية:

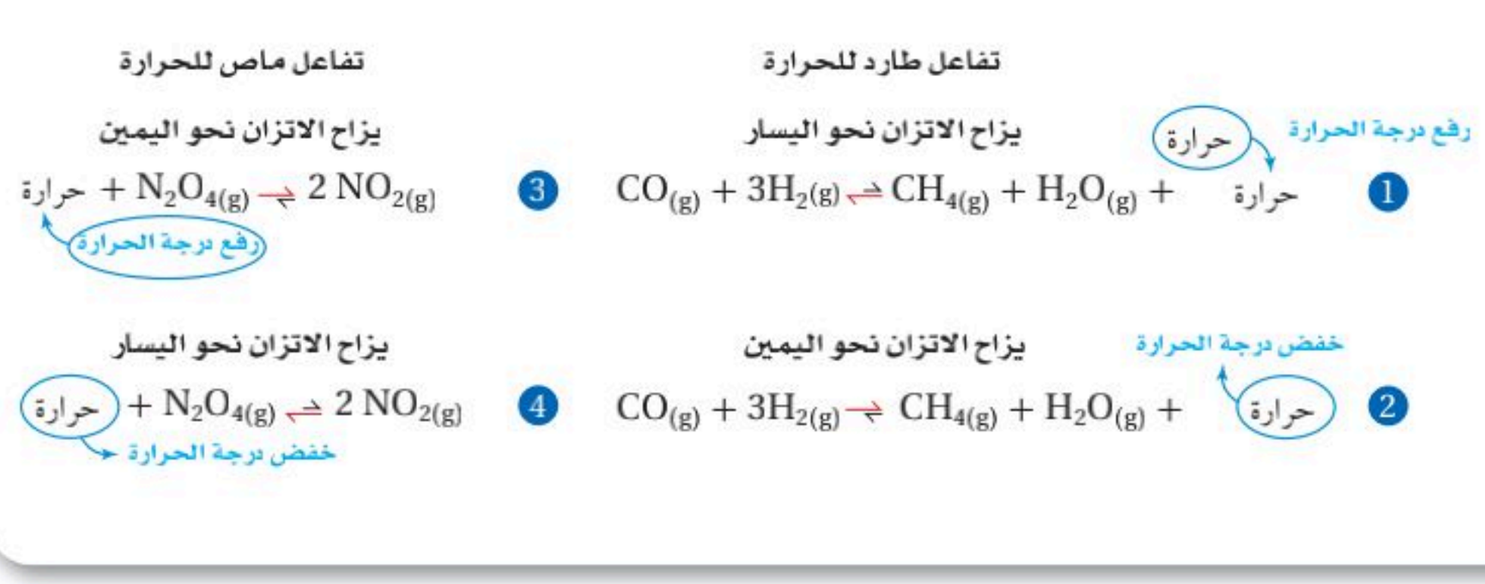
$$N_2O_{4(g)} \rightleftharpoons 2NO_{2(g)} \qquad \Delta H^\circ = 55.3\ kJ$$

N_2O_4 غاز لا لون له، و NO_2 غاز بني اللون. يوضـح **الشكل 14-3** لـون مزيج الاتـزان، عندما يبرد في حمام مـاء بارد يصبح لونه أخف مقارنـة بلونه عندما يسـخن المزيج في حمام ماء سـاخن. عند إزالة الحرارة بالتبريـد يزاح الاتزان نحو اليسار، وينتج المزيد من غاز لا لون له N_2O_4 . أما عند إضافة الحرارة فيزاح الاتزان نحـو اليمين وينتج المزيد مـن غاز NO_2 البني اللون. يوضح **الشـكل 15-3** تأثير التسخين والتبريد في التفاعلات التي درستها.

العوامـل المحفّـزة والاتزان تختلف كمية النواتـج المتكونة في التفاعل عند تغير التركيز أو الحجم أو الحرارة. هل يمكن للعامل المحفّز أن يؤثر هو الآخر في تركيز النواتج؟ يعمل العامل المحفّز على زيادة سرعة التفاعل بالتساوي في كلا الاتجاهين، ولهذا يصل التفاعل مع وجود العامل المحفز أسرع إلى حالة الاتزان، دون تغير كمية النواتج المتكونة.



الشـكل 14-3 يـزاح الاتـزان في اتجـاه التفاعـل الماصّ للحـرارة نحـو اليمـين، وهـذا مـن شـأنه أن يزيد من إنتـاج NO_2 (لونـه بني غامـق)، بينما يصبـح لـون مزيج التفاعـل أخف عند وضعـه في حمـام المـاء البـارد؛ لأن الاتزان يزاح في اتجاه التفاعل الطارد للحـرارة نحو اليسـار؛ إذ يزداد تحول NO_2 إلى N_2O_4 الذي لا لون له.



الشـكل 15-3 عـند رفـع درجة حرارة التفـاعل الطـارد للحـرارة بيـن CO و H_2، ينـزاح الاتـزان نحـو اليسـار(معادلة 1)، وعنـد خفض درجة الحرارة ينزاح الاتزان نحـو اليمـين (معادلة 2)، والعكـس صحيـح للتفاعـل الـماص للحـرارة بين NO و N_2O_4 (المعادلتين 3 و4).

تجربة

التغير في موضع الاتزان

كيف يعمل الاتزان على تعديل وضعه عند حدوث تغير في حالة الاتزان؟

الخطوات

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. ضع حوالي 2 mL من محلول كلوريد الكوبلت II $CoCl_2$ الذي تركيزه 0.1M في أنبوب اختبار. سجل لون المحلول.
3. أضف حوالي 3 mL من حمض الهيدروكلوريك HCl المركز إلى أنبوب الاختبار، سجل لون المحلول.

تحذير: HCl يحرق الجلد والملابس.

4. أضف كمية كافية من الماء إلى أنبوب الاختبار حتى يتغير لون المحلول، وسجل اللون الناتج.
5. أضف قرابة 2 mL من محلول كلوريد الكوبلت II 0.1M إلى أنبوب اختبار آخر. وأضف HCl المركز تدريجيًّا (نقطة واحدة كل مرة) بحذر، إلى أن يتحول لون المحلول إلى البنفسجي. إذا أصبح لون المحلول أزرق فأضف الماء حتى يتحول إلى اللون البنفسجي.
6. ضع أنبوب الاختبار في حمام ماء بارد، ورُش عليه بعض ملح المائدة، وسجل لون المحلول في أنبوب الاختبار.
7. ضع أنبوب الاختبار في حمام ماء ساخن، واستعمل الثرمومتر غير الزئبقي لقياس درجة الحرارة التي يجب أن تكون 70 °C على الأقل، وسجل لون المحلول.

التحليل

1. **فسر** استعمل معادلة التفاعل أدناه لتفسير ملاحظاتك حول اللون في الخطوات 4-2.

$$Co(H_2O_6)^{2+} + 4Cl^- \rightleftharpoons CoCl_4^{2-} + 6H_2O$$

أرجواني أزرق

2. **صف** كيف يزاح الاتزان عند إضافة طاقة أو إزالتها؟
3. **فسّر** من ملاحظاتك حول اللون في الخطوات (6 و7) ما إذا كان التفاعل ماصًّا للحرارة أم طاردًا للحرارة؟

التقويم 3-2

الخلاصة

- مبدأ لوتشاتلييه يصف كيفية إزاحة الاتزان عند الاستجابة لجهد أو تغيير.
- عند إزاحة الاتزان استجابة إلى تغير التركيز أو الحجم يتغير موضع الاتزان، ولكن K_{eq} يبقى ثابتًا، أما التغير في درجة الحرارة فيغيرّ موضع الاتزان وقيمة K_{eq}.

13. الفكرة الرئيسة فسر كيف يستجيب النظام في حالة الاتزان للجهد؟ واذكر العوامل التي تؤثر في نظام متزن.

14. فسر كيف يؤثر تقليل حجم وعاء التفاعل في كل نظام اتزان مما يأتي؟

a. $2SO_{2(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2SO_{3(g)}$

b. $H_{2(g)} + Cl_{2(g)} \rightleftharpoons 2HCl_{(g)}$

15. قرر ما إذا كان رفع درجة الحرارة أو خفضها ينتج المزيد من CH_3CHO في معادلة الاتزان الآتية:

$$C_2H_{2(g)} + H_2O_{(g)} \rightleftharpoons CH_3CHO_{(g)} \qquad \Delta H^\circ = -151\ kJ$$

16. وضح يظهر الجدول تراكيز مادتين A وB في خليطي تفاعل، يتفاعلان حسب المعادلة $2A \rightleftharpoons B$ و $K_{eq} = 200$. هل المزيجان عند موضعي اتزان مختلفين؟

التركيز mol/l		
تفاعل	[A]	[B]
1	0.0100	0.0200
2	0.0500	0.400

17. صمم خريطة مفاهيمية توضح طرائق تطبيق مبدأ لوتشاتلييه لزيادة النواتج في نظام اتزان وزيادة المتفاعلات في النظام نفسه.

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

3–3

استعمال ثوابت الاتزان
Using Equilibrium Constants

الأهداف

- **تحدد** تراكيز المتفاعلات والنواتج عند الاتزان.
- **تحسب** ذائبية مركب من ثابت حاصل الذائبية.
- **تفسر** تأثير الأيون المشترك.

مراجعة المفردات

الذائبية: الكمية القصوى من المذاب التي تذوب في كمية من المذيب عند درجة حرارة وضغط محددين.

المفردات الجديدة

ثابت حاصل الذائبية

الأيون المشترك

تأثير الأيون المشترك

الفكرة الرئيسة **يمكن استعمال تعبير ثابت الاتزان في حساب تراكيز المواد في التفاعل وذوبانيتها.**

الربط مع الحياة لعلك جلست يومًا في المقعد الخلفي للسيارة الممتلئ بعدد من أصدقائك؟ أنت تدرك أن هناك حدًّا لعدد الأشخاص الذين يستطيعون الجلوس في المقعد. تواجه المركبات الأيونية الحالة نفسها عند ذوبانها في المحلول.

حساب التراكيز عند الاتزان Calculating Equilibrium Concentrations

كيف يمكن استعمال تعبير ثابت الاتزان في حساب تركيز ناتج ما، إذا كانت قيمة ثابت الاتزان K_{eq} لتفاعل تكون غاز الميثان CH_4 من تفاعل غاز الهيدروجين H_2 مع غاز أول أكسيد الكربون CO تساوي 3.933 عند درجة حرارة 1200 K؟ يمكنك حساب تركيز الميثان CH_4 إذا كانت تراكيز H_2O و CO و H_2 معروفة.

$$CO_{(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_{4(g)} + H_2O_{(g)}$$

$$0.850\ M \quad 1.333\ M \quad ?M \quad 0.286\ M$$

$$K_{eq} = \frac{[CH_4][H_2O]}{[CO][H_2]^3}$$

للحصول على $[CH_4]$ اضرب طرفي المعادلة في $[H_2]^3[CO]$ واقسم الطرفين على $[H_2O]$

$$[CH_4] = K_{eq} \times \frac{[CO][H_2]^3}{[H_2O]}$$

عوض التراكيز المعروفة وقيمة $K_{eq} = 3.933$

$$[CH_4] = 3.933 \times \frac{(0.850)(1.333)^3}{(0.286)} = 27.7\ mol/L$$

هل الكمية الناتجة ذات جدوى اقتصادية بحيث يمكن تحويل المتبقي من CO و H_2 إلى ميثان؟ هذا يعتمد على تكلفة الميثان. يوضح **الشكل 16–3** عبّارة تنقل الغاز الطبيعي إلى الموانئ حول العالم.



الشكل 16-3 تحمل ناقلات النفط كميات كبيرة من الغاز الطبيعي حول العالم لسد الاحتياجات الصناعية والمنزلية. يستعمل الغاز الطبيعي (الميثان) للتدفئة والطبخ.

مثال 4-3

حساب تراكيز الاتزان يتفكك كبريتيد الهيدروجين الذي يتميز برائحة كريهة تشبه رائحة البيض الفاسد عند 1405 K إلى هيدروجين وجزيء كبريت بحسب المعادلة الآتية: $2H_2S_{(g)} \rightleftharpoons 2H_{2(g)} + S_{2(g)}$

ما تركيز غاز الهيدروجين عند الاتزان إذا كان ثابت الاتزان يساوي 2.27×10^{-3} وتركيز $[H_2S] = 0.184\ mol/L$، و $[S_2] = 0.0540\ mol/L$؟

1 تحليل المسألة

لقد أُعطيت قيمة ثابت الاتزان K_{eq} وتركيزي مادتين من ثلاثة، لذا تستطيع حل معادلة الاتزان وحساب $[H_2]$. ولأن قيمة K_{eq} أقل من واحد فإن هناك متفاعلات أكثر من النواتج في خليط الاتزان. لذا تستطيع أن تتوقع أن يكون $[H_2]$ أقل من 0.184 mol /L، وهو تركيز المتفاعل H_2S.

المعطيات

$K_{eq} = 2.27 \times 10^{-3}$

$[S_2] = 0.0540\ mol/L$

$[H_2S] = 0.184\ mol/L$

المطلوب

$[H_2] = ?\ mol/L$

2 حساب المطلوب

ضع تعبير ثابت الاتزان

$$K_{eq} = \frac{[H_2]^2[S_2]}{[H_2S]^2}$$

حل المسألة لإيجاد $[H_2]$

$$[H_2]^2 = K_{eq} \times \frac{[H_2S]^2}{[S_2]}$$

اضرب كلا الطرفين في $[H_2S]^2$ ثم اقسمها على $[S_2]$

أوجد الجذر التربيعي

$$[H_2] = \sqrt{K_{eq} \times \frac{[H_2S]^2}{[S_2]}}$$

عوض $K_{eq} = 2.27 \times 10^{3-}$ و $[H_2S] = 0.184 mol/L$

$[S_2] = 0.0540 mol/L$

$$[H_2] = \sqrt{(2.27 \times 10^{-3}) \times \frac{(0.184)^2}{(0.0540)}}$$

اضرب واقسم

$[H_2] = 0.0377\ mol/L$

تركيز الاتزان لـ H_2 هو 0.0377mol /L

3 تقويم الإجابة

الإجابة صحيحة، وكما هو متوقع تركيز H_2 عند الاتزان أقل من 0.184mol /L.

مسائل تدريبية

18. ينتج الميثانول عن تفاعل أول أكسيد الكربون مع الهيدروجين: $CO_{(g)} + 2H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_3OH_{(g)}$، فإذا كان $K_{eq} = 10.5$ عند درجة حرارة محددة، فاحسب التراكيز الآتية:

a. $[CO]$ في خليط اتزان يحتوي على 0.933 mol /L H_2 و 1.32 mol /L CH_3OH

b. $[H_2]$ في خليط اتزان يحتوي على 1.09 mol /L CO و 0.325 mol /L CH_3OH

c. $[CH_3OH]$ في خليط اتزان يحتوي على 0.0661 mol / L H_2 و 3.85 mol / L CO

19. تحفيز في التفاعل العام $A+B \rightleftharpoons C+D$ إذا سُمح لـ 1.0 mol / L من A بالتفاعل مع 1.0 mol / L من B في دورق حجمه 1L إلى أن يصلا إلى حالة اتزان. فإذا كان تركيز A عند الاتزان 0.450 mol / L، فما تراكيز المواد الأخرى عند الاتزان؟ وما قيمة K_{eq}؟



الشكل 17-3 المياه في البحيرات الكبيرة المالحة أكثر ملوحة من مياه البحر. ويزيد التركيز العالي للملح من كثافة الماء بشكل كافٍ يسمح للناس بالطفو على سطحه.

ثابت حاصل الذائبية The Solubility Product Constant

بعض المركبات الأيونية – ومنها كلوريد الصوديوم – يذوب بسرعة في الماء، وبعضها الآخر – ومنها كبريتات الباريوم $BaSO_4$ – يذوب قليلاً في الماء. عند الذوبان تتفكك جميع المركبات الأيونية إلى أيونات.

$$NaCl_{(s)} \rightarrow Na^{+}_{(aq)} + Cl^{-}_{(aq)}$$

بسبب الذائبية العالية لكلوريد الصوديوم NaCl، تحتوي المحيطات وبعض البحيرات على كميات كبيرة من الملح. يوضح **الشكل 17-3** كمية كبيرة من ملح الطعام نتجت عن جفاف جزء من مياه إحدى البحيرات.

في بعض الأحيان تكون الذائبية المنخفضة مهمة أيضًا؛ فرغم أنَّ أيونات الباريوم مادة سامة للإنسان إلا أنه يجب أن يشرب المرضى كبريتات الباريوم قبل التعرض للأشعة السينية لأخذ صور للجهاز الهضمي . هل يمكن أن يشرب المريض $BaSO_4$ بشكل آمن؟ تتفكك كبريتات الباريوم في الماء وفقًا للمعادلة الآتية:

$$BaSO_{4(s)} \rightarrow Ba^{2+}_{(aq)} + SO_4{}^{2-}_{(aq)}$$

وحين تتكون الأيونات الناتجة يبدأ التفاعل العكسي.

$$BaSO_{4(s)} \leftarrow Ba^{2+}_{(aq)} + SO_4{}^{2-}_{(aq)}$$

ومع الوقت يصل التفاعل إلى حالة الاتزان.

$$BaSO_{4(s)} \rightleftharpoons Ba^{2+}_{(aq)} + SO_4{}^{2-}_{(aq)}$$

تكون سرعة الذوبان للمركبات القليلة الذوبان – ومنها $BaSO_4$ – متساوية عندما تكون تراكيز الأيونات صغيرة إلى أقصى حد. ومع ذلك يكون المحلول عند الاتزان محلولاً مشبعًا.

كتابة تعبير ثابت حاصل الذائبية يسمى تعبير ثابت الاتزان للمركبات القليلة الذوبان **"ثابت حاصل الذائبية"**، وهو ناتج ضرب تراكيز الأيونات الذائبة كلٌّ منها مرفوع لأس يساوي معاملها في المعادلة الكيميائية. إن تركيز المادة النقية يعبر عن

كثافتها بوحدة mol /L، ويكون ثابتًا عند درجة حرارة محددة. ولذلك يتم حذف المواد الصلبة والسوائل النقية في الاتزان غير المتجانس من تعابير ثوابت الاتزان .

والآن تستطيع كتابة تعبير ثابت حاصل الذائبية لكبريتات الباريوم الذائبة في الماء، إذا كان K_{sp} لهذه العملية 1.1×10^{-10} عند درجة حرارة 298 K.

$$K_{sp} = [Ba^{2+}][SO_4^{2-}] = 1.1 \times 10^{-10}$$

يدل مقدار قيمة K_{sp} الصغير لـ $BaSO_4$ على أن النواتج لا تزداد تراكيزها عند الاتزان؛ فتركيز أيونات الباريوم عند الاتزان 1.0×10^{-5} M، مما يمكّن المريض من تناول محلول كبريتات الباريوم بأمان، انظر **الشكل 18-3**. وعلى سبيل المثال أيضًا، ثابت حاصل الذائبية لمضادّ الحموضة هيدروكسيد الماغنسيوم $Mg(OH)_2$:

$$Mg(OH)_{2(s)} \rightleftharpoons Mg^{2+}_{(aq)} + 2OH^-_{(aq)}$$

$$K_{sp} = [Mg^{2+}][OH^-]^2$$

تعتمد قيمة K_{sp} فقط على تراكيز الأيونات في المحلول المشبع. إلَّا أنَّ بعض المواد الصلبة غير الذائبة مهما بلغ قلة كميتها يجب أن تكون موجودة في خليط الاتزان.

ويعرض **الجدول 3-3** ثوابت حاصل الذائبية لنواتج بعض المركبات الأيونية. لاحظ أن جميعها أرقام صغيرة. لذا تقاس ثوابت حاصل الذائبية للنواتج وتسجل للمركبات القليلة الذوبان فقط.



الشكل 18-3 هناك احتمال أفضل للتشخيص عند التعرض للأشعة السينية في منطقة المعدة عند شرب المريض خليطًا لزجًا يحتوي على كبريتات الباريوم، وهي مادة سامة. ولكن لأن ذوبانيتها قليلة فكمية قليلة منها يمكن أن تذوب في جسم المريض دون أي ضرر.

الجدول 3-3 ثوابت حاصل الذائبية عند 298 K

المركب	K_{sp}	المركب	K_{sp}	المركب	K_{sp}
الكربونات		**الهاليدات**		**الهيدروكسيدات**	
$BaCO_3$	2.6×10^{-9}	CaF_2	3.5×10^{-11}	$Al(OH)_3$	4.6×10^{-33}
$CaCO_3$	3.4×10^{-9}	$PbBr_2$	6.6×10^{-6}	$Ca(OH)_2$	5.0×10^{-6}
$CuCO_3$	2.5×10^{-10}	$PbCl_2$	1.7×10^{-5}	$Cu(OH)_2$	2.2×10^{-20}
$PbCO_3$	7.4×10^{-14}	PbF_2	3.3×10^{-8}	$Fe(OH)_2$	4.9×10^{-17}
$MgCO_3$	6.8×10^{-6}	PbI_2	9.8×10^{-9}	$Fe(OH)_3$	2.8×10^{-39}
Ag_2CO_3	8.5×10^{-12}	AgCl	1.8×10^{-10}	$Mg(OH)_2$	5.6×10^{-12}
$ZnCO_3$	1.5×10^{-10}	AgBr	5.4×10^{-13}	$Zn(OH)_2$	3×10^{-17}
Hg_2CO_3	3.6×10^{-17}	AgI	8.5×10^{-17}	**الكبريتات**	
الكرومات		**الفوسفات**		$BaSO_4$	1.1×10^{-10}
$BaCrO_4$	1.2×10^{-10}	$AlPO_4$	9.8×10^{-21}	$CaSO_4$	4.9×10^{-5}
$PbCrO_4$	2.3×10^{-13}	$Ca_3(PO_4)_2$	2.1×10^{-33}	$PbSO_4$	2.5×10^{-8}
Ag_2CrO_4	1.1×10^{-12}	$Mg_3(PO_4)_2$	1.0×10^{-24}	Ag_2SO_4	1.2×10^{-5}

استعمال ثابت حاصل الذائبية تم تحديد ثابت حاصل الذائبية للنواتج الموجودة في **الجدول 3-3** عن طريق إجراء تجارب. وتعد قيم K_{sp} مهمة؛ لأنه يمكن استعمالها في تحديد ذائبية المركبات القليلة الذوبان. تذكـــر أن ذائبية مركب ما في الماء تعني كمية المادة التي تتفـــكك في حجم معين من الماء عند درجة حرارة معينة.

افترض أنك تريد حســـاب ذائبية يوديد الفضة AgI بوحـــدة mol /L عند 298 K، إذا عرفت أنّ معادلة الاتزان وصيغة ثابت حاصل الذائبية هما:

$$AgI_{(s)} \rightleftharpoons Ag^{+}_{(aq)} + I^{-}_{(aq)}$$

$$K_{sp} = [Ag^+][I^-] = 8.5 \times 10^{-17} \quad \text{عند} \quad 298\ K$$

يمكن الإشارة إلى ذائبية يوديد الفضة AgI بـ s، وهي عدد مولات AgI التي تذوب في 1L من المحلول. وبالنظـــر إلى معادلة الاتزان نجد أنه لكل مول من AgI يذوب عدد مســـاو من المولات من أيونات Ag^+ التي تتكون في المحلول. لذا $[Ag^+]$ يساوي s. وكل أيون Ag^+ له أيون مصاحب I^-، لذا $[I^-]$ يساوي s. عند التعويض بـ s بدلاً من $[Ag^+]$ و $[I^-]$، تصبح صيغة K_{sp} كالآتي:

$$[Ag^+][I^-] = (s)(s) = s^2 = 8.5 \times 10^{-17}$$

$$s = \sqrt{8.5 \times 10^{-17}} = 9.2 \times 10^{-9}\ mol/L$$

ذائبية AgI هي 9.2×10^{-9} mol /L عند 298 K.

مثال 5-3

حساب الذائبية المولارية استعمل قيمة K_{sp} في **الجدول 3-3** لحساب ذائبية كربونات النحاس II $CuCO_3$ بوحدة mol /L عند 298 K.

1 تحليل المسألة

لقد أُعطيت ثابت حاصل الذائبية لـ $CuCO_3$. تمثـــل تراكيز أيون النحاس وأيون الكربونات علاقة واحد – إلى واحد مع الذائبية المولارية لـ $CuCO_3$. استعمل s لتمثيل الذائبية لـ $CuCO_3$، ثم استعمل صيغة ثابت حاصل الذائبية لإيجاد الذائبية. ولأن K_{sp} في صـــورة 10^{-10}، لذا يمكنك توقع أن تكون الذائبية المولارية تســـاوي الجذر التربيعي لـ K_{sp} أو حوالي 10^{-5}.

المعطيات

$K_{sp} = CuCO_3 = 2.5 \times 10^{-10}$

المطلوب

$s = ?\ mol/l$

2 حساب المطلوب

ضع معادلة كيميائية لاتزان الذائبية.

$$CuCO_{3(s)} \rightleftharpoons Cu^{2+}_{(aq)} + CO_3^{2-}{}_{(aq)}$$

ضع صيغة ثابت حاصل الذائبية.

$$K_{sp} = [Cu^{2+}][CO_3^{2-}] = 2.5 \times 10^{-10}$$

اربط $[Cu^{2+}]$ و $[CO_3^{2-}{}_{(aq)}]$ بذائبية $CuCO_3$

$$s = [Cu^{2+}] = [CO_3^{2-}]$$

عوض S بدلاً من $[Cu^{2+}]$ و $[CO_3^{2-}]$

$$(s)(s) = s^2 = 2.5 \times 10^{-10}$$

حل لإيجاد S واحسب الإجابة

$$s = \sqrt{2.5 \times 10^{-10}} = 1.6 \times 10^{-5}\ mol/L$$

3 تقويم الإجابة

كما هو متوقع، الذائبية المولارية لـ $CuCO_3$ حـوالي 10^{-5} mol/L

مسائل تدريبية

20. استعمل البيانات في **الجدول 3-3** لحساب الذائبية المولارية mol / L للمركبات الأيونية الآتية عند درجة حرارة 298 K .

a. $PbCrO_4$ b. AgCl c. $CaCO_3$

21. تحفيز إذا علمت أن K_{sp} لكربونات الرصاص $PbCO_3$ يساوي 7.40×10^{-14} عند 298 K، فما ذائبية كربونات الرصاص g /L؟

مثال 6-3

حساب تركيز الأيون هيدروكسيد الماغنسيوم مادة صلبة بيضاء يمكن الحصول عليها من مياه البحر واستعمالها في صنع الكثير من الأدوية الطبية. وخصوصًا في الأدوية التي تعمل على معادلة حموضة المعدة الزائدة. احسب تركيز أيون الهيدروكسيد في محلول هيدروكسيد الماغنسيوم المشبع $Mg(OH)_2$ عند 298 K، إذا علمت أن $K_{sp} = 5.6 \times 10^{-12}$.

1 تحليل المسألة

لقد أُعطيت K_{sp} لـ $Mg(OH)_2$، عدد مولات أيونات Mg^{+2} في المحلول تساوي عدد مولات $Mg(OH)_2$ الذائبة. ولكن عدد مولات أيونات OH^- في المحلول تساوي ضعفي عدد مولات $Mg(OH)_2$ الذائبة. يمكنك استعمال هذه العلاقات لكتابة صيغة ثابت حاصل الذائبية في صورة متغير واحد. ولأن صيغة ثابت حاصل الذائبية معادلة تكعيبية، يمكنك توقع أن $[OH^-]$ تساوي تقريبًا الجذر التكعيبي لـ 10^{-12} أو حوالي 10^{-4}.

المعطيات

$K_{sp} = 5.6 \times 10^{-12}$

المطلوب

$[OH^-] = ?\ mol/L$

2 حساب المطلوب

اكتب معادلة كيميائية موزونة للاتزان

$$Mg(OH)_{2(s)} \rightleftharpoons Mg^{2+}_{(aq)} + 2OH^-_{(aq)}$$

ضع تعبير K_{sp}

$$K_{sp} = [Mg^{2+}][OH^-]^2 = 5.6 \times 10^{-12}$$

لتكن $x = [Mg^{2+}]$ ولأن هناك أيونين OH^- لكل أيون Mg^{+2} فإن $2x = [OH^-]$

عوض عن $2x = [OH^-]$ $x = [Mg^{2+}]$

$$(x)(2x)^2 = 5.6 \times 10^{-12}$$

ربع الحدود

$$(x)(4)(x)^2 = 5.6 \times 10^{-12}$$

اجمع الحدود

$$4x^3 = 5.6 \times 10^{-12}$$

اقسم

$$x^3 = \frac{5.6 \times 10^{-12}}{4} = 1.4 \times 10^{-12}$$

استعمل الآلة الحاسبة لإيجاد الجذر التكعيبي

$$x = [Mg^{2+}] = \sqrt[3]{1.4 \times 10^{-12}} = 1.1 \times 10^{-4}\ mol/L$$

اضرب $[Mg^{+2}]$ في 2 للحصول على $[OH^-]$

$$[OH^-] = 2[Mg^{2+}] = 2(1.1 \times 10^{-4}\ mol/L) = 2.2 \times 10^{-4}\ mol/L$$

3 تقويم الإجابة كما هو متوقع $[OH^-]$ حوالي 10^{-4} mol /L

مسائل تدريبية

22. استعمل قيم K_{sp} الموجودة في **الجدول 3-3** لحساب:

a. $[Ag^+]$ في محلول AgBr عند الاتزان. **b.** $[F^-]$ في محلول مشبع من CaF_2 c. $[Ag^+]$ في محلول من Ag_2CrO_4 عند الاتزان.

23. احسب ذائبية Ag_3PO_4 ($K_{sp} = 2.6 \times 10^{-18}$).

24. تحفيز إذا كانت ذائبية كلوريد الفضة 1.86×10^{-4} g /100 g = AgCl في الماء عند درجة حرارة 298 K. احسب K_{sp} لـ AgCl.

الشكل 19-3 لأن ثابت الأيون الناتج Q_{sp} أكبر من K_{sp} يمكنك أن تتوقع أن $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$ سيكون راسبًا.



توقع الرواسب إذا تم خلط أحجام متساوية من محاليل مائية تركيز كل منها 0.10M من كلوريد الحديد III $FeCl_3$ مثلاً، وسداسي سيانو حديد II البوتاسيوم $K_4[Fe(CN)_6]$ يتكون راسب، كما هو مبين في **الشكل** 19-3. ربما يحدث تفاعل الإحلال المزدوج الآتي:

$$4FeCl_3 + 3K_4[Fe(CN)_6] \rightarrow 12KCl + Fe_4[Fe(CN)_6]_3$$

يمكنك أن تستعمل K_{sp} لتتوقع ما إذا سيتكوّن راسب عند خلط أي محلولين أيونيين.

في التفاعل السابق، يمكن أن يتكون راسب في حال أن الناتج KCl أو $Fe_4[(Fe(CN)_6]_3$ له ذائبية قليلة. تعرف أن KCl مركب ذائب، لذا لا يمكنه أن يترسب، ولكن K_{sp} لـ $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$ يكون رقمًا صغيرًا جدًّا وهو 3.3×10^{-41}، وهو ما قد يجعل $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$ يترسب إذا كانت تراكيز أيوناته كبيرة بشكل كافٍ. ماذا نعني بكبيرة بشكل كافٍ؟

قد يحدث اتزان بين الراسب الصلب $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$ وأيوناته في المحلول، كما هو مبين في المعادلة:

$$Fe_4[Fe(CN)_6]_{3(s)} \rightleftharpoons 4Fe^{3+}_{(aq)} + 3Fe(CN)_6^{4-}{}_{(aq)}$$

فعند خلط محاليل $FeCl_3$ و $K_4[Fe(CN)_6]$، وإذا كانت تراكيز أيونات Fe^{3+} و $Fe(CN)_6^{4-}$ أكبر من تراكيزها الناتجة في المحلول المشبع لـ $Fe_4[Fe(CN_6)]_3$ فسيزاح الاتزان في هذه الحالة نحو اليسار، وسوف يترسب $Fe_4[Fe(CN_6)]_3$. ولتوقع تكوُّن راسب عند خلط محلولين عليك أولاً أن تحسب تراكيز الأيونات.

ماذا قرأت؟ **وضح** الظروف التي تمكّنك من توقع تكون راسب.

حساب تراكيز الأيون يوضح **الجدول** 4-3 تراكيز أيونات المتفاعلات والنواتج في المحاليل الأصلية 0.10 M $K_4Fe(CN)_6$ و 0.10 M $FeCl_3$)، وأيضًا في الخليط فور خلط المحلولين بحجوم متساوية. لاحظ أن $[Cl^-]$ أكبر ثلاث مرات من $[Fe^{3+}]$؛ لأن نسبة Cl^- إلى Fe^{3+} في $FeCl_3$ هي 3:1. ولاحظ أيضًا أن $[K^+]$ أكبر أربع مرات من $[Fe(CN)_6^{4-}]$؛ لأن نسبة K^+ إلى $Fe(CN)_6^{4-}$ هي 4:1. لاحظ أن تركيز كل أيون في الخليط هو نصف تركيزه الأصلي؛ لأنه عند خلط حجمين متساويين من محلولين فإن عدد الأيونات نفسه سوف يذوب في ضعف الحجم الأصلي؛ لذلك يقل التركيز بمقدار النصف.

والآن يمكنك استعمال البيانات الموجودة في الجدول لتحاول معرفة ما إذا كانت تراكيز Fe^{3+} و $Fe(CN)_6^{4-}$ في محلول لخليط من كليهما تفوق قيمة K_{sp} عند تعويضهما في تعبير ثابت ذائبية الناتج. $K_{sp} = [Fe^{3+}]^4[Fe(CN)_6^{4-}]^3$

تذكر أنك لم تحدد ما إذا كان المحلول مشبعًا أم لا، لذا فإن ناتج عملية التعويض لا يكون بالضرورة ثابت حاصل الذائبية الناتج، ولكنه يسمى الحاصل

الجدول 4-3 تراكيز الأيونات

المحلول الأصلي mol/L	الخليط mol/L
$[Fe^{3+}] = 0.10$	$[Fe^{3+}] = 0.050$
$[Cl^-] = 0.30$	$[Cl^-] = 0.15$
$[K^+] = 0.40$	$[K^+] = 0.20$
$[Fe(CN)_6^{4-}] = 0.10$	$[Fe(CN)_6^{4-}] = 0.050$

الأيوني Q_{sp}، وهو قيمة مجرّبة نستطيع مقارنتها بـ K_{sp}

$$Q_{sp} = [Fe^{3+}]^4[Fe(CN)_6^{4-}]^3 = (0.050)^4(0.050)^3 = 7.8 \times 10^{-10}$$

يمكنــك الآن مقارنة Q_{sp} بـ K_{sp}. ومن هذه المقارنة يمكن أن نســتنتج إحدى ثلاثة أمور: Q_{sp} أقل من K_{sp} ، أو مساو لـ K_{sp} ، أو أكبر من K_{sp}.

1. إذا كان $Q_{sp} < K_{sp}$ فإن المحلول غير مشبع، ولا يتكون راسب.
2. إذا كان $Q_{sp} = K_{sp}$ فإن المحلول مشبع، ولا يحدث تغير.
3. إذا كان $Q_{sp} > K_{sp}$، فسوف يتكون راســب، وتقل تراكيز الأيونات في المحلول حتى يصبح ناتج ضرب تراكيز الأيونات في تعبير K_{sp} يساوي القيمة العددية لـ K_{sp}. ويكون النظام في حالة اتزان، والمحلول مشبعًا.

في حالة الاتزان لـ $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$، يكون Q_{sp} الذي يساوي 7.8×10^{-10} أكبر من K_{sp} الذي يســاوي 3.3×10^{-41} ، فيتكون راسب أزرق غامق اللون، هو $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$، كما هو موضح في **الشكل** 19-3.

مثال 7-3

توقع تكون راسب توقع ما إذا ســيتكون راســب $PbCl_2$ عند إضافة 100 mL من 0.0100 M NaCl إلى 100 mL من $Pb(NO_3)_2$ 0.0200 M علمًا بأن K_{sp} للمركب يساوي 1.7×10^{-5}.

1 تحليل المسألة

لقد أعطيت حجمين متســاويين من محلولين تركيزهما معلومان. تســمح لك التراكيز الأولية للمحاليل بحســاب تراكيز أيونات Pb^{+2} و Cl^- في المحلول الناتج عن خلطهما.

المعطيات

100 mL من 0.0100 M NaCl

100 mL من $Pb(NO_3)_2$ 0.0200 M

$K_{sp} = 1.7 \times 10^{-5}$

المطلوب

$Q_{sp} > K_{sp}$?

2 حساب المطلوب

ضع معادلة ذوبان $PbCl_2$

$$PbCl_{2(s)} \rightleftharpoons Pb^{2+}_{(aq)} + 2Cl^-_{(aq)}$$

ضع صيغة Q_{sp}

$$Q_{sp} = [Pb^{2+}][Cl^-]^2$$

مزج المحاليل يخفف تركيزها إلى النصف.

اقسم $[Pb^{+2}_{(aq)}]$ على 2

$$[Pb^{2+}] = \frac{0.0200M}{2} = 0.0100M$$

اقسم $[Cl^-]$ على 2

$$[Cl^-] = \frac{0.0100M}{2} = 0.00500M$$

عوض عن $[Pb^{2+}] = 0.0100M$ و $[Cl^-] = 0.00500M$

$$Q_{sp} = (0.0100)(0.00500)^2 = 2.5 \times 10^{-7}$$

قارن Q_{sp} بـ K_{sp}

$$Q_{sp}\ (2.5 \times 10^{-7}) < K_{sp}\ (1.7 \times 10^{-5})$$

لذا لا يتكون الراسب

3 تقويم الإجابة

Q_{sp} أقل من K_{sp} . الأيونات Cl^- و Pb^{2+} لا توجد بتراكيز عالية بقدر كافٍ في المحلول لتكون راسبًا.

مسائل تدريبية

25. استعمل قيم K_{sp} من **الجدول 3–4** لتتوقع ما إذا سيتكون راسب عند خلط كميات متساوية من المحاليل الآتية:

a. $0.030\ M\ NaF$ و $0.10\ M\ Pb(NO_3)_2$

b. $0.010\ M\ AgNO_3$ و $0.25\ M\ K_2SO_4$

26. تحفيز هل يتكون راسب عند إضافة $250\ mL$ من $0.20\ M\ MgCl_2$ إلى $750\ mL$ من $0.0025\ M\ NaOH$ ؟

تأثير الأيون المشترك The Common Ion Effect

ذائبية كرومات الرصاص $PbCrO_4$ في الماء تساوي $4.8 \times 10^{-7}\ mol/L$ عند درجة الحرارة $298\ k$. وهذا يعني أنك تستطيع تفكيك وإذابة $4.8 \times 10^{-7}\ mol$ من $PbCrO_4$ في $1.00\ L$ من الماء النقي. ولكنك لا تستطيع إذابة $4.8 \times 10^{-7}\ mol$ من $PbCrO_4$ عند درجة الحرارة نفسها في $1.00L$ من محلول كرومات البوتاسيوم K_2CrO_4 الذي تركيزه $0.1M$.

لماذا يعد $PbCrO_4$ أقل ذائبية في المحلول المائي لـ K_2CrO_4 مقارنة بذائبيته في الماء النقي؟

معادلة اتزان الذائبية لـ $PbCrO_4$، وتعبير ثابت حاصل الذائبية:

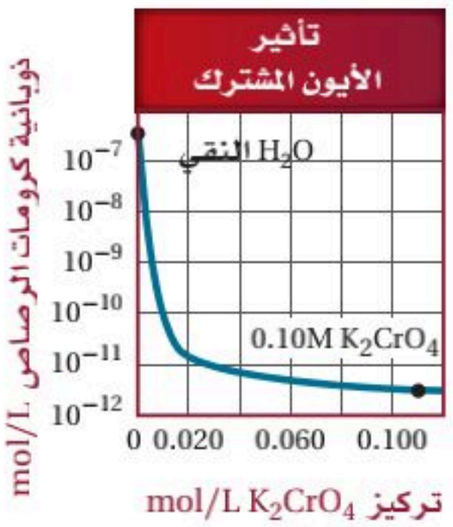
$$PbCrO_{4(s)} \rightleftharpoons Pb^{2+}_{(aq)} + CrO_4^{2-}{}_{(aq)}$$

$$K_{sp} = [Pb^{2+}][CrO_4^{2-}] = 2.3 \times 10^{-13}$$

تذكـــر أن K_{sp} ثابت عند أي درجة حرارة معطاة، لذا إذا ازداد تركيز Pb^{2+} أو تركيز CrO_4^{2-} في نظام متزن فإن تركيز الأيون الآخر ســوف يقل؛ لأن ناتج ضرب تراكيز الأيونين يساوي دائماً K_{sp}. فمحلول K_2CrO_4 يحتوي على أيونات CrO_4^{2-} قبل أن تتم إذابة $PbCrO_4$. وفي هذا المثال أيون CrO_4^{2-} يسمى أيونًا مشتركًا؛ لأنه جزء من المركبين K_2CrO_4 و $PbCrO_4$.

يوضح **الشـــكل 20–3** أثر الأيون المشـــترك CrO_4^{2-} في ذائبية $PbCrO_4$. **الأيون المشترك** هو أيون يدخل في تركيب اثنين أو أكثر من المركبات الأيونية. ويسمى انخفاض ذائبية المادة بسبب وجود أيون مشترك **تأثير الأيون المشترك**.

الشـكل 20-3 تقل ذائبية كرومات الرصاص كلما زاد تركيز محلول كرومات البوتاسيوم الذائبة فيه. التغير ناتج عن وجود أيون CrO_4^{2-} في كل من كرومات الرصاص وكرومات البوتاسيوم.



النقي H_2O : $[Pb^{2+}] = 4.8 \times 10^{-7}\ mol/L$

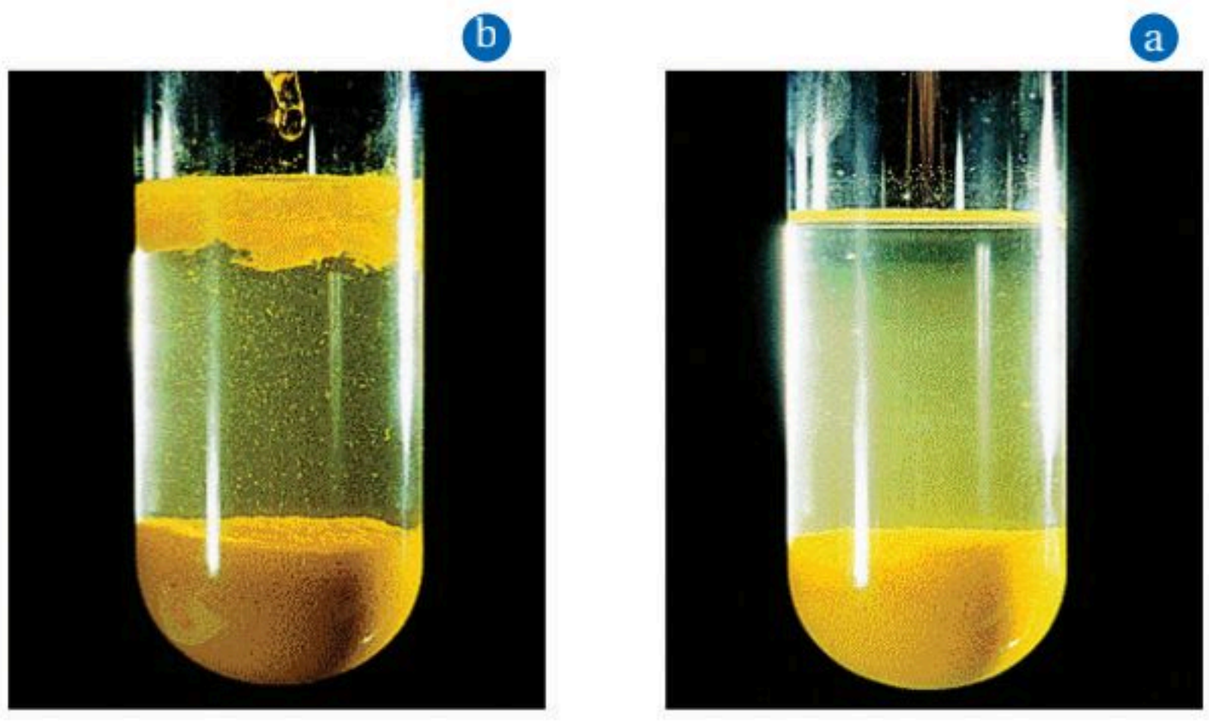
$[CrO_4^{2-}] = 4.8 \times 10^{-7}\ mol/L$

0.10M K_2CrO_4: $[Pb^{2+}] = 2.3 \times 10^{-12}\ mol/L$

$[CrO_4^{2-}] = 1.00 \times 10^{-1}\ mol/L$

اختبار الرسم البياني؟

تـحقق أنّ K_{sp} لا يتغـــير مع زيـــادة تركيز كرومات البوتاسيوم.



الشكل 21-3 يوضح تأثير إضافة أيونات الكرومات في ذائبية كرومات الرصاص. عند إضافة أيونات Pb^{2+} في صورة نترات الرصاص $Pb(NO_3)_2$ فإنها تؤثر أيضًا في ذائبية كرومات الرصاص. في الصورة a. $PbCrO_{4(s)}$ في حالة اتزان مع أيوناته في المحلول. في الصورةb. يتأثر الاتزان عند إضافة $Pb(NO_3)_2$، مما يؤدي إلى تكون المزيد من راسب $PbCrO_4$.

تطبيق مبدأ لوتشاتلييه يوضح الشكل a 21-3 المحلول المشبع لكرومات الرصاص $PbCrO_4$. لاحظ المادة الصلبة الصفراء $PbCrO_4$ في قاع الكأس؛ فهي في حالة اتزان مع المحلول، كما هو موضح في المعادلة الآتية:

$$PbCrO_{4(s)} \rightleftharpoons Pb^{2+}_{(aq)} + CrO_4^{2-}{}_{(aq)}$$

عندما يضاف محلول من $Pb(NO_3)_2$ إلى محلول مشبع من $PbCrO_4$ يترسب المزيد من $PbCrO_4$ الصلب، كما هو موضح في الشكل b 21-3؛ وذلك لأن أيونات Pb^{+2} المشتركة بين المادتين $Pb(NO_3)_2$ و $PbCrO_4$ تقلل من ذائبية $PbCrO_4$. هل يمكن تفسير ترسيب $PbCrO_4$ وفقًا لمبدأ لوتشاتلييه ؟

إنَّ إضافة أيون Pb^{2+} إلى اتزان الذائبية يزيد من جهد الاتزان. ولإزالة الجهد يزاح الاتزان نحو اليسار لتكوين المزيد من الراسب الصلب $PbCrO_4$.

يلعب تأثير الأيون المشترك أيضًا دورًا عند تناول $BaSO_4$ من أجل أخذ أشعة سينية للجهاز الهضمي. إن الذائبية المنخفضة لـ $BaSO_4$ تساعد على التأكد من أن كمية أيون الباريوم السام الممتص من قبل الجهاز الهضمي للمريض قليلة لدرجة غير مؤذية. ولمزيد من الوقاية يتم إضافة كبريتات الصوديوم Na_2SO_4، وهو مركب أيوني ذائب يوفر الأيون المشترك SO_4^{2-} .

$$BaSO_{4(s)} \rightleftharpoons Ba^{2+}_{(aq)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)}$$

بحسب مبدأ لوتشاتلييه فإن أيون SO_4^{-2} الذي مصدره Na_2SO_4 يعمل على إزاحة الاتزان نحو اليسار لإنتاج المزيد من $BaSO_4$ الصلب، ويقلل عدد أيونات Ba^{2+} الضارة في المحلول.

مختبر حل المشكلات

تطبيق التفسيرات العلمية

كيف يمنع أيون الفلوريد تسوس الأسنان؟ إنّ أغلب الناس يستعملون معجون أسنان يحتوي على فلوريد الصوديوم، أو فلوريد القصدير II. استعمل معرفتك بذائبية المركبات الأيونية والتفاعلات العكسية لكشف دور أيون الفلوريد في حفظ الأسنان من التسوس.



التحليل

تتكون مينا الأسنان من 98% من هيدروكسي الأباتيت $Ca_5(PO_4)_3OH$. وعلى الرغم من أنه مادة غير ذائبة في الماء $K_{sp} = 6.8\times10^{-37}$ إلاّ أنّ تحلل المينا ينتج عن ذوبان هيدروكسي الأباتيت، وخصوصًا عندما يحتوي اللعاب على أحماض. أما عملية بناء مينا الأسنان فهي عملية عكسية تحدث عندما يوجد هيدروكسي الأباتيت في محلول مع أيونات الفلوريد؛ إذ يحدث تفاعل إحلال مزدوج يحل فيه أيون الفلوريد محل أيون الهيدروكسيد لتكوين فلوروأباتيت $Ca_5(PO_4)_3F$، $K_{sp} = 1\times10^{-60}$. يعيد الفلوروأباتيت بناء مينا الأسنان، ولذلك فإنه يحل جزئيًا محل هيدروكسي الأباتيت، حيث الفلوروأباتيت أقل ذائبية من هيدروكسيد الأباتيت فتقل عملية هدم المينا وإتلافها.

التفكير الناقد

1. **اكتب** معادلة ذوبان هيدروكسي الأباتيت وتعبير ثابت الاتزان له. كيف تختلف الظروف في الفم عن الظروف في الاتزان الفعلي؟
2. **اكتب** معادلة تصف تفاعل الإحلال المزدوج الذي يحدث بين هيدروكسي الأباتيت وفلوريد الصوديوم.
3. **احسب** ذائبية هيدروكسي الأباتيت والفلوروأباتيت في الماء، ثم قارن ذوبانيتها.

التقويم 3-3

الخلاصة

- التراكيز عند الاتزان والذائبية يمكن حسابها باستعمال تعبير ثابت الاتزان.
- يصف K_{sp} الاتزان بين مركب أيوني قليل الذائبية وأيوناته في محلول.
- إذا كان الحاصل الأيوني Q_{sp} أكبر من K_{sp} عند خلط محلولين فسوف يتكون راسب.
- وجود الأيون المشترك في محلول يقلل ذائبية المادة المذابة.

27. الفكرة الرئيسة **اكتب** المعلومات التي تحتاج إليها لحساب تركيز ناتج في خليط التفاعل عند الاتزان.

28. فسر كيف تستخدم ثابت حاصل الذائبية في حساب ذائبية مركب أيوني قليل الذوبان؟

29. صف كيف يقلل وجود الأيون المشترك ذائبية المركب الأيوني؟

30. وضح الفرق بين K_{sp} و Q_{sp}. وهل يعد Q_{sp} ثابت اتزان؟

31. احسب ذائبية كربونات الماغنسيوم $MgCO_3$ في الماء النقي إذا كان K_{sp} يساوي 2.6×10^{-9}.

32. صمم تجربة اعتمادًا على الذائبية لتوضح أي الأيونين Mg^{2+} أو Pb^{2+} يوجد في محلول مائي.

الكيمياء والصحة

ارتفاع الهيموجلوبين إلى مستوى التحدي

عندما يسافر الناس إلى أماكن جبلية يشعرون عادة بالتعب، ويصابون بدوار. والسبب في ذلك أن هواء الجبل يحتوي على القليل من جزيئات الأكسجين، كما هو موضح في **الشكل** 1. ومع مرور الوقت يقل الإعياء؛ لأن الجسم يتكيَّف مع هذا النقص في الأكسجين بإنتاج المزيد من البروتين الذي يسمى الهيموجلوبين.

اتزان الهيموجلوبين–أكسجين Hemoglobin–oxgygen equilibriun

يرتبط الهيموجلوبين Hgb بجزيئات الأكسجين التي تدخل دورة الدم في جسمك منتجةً الهيموجلوبين المؤكسد $Hgb(O_2)_4$. ويمكن تمثيل اتزان Hgb و O_2 في المعادلة الآتية:

$$Hgb_{(aq)} + 4O_{2(g)} \rightleftharpoons Hgb(O_2)_{4(aq)}$$

في الرئتين عندما تتنفس تتحرك جزيئات الأكسجين إلى دمك، ويستجيب الاتزان للجهد باستهلاك جزيئات الأكسجين بسرعة عالية. ويتم إزاحة الاتزان نحو اليمين، ويزداد تركيز $Hgb\ (O_2)_4$ في الدم.

$$Hgb_{(aq)} + 4O_{2(g)} \rightharpoonup Hgb(O_2)_{4(aq)}$$

في الأنسجة عندما يصل $Hgb(O_2)_4$ إلى أنسجة الجسم التي يكون فيها تركيز الأكسجين منخفضًا يزاح الاتزان نحو اليسار، ويتحرر الأكسجين ليسمح لحدوث عملية الأيض التي من شأنها توليد الطاقة.

$$Hgb_{(aq)} + 4O_{2(g)} \rightleftharpoons Hgb(O_2)_{4(aq)}$$



الشكل 2 على قمة إفرست، يمكن للمتسلق الصعود إلى المخيم II، ثم ينزل إلى المخيم الارضي، ثم يصعد إلى المخيم III؛ استعدادًا للوصول إلى أعلى القمة.

في الجبال In the mountains يستجيب الاتزان لجهد هواء الجبال بإنتاج الأكسجين بسرعة عالية. ويتم إزاحة الاتزان إلى اليسار محرّرًا جزيئات الأكسجين في الرئة، تاركًا القليل من الهيموجلوبين المؤكسج في الدم

$$Hgb_{(aq)} + 4O_{2(g)} \rightleftharpoons Hgb(O_2)_{4(aq)}$$

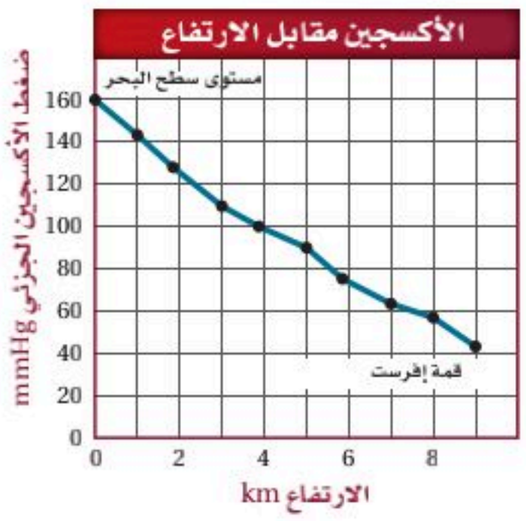
تركيز الهيموجلوبين المؤكسج المنخفض في الدم يعني أن جزيئات الأكسجين تحررت في أجزاء أخرى من الجسم. ولأن مقدار الطاقة الناتج قليل فإنك تشعر بالإعياء.

تكيفات الجسم The body adjusts يستجيب جسمك لتركيز الأكسجين المنخفض عن طريق إنتاج المزيد من الهيموجلوبين. يُعرف جزء من هذه العملية بالتأقلم؛ إذ يعمل المزيد من الهيموجلوبين على إزاحة الاتزان نحو اليمين

$$Hgb_{(aq)} + 4O_{2(g)} \rightharpoonup Hgb(O_2)_{4(aq)}$$

يعني التركيز المتزايد لـ $Hgb(O_2)_{4(aq)}$ أن المزيد من جزيئات الأكسجين تنطلق في أنسجة الجسم. يوضح **الشكل** 2 أين يمكن للمتسلقين أن يعوّدوا أجسامهم على الارتفاعات العالية قبل البدء في صعود القمة.

الكتابة في الكيمياء **ابحث** عن أزمة الاختناق عند النوم، كيف يمكن لحدوث الاختناق أن يؤثر في اتزان هيموجلوبين الجسم؟ للمزيد من المعلومات ارجع إلى المواقع الإلكترونية في الشبكة العنكبوتية.



الشكل 1 يكون الضغط الجزئي لـ O_2 في القمة أكثر انخفاضًا. وكل نفَس يستنشقه الإنسان يحتوي على جزيئات O_2 قليلة.

مختبر الكيمياء

المقارنة بين ثابتي حاصل الذائبية

الخلفية من خلال ملاحظة تكون راسبين في النظام نفسه يمكن استنتاج العلاقة بين ذائبية مركبين أيونيين والقيم العددية لثوابت حاصل الذائبية لهما K_{sp}.

سؤال كيف تستطيع استعمال مبدأ لوتشاتلييه لتقويم الذائبية النسبية لراسبين؟

المواد والأدوات اللازمة

محلول $AgNO_3$ محلول NaCl

محلول Na_2S طبق تفاعلات بلاستيكي ذو 24 أو 32 فجوة

3 قطارات رفيعة الساق (مادة بديلة للطبق: أنابيب اختبار)

إجراءات السلامة

تحذير: نترات الفضة عالية السمية، وتخلّف بقعًا على الجلد و الملابس. كبريتيد الصوديوم مهيج للجلد، و يجب إبقاؤه بعيدًا عن الأحماض.

خطوات العمل

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. ضع 10 قطرات من محلول $AgNO_3$ في الفجوة A1 من طبق التفاعلات. وضع 10 قطرات من المحلول نفسه في الفجوة A2.
3. أضف 10 قطرات من محلول NaCl إلى الفجوة A1 و 10 قطرات في الفجوة A2.
4. دع الرواسب تتكون، ولاحظ الفجوات من أعلى ومن الجانب، وسجل ملاحظاتك.
5. أضف 10 قطرات من محلول Na_2S إلى الفجوة A2.
6. دع الراسب يتكون، وسجل ملاحظاتك عنه.
7. قارن محتوى الفجوتين A1، و A2، وسجل ملاحظاتك.
8. **التخلص من النفايات** استعمال قارورة الغسل لنقل محتوى طبق التفاعلات البلاستيكي إلى وعاء النفايات.

التحليل والاستنتاج

1. **حلل** اكتب المعادلة الكاملة للتفاعل الذي حدث عند مزج NaCl و $AgNO_3$ في الخطوة 3، واكتب المعادلة الأيونية النهائية.



2. **حلل** اكتب تعبير ثابت حاصل الذائبية للاتزان الذي نشأ في الفجوتين A1 و A2 في خطوة 3.
3. **حلل** اكتب معادلة للاتزان الذي نشأ في الفجوة A2 عندما أضفت Na_2S.
4. **تعرَّف** الراسبين من خلال اللون.
5. **قارن** قيم K_{sp} للراسبين، أي المركبين الأيونيين أكثر ذائبية؟
6. **أدرك النتيجة والسبب** استعمل مبدأ لوتشاتلييه لتفسير تأثير إضافة Na_2S في الخطوة 5 في الاتزان في الفجوة A2.
7. **احسب** الذائبية المولارية للراسبين باستعمال قيم K_{sp}. أي الراسبين أكثر ذوبانًا؟
8. **حدد** الدليل الذي يدعم إجابتك للسؤال 7. فسر إجابتك.
9. **تحليل الخطأ** قارن ملاحظاتك عند النظر إلى طبق التفاعلات من أعلى بملاحظاتك عند النظر إليه من جنب. ماذا تلاحظ؟
10. **ابحث** كيف تستعمل المصانع الترسيب لإزالة المواد الكيميائية الخطرة من مياه الصرف الصحي؟

الاستقصاء

المركبات الذائبة مقابل المركبات غير الذائبة المواد المتفاعلة التي استعملتها في مختبر الكيمياء جميعها مركبات أيونية ذائبة والرواسب غير ذائبة. كيف يختلف Na_2S الذائب عن Ag_2S غير الذائب؟ كيف يختلف NaCl الذائب عن AgCl غير الذائب؟ استعمل معلومات Ksp في **الجدول 3-4**. وارجع إلى مصادر أخرى لتعرف القوانين العامة للذائبية.

الفصل 3

دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة يصل الكثير من التفاعلات والعمليات إلى حالة من الاتزان الكيميائي؛ حيث تتكون كل من المواد المتفاعلة والناتجة بسرعات متساوية.

3-1 حالة الاتزان الديناميكي

الفكرة الرئيسة يوصف الاتزان الكيميائي بتعبير ثابت الاتزان الذي يعتمد على تراكيز المواد المتفاعلة والناتجة.

المفردات

- التفاعل العكسي
- الاتزان الكيميائي
- قانون الاتزان الكيميائي
- ثابت الاتزان
- اتزان متجانس
- اتزان غير متجانس

الأفكار الرئيسة

- يكون التفاعل في حالة اتزان إذا كانت سرعة التفاعل الأمامي مساوية لسرعة التفاعل العكسي.
- تعبير ثابت الاتزان هو نسبة التراكيز المولارية للمواد الناتجة إلى التراكيز المولارية للمواد المتفاعلة؛ حيث ترفع هذه التراكيز إلى أسس مساوية لمعاملاتها في المعادلة الكيميائية الموزونة.

$$K_{eq} = \frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b}$$

- تكون قيمة تعبير ثابت الاتزان K_{eq} ثابتة عند درجة حرارة معينة.

3-2 العوامل المؤثرة في الاتزان الكيميائي

الفكرة الرئيسة عندما تطرأ تغييرات على نظام متزن يزاح إلى موضع اتزان جديد.

المفردات

- مبدأ لوتشاتلييه

الأفكار الرئيسة

- يصف مبدأ لوتشاتلييه كيفية إزاحة الاتزان عند الاستجابة لجهد أو تغيير.
- عند إزاحة الاتزان استجابة لتغيُّر التركيز أو الحجم يتغير موضع الاتزان، ولكن K_{eq} يبقى ثابتًا. والتغير في درجة الحرارة يغيّر الاثنين معًا: موضع الاتزان وقيمة K_{eq}.

3-3 استعمال ثوابت الاتزان

الفكرة الرئيسة يمكن استعمال تعبير ثابت الاتزان في حساب تراكيز المواد في التفاعل وذوبانيتها.

المفردات

- ثابت حاصل الذائبية
- الأيون المشترك
- تأثير الأيون المشترك

الأفكار الرئيسة

- يمكن حساب التراكيز عند الاتزان والذائبية باستعمال تعبير ثابت الاتزان.
- يصف K_{sp} الاتزان بين مركب أيوني قليل الذائبية وأيوناته في محلول.
- إذا كان الحاصل الأيوني Q_{sp} أكبر من K_{sp} عند خلط محلولين فسوف يتكون راسب.
- وجود الأيون المشترك في محلول يقلل ذائبية المادة المذابة.

3-1

إتقان المفاهيم

33. صف حالة اتزان تحدث في الحياة اليومية بين عمليتين متعاكستين.

34. إذا قيل لك إن تراكيز المتفاعلات والنواتج لا تتغير فلماذا تستعمل كلمة (ديناميكي) لوصف الاتزان الكيميائي؟

35. هل تمثل المعادلة الآتية اتزانًا متجانسًا أم غير متجانس؟ فسر إجابتك.

$$H_2O_{(s)} \rightleftharpoons H_2O_{(l)}$$

36. ما المقصود بموضع الاتزان؟

37. وضح كيفية كتابة تعبير ثابت اتزان.

38. لماذا يجب أن تعير انتباهك للحالات الفيزيائية للنواتج والمتفاعلات عند كتابة تعابير ثابت الاتزان؟

39. لماذا تعني قيمة K_{eq} الكبيرة عدديًّا أن النواتج مفضلة في نظام الاتزان؟

40. ماذا يحدث لـ K_{eq} لنظام متزن، إذا تم إعادة كتابة معادلة التفاعل بطريقة عكسية؟

41. كيف لنظام الاتزان أن يحتوي على كميات صغيرة وغير متغيرة من النواتج، وفي الوقت نفسه يحتوي على كميات كبيرة من المتفاعلات؟ كيف يمكن أن تبرر K_{eq} لمثل هذا الاتزان؟

إتقان حل المسائل

42. اكتب تعبير ثابت الاتزان لكل اتزان متجانس فيما يأتي:

a. $2N_2H_{4(g)} + 2NO_{2(g)} \rightleftharpoons 3N_{2(g)} + 4H_2O_{(g)}$

b. $2NbCl_{4(g)} \rightleftharpoons NbCl_{3(g)} + NbCl_{5(g)}$

43. افترض أن لديك مكعبًا من فلز المنجنيز النقي طول ضلعه 5.25cm، وكتلته تساوي 1076.6 g، فما التركيز المولاري للمنجنيز في المكعب؟

44. قيمة K_{eq} للتفاعل $A + 2B \rightleftharpoons C$ تساوي 3.63، يوضح الجدول 5-3 تراكيز المتفاعلات والنواتج في خليط تفاعلين مختلفين عند درجة الحرارة نفسها. حدد ما إذا كان التفاعلان في حالة اتزان.

الجدول 5-3 تراكيز A وB وC

A (mol/L)	B (mol/L)	C (mol/L)
0.500	0.621	0.700
0.250	0.525	0.250

45. إذا مرَّ بخار ماء من خلال برادة حديد ينتج أكسيد الحديد III الصلب وغاز الهيدروجين عن التفاعل العكسي، اكتب معادلة كيميائية موزونة وتعبير ثابت الاتزان للتفاعل الذي ينتج أكسيد الحديد III وغاز الهيدروجين.

3-2

إتقان المفاهيم

46. ما المقصود بالشغل المبذول على تفاعلٍ ما عند الاتزان؟

47. كيف يصف مبدأ لوتشاتلييه استجابة الاتزان للإجهاد؟

48. لماذا يسبب إزالة المتفاعل إزاحة الاتزان نحو اليسار؟

49. عند إزاحة الاتزان نحو اليمين، ماذا يحدث لكل من:

a. تراكيز المتفاعلات

b. تراكيز النواتج

50. كيف يمكن للتغيرات الآتية التأثير في موضع الاتزان للتفاعل المستعمل لإنتاج الميثانول من أول أكسيد الكربون والهيدروجين؟

$$CO_{(g)} + 2H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_3OH_{(g)} + \text{حرارة}$$

a. إضافة CO

b. خفض درجة الحرارة

c. إضافة عامل محفز

d. إزالة CH_3OH

e. تقليل حجم وعاء التفاعل

تقويم الفصل 3

51. المشروبات الغازية استعمل مبدأ لوتشاتلييه لشرح كيف أن إزاحة الاتزان الآتي:

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

تسبب فقدان الشراب طعمه عند ترك غطاء القارورة مفتوحًا؟

52. فسر كيف تؤثر زيادة درجة الحرارة في الاتزان الموضح في المعادلة الآتية؟

$$\text{حرارة} + PCl_{5(g)} \rightleftharpoons PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)}$$

53. إذا أضيف مذيب سائل من الكلور إلى دورق يحتوي على تفاعل الاتزان الآتي: $PCl_{5(g)} \rightleftharpoons PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)}$ حرارة فكيف يتأثر الاتزان عند ذوبان كمية من غاز الكلور؟

54. إذا أعطيت التفاعلين الآتيين عند الاتزان:

a. $N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)}$

b. $H_{2(g)} + Cl_{2(g)} \rightleftharpoons 2HCl_{(g)}$

ففسر لماذا يسبب تغير حجم وعاء التفاعلين تغير موضع الاتزان لـ a ولا يؤثر في b؟

55. هل تتوقع أن تزداد أو تقل قيمة K_{eq} العددية عند زيادة درجة الحرارة في الاتزان الآتي؟ فسر إجابتك.

$$\text{حرارة} + PCl_{5(g)} \rightleftharpoons PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)}$$

56. فسر كيف يمكن أن تنظم الضغط لتعزز تكوين النواتج في نظام الاتزان الآتي؟

$$MgCO_{3(s)} \rightleftharpoons MgO_{(s)} + CO_{2(g)}$$

57. يتفاعل الإيثيلين C_2H_4 مع الهيدروجين لإنتاج الإيثان C_2H_6 وفق المعادلة:

$$\text{حرارة} + C_2H_{4(g)} + H_{2(g)} \rightleftharpoons C_2H_{6(g)}$$

كيف يمكنك تنظيم درجة الحرارة لهذا الاتزان لكي:

a. تزيد كمية الإيثان الناتج.

b. تقلل تركيز الإيثيلين.

c. تزيد كمية الهيدروجين في وعاء التفاعل.

3-3

إتقان المفاهيم

58. ماذا تعني بقولك إن لدى محلولين أيونًا مشتركًا؟ اذكر مثالاً يوضح ذلك.

59. لماذا لا تعطى بعض المركبات مثل كلوريد الصوديوم قيم K_{sp}؟

60. الأشعة السينية لماذا يعد استعمال كبريتات الباريوم أفضل من كلوريد الباريوم عند التعرض للأشعة السينية؟ علمًا أنه عند درجة حرارة 26°C فإن 37.5 g من $BaCl_2$ يمكن أن تذوب في 100 mL من الماء؟

61. فسر ما يحدث في **الشكل 23-3** اعتمادًا على Q_{sp} و K_{sp}.

62. صف المحلول الناتج عن خلط محلولين لهما $Q_{sp} = K_{sp}$، هل يتكون راسب؟

إتقان حل المسائل

63. اكتب تعبير K_{sp} لكرومات الرصاص $PbCrO_4$، واحسب ذائبية بوحدة mol /L، علمًا أن $k_{sp} = 2.3 \times 10^{-13}$.

64. K_{sp} لفلوريد الإسكانديوم ScF_3 عند درجة حرارة 298 K يساوي 4.2×10^{-8}. اكتب معادلة الاتزان الكيميائية لذائبية فلوريد الإسكانديوم في الماء. ما تركيز أيونات Sc^{3+} اللازمة لتكوين راسب إذا كان تركيز أيون الفلوريد 0.076 M؟

65. هل يتكون راسب عند خلط 62.6 mL من $CaCl_2$ الذي تركيزه 0.0322 M مع 31.3 mL من NaOH الذي تركيزه 0.0145 M؟ استعمل البيانات الموجودة في **الجدول 4-3**. وضح إجابتك.

66. صناعة إيثانوات الإيثيل $CH_3COOCH_2CH_3$ مذيب يستعمل في صناعة الورنيش، ويمكن إنتاجه بتفاعل الإيثانول وحمض الإيثانويك (الخليك). يمكن وصف الاتزان بالمعادلة الآتية:

$$CH_3COOH + CH_3CH_2OH \rightleftharpoons CH_3COOCH_2CH_3 + H_2O$$

احسب K_{eq} باستعمال تراكيز الاتزان الآتية:

$[CH_3COOCH_2CH_3] = 2.90\ M;\ [CH_3COOH] = 0.316\ M;$

$[CH_3CH_2OH] = 0.313\ M;\ [H_2O] = 0.114\ M$

تقويم الفصل 3

مراجعة عامة

67. تنتج إيثانوات الإيثيل $CH_3COOCH_2CH_3$ من الاتزان الموصوف في المعادلة الآتية:

$$CH_3COOH + CH_3CH_2OH \rightleftharpoons CH_3COOCH_2CH_3 + H_2O$$

لماذا تسبب إزالة الماء إنتاج المزيد من إيثانوات الإيثيل؟

68. كيف يتأثر كل اتزان مما يأتي بانخفاض درجة الحرارة؟

a. $2O_{3(g)} \rightleftharpoons 3O_{2(g)} +$ حرارة

b. $H_{2(g)} + F_{2(g)} \rightleftharpoons 2HF_{(g)} +$ حرارة

69. كيف يتأثر كل اتزان مما يأتي بارتفاع كل من درجة الحرارة والحجم في الوقت نفسه؟

a. $2O_{3(g)} \rightleftharpoons 3O_{2(g)} +$ حرارة

b. $N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2NO_{(g)} +$ حرارة

70. ثابت حاصل الذائبية لزرنيخات الرصاص II $Pb_3(AsO_4)_2$ هو 4.0×10^{-36} في درجة حرارة 298 K. احسب الذائبية بوحدة mol / L لهذا المركب عند درجة الحرارة نفسها.

71. صحح الجملة الآتية: القيمة المنخفضة لثابت الاتزان K_{eq} تعني أن كلا التفاعلين الأمامي والعكسي يحدثان ببطء.

72. في نظام الاتزان $N_2O_{4\,(g)} \rightleftharpoons 2NO_{2(g)}$، لون NO_2 بني غامق. فسر اختلاف اللون للاتزان كما هو موضح في الشكل 22-3.



الشكل 22-3

73. إضافة هيدروكسيد البوتاسيوم إلى محلول هيدروكسيد الألومنيوم المشبع يُقلل من تركيز أيونات الألومنيوم. اكتب معادلة اتزان الذائبية وتعبير ثابت حاصل الذائبية لمحلول مائي مشبع لهيدروكسيد الألومنيوم.

التفكير الناقد

74. تحليل افترض أن نظام اتزان عند درجة حرارة معينة K_{eq} له تساوي 1.000، فما احتمال أن هذا النظام يتكون من 50% متفاعلات و50% نواتج؟ فسر إجابتك.

75. تطبيق يستعمل تنشق الأملاح أحيانًا لإعادة إنعاش شخص فاقد للوعي؛ إذ تتكون هذه الأملاح من كربونات الأمونيوم. فإذا كانت معادلة تفكك كربونات الأمونيوم الماص للحرارة هي: $(NH_4)_2CO_{3(s)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)} + CO_{2(g)} + H_2O_{(g)}$ فهل تتوقع أن استنشاق الأملاح يعطي مفعولاً في أيام الشتاء الباردة كما في أيام الصيف الحارة؟ فسر إجابتك.

76. إذا علمت أنّ K_{sp} ليوديدات الكادميوم $Cd(IO_3)_2$ يساوي 2.3×10^{-8} عند درجة حرارة 298 K، فما تركيز (mol /L) كل من أيونات الكادميوم وأيونات اليوديدات في محلول مشبع مع يوديدات الكادميوم عند درجة حرارة 298 K؟

77. تفسير البيانات أي المركبات يترسب أولاً إذا تمت إضافة محلول فلوريد الصوديوم الذي تركيزه 0.500M بشكل تدريجي إلى محلول يحتوي على تركيز 0.500M من كل من أيونات الباريوم والماغنسيوم؟ استعمل الجدول **6-3** واكتب معادلات اتزان الذائبية وتعابير ثابت حاصل الذائبية لكلا المركبين. فسر إجابتك.

الجدول 6 – 3 بيانات المركبين

المركب	الكتلة المولية g/mol	الذائبية عند 25°C g/L
BaF_2	175.33	1.1
MgF_2	62.30	0.13

تقويم الفصل 3

78. السبب والنتيجة افترض أن لديك 12.56 g من خليط مكون من كلوريد الصوديوم وكلوريد الباريوم، وفسر كيف يمكن استعمال تفاعل الترسيب لتحديد مقدار كل مركب في الخليط.

79. قارن أي المادتين الصلبتين: فوسفات الكالسيوم وفوسفات الحديد III لها ذائبية مولارية أكبر؟

إذا علمت أن $K_{sp}\,Ca_3(PO_4)_2 = 1.2 \times 10^{-29}$ و $K_{sp}\,FePO_4 = 1.0 \times 10^{-22}$، فأيهما له ذائبية g/L أعلى؟

مسألة تحفيز

80. تحضير الفوسجين الفوسجين $COCl_2$ غاز سام يستعمل في تصنيع بعض الأصباغ والأدوية والمبيدات الحشرية. ويمكن تحضيره بتفاعل أول أكسيد الكربون مع غاز الكلور وفق المعادلة:

$$CO_{(g)} + Cl_{2(g)} \rightleftharpoons COCl_{2(g)}$$

بداية وضع 1.0000 mol من كلا الغازين في وعاء حجمه 10.00 L وعند وصولهما إلى حالة الاتزان وجد أنَّ تركيز كل منهما 0.0086 mol /L. ما تركيز الفوسجين عند الاتزان؟ وما K_{eq} للنظام؟

مراجعة تراكمية

81. عندما تقوم بعكس معادلة كيميائية حرارية لماذا يجب عكس إشارة ΔH؟

تقويم إضافي

الكتابة في الكيمياء

82. مركب جديد تخيل أنك عالم، وقد قمت بتركيب سائل فريد وجديد وأسميته يولان ومختصره يو. يولان سائل غير سام، وتحضيره غير مكلف، وله القدرة على إذابة كمية كبيرة من غاز ثاني أكسيد الكربون وفق معادلة الاتزان: $CO_{2(g)} \rightleftharpoons CO_2(yo),\ K_{eq} = 3.4\times10^{6}$.

83. اكتب مقالة لمجلة أو صحيفة تفسر فيها ميزة يولان في مكافحة الارتفاع في درجات الحرارة العالمي.

84. عسر الماء يسبب وجود أيونات الماغنسيوم والكالسيوم في الماء عسره. بالاعتماد على الذائبية فسر لماذا يعد وجود هذين الأيونين أحيانًا غير مرغوب فيه. ثم أوجد الطرائق التي يمكن اتخاذها للحد من وجودهما.

أسئلة المستندات

التلوث تحتوي عوادم السيارات على الملوثات الخطرة: أول أكسيد النيتروجين NO وأول أكسيد الكربون CO. ويمكن أن تقلل كمية هذين الغازين في الهواء الجوي بتمريرهما فوق سبيكة (عامل محفز). عندما يمر غازا NO و CO فوق هذا المحفز ينشأ الاتزان الآتي:

$$2NO_{(g)} + 2CO_{(g)} \rightleftharpoons N_{2(g)} + 2CO_{2(g)}$$

ويتأثر ثابت الاتزان بدرجة الحرارة، كما هو موضح في **الجدول 7-3**.

جدول 7-3 K_{eq} مقابل درجة الحرارة

1000 K	900 K	800 K	700 K
3.27×10^{45}	4.66×10^{54}	1.04×10^{66}	9.10×10^{97}

85. اكتب تعبير ثابت الاتزان لهذا الاتزان.

86. ادرس العلاقة بين K_{eq} ودرجة الحرارة. استعمل مبدأ لوتشاتلييه لاستنتاج ما إذا كان التفاعل الأمامي ماصًّا أم طاردًا للطاقة.

87. فسر كيف يمكن أن يساعد الراديتر (مبرد السيارة) المطلي بالسبيكة على تقليل تركيز NO و CO في الغلاف الجوي؟

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

1. أي مما يأتي يصف نظامًا وصل إلى حالة الاتزان الكيميائي؟
   a. لا يوجد ناتج جديد يتكون بفعل التفاعل الأمامي.
   b. لا يحدث التفاعل العكسي في النظام.
   c. تركيز المتفاعلات في النظام يساوي تركيز النواتج.
   d. سرعة حدوث التفاعل الأمامي تساوي سرعة حدوث التفاعل العكسي.

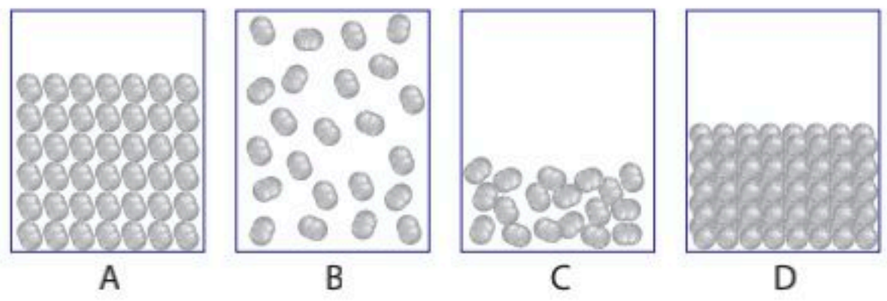
2. يستطيع الطلاب إجراء التفاعل بين أيونات $S_2O_8^{-2}$ وأيونات اليوديد I^- لأنه يسير ببطء كافٍ لقياس سرعته.

$$S_2O_8^{2-}(aq) + 2I^-(aq) \rightarrow 2SO_4^{2-}(aq) + I_{2(aq)}$$

تم تحديد رتبة هذا التفاعل في المختبر لتكون الرتبة الأولى في $S_2O_8^{-2}$ والرتبة الأولى في I^- . ما قانون السرعة الكلي لهذا التفاعل؟

   a. $R = k[S_2O_8^{2-}]^2[I^-]$
   b. $R = k[S_2O_8^{2-}][I^-]$
   c. $R = k[S_2O_8^{2-}][I^-]^2$
   d. $R = k[S_2O_8^{2-}]^2[I^-]^2$

استعمل الرسوم الآتية للإجابة عن السؤال 3.



3. أي الرسوم الأربعة يبين المادة التي لها أضعف قوى بين الجزيئات؟
   a. A
   b. B
   c. C
   d. D

4. أي أنواع القوى بين الجزيئات ينتج عن عدم توازن مؤقت في الكثافة الإلكترونية حول نواة الذرة؟
   a. الروابط الأيونية
   b. قوى التشتت
   c. قوى ثنائية القطب
   d. الروابط الهيدروجينية

استعمل الجدول الآتي للإجابة عن الأسئلة من 5 إلى 7 .

بيانات التركيز للاتزان الآتي
$MnCO_{3\,(s)} \rightarrow Mn^{2+}_{(aq)} + CO_3^{2-}_{(aq)}$ (عند 298 K)

المحاولة	$[Mn^{2+}]$ الابتدائي	$[CO_3^{2-}]$ الابتدائي	$[Mn^{2+}]$ عند الاتزان	$[CO_3^{2-}]$ عند الاتزان
1	0.0000	0.00400	5.60×10^{-9}	4.00×10^{-3}
2	0.0100	0.0000	1.00×10^{-2}	2.24×10^{-9}
3	0.0000	0.0200	1.12×10^{-9}	2.00×10^{-2}

5. ما قيمة K_{sp} لِـ $MnCO_3$ عند درجة حرارة 298K؟
   a. 2.24×10^{-11}
   b. 4.00×10^{-11}
   c. 1.12×10^{-9}
   d. 5.60×10^{-9}

6. ما ذائبية $MnCO_3$ عند درجة حرارة 298 K؟
   a. $4.73 \times 10^{-6}M$
   b. $6.32 \times 10^{-2}M$
   c. $7.48 \times 10^{-5}M$
   d. $3.35 \times 10^{-5}M$

7. عند خلط 50mL من K_2CO_3 الذي تركيزه $3.00 \times 10^{-6}M$ مع 50 mL من $MnCl_2$، سوف يتكون راسب من $MnCO_3$ فقط عندما يكون تركيز محلول $MnCl_2$ أكبر من:
   a. $7.47 \times 10^{-6}M$
   b. $1.49 \times 10^{-5}M$
   c. $2.99 \times 10^{-5}M$
   d. $1.02 \times 10^{-5}M$

اختبار مقنن

أسئلة الإجابات القصيرة

8. اكتب تعبير ثابت الاتزان لكل اتزان غير متجانس مما يأتي:

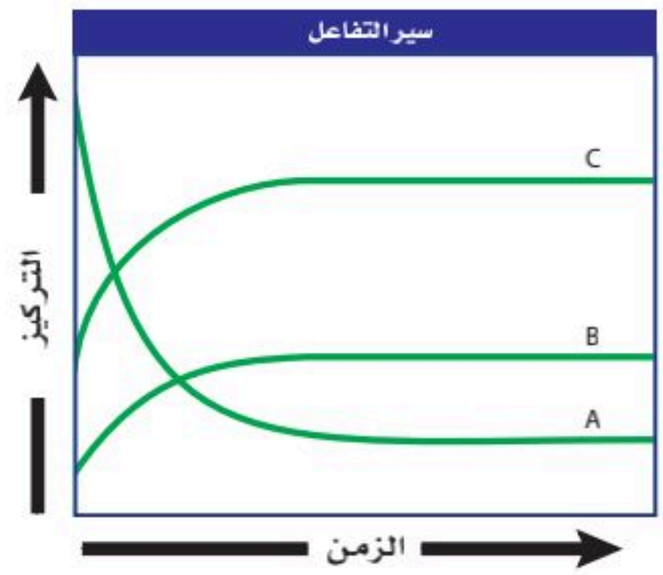
a. $2NaHCO_{3(s)} \rightleftharpoons Na_2CO_{3(s)} + H_2O_{(g)} + CO_{2(g)}$

b. $C_6H_{6(l)} \rightleftharpoons C_6H_{6(g)}$

9. ينتج عن تسخين الحجر الجيري $CaCO_{3(s)}$ الجير الحي $CaO_{(s)}$ وغاز ثاني أكسيد الكربون. اكتب تعبير ثابت الاتزان للتفاعل العكسي.

أسئلة الإجابات المفتوحة

استعمل المخطط الآتي للإجابة عن الأسئلة من 10 إلى 12.



10. .صف شكل الرسم البياني عند حدوث الاتزان.

11. فسر لماذا لا يساوي تركيز المتفاعلات صفرًا عند نهاية هذا التفاعل؟

12. صنف نوع التفاعل الكيميائي الذي يظهر في هذا الرسم البياني، وكيف تدعم البيانات فيه استنتاجك؟

الفصل 4

الهيدروكربونات
Hydrocarbons



الفكرة العامة تختلف الهيدروكربونات، وهي مركبات عضوية، باختلاف أنواع الروابط فيها.

4-1 مقدمة إلى الهيدروكربونات

الفكرة الرئيسة الهيدروكربونات مركبات عضوية تحتوي على عنصري الكربون والهيدروجين فقط وتعد مصدرًا للطاقة والمواد الخام.

4-2 الألكانات

الفكرة الرئيسة الألكانات هيدروكربونات تحتوي فقط على روابط أحادية.

4-3 الألكينات والألكاينات

الفكرة الرئيسة الألكينات هيدروكربونات تحتوي على رابطة ثنائية واحدة على الأقل. أما الألكاينات فهي هيدروكربونات تحتوي على رابطة ثلاثية واحدة على الأقل.

4-4 متشكلات الهيدروكربونات

الفكرة الرئيسة لبعض الهيدروكربونات الصيغة الجزيئية نفسها، لكنها تختلف في صيغها البنائية.

4-5 الهيدروكربونات الأروماتية

الفكرة الرئيسة تتصف الهيدروكربونات الأروماتية بدرجة عالية من الثبات، بسبب بنائها الحلقي حيث تتشارك الإلكترونات في عدد من الذرات.

حقائق كيميائية

- المصدر الرئيس للهيدروكربونات هو النفط (البترول).
- يتم ضخ حوالي 75 مليون برميل نفط يوميًّا من جوف الأرض.
- تُستخدم الهيدروكربونات في الوقود، كما تعد مواد خامًّا لكثير من المنتجات، ومنها اللدائن (البلاستيك)، والألياف الصناعية، والمذيبات، والمواد الكيميائية الصناعية.

تجربة استهلالية

كيف يمكنك نمذجة الهيدروكربونات البسيطة؟

تتكــون الهيدروكربونات مــن ذرات كربــون وهيدروجين. وتحتــوي ذرة الكربون على أربعة إلكترونــات تكافؤ، لذا فإنها تستطيع أن تكوّن أربع روابط تساهمية.



خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات الســلامة في المختبر.
2. استخــدم **مجــموعات النماذج الجزيئيــة** (الكرات والوصــلات) لعمل نموذج بنائي من ذرتي كربون مرتبطتــين برابطة أحادية، على أن تمثِّــل كل ذرة كربون بكرة فيها أربعــة ثقوب، وكل ذرة هيدروجين بكرة فيها ثقب واحد.
3. صل ذرة هيدروجين في كل ثقب من الثقوب الشاغرة على الكــرات التي تمثل ذرات الكربــون، على أن يبلغ مجموع روابط كل ذرة كربون أربعًا.
4. كرّر الخطوتين 2 ، 3 لعمل نماذج من ثلاث وأربع وخمس ذرات كربون في كل مرة، على أن ترتبط كل ذرة كربون مع ذرّتي كربون كحد أقصى.

تحليل النتائج

1. **أعـدّ** جدولاً وأدرج فيه عدد ذرات الكربون والهيدروجين في كل نموذج بنائي.
2. **صف** كل نموذج بنائي بكتابة صيغته الجزيئية.
3. **حلِّـل** النمط الذي تتغير فيه نسبة اتحاد عدد ذرات الكربون إلى عــدد ذرات الهيدروجين في كل صيغة جزيئية، ثم ضع صيغة عامّة للهيدروكربونات ذات الروابط الأحادية.

اســتقصاء كيف تتأثــر الصيغة الجزيئية عندمــا ترتبط ذرات الكربون بروابط ثنائية أو ثلاثية؟

المطويات
منظمات الأفكار

المركبات الهيدروكربونيــة

اعمل المطوية الآتية لتساعدك على تنظيم المعلومات حول المركبات الهيدروكربونيــة باتباع الخطوات الآتية:



خطــوة 1 اثــنِ ثــلاث أوراق من منتصفهــا بصورة أفقية، ثم أمســك بورقتين معًــا، واقطع خط الثني بطول 3 cm.



خطــوة 2 أمســك الورقة الثالثة، واقطــع على طــول خــط الثني، واترك آخِر 3 cm دون قطع.



خطــوة 3 أدخــل أول ورقتين خلال القطع في الورقــة الثالثــة، لعمــل سِجــلّ مــن 12 صفحــة، وعنونــه بـ "الــمركبــات الهيدروكربونية".

المطويات

استعمل هــذه المطويــة في الأقسـام 2–4 ، 3–4 ، 4–4 ، 5–4 مــن هــذا الفصل. وبعد قراءة هذه الأقســام سجّل سمات كل نوع من أنواع الهيدروكربونات وخصائصه وصفاته المميِّزة، وأمثلة من واقع الحياة.

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

4–1

الأهداف

- **توضح** المقصود بكل من المركب العضوي والكيمياء العضوية.
- **تعيِّن** الهيدروكربونات والنماذج المستخدمة لتمثيلها.
- **تفرُق** بين الهيدروكربونات المشبعة وغير المشبعة.
- **تصف** مصدر الهيدروكربونات وكيفيّة فصلها.

مراجعة المفردات

مخلوق حي دقيق (microorganism): مخلوق حي صغير جدًّا لا يمكن رؤيته دون استعمال الميكروسكوب، ومن ذلك البكتيريا والأوليات.

المفردات الجديدة

المركب العضوي

الهيدروكربونات

الهيدروكربون المشبع

الهيدروكربون غير المشبع

التقطير التجزيئي

التكسير الحراري

مقدمة إلى الهيدروكربونات

Introduction to Hydrocarbons

الفكرة الرئيسة **الهيدروكربونات مركبات عضوية تحتوي على عنصري الكربون والهيدروجين فقط وتعد مصدراً للطاقة والمواد الخام.**

الربط مع الحياة عندما تركب سيّارة أو حافلة فإنك تستخدم الهيدروكربونات. فالجازولين والديزل اللذان يستخدمان في تسيير السيارات والشاحنات والحافلات من الهيدروكربونات.

المركبات العضوية Organic Compounds

عرف الكيميائيون في بداية القرن التاسع عشر أن المخلوقات الحية. ومنها - النباتات والحيوانات - في **الشكل 1-4** تُنتِج قدْرًا هائلاً ومتنوعًا من مركبات الكربون. وأشار الكيميائيون إلى هذه المركبات بالمركبات العضوية؛ لأنها ناتجة عن مخلوقات حية (عضوية).

عندما قبلت نظرية دالتون في بداية القرن التاسع عشر بدأ الكيميائيون يفهمون حقيقة أن المركبات ـ بما فيها تلك المُصنّعة من المخلوقات الحية ـ تتألف من ذرات مرتبة ومرتبطة معًا بتراكيب محدّدة. وقد تمكنوا أيضًا من تصنيع الكثير من المواد الجديدة والمفيدة. ولكن، لم يتمكن العلماء من تصنيع المركبات العضوية. وبناءً على ذلك، استنتج الكثير من العلماء - خطأً - أن عدم مقدرتهم على تصنيع المركبات العضوية عائدٌ إلى القوة الحيوية (أو الحياتية Vitalism). ووفقًا لهذا المبدأ، فإن المخلوقات الحية (العضوية) لها "قوة حيويّة" غامضة، تمكّنها من تركيب مركبات الكربون.

دحض فكرة القوة الحيوية كان فريدريك فوهلر Friedrich WÖhler (1800-1882م) عالم الكيمياء الألماني أول من قام بتحضير مركب عضوي في المختبر. ولم تدحض تجربة فوهلر على الفور فكرة القوة الحيوية، ولكنها حثت كيميائيين أوربيين آخرين على القيام بسلسلة من التجارب المشابهة. وأخيرًا ثبت بُطلان الفكرة القائلة بأن تحضير المركبات العضوية يحتاج إلى قوة حيوية، وأدرك العلماء أن باستطاعتهم تحضير المركبات العضوية.



الشكل 1-4 خلق الله تعالى أجسام المخلوقات الحية من مجموعة مختلفة من المركبات العضوية، ووهب لها القدرة أن تنتجها أيضًا.

حدّد مركبين عضويين درستهما سابقًا.

الكيميـاء العضويـة يطلق مصطلح **المركب العضوي** اليوم عـلى المركبات التي تحتوي على الكربون ما عدا أكاسيد الكربون، والكربيدات والكربونات؛ حيث تعد مركبات غير عضوية. ونظرًا إلى وجـود الكثير من المركبات العضوية، خُصـص فرع كامل من فروع الكيمياء ـ سُـمِّي الكيمياء العضوية ـ لدراسة هذه المركبات. تذكر أن الكربون عنصر يقع في المجموعة 14 من الجدول الدوري، كما في **الشكل 2-4**. ويظهر من التوزيع الإلكتروني للكربـون $1s^2\ 2s^2\ 2p^2$ أنه يشـارك دائمًا بإلكتروناته، ويكوّن أربع روابط تسـاهمية. في المركبات العضوية تتحـد ذرات الكربون مع ذرات الهيدروجين، أو ذرات عناصر أخرى تقع قريبة من الكربون في الجدول الدوري، وخصوصًا النيتروجين والأكسجين والكبريت والفوسفور والهالوجينات.

تتحد ذرات الكربون أيضًا مع ذرات كربون أخرى، وتكوّن سلاسـل تتراوح أطوالها بين ذرتين إلى آلاف الذرات مـن الكربون. ولأن الكربون يكوّن أيضًا أربع روابط فإنه يكوّن مركبات في صورة تراكيب معقدة: سلاسـل متفرعة، وتراكيب حلقية، وتراكيب شـبيهة بأقفاص العصافير أيضًا. وعلى الرغـم من احتمالات الربط هذه، فقد تعرّف الكيميائيون ملايين المركبات العضوية المختلفة، وما زالوا يتعرّفون ويحضّرون المزيد منها كل يوم.

ماذا قرأت؟ **فسِّر** لماذا يكوّن الكربون الكثير من المركبات؟

الهيدروكربونات Hydrocarbons

تُعد **الهيدروكربونات** التي تحتوي على عنصري الكربون والهيدروجين فقط أبسط المركبات العضويـة. تُرى ما عدد المركبات المختلفة التي يمكـن تكوينها من هذين العنصرين؟ قد تظن أن عددًا قليلاً محتملاً يمكن تكوّنه، لكن هناك آلاف الهيدروكربونات المعروفة والتي تتكون من عنصري الكربـون والهيدروجين فقط. ويعد جزيء غاز الميثان CH_4 أبسـط جزيء هيدروكربوني، يتكون من ذرة كربون واحدة متحدة بأربع ذرات هيدروجين، وهو المكوِّن الرئيس للغاز الطبيعي، ومن أجود أنواع الوقود، كما يبين **الشكل 3-4**.

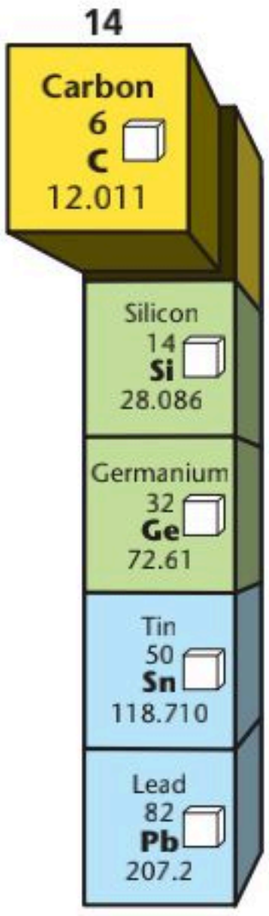
ماذا قرأت؟ **اذكر** استخدامين للميثان أو للغاز الطبيعي في بيتك أو مجتمعك.

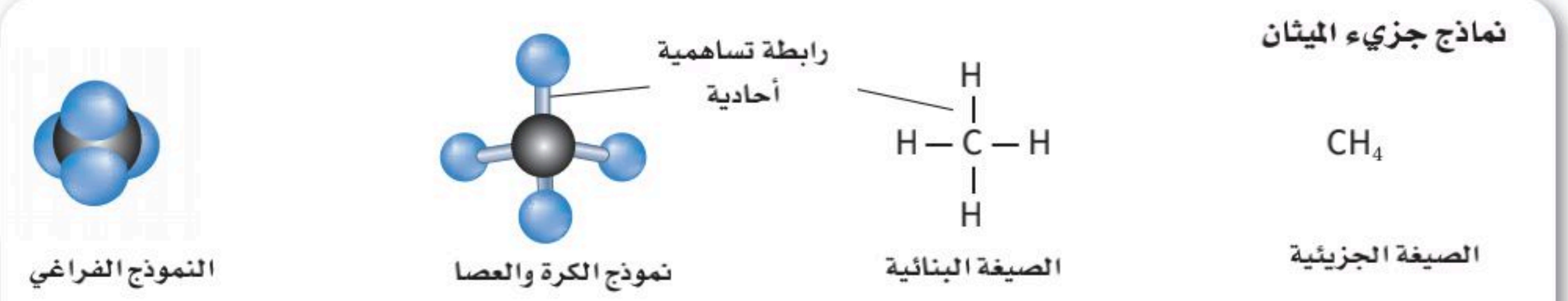


الشكل 3-4 الميثان – أبسط هيدروكربون موجود في الغاز الطبيعي.

حـدد بالإضافـة إلى الهيدروجيـن، العـناصرَ الأخـرى التي تتَّحد بسهولة مع الكربون.

الشكل 2-4 يقع الكربون في المجموعـة 14 من الجدول الـدوري، ويسـتطيع أن يكـوّن أربع روابط تساهمية لتشكيل الآلاف من المركبات المختلفة.





الشكل 4-4 يستخدم الكيميائيون أربعة نماذج مختلفة لتمثيل جزيء الميثان (CH_4).

النماذج والهيدروكربونات يمثل الكيميائيون جزيئات المركبات العضوية بطرائق مختلفة. ويبين **الشكل 4-4** أربع طرائق مختلفة لتمثيل جزيء الميثان، حيث تمثَّل الرابطة المشتركة (التساهمية) بخط واحد مستقيم يرمز إلى تشارُك إلكترونين. ويستخدم الكيميائيون في معظم الأحيان النموذج الذي يوضح المعلومات المراد إلقاء الضوء عليها. فلا تعطي الصيغ الجزيئية أي معلومات عن الشكل الهندسي للجزيء كما في **الشكل 4-4**، في حين تُظهر الصيغة البنائية الترتيب العام للذرات في الجزيء، ولكن لا تعطي الشكل الهندسي (الثلاثي الأبعاد) الدقيق. ويَظهر الشكل الهندسي للجزيء بوضوح في نموذج الكرة والعصا. ولكن النموذج الفراغي يُعطي صورة أكثر واقعية عن الكيفية التي يبدو فيها الجزيء لو أمكن رؤيته حقيقةً. لذا عليك أن تتذكر وأنت تنظر إلى هذه النماذج أن الذرات متصلة معًا بروابط تشترك فيها الإلكترونات.

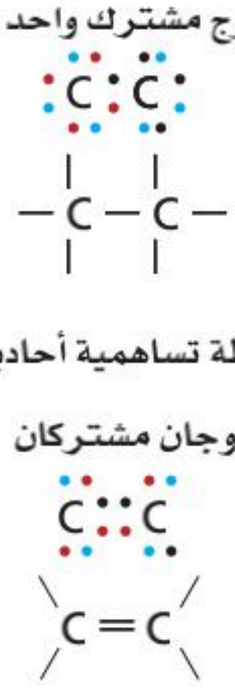
الروابط المُضاعفة بين ذرات الكربون ترتبط ذرات الكربون بعضها مع بعض ليس فقط بروابط تساهمية أحادية، بل أيضًا بروابط تساهمية ثنائية وثلاثية، كما في **الشكل 5-4**.

وقبل أن يتمكن الكيميائيون في القرن التاسع عشر من فهم الروابط والبناء الكيميائي للمواد العضوية، قاموا بإجراء اختبارات على الهيدروكربونات الناتجة عن تسخين الدهون الحيوانية والزيوت النباتية، وصنّفوا هذه الهيدروكربونات بناءً على اختبار كيميائي يُخلط فيه الهيدروكربون بالبروم، ثمّ يُقاس مقدار البروم الذي تفاعل مع الهيدروكربون. فقد تتفاعل بعض الهيدروكربونات مع كمية قليلة من البروم، وبعضها مع كمية أكبر، وقد لا يتفاعل بعضها مع أي كمية من البروم. لذا أطلق الكيميائيون على الهيدروكربونات التي تفاعلت مع البروم اسم الهيدروكربونات غير المشبعة متأثّرين بمفهوم أن المحلول المائي غير المشبع قادر على إذابة المزيد من المذاب. أما الهيدروكربونات التي لم تتفاعل مع البروم فسُمّيت بالهيدروكربونات المشبعة.

يستطيع الكيميائيون اليوم تفسير نتائج الاختبارات التي تعود إلى مئة وسبعين عامًا مضت. حيث تحتوي الهيدروكربونات التي تفاعلت مع البروم على روابط تساهمية ثنائية أو ثلاثية. أما الهيدروكربونات التي لم تتفاعل مع البروم فقد احتوت فقط على روابط تساهمية أحادية. واليوم يُعرف الهيدروكربون الذي يحتوي على روابط أحادية فقط **بالهيدروكربون المشبع**. أما الذي يحتوي على رابطة ثنائية أو ثلاثية واحدة على الأقل فيُعرف **بالهيدروكربون غير المشبع**.

ماذا قرأت؟ **فسّر** ما أصل مصطلحي الهيدروكربونات المشبعة وغير المشبعة؟

الشكل 5-4 تستطيع ذرة الكربون أن ترتبط مع ذرة كربون أخرى برابطة ثنائية أو ثلاثية. وتُوضّح أشكال لويس والصيغ البنائية الآتية طريقتين من طرائق الإشارة إلى الروابط الثنائية والثلاثية.

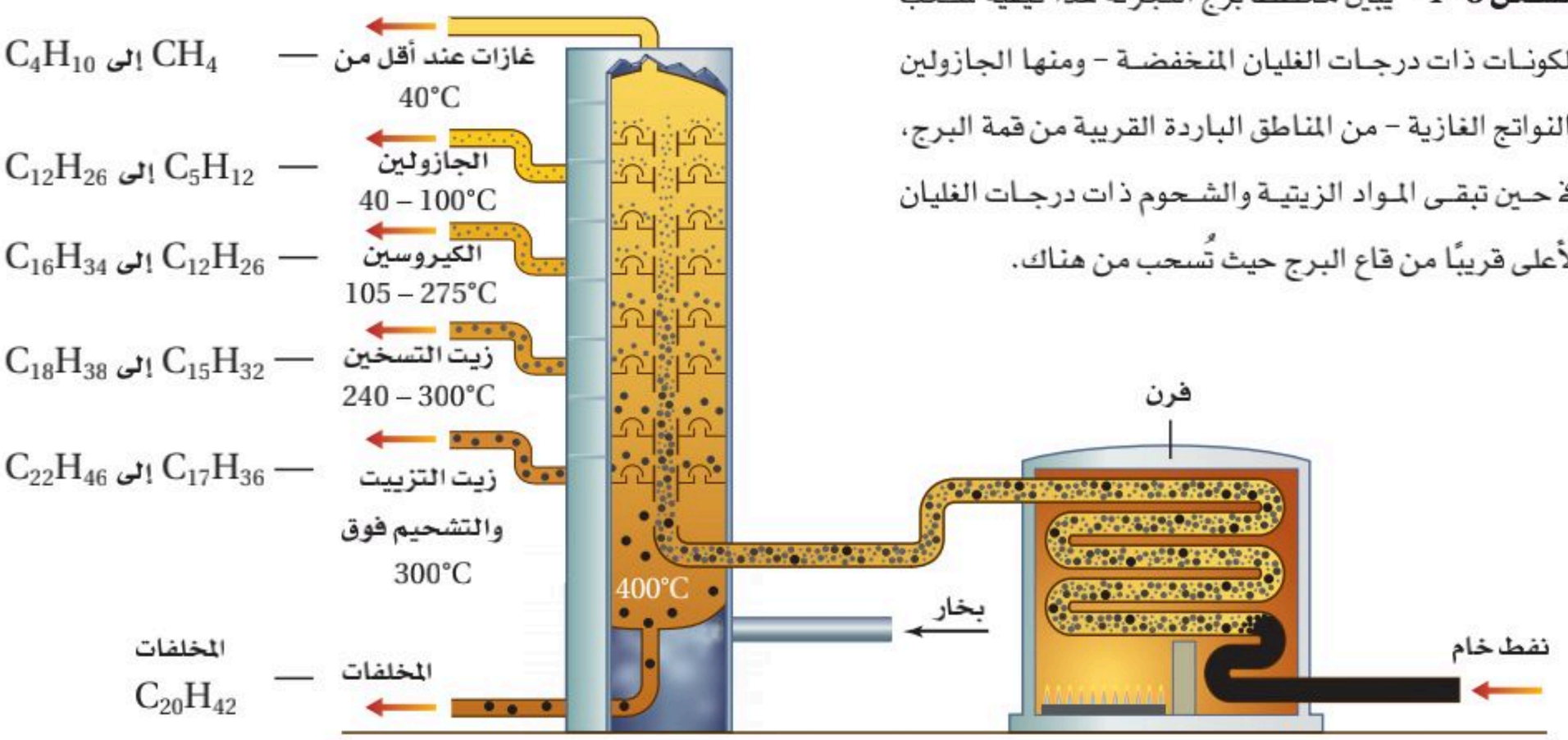


تنقية الهيدروكربونات Purification of Hydrocarbons

ينتجُ اليومَ الكثيرُ من الهيدروكربونات من الوقود الأحفوري المُسـمّى النفط (البترول). وقد تشكّل النفط من بقايا المخلوقات الحية التي عاشت في المحيطات منذ ملايين السنين. ومع مرور الزمن كونت بقايا هذه المخلوقات في قاع المحيط طبقات سـميكة من ترسبات شـبه طينية، تحوّلت بفعل الحرارة المنبعثة من باطن الأرض والضغط الهائل من الرواسـب الكثيرة إلى صخر زيتي وغاز طبيعي. وينفذ النفط من خلال أنواع معينة من الصخور ذات مسامات، ويتجمع في أعماق القشرة الأرضية في صورة بِرَك. وعادة ما يوجد الغاز الطبيعي مصاحبًا للترسـبات النفطية، حيث يتشكلان معًا في الوقت نفسه وبالطريقة نفسـها. ويتكون الغاز الطبيعي بصورة أساسية من الميثان، ولكنه يحتوي أيضًا على كميات ضئيلة من أنواع أخرى من الهيدروكربونات تحتوي على ذرتي كربون إلى خمس ذرات.

التقطير التجزيئي يُعد النفط ـ على العكس من الغاز الطبيعي ـ خليطًا مُعقّدًا يحتوي على أكثر من ألف مركّب من المركبات المختلفة. لذا فإن النفط قليلاً ما يُسـتخدم في صورته الخام، فهو أكثر فائدة للإنسـان عندما يفصل إلى مكوّنات أو أجزاء أبسـط. ويحدث هذا الفصل من خلال عملية **التقطير التجزيئـي**، التي تتضمن تبخـير النفط عند درجة الغليان، ثم تجمع المشـتقات أو المكونات المختلفة في أثنـاء تكثفها عند درجات حرارة متباينة. ويجري التقطير التجزيئي في أبراج للتجزئة شـبيهة بما في **الشكل 6-4**.

ويتم التحكم في درجة الحرارة داخل برج التجزئة، فتكون قريبة من 400°C في أسفل البرج، وهو المكان الذي يغلي فيه النفط، وتنخفض تدريجيًّـا في اتجاه أعلى البرج. وعمومًا تنخفض درجات حرارة تكثّف المواد (درجات الغليان) مع انخفاض الكتلة الجزيئية لها. لذا تتكثف الهيدروكربونات وتُسحب في أثناء تصاعد الأبخرة المختلفة داخل البرج، كما في **الشكل 6-4**.



الشكل 6-4 يبين مخطط برج التجزئة هذا كيفية سحب المكونات ذات درجات الغليان المنخفضة – ومنها الجازولين والنواتج الغازية – من المناطق الباردة القريبة من قمة البرج، في حين تبقى المواد الزيتية والشحوم ذات درجات الغليان الأعلى قريبًا من قاع البرج حيث تُسحب من هناك.

يُسخّن الفرن النفط الخام حتى الغليان، ثم تنتقل الغازات الناتجة إلى البرج.

تحدد الكتلة الجزيئية للهيدروكربون مدى ارتفاعه داخل برج التقطير.

مهن في الكيمياء

فنّي التنقيب عن النفط يستخدم هذا الفني أدوات لقياس وتسجيل معلومات فيزيائية وجيولوجية حول آبار النفط والغاز. فعلى سبيل المثال، قد يقوم باختبار عينة جيولوجية لتحديد محتواها من النفط، وتركيب العناصر والمعادن فيها.

الربط مع رؤية 2030

رؤية VISION 2030 المملكة العربية السعودية KINGDOM OF SAUDI ARABIA

اقتصاد مزدهر

30203 تطوير الصناعات المرتبطة بالنفط والغاز

يبين **الشكل 6-4** أسماء المشتقات أو المكونات الأساسية التي تُفصل عن النفط مصحوبة بدرجة غليانها، والمدى الذي يتراوح فيه حجم الهيدروكربون واستخداماته الشائعة. وقد يكون بعض هذه المشتقات أو المكونات مألوفًا لديك؛ حيث إنك تستخدمها يوميًّا، إلا أن أبراج التقطير التجزيئي المبينة في **الشكل 7-4** لا تُنتج المكونات بالنسب التي نحتاج إليها من هذه المكوّنات. فعلى سبيل المثال، نادرًا ما يُنتج التقطير الكمية المرغوب فيها من الجازولين، ولكنه يُنتِج في المقابل الزيوت الثقيلة بكميات تفوق حاجة السوق.

لقد طوّر الكيميائيون والمهندسون العاملون في قطاع النفط قبل سنوات عديدة عملية تساعد على مواءمة العرض مع الطلب، وأُطلِق على هذه العملية التي تُحوّل فيها المكونات الثقيلة إلى جازولين عن طريق تكسير الجزيئات الكبيرة إلى جزيئات أصغر عملية **التكسير الحراري**. وتحدث عملية التكسير الحراري عند غياب الأكسجين ووجود عامل مساعد. وبالإضافة إلى تكسير الهيدروكربونات الثقيلة إلى جزيئات بالحجم المطلوب في الجازولين فإن هذه العملية تنتج أيضًا المواد الأولية لصناعة الكثير من المنتجات المختلفة، ومنها المنتجات البلاستيكية وأفلام التصوير والألياف الصناعية.

ماذا قرأت؟ **صف** العملية التي يحدث من خلالها تكسير الهيدروكربونات ذات السلاسل الكبيرة إلى هيدروكربونات مرغوبة أكثر وذات سلاسل أصغر.

تصنيف الجازولين لا تُعد أي من المشتقات الناتجة عن تكرير النفط الخام مادة نقية. فكما هو موضح في **الشكل 6-4**، يُعد الجازولين خليطًا من الهيدروكربونات، وليس مادة نقية؛ إذ تتكون معظم جزيئات الهيدروكربونات في الجازولين التي تحتوي على روابط تساهمية أحادية من 5–12 ذرة كربون. وعلى الرغم من ذلك، فإن الجازولين المستخدم اليوم في السيارات يختلف عمّا استُخدِم في المركبات في بدايات القرن العشرين. فاليوم يجرى تعديل الجازولين المستخلص من النفط بعملية التقطير من خلال ضبط تركيبه وإضافة مواد تؤدي إلى تحسين أدائه في محرك المركبات، وتؤدي أيضًا إلى تقليل التلوث الناتج عن عوادم السيارات.

لذا فمن الضروري جدًّا أن يحدث اشتعال خليط الجازولين والهواء في أسطوانة محرك المركبة في اللحظة المناسبة، وأن يجري احتراقه تمامًا. فإذا حدث الاشتعال قبل الموعد المناسب أو بعده فإن ذلك يؤدي إلى خسارة الكثير من الطاقة، وانخفاض فاعلية الوقود، وفقدان كفاءة المحرك. لا تحترق معظم الهيدروكربونات ذات السلاسل المستقيمة (غير المتفرّعة) تمامًا، وتميل بفعل الحرارة والضغط إلى الاشتعال المبكر قبل أن يصبح المكبس في الموضع الصحيح، وقبل اشتعال شمعة الاحتراق؛ إذ يكون هذا الاحتراق المبكر مصحوبًا بفرقعة (knocking).

الشكل 7-4 تقوم أبراج التقطير التجزيئي بفصل كميات كبيرة من النفط إلى مكونات (مشتقات) قابلة للاستعمال. فآلاف المنتجات التي نستخدمها في منازلنا وفي التنقل والصناعة ناتجة عن عملية تكرير (تنقية) النفط.

استنتج **ما نوع المواد المنبعثة من مصافي النفط التي يجب التحكم فيها لحماية البيئة؟**



أُنشئ نظام تصنيف رقم الأوكتان (منع الفرقعة)، للجازولين في أواخر العشرينات، مما أدى إلى إدراج رقم الأوكتان على مضخات الجازولين كما في **الشكل 8-4**. فللجازولين المتوسط الدرجة رقم أوكتان يقارب 89، في حين للجازولين الممتاز قيمة أعلى تصل 91 أو أكثر. وتُحدد كثير من العوامل التصنيف الأوكتاني الذي تحتاج إليه السيارة، فمنها ضغط المكبس على خليط الوقود والهواء، ودفع السيارة أيضًا. وفي المملكة العربية السعودية تم تصنيف رقم الأوكتان على مضخات الجازولين 91، 95.

الربط مع علم الأرض وجد الناس منذ أقدم العصور أن النفط يسيل من الشقوق الموجودة في الصخور. وتشير السجلات التاريخية إلى أن النفط قد استُخدم منذ أكثر من 5000 سنة. وفي القرن التاسع عشر عندما دخل العالم عصر الآلات وازداد عدد سكانه، فازداد الطلب على منتجات النفط وبخاصّة الكيروسين لاستخدامه في الإنارة وتشحيم الآلات. قام إدوين دريك Edwin Drake -في محاولة منه للعثور على مخزون دائم من النفط- بحفر أول بئر نفط في الولايات المتحدة في ولاية بنسلفانيا عام 1859م. وازدهرت صناعة النفط لفترة من الزمن، ولكن حين اكتشف توماس أديسون Thomas Edison المصباح الكهربائي في عام 1882م، خشي المستثمرون من القضاء على هذه الصناعة. غير أن اختراع السيارات في العقد الأخير من القرن التاسع عشر أنعش هذه الصناعة كثيرًا.



الشكل 8-4 تستخدم تصنيفات الأوكتان لإعطاء قيم منع الفرقعة (antiknock) فالتصنيف لجازولين السيارات المتوسط الدرجة 89، أما 91 و 95 واكثر يصنف على انه ممتاز.

وفي المملكة العربية السعودية هناك نوعين من الجازولين. كما في الصورة.

ويتم التعرف على النوع المناسب 91 أو 95 للسيارة من دليل السيارة.

والرقم الأوكتاني لوقود الطائرات 100. أما وقود سيارات السباق فرقمه الأوكتاني 110.

التقويم 1-4

الخلاصة

- تحتوي المركّبات العضوية على الكربون، إذ يمكنه تكوين سلاسل مستقيمة وأخرى متفرعة.
- الهيدروكربونات مركبات عضوية تتألف من عنصري الكربون والهيدروجين فقط.
- المصدران الرئيسان للهيدروكربونات هما النفط والغاز الطبيعي.
- يمكن فصل النفط إلى مكوّناته عن طريق عملية التقطير التجزيئي.

1. **الفكرة الرئيسة** **اذكر** ثلاثة تطبيقات للهيدروكربونات؟
2. **سمِّ** مركّبًا عضويًّا، ووضح ما يدرسه عالم الكيمياء العضوية.
3. **حدّد** المعلومات التي تركّز عليها كل من النماذج البنائية الجزيئية الأربعة.
4. **قارن** بين الهيدروكربونات المشبعة وغير المشبعة.
5. **صف** عملية التقطير التجزيئي.
6. **استنتج** توصف بعض المنتجات الدهنية بأنها زيوت نباتية مُهَدْرَجة، وهي زيوت تفاعلت مع الهيدروجين بوجود عامل محفز. ما سبب تفاعل الهيدروجين مع هذه الزيوت؟
7. **فسّر البيانات** اعتمادًا على الشكل 6-4. ما تأثير أعداد ذرات الكربون في الهيدروكربونات - في لزوجة أي مكوّن نفطي عندما يُبرَّد إلى درجة حرارة الغرفة؟

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

4–2

الأهداف

- **تُسمي** الألكانات من خلال تفحّص صيغها البنائية.
- **تكتب** الصيغة البنائية للألكان إذا أُعطيت اسمه.
- **تصف** خصائص الألكانات.

مراجعة المفردات

الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية أيوباك (IUPAC) International Union of Pure and Applied Chemistry: منظمة دولية تساعد على التواصل بين الكيميائيين من خلال وضع قواعد ومعايير لبعض المجالات مثل التسمية الكيميائية، والمصطلحات، والطرائق المعيارية.

المفردات الجديدة

الألكان

السلسلة المتماثلة

السلسلة الرئيسة

المجموعة البديلة

الهيدروكربون الحلقي

الألكان الحلقي

الألكانات Alkanes

الفكرة الرئيسة **الألكانات هيدروكربونات تحتوي فقط على روابط أحادية.**

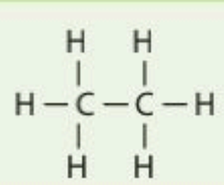
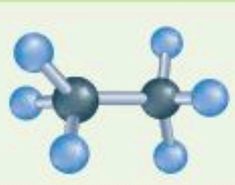
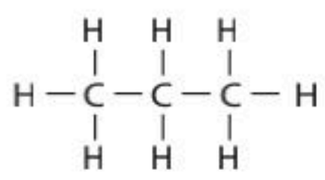
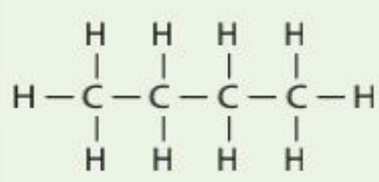
الربط مع الحياة هل سبق أن استخدمت لهب بنزن أو شواية غاز؟ إذا فعلت ذلك تكون قد استخدمت ألكاناً. فالغاز الطبيعي والبروبان هما الغازان الأكثر استخدامًا، وكلاهما ألكان.

الألكانات ذات السلاسل المستقيمة Straight–Chain Alkanes

يُعدّ الميثان أصغر مركب في سلسلة الهيدروكربونات المعروفة بالألكانات. ويتخذ وقودًا في المنازل ومختبرات العلوم، وهو ينتج عن الكثير من العمليات الحيوية. وتحتوي **الألكانات**، وهي هيدروكربونات، على روابط أحادية فقط بين الذرات. انظر إلى النماذج البنائية للميثان التي درستها سابقًا. كما يبين **الجدول 1–4** النماذج البنائية للإيثان C_2H_6 المركب الثاني في سلسلة الألكانات. ويتألف الإيثان من ذرتي كربون مرتبطتين معًا برابطة أحادية، وست ذرات هيدروجين تتشارك في إلكترونات التكافؤ المتبقية لذرتي الكربون.

ويتكون المركّب الثالث في سلسلة الألكانات، البروبان، من ثلاث ذرات كربون وثماني ذرّات هيدروجين، مما يعطيه الصيغة الجزيئية C_3H_8. أما مركب البيوتان فيتكون من أربع ذرات كربون وصيغته C_4H_{10}. قارن بين الصيغ البنائية لكل من الإيثان، والبروبان، والبيوتان، المبينة في **الجدول 1–4**.

الجدول 1-4 **الألكانات البسيطة**

الصيغة الجزيئية	الصيغة البنائية	نموذج الكرة والعصا	النموذج الفراغي
الإيثان (C_2H_6)			
البروبان (C_3H_8)			
البيوتان (C_4H_{10})			

الجدول 2-4	أسماء الألكانات العشرة الأولى ذات السلاسل المستقيمة	
الاسم	الصيغة الجزيئية	الصيغة البنائية المكثفة
ميثان	CH_4	CH_4
إيثان	C_2H_6	CH_3CH_3
بروبان	C_3H_8	$CH_3CH_2CH_3$
بيوتان	C_4H_{10}	$CH_3CH_2CH_2CH_3$
بنتان	C_5H_{12}	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_3$
هكسان	C_6H_{14}	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$
هبتان	C_7H_{16}	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$
أوكتان	C_8H_{18}	$CH_3(CH_2)_6CH_3$
نونان	C_9H_{20}	$CH_3(CH_2)_7CH_3$
ديكان	$C_{10}H_{22}$	$CH_3(CH_2)_8CH_3$

يُباع البروبان ـ والمعروف أيضًا بغاز (البروبان المُسال) Liquified Propan (LP) ـ في صورة وقود للطبخ والتسخين. ويستخدم البيوتان في القدّاحات الصغيرة، وفي بعض المشاعل، كما يستخدم أيضًا في تصنيع المطاط الصناعي.

تسمية الألكانات ذات السلاسل المستقيمة لقد لاحظت على الأغلب أن أسماء الألكانات تنتهي بـ المقطع "ان"، وأن الألكانات التي تحوي خمس ذرات كربون أو أكثر تبدأ أسماؤها بمقاطع مشتقة من أرقام يونانية أو لاتينية تُمثل عدد ذرات الكربون في كل سلسلة. فالبنتان مثلًا له خمس ذرات كربون، تمامًا كالشكل المخمس ذي الأوجه الخمسة، والأوكتان يحتوي على ثمانية ذرات كربون مثل الأخطبوط (octopus) ذي المجَسَّات الثمانية. أما مركبات الميثان، والإيثان، والبروبان، والبيوتان فقد سُميت قبلَ معرفة بناء (تركيب) الألكانات، لذا فإن المقاطع الأولى من أسمائها ليست مشتقة من بادئة رقمية. ويُظهر **الجدول 2-4** أسماء الألكانات العشرة الأولى وصيغها. لاحظ أن المقطع الأول المخطوط تحته يمثل عدد ذرات الكربون في الجزيء.

ويبين **الجدول 2-4** أن الصيغ البنائية قد كُتبت بطريقة مختلفة عمّا هي عليه في **الجدول 1-4**. وتُسمى هذه الصيغ بالصيغ البنائية المكثفة، حيث توفر الحيز لكونها لا تظهر تفرع ذرات الهيدروجين من ذرات الكربون. ويمكن كتابة الصيغ المكثفة بطرائق عدة. ففي **الجدول 2-4** حذفت الخطوط التي بين ذرات الكربون لتوفير المساحة.

وتستطيع أيضًا في هذا **الجدول 2-4**، ملاحظة أن $-CH_2-$ هي الوحدة المتكررة في السلسلة الكربونية. فعلى سبيل المثال، يزيد البنتان عن البيوتان بوحدة $-CH_2-$ واحدة.

المفردات

أصل الكلمة

مُتماثل Homologous

جاءت من الكلمة الإغريقية (homologos) وتعني مُتّفِق.

وتستطيع زيادة تكثيف الصيغ البنائية بكتابة وحدة $-CH_2-$ بين قوسين يتبعها رقم سفلي يمثل عدد هذه الوحدات، كما هو الحال مع الأوكتان، والنونان، والديكان.

وتُسمى سلسلة المركبات التي يختلف بعضها عن بعض في عدد الوحدة المتكررة **السلسلة المُتماثلة**. ولهذه السلسلة صيغة رقمية ثابتة بين أعداد الذرات. ففي الألكانات يمكن كتابة الصيغة العامة التي تربط بين عدد ذرات الكربون والهيدروجين على النحو الآتي C_nH_{2n+2}؛ حيث n عدد ذرات الكربون في الألكان. والآن تستطيع كتابة الصيغة الجزيئية لأي ألكان إذا أعطيت عدد ذرات الكربون فيه. فعلى سبيل المثال، يحتوي الهبتان على سبع ذرات كربون، لذا فإن صيغته هي $C_7H_{2(7)+2}$ أو C_7H_{16}.

ماذا قرأت؟ **اكتب** الصيغة الجزيئية لألكان يحتوي على 13 ذرة كربون في صيغته الجزيئية.

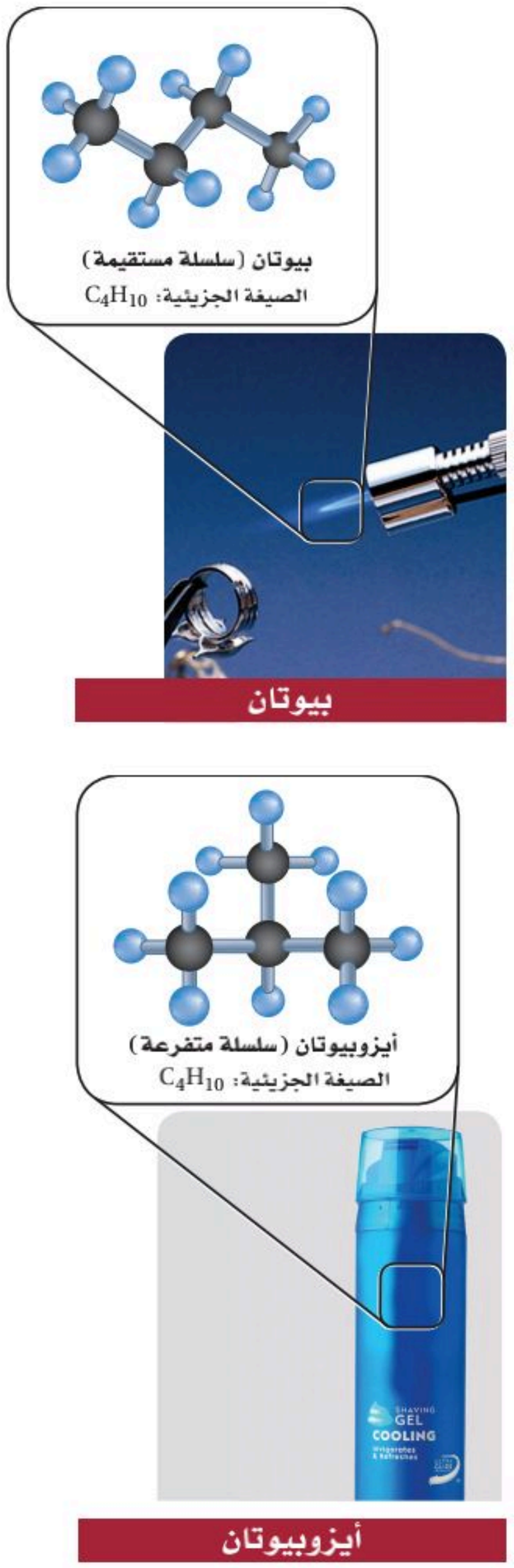
الألكانات ذات السلاسل المتفرّعة Branched–Chain Alkanes

تُسمّى الألكانات التي ناقشناها حتى الآن الألكانات ذات السلاسل المستقيمة؛ لأن ذرات الكربون فيها ترتبط معًا بخط واحد. والآن انظر إلى الصيغتين في **الشكل 9-4**، فإذا عددت ذرات الكربون والهيدروجين فستكتشف أن كلتيهما لها الصيغة الجزيئية نفسها C_4H_{10}، فهل هما المادة نفسها؟

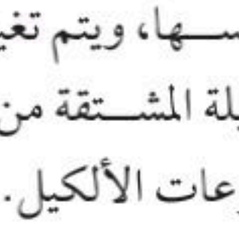
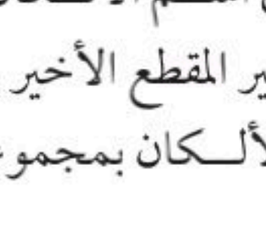
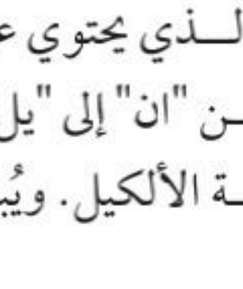
فإذا اعتقدت أن البنائيتين تمثّلان مادتين مختلفتين فأنت على صواب. إذ تمثل الصيغة البنائية في الجانب السفلي البيوتان، في حين يمثل البناء في الجانب العلوي ألكانًا متفرّعًا يعرف بالأيزوبيوتان، وهي مادة لها خصائص كيميائية وفيزيائية مختلفة عن البيوتان تمامًا. وتستطيع أن ترتبط ذرة الكربون مع ذرة أو ذرتين أو ثلاث أو حتى أربع ذرات كربون أخرى، ممّا ينجم عن هذه الخاصية وجود مجموعة متنوعة من الألكانات ذات السلاسل المتفرعة.

لقد عرفت سابقًا أن البيوتان يُستخدم في القدّاحات والمشاعل. وأما الأيزوبيوتان بوصفه مادة آمنة بيئيًّا فيستخدم في التبريد، ويتخذ مادة دافعة في منتجات مماثلة لجل الحلاقة، كما في **الشكل 9-4**. وبالإضافة إلى هذه التطبيقات فإن كلًّا من البيوتان والأيزوبيوتان يستخدم في صورة مادة خام في عمليات تصنيع الكثير من المواد الكيميائية.

ماذا قرأت؟ **صف** الفرق بين الصيغة البنائية لكل من البيوتان والأيزوبيوتان.



الشكل 9-4 تستخدم البيوتان وقودًا في القداحات، أما الأيزوبيوتان فيستخدم في منتجات مثل جل الحلاقة.

الجدول 3-4	الألكيلات البسيطة				
الاسم	الميثيل	الإيثيل	البروبيل	الأيزوبروبيل	البيوتيل
الصيغة البنائية المكثفة	CH_3-	CH_3CH_2-	$CH_3CH_2CH_2-$	$CH_3\underset{\vert}{C}HCH_3$	$CH_3CH_2CH_2CH_2-$
الصيغة البنائية					

مجموعات الألكيل لقد رأيت أن الألكانات المتفرعة والمستقيمة لها الصيغة الجزيئية نفسها. وتوضح هذه الحقيقة مبدأً أساسيًّا في الكيمياء العضوية "يحدد تنظيم الذرات وترتيبها في الجزيء العضوي هويته". لذا يجب أن يصف اسم المركب العضوي التركيب البنائي للمركب بدقة.

يطلق على أطول سلسلة كربونية متصلة (مستمرة) عند تسمية الألكانات المتفرعة **السلسلة الرئيسة**. وتُسمى كل التفرعات الجانبية **المجموعات البديلة**؛ لأنها تظهر كأنها بديلة لذرة الهيدروجين في السلسلة المستقيمة (غير المتفرعة). ويُنسب اسم المجموعة البديلة المشتقة من الألكان، والتي تتفرع من السلسلة الرئيسة، إلى اسم الألكان الذي يحتوي على عدد ذرات الكربون نفسها، ويتم تغيير المقطع الأخير من "ان" إلى "يل". وتُسمى المجموعة البديلة المشتقة من الألكان بمجموعة الألكيل. ويُبين الجدول **3-4** بعض مجموعات الألكيل.

تسمية الألكانات ذات السلاسل المتفرعة استخدم الكيميائيون القواعد النظامية الآتية المتفق عليها من الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية أيوباك، (IUPAC) في تسمية مركبات الكيمياء العضوية.

الخطوة1. حدد عدد ذرات الكربون في أطول سلسلة متصلة، مستخدمًا اسم الألكان الذي يحتوي على هذا العدد من ذرات الكربون على أنه اسم للسلسلة الرئيسة في الصيغة البنائية.

الخطوة 2. رقِّم كل ذرة كربون في السلسلة الرئيسة، مبتدئًا الترقيم من طرف السلسلة الأقرب إلى المجموعة البديلة؛ إذ تُعطي هذه الخطوة مواقعَ جميع المجموعات البديلة أصغرَ أرقام ممكنة.

المفردات

أصل الكلمة

المفردات الأكاديمية

البديل (Substitute)

هو الشخص أو الشيء الذي يحل مَحلَّ غيره.

مثال: يُتخذ الحرير الصناعي بديلاً عن الحرير الطبيعي.

الربط الصحة

يعَدُّ غاز البيوتان من الغازات السَّامة التي تُؤثِّر على صحة الإنسانِ بشكل سلبي، ويُمكنُ أن يؤديَ استنشاقُهُ إلى الوفاة بسببِ السُّميَّة التي يتمتَّعُ بها هذا الغاز مباشرةً.

الخطوة 3. سمِّ كل مجموعة ألكيل بديلة. وضع اسم المجموعة قبل اسم السلسلة الرئيسة.

الخطوة 4. إذا تكررت مجموعة الألكيل نفسها أكثر من مرة بوصفها تفرعًا عن السلسلة الرئيسة فاستخدم بادئة (ثنائي ، ثلاثي، رباعي ، وهكذا...) قبل اسم المجموعة للدلالة على عدد المرات التي تظهر فيها، واستخدم رقم ذرة الكربون التي تتصل بها المجموعة للدلالة على موقعها.

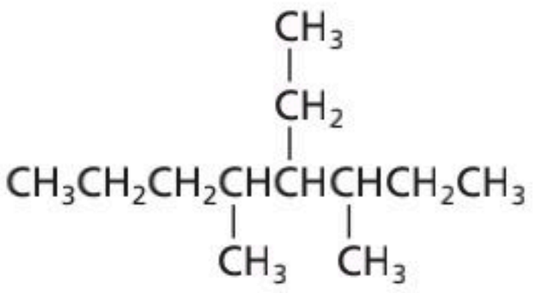
الخطوة 5. عندما تتصل مجموعات ألكيل مختلفة على السلسلة الرئيسة نفسها ضع أسماءها بالترتيب الهجائي باللغة الانجليزية. ولا تُؤخذ البادئات (ثنائي، ثلاثي، وهكذا) في الحسبان عند تحديد الترتيب الهجائي.

الخطوة 6. اكتب الاسم كاملاً، مُستخدمًا الشرطات لفصل الأرقام عن الكلمات، والفواصل للفصل بين الأرقام. ولا تترك فراغًا بين اسم المجموعة واسم السلسلة الرئيسة.

مثال 1-4

تسمية الألكانات ذات السلسلة المتفرعة

سمِّ الألكان المبيَّن في الشكل أدناه.



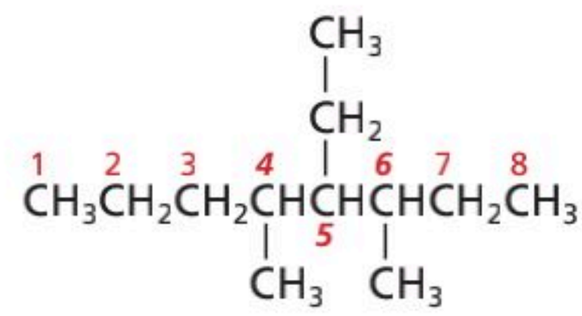
1 تحليل المسألة

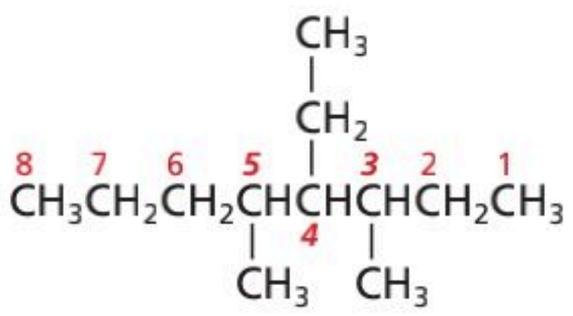
أعطيت الصيغة البنائية. اتبع قواعد نظام التسمية الأيوباك IUPAC لتحديد اسم السلسلة الرئيسة وأسماء التفرعات ومواقعها في الشكل المعطى.

2 حساب المطلوب

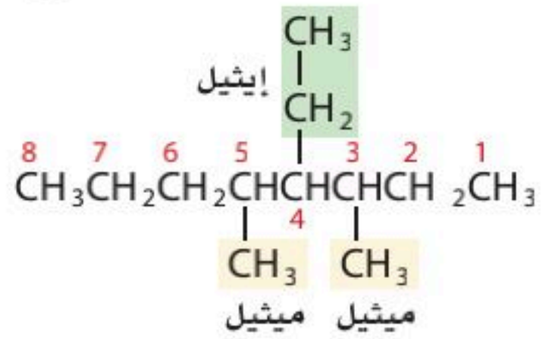
الخطوة 1. حدّد عدد ذرات الكربون في أطول سلسلة متصلة. يُمكن توجيه السلاسل في الصيغ البنائية بطرائق عديدة؛ لذا عليك الانتباه خلال البحث عن أطول سلسلة كربونية. وفي هذه الحالة يكون الوضع سهلاً؛ حيث إن أطول سلسلة تحتوي على ثماني ذرات كربون، لذا فإن الاسم الرئيس هو أوكتان.

الخطوة 2. رقّم كل ذرة كربون في السلسلة الرئيسة. ورقّم السلسلة في كلا الاتجاهين، كما هو مُوضَّح أدناه مبتدئًا من اليسار بوضع مجموعات الألكيل على المواقع 4 و 5 و6، ثم من اليمين بوضع مجموعات الألكيل على المواقع 3 و 4 و5. ولأن أرقام المواقع 3 و4 و5 هي الأصغر لذا يجب استخدامها في الاسم.

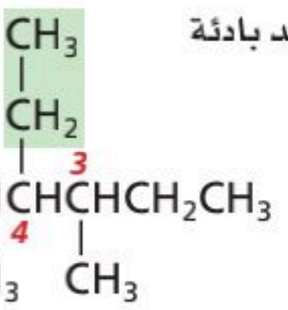




الخطوة 3. عيّن مجموعات الألكيل المتفرعة عن السلسلة الرئيسة وسمّها. هناك مجموعتان ميثيل- موجودتان على الموقعين 3 و 5، ومجموعة إيثيل على الموقع 4.



الخطوة 4. إذا تكررت مجموعة الألكيل نفسها أكثر من مرة بوصفها فرعًا على السلسلة الرئيسة فاستخدم البادئات (ثنائي، ثلاثي، رباعي، وهكذا...) قبل اسم المجموعة للدلالة على عدد المرات التي تظهر فيها، وابحث عن مجموعات الألكيل التي تكررت أكثر من مرة وأحص عددها. ثم حدّد البادئة التي تُظْهِر عدد المرات التي تظهر فيها كل مجموعة واستخدمها. وسوف تضاف في هذا المثال البادئة "ثنائي" إلى الاسم ميثيل؛ لأن هناكَ مجموعتي ميثيل. ولا يتطلب ذلك إضافة أي بادئة إلى مجموعة الإيثيل الوحيدة. بيّن الآن موقع كل مجموعة باستخدام الرقم المناسب.



الخطوة 5. عندما تتصل مجموعات ألكيل مختلفة بالسلسلة الرئيسة ضع أسماءها حسب الترتيب الهجائي، وضع أسماء تفرعات الألكيل حسب الترتيب الهجائي باللغة الإنجليزية مع تجاهل البادئات؛ حيث يضع الترتيب الهجائي الاسم إيثيل قبل ثنائي ميثيل (E قبل M).

الخطوة 6. اكتب الاسم كاملاً، واستخدم الشرطات لفصل الأرقام عن الكلمات والفواصل للفصل بين الأرقام، واكتب اسم الشكل (المركب) مستخدمًا الشرطات والفواصل حسب الحاجة. ويتعين كتابة الاسم على النحو الآتي:

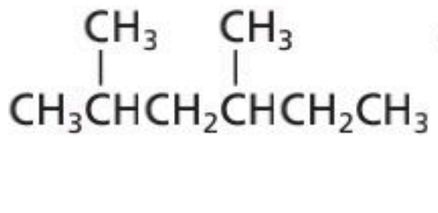
4- إيثيل- 3، 5 - ثنائي ميثيل أوكتان.

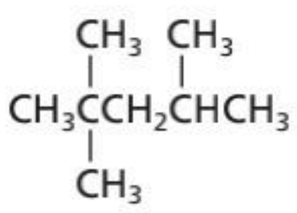
3 تقويم الإجابة

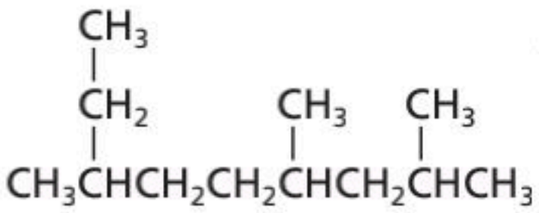
تم إيجاد وترقيم أطول سلسلة كربونية متصلة بصورة صحيحة، وتَمَّ تعيين جميع التفرعات بالبادئات، وأسماء مجموعات ألكيل الصحيحة. الترتيب الهجائي وعلامات الترقيم صحيحان.

مسائل تدريبية

8. استخدم قواعد نظام التسمية الأيوباك IUPAC لتسمية الصيغة البنائية للمركبات الآتية:

a. 

b. 

c. 

9. تحفيز اكتب الصيغ البنائية للمركبات الآتية:

a. 3،2 - ثنائي ميثيل-5- بروبيل ديكان

b. 5، 4، 3 - ثلاثي إيثيل أوكتان

الألكانات الحلقية Cycloalkanes

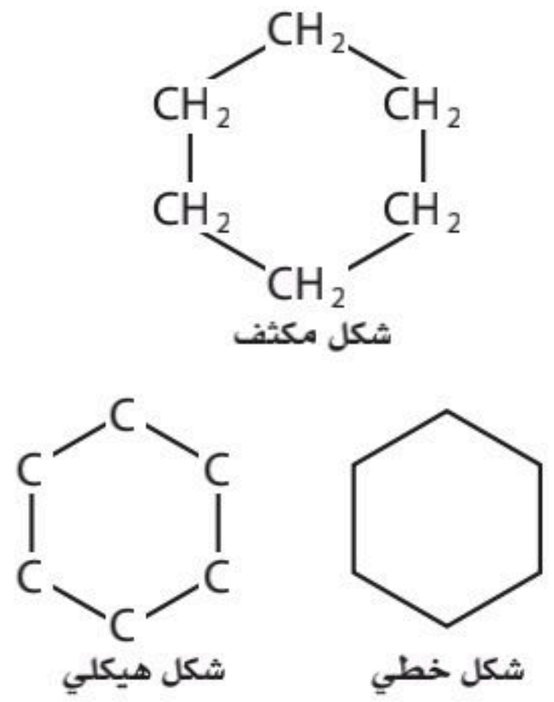
تُعد قدرة ذرة الكربون على تكوين تراكيب بنائية حلقية من أسباب وجود هذا التنوع في المركبات العضوية. ويُسمى المركب العضوي الذي يحتوي على حلقة هيدروكربونية **الهيدروكربون الحلقي**. وتُستخدم البادئة حلقي (cyclo) مع اسم الهيدروكربون للإشارة إلى احتواء الهيدروكربون على بناء حلقي. لذا فإن الهيدروكربونات الحلقية المحتوية على روابط أحادية فقط تُسمى **الألكانات الحلقية**. وتتكون الحلقات في الألكانات الحلقية من ثلاث، أو أربع، أو خمس، أو ست ذرات كربون أو أكثر. إن اسم الألكان الحلقي ذي الذرات الست من الكربون هو هكسان حلقي. ويستخدم الهكسان الحلقي المستخرج من البترول في مُزيلات الدهان، واستخلاص الزيوت الطَّيَّارة لتحضير العطور. ولاحظ أن الهكسان الحلقي C_6H_{12} يقل عن الهكسان C_6H_{14} غير المتفرع بذرتي هيدروجين؛ وذلك لأن إلكترون تكافؤ واحدًا من كل من ذرتي الكربون في الألكان الحلقي يكوِّن رابطة كربون- كربون عوضًا عن رابطة كربون- هيدروجين.

ماذا قرأت؟ **قوّم** إذا وجدت (حلقي) في اسم الألكان، فما الذي ستعرفه عن هذا الألكان؟

تُمثَّل الهيدروكربونات الحلقية، كما في **الشكل 10-4** الهكسان الحلقي بأشكال مكثفة وهيكلية وخطية عديدة؛ وتُظهر الأشكال الخطية الروابط بين ذرات الكربون فقط، وتُفسر الزوايا في الشكل على أنها مواقع ذرات الكربون. أما بالنسبة لذرات الهيدروجين فيفترض أنها تحتل بقية مواقع الربط إلاّ إذا وُجدت التفرعات (المجموعات البديلة). ولا تظهر ذرات الهيدروجين في الشكل الهيكلي.

تسمية الألكانات الحلقية المحتوية على مجموعات بديلة يمكن أن يكون للألكانات الحلقية مجموعات بديلة كسائر الألكانات الأخرى. وتتم تسميتها باتباع قواعد نظام الأيوباك (IUPCA) المستخدمة في تسمية الألكانات غير المتفرعة نفسها، ولكن بإجراء تعديل محدود؛ فليس هناك حاجة إلى إيجاد أطول سلسلة؛ إذ تعد الحلقة دائمًا السلسلة الرئيسة. ولأن الشكل الحلقي ليس له أطراف لذا يبدأ الترقيم من ذرة الكربون المرتبطة بالمجموعة البديلة. وعند وجود أكثر من مجموعة بديلة تُرقم ذرات الكربون حول الحلقة، على أن تحصل المجموعات البديلة على أصغر مجموعة أرقام ممكنة. وإذا كان هناك مجموعة بديلة واحدة متصلة بالحلقة فلا ضرورة عندئذٍ للترقيم. ويُوضح المثال الآتي عملية تسمية الألكانات الحلقية.

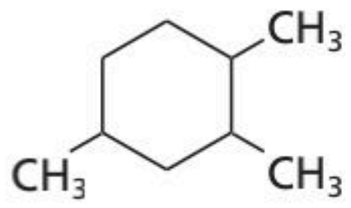
الشكل 10-4 يمكن تمثيل التركيب البنائي للهكسان الحلقي بطرائق عدة.



مثال 2-4

تسمية الألكانات الحلقية

سمّ الألكان الحلقي المجاور.



1 تحليل المسألة

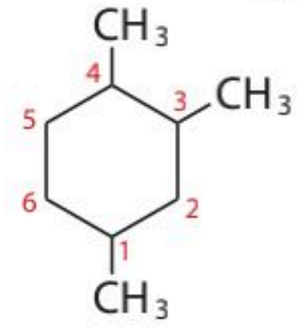
أعطيت الصيغة البنائية. عليك اتباع قواعد نظام الأيوباك لتحديد الشكل الحلقي الرئيس ومواقع المجموعات البديلة (التفرعات) للشكل المعطى.

2 حساب المطلوب

الخطوة 1. حدّد عدد ذرات الكربون في الحلقة، واستخدم اسم الهيدروكربون الحلقي الرئيس. حيث تتألف الحلقة في هذه الحالة، من ست ذرات كربون. لذا فإن الاسم الرئيس هو هكسان حلقي.

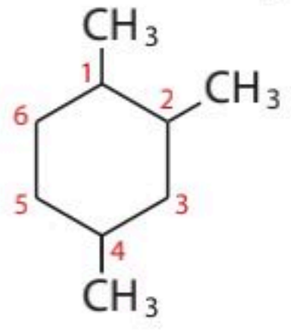
الخطوة 2. رقِّم الحلقة ابتداءً من أحد تفرّعات ($-CH_3$)، وجِد الترقيم الذي يعطي أقل مجموعة أرقامًا ممكنة للتفرعات. وفيما يأتي طريقتان لترقيم الحلقة هما:

A



1,3,4

B



1,2,4

يضع الترقيم بدءًا من ذرة الكربون في أسفل الحلقة مجموعاتِ $-CH_3$ على المواقع 1 و3 و4 في الشكل A، في حين يضع الترقيم بدءًا من ذرة الكربون في أعلى الحلقة مجموعاتِ CH_3 على المواقع 1و 2 و 4. وتضع طرائق الترقيم الأخرى مجموعات $-CH_3$ على مواقع ذات أرقام أعلى. لذا فإن 1 و 2 و 4 هي أقل أرقام ممكنة. لذلك تُستخدم في الاسم.

الخطوة 3. سمِّ المجموعات البديلة. علمًا بأن المجموعات الثلاث جميعها مجموعات ميثيل.

الخطوة 4. أضف البادئة لإظهار عدد المجموعات الموجودة، حيث توجد ثلاث مجموعات ميثيل، لذا فإن البادئة (ثلاثي) تُضاف إلى اسم المجموعة ميثيل، فتصبح ثلاثي ميثيل.

الخطوة 5. يمكن تجاهل الترتيب الهجائي بسبب وجود نوع واحد من المجموعات.

الخطوة 6. جَمّع الاسم باستخدام اسم الألكان الحلقي الرئيس، مستخدمًا الفواصل للفصل بين الأرقام، والشرطات للفصل بين الأرقام والكلمات. واكتب الاسم على النحو الآتي:

1، 2، 4 – ثلاثي ميثيل هكسان حلقي

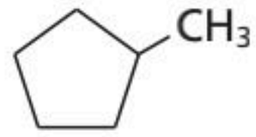
3 تقويم الإجابة

يُرقّم الشكل الحلقي الرئيس على أن يعطي التفرعات أقل مجموعة أرقام ممكنة. وتشير البادئة (ثلاثي) إلى وجود ثلاث ذرات كربون. ولأن التفرعات كلها هي مجموعات ميثيل، لذا فلا ضرورة للترتيب الهجائي.

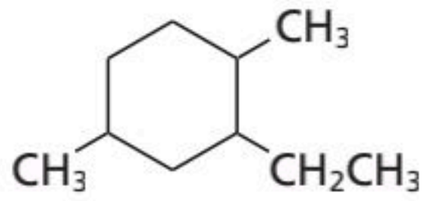
مسائل تدريبية

10. استخدم قواعد نظام الأيوباك لتسمية الصيغ البنائية الآتية:

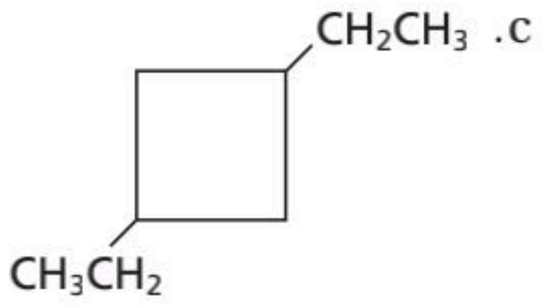
a.



b.



c.



11. تحفيز اكتب الصيغ البنائية للألكانات الآتية:

a. 1- إيثيل- 3- بروبيل بنتان حلقي.

b. 4،2،2،1 - رباعي ميثيل هكسان حلقي.

خصائص الألكانات Properties of Alkanes

عرفت سابقًا أن بناء الجزيء يؤثر في خصائصه. فمثلاً رابطة O-H الموجودة في الماء رابطة قُطبية، ولأن جزيء H-O-H له شكل هندسي منحنٍ فإن الجزيء نفسه قطبي، لذا تنجذب جزيئات الماء بعضها إلى بعض، وتكوّن روابطً هيدروجينية معًا. لذا فإن درجات الغليان والانصهار للماء أعلى كثيرًا من سائر المواد المشابهة له في الكتلة الجزيئية وفي الحجم.

ترى، ما خصائص الألكانات؟ تتكون جميع الروابط في الهيدروكربونات من ذرة كربون وذرة هيدروجين، أو ذرتي كربون. ويتعذر أن تكون الرابطة بين ذرتين من النوع نفسه - مثل الكربون - رابطة قطبية. لذا تُعد جزيئات الألكانات غير قطبية؛ لأن روابطها جميعًا غير قطبية، مما يجعلها مذيبات جيدة لمواد أخرى غير قطبية، كما في **الشكل 11-4**.

الخصائص الفيزيائية للألكانات كيف تُقارَن خصائص المركب القطبي بخصائص المركب غير القطبي؟ انظر إلى **الجدول 4-4**، ولاحظ أن الكتلة الجزيئية للميثان (16 amu) قريبة من الكتلة الجزيئية للماء (18 amu)، كذلك فإن جزيئات الماء والميثان متقاربة في الحجم. وعلى الرغم من ذلك، عندما تُقارن درجات الغليان والانصهار للميثان



الشكل 11-4 الكثير من المذيبات-التي تستخدم مادة مرقّقة في الدهانات، والطلاء، والمواد الشمعية، وأحبار آلات النسخ، والمواد اللاصقة وأحبار الطابعات- تحتوي على الألكانات والألكانات الحلقية.

بما للماء ترى دليلاً على أن الجزيئات تختلف اختلافًا واضحًا و جوهريًّا. ويعود سبب الاختلاف الكبير في درجات الحرارة إلى أن التجاذب بين جزيئات الميثان ضعيف مقارنة بالتجاذب بين جزيئات الماء. ويمكن تفسير هذا الاختلاف في التجاذب إلى أن جزيئات الميثان غير قطبية، ولا تُكوِّن روابط هيدروجينية بينها، أما جزيئات الماء فقطبية وتُكوِّن روابط هيدروجينية.

يفسّر الفرق في القطبية والروابط الهيدروجينية أيضًا عدم امتزاج أو اختلاط الألكانات والهيدروكربونات الأخرى بالماء. فإذا حاولت إذابة ألكانات ـ مثل زيوت التشحيم ـ في الماء ينفصل السائلان فورًا إلى طبقتين. ويحدث هذا الانفصال لأن قوى التجاذب بين جزيئات الألكان أقوى من قوى التجاذب بين جزيئات الألكان والماء. لذا فإن الألكانات تذوب في المذيبات المكوَّنة من جزيئات غير قطبية.

الجدول 4-4 مقارنة الخصائص الفيزيائية

المادة والصيغة	الماء H_2O	الميثان CH_4
الكتلة الجزيئية	18 amu	16 amu
حالة المادة عند درجة حرارة الغرفة	سائل	غاز
درجة الغليان	100°C	−162°C
درجة الانصهار	0°C	−182°C

المطويات

أدخل معلومات من هذا القسم في مطويتك.

الخصائص الكيميائية للألكانات إن الخاصية الكيميائية الرئيسة للألكانات هي ضعف نشاطها الكيميائي. وكما عرفت سابقًا فإن الكثير من التفاعلات الكيميائية تحدث عندما تنجذب مادة متفاعلة ذات شحنة كهربائية كاملة، مثل الأيون، أو ذات شحنة جُزئية، مثل جزيء قطبي، إلى مادة متفاعلة أخرى ذات شحنة معاكسة. الجزيئات التي تكون فيها الذرات مرتبطة بروابط غير قطبية ـ كما في الألكانات ـ تكون غير قطبية. لذا يكون انجذاب هذه الجزيئات نحو الأيونات أو الجزيئات القطبية ضعيفًا جدًّا. ويمكن إرجاع ضعف نشاط الألكانات إلى روابط C – C و C – H القوية نسبيًّا.

التقويم 2-4

الخلاصة

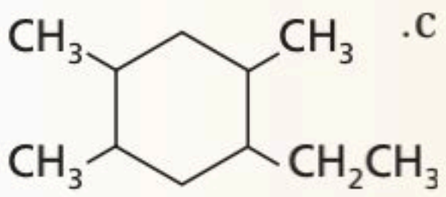
- تحتوي الألكانات على روابط أحادية فقط بين ذرات الكربون.
- تعد الصيغ البنائية أفضل تمثيل للألكانات والمركبات العضوية الأخرى. ويمكن تسمية هذه المركبات باستخدام قواعد نظامية حُدِّدت من الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية (IUPAC).
- تسمّى الألكانات المحتوية على حلقات هيدروكربونية الألكانات الحلقية.

12. الفكرة الرئيسة **صِف** الميزات البنائية الرئيسة لجزيئات الألكانات.

13. سمِّ الصيغ البنائية الآتية باستخدام قواعد نظام الأيوباك.

a. $CH_3CHCH_2CH_2CH_3$ (CH₃ على الكربون الثاني)

b. CH_3CCH_3 (CH₃ على الكربون الثاني، و CH₃ إضافية على الكربون الثاني)

c. 

14. صف الخصائص العامة للألكانات.

15. اكتب الصيغة البنائية لكل مما يأتي:

a. 3،4- ثنائي ميثيل هبتان

b. 4-آيزوبروبيل- 3- ميثيل ديكان

c. 1- إيثيل-4- ميثيل حلقي هكسان

d. 1،2- ثنائي ميثيل حلقي بروبان

16. تفسير الصيغ البنائية لماذا يعد الاسم 3-بيوتيل بنتان غير صحيح؟ اكتب بناءً على هذا الاسم، الصيغة البنائية للمركب. ما الاسم النظامي (الأيوباك) الصحيح للمركب 3- بيوتيل بنتان؟

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

4–3

الأهداف

- **تصف** الصيغ البنائية للألكينات والألكاينات.
- **تُسمّي** الألكين أو الألكاين اعتمادًا على صيغته البنائية.
- **تكتب** الصيغة البنائية للألكين أو الألكاين إن أُعطيت اسمه.
- **تقارن** خصائص الألكينات والألكاينات بخصائص الألكانات.

مراجعة المفردات

الهرمون: مادة كيميائية تُنتَج في جزء من المخلوق الحي وتُنقل إلى جزء آخر، وتؤدي إلى تغير فسيولوجي فيه.

المفردات الجديدة

الألكين

الألكاين

الألكينات والألكاينات

Alkenes and Alkynes

الفكرة الرئيسة **الألكينات هيدروكربونات تحتوي على الأقل على رابطة ثنائية واحدة. أما الألكاينات فهي هيدروكربونات تحتوي على رابطة ثلاثية واحدة على الأقل.**

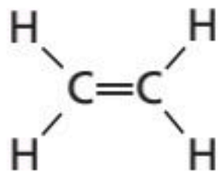
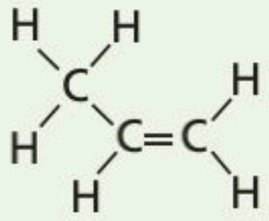
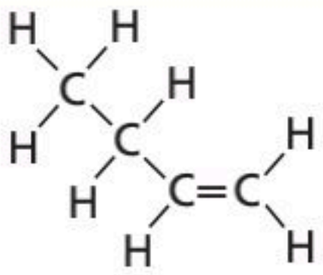
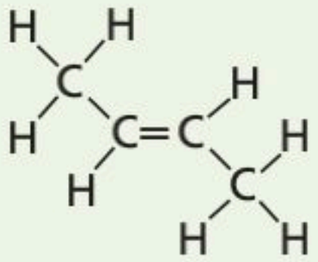
الربط مع الحياة تُنتج النباتات الإيثين في صورة هرمون نُضج طبيعي. وعادةً ما تُقطَف الفواكه والخضراوات قبل تمام نضجها، فتُعرَّض للإيثين حتى تنضج.

الألكينات Alkenes

تذكّر أن الألكانات هيدروكربونات مشبعة؛ لأنها تحتوي على روابط تساهمية أحادية بين ذرات الكربون، وأن الهيدروكربونات غير المشبعة لها على الأقل رابطة ثنائية أو ثلاثية واحدة بين ذرات الكربون. وتسمّى الهيدروكربونات غير المشبعة المحتوية على رابطة تساهمية ثنائية واحدة أو أكثر بين ذرات الكربون **بالألكينات**. ولأن الألكين يجب أن يحتوي على رابطة ثنائية بين ذرات الكربون، لذا لا يوجد ألكين بذرة كربون واحدة. وعليه فإن أبسط ألكين يحتوي على ذرتي كربون ترتبطان برابطة ثنائية. والإلكترونات الأربعة المتبقية – اثنان من كل ذرة كربون – تشترك مع أربع ذرات هيدروجين لتعطي جزيء الإيثين C_2H_4.

تكوّن الألكينات المحتوية على رابطة ثنائية واحدة سلاسل متماثلة. وللسلسلة المتماثلة صيغة رقمية ثابتة بين أعداد الذرات. فإذا درست الصيغ البنائية للمواد الظاهرة في **الجدول 5–4** فسوف ترى أن عدد ذرات الهيدروجين لكلٍّ منها هو ضعف عدد ذرات الكربون. لذا تكون الصيغة العامة للألكينات هي C_nH_{2n}. يَقل كل ألكين عن الألكان المناظر له بذرتي هيدروجين؛ لأن إلكترونين اثنين يكوِّنان الرابطة التساهمية الثانية، وهما غير متوافرين للربط بذرات الهيدروجين. ما الصيغ الجزيئية للألكينات ذات ذرات الكربون الست والتسع؟

الجدول 5-4 صيغ الألكينات

الاسم	إيثين	بروبين	1- بيوتين	2- بيوتين
الصيغة الجزيئية	C_2H_4	C_3H_6	C_4H_8	C_4H_8
الصيغة البنائية				
الصيغة البنائية المكثفة	$CH_2=CH_2$	$CH_3CH=CH_2$	$CH_3CH_2CH=CH_2$	$CH_3CH=CHCH_3$

تسمية الألكينات تُسمى الألكينات بالطريقة المتبعة في تسمية الألكانات نفسها تقريبًا. حيث تكتب أسماؤها بتغيير المقطع الأخير (ان) للألكان المناظر إلى المقطع (ين). ويُسمى الألكان الذي يتكون من ذرتي كربون الإيثان، في حين يسمى الألكين الذي يحتوي على ذرتي كربون الإيثين. وبطريقة مماثلة، فالألكين الذي يحتوي ثلاث ذرات كربون يسمى بروبين. وللإيثين والبروبين اسمان قديمان أكثر شيوعًا، هما الإيثيلين والبروبيلين.

يتعين تحديد موقع الرابطة الثنائية لتسمية الألكينات ذات ذرات الكربون الأربع أو أكثر في السلسلة، كما في الأمثلة في **الشكل 12a–4**. ويتم هذا بترقيم ذرات الكربون في السلسلة الرئيسة ابتداءً من طرف السلسلة الذي يعطي أصغر رقم لأول ذرة كربون في الرابطة الثنائية. ثم يُستخدم هذا العدد في الاسم.

لاحظ أن البناء الثالث ليس "3–بيوتين" لأنه مطابق للبناء الأول، 1–بيوتين. لذا من الضروري أن تُدرك أنّ 1–بيوتين و 2–بيوتين مادتان مختلفتان، لكلٍّ منهما صفاته الخاصة. وتُسمّى الألكينات الحلقية تقريبًا بالطريقة نفسها التي تُسمى بها الألكانات الحلقية، على أن تكون ذرة الكربون رقم 1 هي إحدى ذرّتي الكربون المرتبطتين بالرابطة الثنائية. لاحظ ترقيم المركب في **الشكل 12b–4**. إن اسم هذا المركب هو 1،3– ثنائي ميثيل بنتين حلقي.

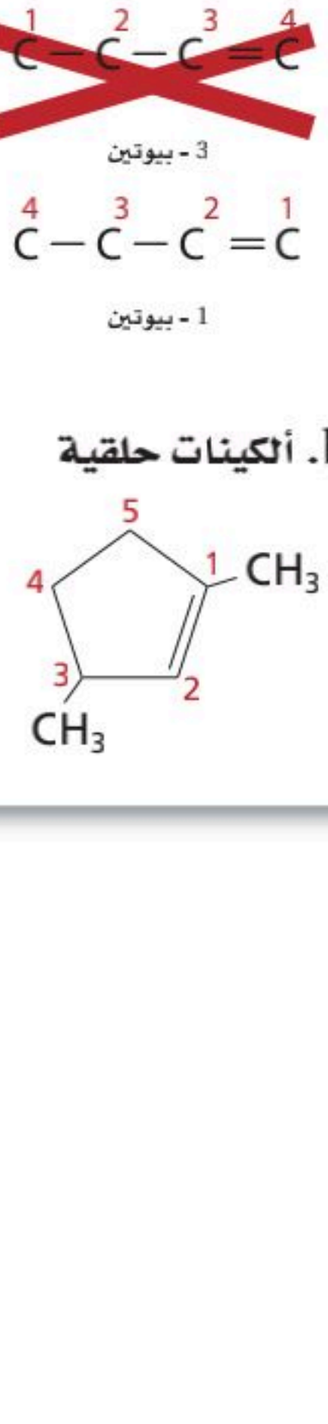
ماذا قرأت؟ **استنتج** لماذا يعد من الضروري تعيين موقع الرابطة الثنائية في اسم الألكين؟

تسمية الألكينات ذات السلاسل المتفرعة اتبع عند تسميتها قواعد نظام الأيوباك المستخدمة في تسمية الألكانات المتفرعة، على أن يؤخذ في الحسبان أمران، أولهما أن تكون السلسلة الرئيسة في الألكينات دائمًا أطول سلسلة تحتوي على الرابطة الثنائية، سواء أكانت أطول سلسلة من ذرات الكربون أم لم تكن. وثانيهما أن يحدد موقع الرابطة الثنائية – وليس التفرعات – كيفية ترقيم السلسلة. لاحظ وجود سلسلتين من 4 – ذرات كربون في الجزيء المُبين في **الشكل 13a–4**، إلا أن السلسلة المحتوية على الرابطة الثنائية استخدمت وحدها أساسًا للتسمية. إن هذا الألكين المتفرّع هو 2– ميثيل بيوتين.

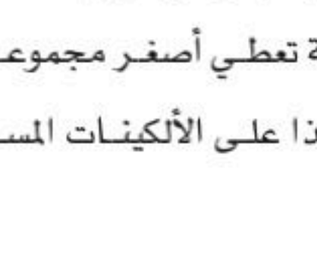
تحتوي بعض الهيدروكربونات غير المشبعة على أكثر من رابطة ثنائية أو ثلاثية. ويظهر عدد الروابط الثنائية في جزيئات من هذا النوع باستخدام البادئة (داي، تراي، تيترا، وهكذا) قبل المقطع (ين). وتُرقّم مواقع الروابط على أن تُنتج أصغر مجموعة من الأرقام. أي نظام ترقيم ستستخدم في المثال في **الشكل 13b–4**؟ ستستخدم البادئة (هبتا)؛ لأن الجزيء يحتوي على سلسلة كربونية سُباعية. ولأنها تحتوي على رابطتين ثنائيتين فإنك تستخدم البادئة (داي) قبل المقطع (ين)، تُعطي الاسم هبتادايين. وبإضافة الرقمين 2 و4 لتعيين مواقع الروابط الثنائية يصبح الاسم 2، 4– هبتادايين.

الشكل 12–4 عند تسمية أيّ من الألكينات ذات السلاسل المتفرعة أو المستقيمة يجب ترقيمها باستخدام قواعد نظام الأيوباك.

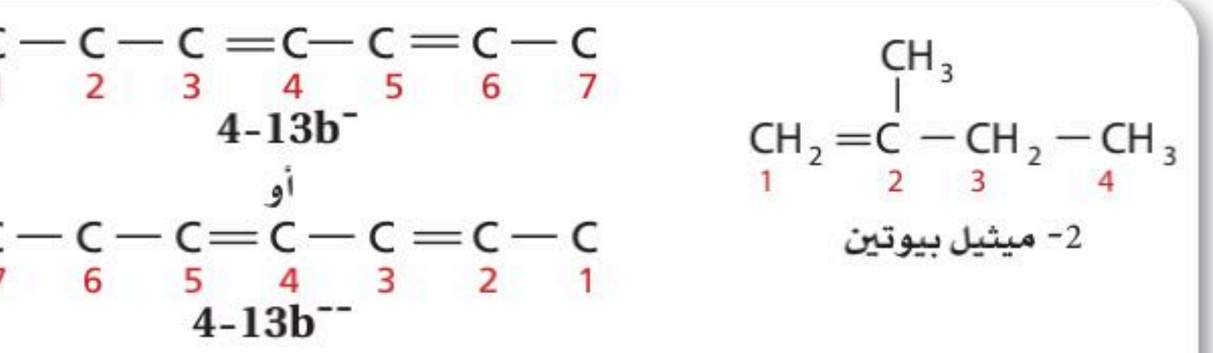
a. **ألكينات ذات سلاسل مستقيمة (غير متفرعة).**



b. **ألكينات حلقية**



الشكل 13–4 تُرقم مواقع الروابط الثنائية في الألكينات بطريقة تعطي أصغر مجموعة من الأرقام. وينطبق هذا على الألكينات المستقيمة والمتفرعة.



a. رابطة ثنائية واحدة

b. رابطتان ثنائيتان

مثال 3-4

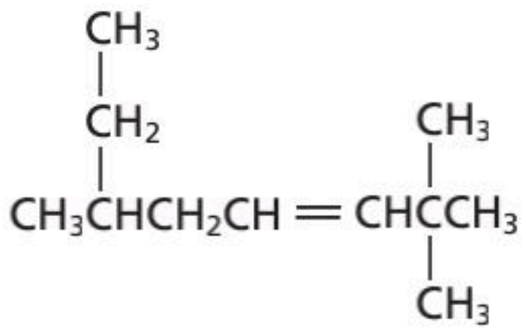
تسمية الألكينات المتفرِّعة

$$CH_3CH=CHCHCH_2CHCH_3$$
$$\quad\quad\quad

مسائل تدريبية

17. استخدم قواعد نظام الأيوباك لتسمية الصيغ البنائية IUPAC الآتية:

a. $CH_3CH=CHCHCH_3$ (CH_3 متفرع على الكربون الثالث)

b.


18. تحفيز ارسم الصيغة البنائية للجزيء 3،1- بنتادايين.

خصائص الألكينات واستخداماتها الألكينات، مثل الألكانات، مواد غير قطبية، لذا فـإن ذائبيتها قليلة في المـاء، وتكون درجات انصهارهـا وغليانها منخفضة. لكن الألكينات أكثر نشاطًا من الألكانات؛ حيث إن الرابطة المشتركة الثانية تزيد من الكثافة الإلكترونية بين ذرتي الكربون، مهيئةً بذلك موقعًا جيدًا للنشاط الكيميائي. وهذا يجعل المواد المتفاعلة قادرة على جذب إلكترونات الرابطة باي بعيدًا عن الرابطة الثنائية.

ينتـج العديد من الألكينات بصورة طبيعية في المخلوقات الحية. فالإيثين، على سـبيل المثال، هرمـون تُنتجه النباتات على نحو طبيعي، وهو المسـؤول عن عملية النضج في الفواكه، ويؤدي دورًا في عملية تسـاقط أوراق الأشـجار إيذانًا بدخول فصل الشتاء. تنضج الفواكه الظاهرة في **الشـكل 14-4** وغيرها من المنتجـات التي تُباع في محلات البقالة صناعيًّا عنـد تعريضها للإيثين. ويُعد الإيثين من المواد الأولية المسـتخدمة في تصنيع مادة بولي إيثيلين البلاسـتيكية المستخدمة في صناعة الكثير من المنتجات، ومنها الحقائب البلاسـتيكية والحبال وعلب الحليب. وهناك ألكينات أخرى مسـؤولة عن روائح الليمون الأصفر، والليمون الأخضر، وأشجار الصنوبر.

تجربة عملية

إنضاج الفاكهة بالإيثين

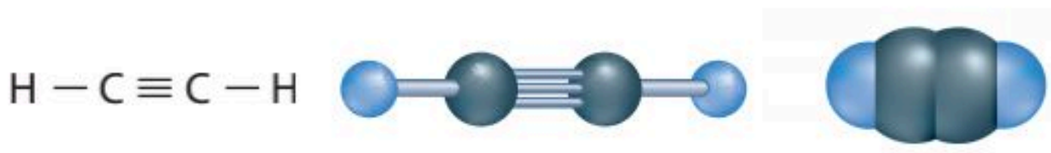
ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية



الشـكل 14-4 استخدام الإيثـين في إنضاج الثمر يسـمح للمزارعين بجني الفواكه والخضراوات قبل أن تنضج.

فسِّر لماذا يعدّ هذا نافعًا ومناسبًا للمزارعين؟

الشكل 15–4 تُمثّل هذه النماذج البنائية الثلاثة الإيثاين.



نماذج الإيثاين (الأسيتيلين)

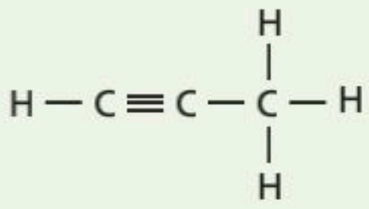
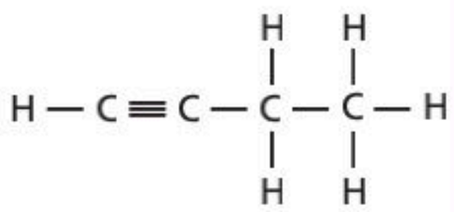
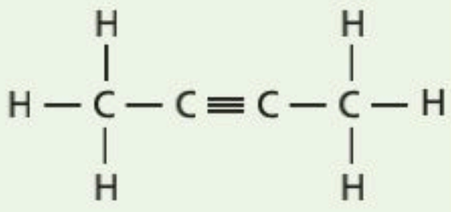
الألكاينات Alkynes

تُسمى الهيدروكربونات غير المشبعة التي تحتوي على رابطة ثلاثية واحدة أو أكثر بين ذرات الكربون الألكاينات. وتشـــترك في الرابطة الثلاثية ثلاثة أزواج من الإلكترونات أحدها يكون رابطة سيجما والآخرين يكونان رابطتين باي. ويعد الإيثاين C_2H_2 أبســـط **الألكاينات** وأكثرها استخدامًا، وهو معروف على نطاق واسع باسمه الشائع، أسيتيلين. تفحّص نماذج الإيثاين في **الشكل 15–4**.

تسـمية الألكاينـات تُســمى الألكاينات المســتقيمة والمتفرعة بطريقة مماثلة للألكينات. والفرق الوحيد هو أن اسم السلسلة الرئيسة ينتهي بـ (اين) بدلاً من (ين). كما يظهر في أمثلة **الجدول 6–4**. وتُشكّل الألكاينات المحتوية على رابطة ثلاثية واحدة سلسلةً متماثلة لها الصيغة العامة $C_n H_{2n-2}$.

مـاذا قـرأت؟ اسـتنتج، اعتمادًا على طبيعة روابــط الإيثاين، لماذا يتفاعــل بسرعة عالية مع الأكسجين؟

الجدول 6-4 أمثلة على الألكاينات

الاسم	الصيغة الجزيئية	الصيغة البنائية	الصيغة البنائية المكثفة
إيثاين	C_2H_2	$H-C\equiv C-H$	$CH\equiv CH$
بروباين	C_3H_4		$CH\equiv CCH_3$
1 – بيوتاين	C_4H_6		$CH\equiv CCH_2CH_3$
2- بيوتاين	C_4H_6		$CH_3C\equiv CCH_3$

تجربة

تحضير الإيثاين وملاحظة خصائصه

لماذا يستخدم الإيثاين في مشاغل اللِّحام؟

خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. استخدم قطعة مطاط لتثبيت قطعة خشب رفيعة إلى طرف مسطرة طولها 40 cm تقريبًا، على أن يمتد 10 cm تقريبًا من قطعة الخشب خارج المسطرة.
3. ضع 120 mL ماء في كأس مدرجة سعتها 150 mL، وأضف إليها 5 mL من سائل (منظف) الجلي، ثم اخلطها جيدًا.
4. استخدم الملقط لالتقاط قطعة من كربيد الكالسيوم CaC_2 بحجم حبة البازلاء. تحذير: CaC_2 مادة كاوية وحارقة؛ فإذا لامس غبارها جلدك فاغسله بالماء فورًا. وضعها في المحلول الذي في الكأس.
5. استخدم عود ثقاب لإشعال قطعة الخشب، وأنت تمسك بالمسطرة من الطرف المقابل. وقرِّب قطعة الخشب المشتعلة حالاً من الفقاقيع الناتجة عن التفاعل الحاصل في الكأس. ثم أطفئ قطعة الخشب بعد ملاحظة التفاعل.
6. استخدم ساق التحريك لطرد بعض فقاقيع الإيثاين. هل تطفو في الهواء أم تغرق؟
7. اغسل الكأس الزجاجية جيدًا، ثم أضف 25 mL ماء مقطرًا وقطرة من محلول فينول فثالين. وضع قطعة صغيرة من CaC_2 في المحلول باستخدام الملقط، ثم لاحظ النتائج.

التحليل

1. **استنتج** ما الذي يمكنك أن تستنتجه حول كثافة الإيثاين مقارنة بكثافة الهواء؟
2. **توقع** يُنتِجُ تفاعل كربيد الكالسيوم مع الماء مادتين، الأولى: غاز الإيثاين C_2H_2. فما المادة الثانية؟ اكتب معادلة كيميائية موزونة لهذا التفاعل.

خصائص الألكاينات واستعمالاتها للألكاينات خصائص فيزيائية وكيميائية شبيهة بالألكينات. وتخضع الألكاينات لكثير من التفاعلات التي تخضع لها الألكينات، إلا أن الألكاينات أكثر نشاطًا من الألكينات عمومًا؛ وذلك لأن الرابطة الثلاثية في الألكاينات تُشكّل كثافة إلكترونية أكبر ممّا في رابطة الألكينات الثنائية. إن هذا التجمع من الإلكترونات فعّال في تحفيز تكوين الأقطاب في الجزيئات المجاورة، مما يجعلها غير متماثلة الشحنة، لذا تكون أكثر نشاطًا.

المطويات

أدخل معلومات من هذا القسم في مطويتك.

إن الإيثاين- المعروف بالأسيتيلين-ناتج ثانوي عن تنقية البترول، وينتج أيضًا بكميات كبيرة عن تفاعل كربيد الكالسيوم CaC_2 مع الماء. عندما يزوّد الإيثاين بكمية كافية من الأكسجين يحترق منتجًا لهبًا ذا حرارة عالية جدًّا قد تصل إلى 3000 °C، وتستعمل مشاعل الأسيتيلين عادةً في لحام الفلزات، كما في **الشكل 16-4**. ولأن الرابطة الثلاثية تجعل الألكاينات أكثر نشاطًا فإن الألكاينات البسيطة كالإيثاين تُتخذ موادّ أولية في صناعة البلاستيك وغيرها من المواد الكيميائية العضوية المستخدمة في الصناعة.



الشكل 16-4 يتفاعل الإيثاين، أو الأسيتيلين، مع الأكسجين وفق المعادلة:

$$2C_2H_2 + 5O_2 \rightarrow 4CO_2 + 2H_2O$$

وتنتج كمية كافية من الحرارة تستعمل في لحام الفلزات.

التقويم 3-4

الخلاصة

- الألكينات والألكاينات هيدروكربونات تحوي على الأقل رابطة ثنائية أو ثلاثية واحدة، على التوالي.
- تُعد الألكينات والألكاينات مركبات غير قطبية ذات نشاط كيميائي أعلى من الألكانات، ولها خصائص أخرى مشابهة لخصائص الألكانات.

19. **الفكرة الرئيسة** **صف** كيف تختلف الصيغ البنائية للألكينات والألكاينات عن الصيغة البنائية للألكانات.

20. **حدّد** كيف تختلف الخصائص الكيميائية للألكينات والألكاينات عمّا تتصف به الألكانات.

21. **سمِّ** الصيغ البنائية أدناه مستخدمًا قواعد نظام الأيوباك.

a. $CH \equiv CCH_2CH_3$

b. $CH_3CH_2CHCH=CHCH_2CH_3$ (CH_3 على ذرة الكربون الثالثة)

22. **اكتب** الصيغة البنائية لـ 4-ميثيل-3،1 بنتادايين و 2،3- ثنائي ميثيل-2-بيوتين.

23. **استنتج** كيف تُقارن بين درجات الانصهار والتجمد لكل من الألكاينات والألكانات التي تحتوي على عدد ذرات الكربون نفسها. فسر إجابتك.

24. **توقع** ما الترتيبات الهندسية التي تتوقع أن تكونها الروابط المحيطة بذرة الكربون في الألكانات، والألكينات، والألكاينات؟

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

4–4

الأهداف

- **تميز** بين الفئتين الرئيستين للمتشكلات البنائية والفراغية.
- **تفرّق** بين المتشكلات الهندسية ذات البادئة سيس والبادئة ترانس.
- **تصف** الاختلاف البنائي في الجزيئات التي تنتج عن المتشكلات الضوئية.

مراجعة المفردات

الإشعاع الكهرومغناطيسي: أمواج مستعرضة تحمل الطاقة خلال الفراغ.

المفردات الجديدة

المتشكلات
المتشكلات البنائية
المتشكلات الفراغية
المتشكلات الهندسية
الكيرالية
ذرة الكربون غير المتماثلة
المتشكلات الضوئية
الدوران الضوئي

متشكلات الهيدروكربونات

Hydrocarbon Isomers

الفكرة الرئيسة **لبعض الهيدروكربونات الصيغة الجزيئية نفسها، لكنها تختلف في صيغها البنائية.**

الربط مع الحياة هل قابلت يومًا توأمين متماثلين؟ للتوأمين المتماثلين التكوين الجيني نفسه، ومع ذلك فهما فردان مستقلان لكل منهما شخصيته. والمتشكّلات شبيهة بالتوائم؛ إذْ لها الصيغة الجزيئية نفسها، ولكنها تختلف في شكلها البنائي وخصائصها.

المتشكلات البنائية Structural Isomers

تفحص نماذج الألكانات الثلاثة في **الشكل 17–4** لتحديد أوجه التشابه والاختلاف؛ إذ يحتوي كل من النماذج الثلاثة على 5 ذرات كربون و12 ذرة هيدروجين، لذا فإن لها الصيغة الجزيئية C_5H_{12}. ومع ذلك تمثل هذه النماذج ثلاثة تركيبات (ترتيبات) مختلفة من الذرات، وثلاثة مركبات مختلفة: بنتان، و 2- ميثيل بيوتان، و 2،2- ثنائي ميثيل بروبان. إن هذه المركبات الثلاثة هي متشكلات isomers. **والمتشكلات** عبارة عن اثنان أو أكثر من المركبات، لها الصيغة الجزيئية نفسها، إلا أنها تختلف في صيغها البنائية. لاحظ أن البنتان الحلقي والبنتان العادي ليسا متشكلين؛ لأن الصيغة الجزيئية للأول هي C_5H_{10}.

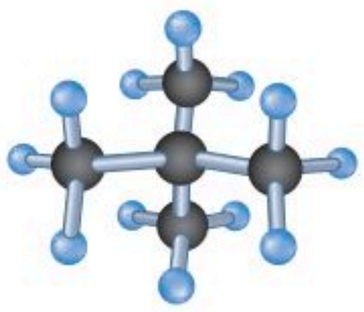
هناك فئتان رئيستان من المتشكلات. ويُبين **الشكل 17–4** مركبات تعدّ أمثلة على **المتشكلات البنائية**. وللمتشكلات البنائية الصيغة الجزيئية نفسها، إلا أن مواقع (ترتيب) الذرات فيها تختلف. وعلى الرغم من اشتراك المتشكلات البنائية في الصيغة الجزيئية نفسها إلا أنها تختلف في خصائصها الكيميائية والفيزيائية. وتدعم هذه الملاحظة أحد أهم مبادئ الكيمياء الذي ينص على أن "بناء المادة يحدد خصائصها". كيف يرتبط نمط تغير درجات غليان متشكلات C_5H_{12} بصيغها البنائية؟

كلما زاد عدد ذرات الكربون في الهيدروكربون ازداد عدد المتشكلات البنائية المحتملة. فعلى سبيل المثال، هناك 9 ألكانات ذات الصيغة الجزيئية C_7H_{16}. وهناك أكثر من 300,000 متشكل بنائي يحمل الصيغة الجزيئية $C_{20}H_{42}$.

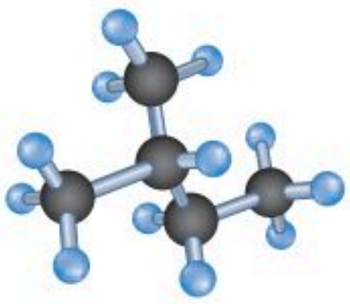
تجربة عملية

التشكل

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية



2،2- ثنائي ميثيل بروبان
درجة الغليان = 9°C

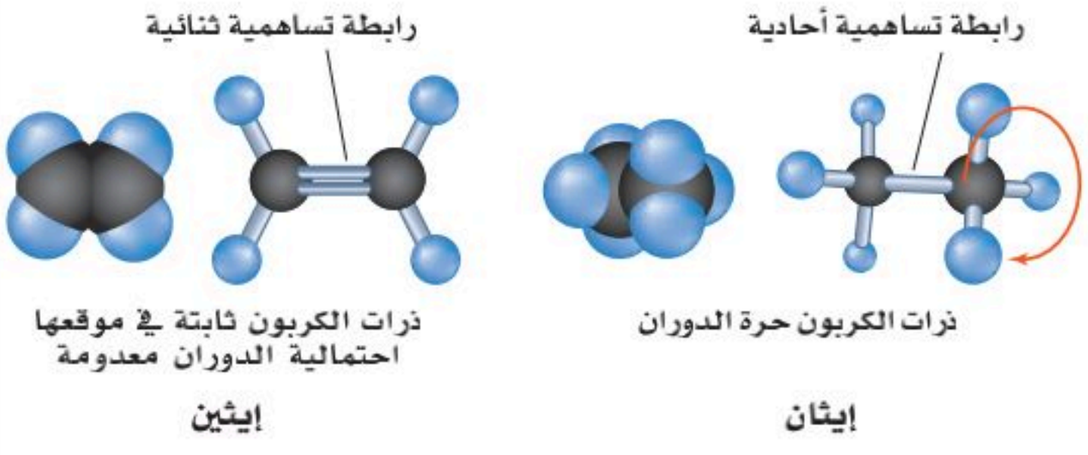


2- ميثيل بيوتان
درجة الغليان = 28°C



بنتان
درجة الغليان = 36°C

الشكل 17–4 إن هذه المركبات المشتركة في الصيغة الجزيئية متشكلات بنائية. لاحظ الاختلاف في درجات غليانها.



الشكل 18–4 تكون ذرتا الكربون المرتبطتان برابطة تساهمية أحادية في الإيثان حرة الدوران حول الرابطة، في حين تقاوم ذرتا الكربون الثنائيتا الربط في الإيثين عملية الدوران.

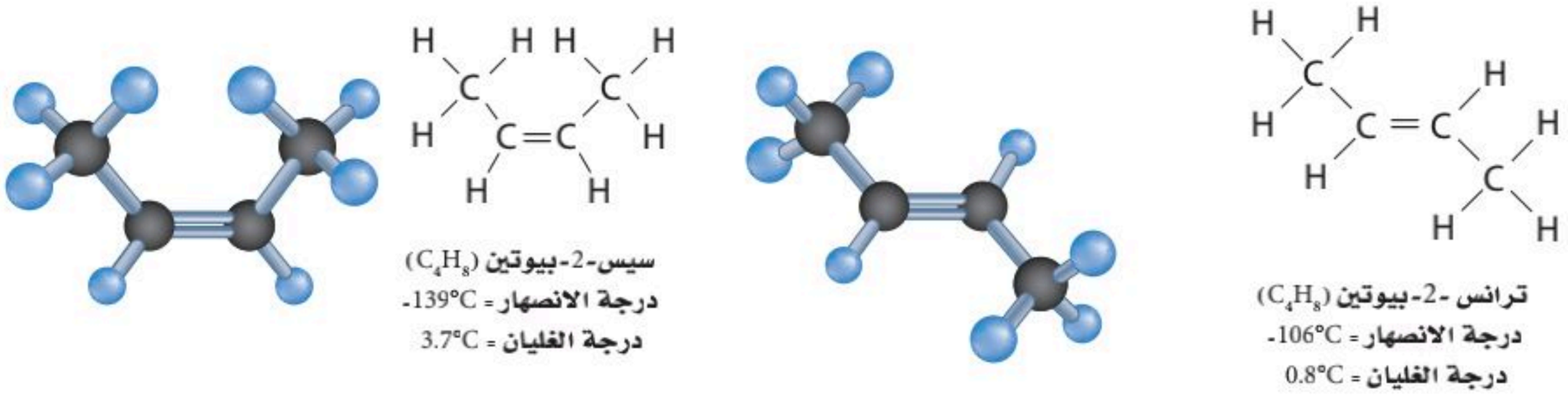
فسِّر كيف يؤثر اختلاف القدرة على الدوران في الذرات أو مجموعات الذرات المرتبطة بذرات الكربون ذات الربط الأحادي أو الثنائي.

المتشكلات الفراغية Stereoisomers

تختلف الفئة الثانية من المتشكلات بفارق خفي ودقيق جدًّا في الروابط؛ **فالمتشكلات الفراغية** متشكلات ترتبط فيها الذرات بالترتيب نفسه، ولكنها تختلف في ترتيبها الفراغي (الاتجاهات في الفراغ). وهناك نوعان من المتشكلات: أحدهما في الألكانات، التي تحتوي على روابط أحادية، حيث تكون ذرتا الكربون المرتبطتان برابطة أحادية قادرتين على الدوران بسهولة إحداهما حول الأخرى. والثانية في الألكينات عند وجود رابطة تساهمية ثنائية، حيث لا يسمح للذرات بالدوران، وتبقى ثابتة في مكانها، كما في **الشكل 18–4**.

قارن بين الصيغتين البنائيتين المحتملتين لـ 2- بيوتين في **الشكل 19–4**. إن التركيب الذي تكون فيه مجموعتا الميثيل في الجهة نفسها من الجزيء يشار إليه بالبادئة (سيس)، في حين يُشار إلى التركيب الذي تكون فيه مجموعتا الألكيل في جهتين متقابلتين من الجزيء بالبادئة (ترانس). وهذه المصطلحات مشتقة من اللغة اللاتينية: (سيس) تعني الجهة نفسها، و(ترانس) تعني الجهة الأخرى. ولأن ذرات الكربون الثنائية الربط غير قادرة على الدوران فإن التركيب سيس لا يستطيع التحول بسهولة إلى التركيب ترانس.

الشكل 19–4 يختلف هذان المتشكلان لـ 2 - بيوتين في الترتيب الفراغي لمجموعتي الميثيل عند الأطراف. لا تستطيع ذرات الكربون الثنائية الربط الدوران بعضهما حول بعض، فتبقى مجموعتا الميثيل ثابتتين في أحد هذه الترتيبات.





الشكل 20–4 إن انعكاس يدك اليمنى في المرآة يبدو تمامًا مثل يدك اليسرى.

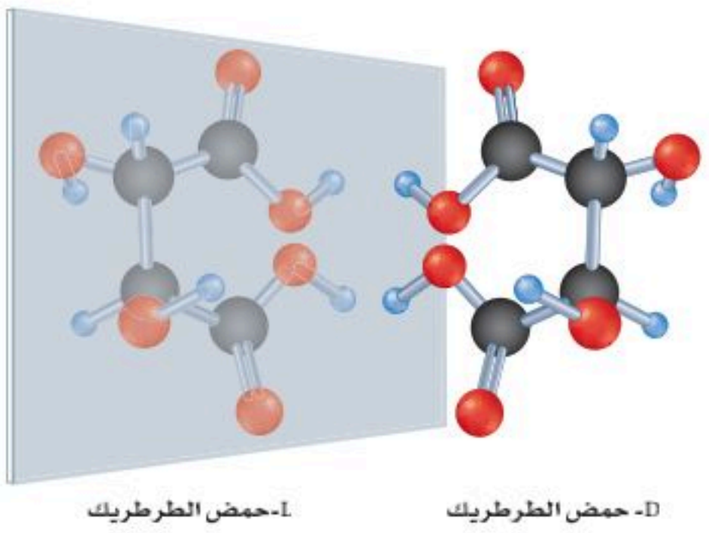
وتُسمى المتشكلات الناتجة عن اختلاف ترتيب المجموعات واتجاهها حول الرابطة الثنائية **بالمتشكلات الهندسية**. لاحظ أن اختلاف الترتيب الهندسي يؤثر في الخصائص الفيزيائية للمتشكلات الهندسية، ومنها درجات الانصهار والغليان. وتختلف المتشكلات الهندسية أيضًا في بعض خصائصها الكيميائية. وإذا كان المركب نشطًا بيولوجيًّا، كما هو الحال في مركبات الأدوية، كان لمتشكلات سيس و ترانس عادةً تأثيرات مختلفة وواضحة جدًّا.

ماذا قرأت؟ فسِّر كيف تختلف المتشكلات البنائية عن المتشكلات الهندسية؟

الكيرالية Chirality

الربط مع علم الأحياء في عام 1848م، أعلن الكيميائي الفرنسي الشاب لويس باستور (1822–1895م) عن اكتشافه وجود بلورات المركب العضوي حمض الطرطريك، في صورتين، العلاقة بينهما كعلاقة جسم وصورته في المرآة. ولأن يدي الإنسان كل منهما صورة للأخرى في المرآة، كما في **الشكل 20–4**، لذا سُميت أشكال البلورات نموذج اليد اليمنى ونموذج اليد اليسرى. ولشكلي حمض الطرطريك الخصائص الكيميائية نفسها، وكذلك لهما درجة الانصهار، والكثافة، والذائبية في الماء نفسها، غير أن شكل اليد اليسرى نتج عن عملية التخمير، ويسبب تكاثر البكتيريا بعد تغذيها عليه.

يظهر الشكلان البلوريان لحمض الطرطريك في التركيبين في **الشكل 21–4**. ويُطلق اليوم على هذين الشكلين D – حمض الطرطريك، و L– حمض الطرطريك. ويرمز الحرفان D وL إلى البادئتين اللاتينيتين(dextro) وتعني



الشكل 21–4 تمثل هذه النماذج شكلي حمض الطرطريك اللذين درسهما باستور. إذا انعكس النموذج الأيمن لحمض الطرطريك (D- حمض الطرطريك) في المرآة تصبح صورته نموذجًا لحمض الطرطريك الأيسر (L-حمض الطرطريك).

واقع الكيمياء في الحياة

الدهون غير المشبعة



المتشكلات في الغذاء تسمى الدهون ذات متشكلات ترانس بدهون ترانس. وتحضر الكثير من الأطعمة المغلّفة باستخدام دهون ترانس؛ لأن لها فترة حفظ أطول. وتشير الدلائل إلى أن هذه الدهون تزيد من نوع الكولسترول الضار، وتقلل من النوع النافع، مما يزيد من احتمالية الإصابة بأمراض القلب.

جهة اليمين، و (levo) وتعني جهة اليســـار. وتُسمّى الخاصية التي يوجد فيها الجزيء في صورتين إحداهما تشبه صورة اليد اليمنى والأخرى تشبه صورة اليد اليسرى **الكيرالية**. وتتمتع الكثير من المواد الموجودة في المخلوقات الحية ـ ومنها الحموض الأمينية المكوِّنة للبروتينات ـ بهذه الكيرالية.

وتســـتفيد المخلوقات الحية عمومًا من تركيب كيرالي واحد فقط من المادة؛ لأن هذا الشكل وحده يتلاءم مع الموقع النشط في الإنزيم.

المتشكلات الضوئية Optical Isomers

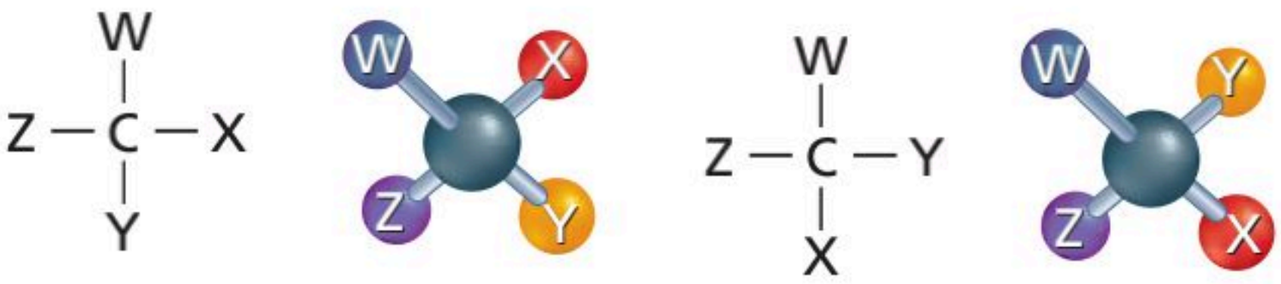
أدرك الكيميائيون في العقد الســـادس من القرن التاسع عشر 1860م وجود خاصيـــة الكيرالية في المركـــب الذي يحتوي على ذرة كربون غـــير متماثلة. و**ذرة الكربون غير المتماثلة** هي تلك التي ترتبط بأربع ذرات أو مجموعات ذرات مختلفة. إذ يمكن دائمًا ترتيب المجموعات الأربع بطريقتين مختلفتين. فمثلاً، افترض أن المجموعات W و X و Y وZ مرتبطة مع ذرة الكربون نفسها في التركيبين المبينين في **الشكل 22-4**، فستلاحظ أن سبب الاختلاف بين التركيبين هو تبديل مواقع المجموعتين X وY. ولا تســـتطيع تدوير الشكلين بأي طريقة ليصبحا متطابقين تمامًا.

المطويات

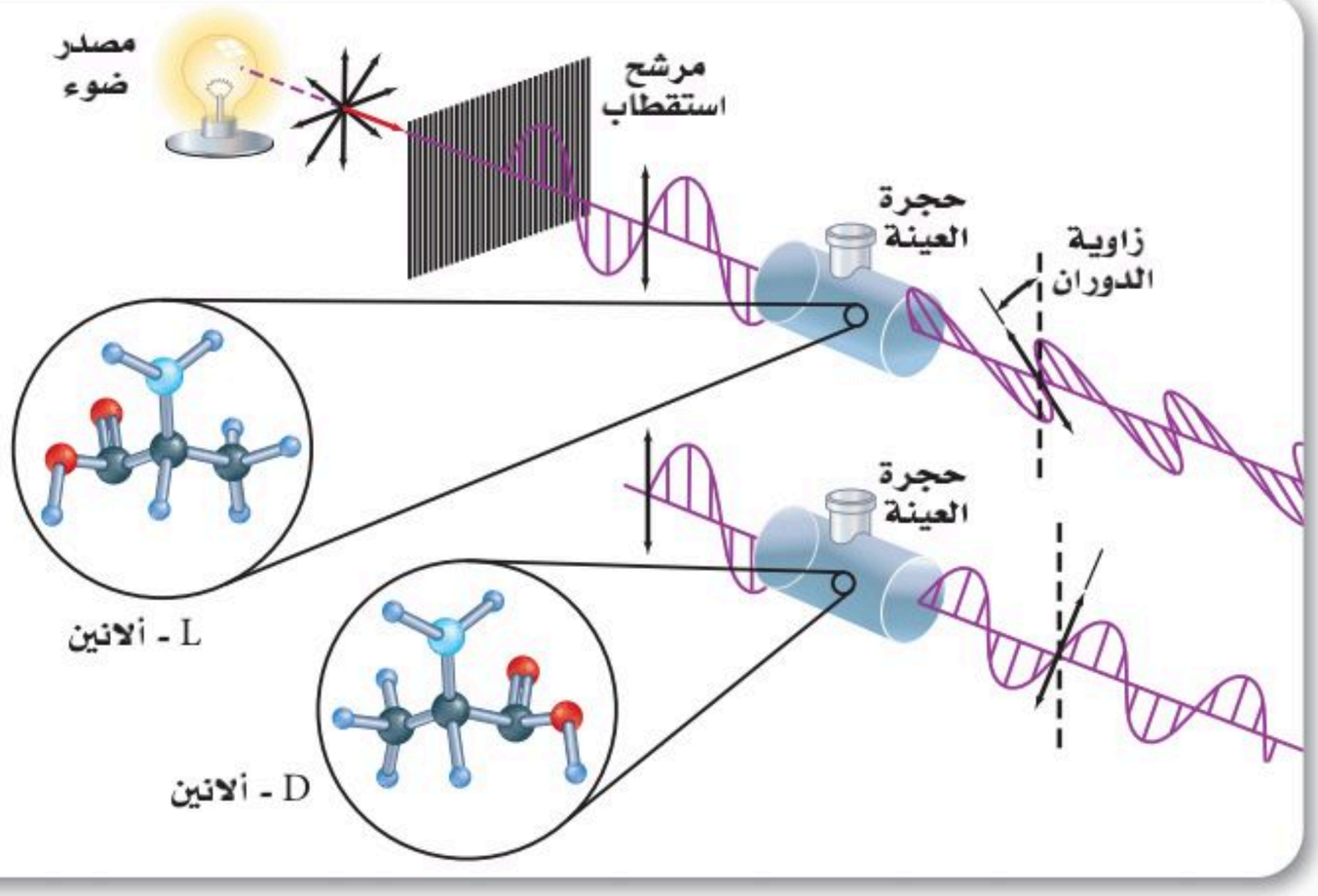
أدخل معلومات من هذا القســـم في مطويتك.

والآن افترض أنك بنيت نماذج لهذين الشـــكلين، فهل توجد أي طريقة تستطيع بها تحويل أحد هذين الشـــكلين ليبدو مثل الآخر تمامًا؟ (بغض النظر عن بروز الأحرف إلى الأمام أو الخلف). ستكتشـــف أنه ليـــس هناك طريقة لإنجاز هذه المهمة دون إزالـــة X وY من ذرة الكربون وتبديـــل موقعيهما. لذا فإن الجزيئين مختلفان حتى لو كانا يبدوان متشابهين كثيرًا.

المتشكلات الضوئية متشكلات فراغية ناتجة عن الترتيبات المختلفة للمجموعات الأربـــع المختلفة والموجودة على ذرة الكربون نفســـها لها الخصائـــص الفيزيائية والكيميائيـــة نفســـها الاّ أنّ تفاعلاتهـــا الكيميائية تعتمد عـــلى الكيرالية. ما عدا التفاعـــلات الكيميائية التي تكون فيها الكيرالية مهمة، ومنها التفاعلات المحفَّزَة



الشـكل 22-4 تمثل هـذه النمـاذج جزيئـين مختلفـين، جرى تبديل مواقع المجموعتين X وY فيهما.



الشكل 23–4 يَنتُج الضوء المستقطب بتمرير الضوء العادي من خلال مُرَشِّح (فلتر) يبث فقط الموجات الضوئية التي تقع في مستوى واحد. تقع الموجات الضوئية المرشّحة (المفلترة) في مستوى عمودي قبل أن تمر خلال العينة. ويؤدي المتشكلان إلى دوران الضوء في اتجاهين مختلفين.

بالإنزيمات في الأنظمة البيولوجية. فالخلايا البشرية مثلاً تسمح بدخول الحموض الأمينية من نوع (L) فقط في بناء البروتينات. كما أن النوع (L) من حمض الإسكوربيك فعال بوصفه فيتامين C. وتعد الكيرالية في جزيء الدواء مهمة أيضًا. فمثلاً يكون متشكل واحد فقط في بعض الأدوية فعالاً في حين قد يكون الآخر ضارًّا.

الدوران الضوئي إن المتشكلات التي يكون كل منها صورة مرآة للآخر تُسمى المتشكلات الضوئية؛ لأنها تؤثر في الضوء المار خلالها. عادةً تتحرك الأمواج الضوئية في حزمة الضوء الصادرة عن الشمس أو المصباح في المستويات المحتملة جميعها. ولكن يمكن تصفية الضوء أو عكسه بطريقة تجعل الأمواج الناتجة جميعها تقع في المستوى نفسه. ويُسمى هذا النوع من الضوء الناتج الضوء المستقطب.

عندما يمر الضوء المستقطب خلال محلول يحتوي على متشكل ضوئي فإن مستوى الاستقطاب يدور إلى اليمين (مع عقارب الساعة، عندما تنظر إلى مصدر الضوء) بتأثير متشكل D، أو إلى اليسار (عكس عقارب الساعة) بتأثير متشكل L، مُنتجًا التأثير المُسمّى **الدوران الضوئي**. ويظهر هذا التأثير في **الشكل 23–4**.

قد يكون L – مينثول أحد المتشكلات الضوئية التي تستخدمها في حياتك. ولهذا المتشكل الطبيعي نكهة النعناع الحادة، وله تأثير منعش أيضًا. أمّا المتشكل الآخر (صاحب صورة المرآة) D– مينثول فليس له التأثير المنعش الخاص بـ L– مينثول نفسه.

التقويم 4-4

الخلاصة

- المتشكلات مركبان أو أكثر لهما الصيغة الجزيئية نفسها، ولكنها تختلف في صيغها البنائية.
- تختلف المتشكلات البنائية في الترتيب الذي ترتبط به الذرات معًا.
- ترتبط الذرات جميعها في المتشكلات الفراغية بالترتيب نفسه، ولكنها تختلف في تركيبها الفراغي (الاتجاهات في الفراغ).

25. الفكرة الرئيسة **اكتب** المتشكلات البنائية المحتملة للألكان ذي الصيغة الجزيئية C_6H_{14} جميعها، على أن تظهر فقط سلاسل الكربون.

26. فسّر الفرق بين المتشكلات البنائية والمتشكلات الفراغية.

27. ارسم أشكال كل من سيس-3-هكسين وترانس-3-هكسين.

28. استنتج لماذا تستفيد المخلوقات الحية من شكل كيرالي واحد فقط من المادة؟

29. قوّم يُنتج تفاعل معين 80% ترانس-2-بنتين و 20% سيس-2- بنتين. ارسم شكل هذين المتشكلين الهندسيين، وكوِّن فرضية لتفسير سبب تكون المتشكلين بهذه النسبة.

30. اعمل نماذج ابتداءً بذرة كربون واحدة، ارسم متشكلين ضوئيين بربط الذرات أو المجموعات الآتية مع ذرة الكربون:

$-H$, $-CH_3$; $-CH_2CH_3$; $-CH_2CH_2CH_3$.

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

4–5

الأهداف

- **تقارن** بين خواص الهيدروكربونات الأروماتية والأليفاتية.
- **توضح** المقصود بالمادة المسرطنة وتذكر بعض الأمثلة عليها.
- **تسمي** المركبات الهيدروكربونية الأروماتية.

مراجعة المفردات

المجالات المهجنة: دمج المجالات الإلكترونية المختلفة في الشكل والطاقة للحصول على مجالات إلكترونية متماثلة الشكل والطاقة.

المفردات الجديدة

المركب الأروماتي

المركب الأليفاتي

الهيدروكربونات الأروماتية
Aromatic Hydrocarbons

الفكرة الرئيسة **تتصف الهيدروكربونات الأروماتية بدرجة عالية من الثبات بسبب بنائها الحلقي، حيث الأزواج الإلكترونية غير متمركزة.**

الربط مع الحياة ما الشيء المشترك بين الأنسجة ذات الألوان الزاهية والزيوت العطرية (الطيارة) المستخدمة في العطور؟ كل منهما يحتوي على هيدروكربونات أروماتية.

الصيغة البنائية للبنزين The Structure of Benzene

إن الأصباغ الطبيعية ـ ومنها تلك الموجودة في الأنسجة الظاهرة في **الشكل 24-4** والزيوت العطرية، تحتوي على صيغ بنائية ذات حلقة كربون سداسية. وقد عرفت هذه المركبات واستخدمت منذ قرون. فقد كان لدى الكيميائيين في منتصف القرن التاسع عشر معرفة ودراية أساسية بأشكال الهيدروكربونات البنائية ذات الروابط المشتركة الأحادية والثنائية والثلاثية. ومع ذلك بقيت بعض التراكيب الحلقية غامضة.

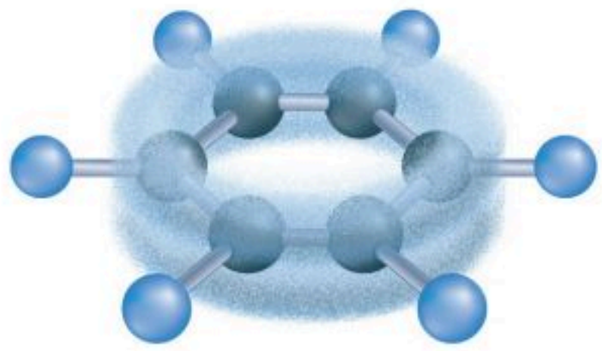
إن أبسط مثال على هذه الفئة من الهيدروكربونات هو البنزين، الذي عُزل أول مرة عام 1825م على يد الفيزيائي البريطاني مايكل فاراداي Michael Faraday (1791–1867م) من الغازات المنبعثة عند تسخين زيوت الحيتان أو الفحم. ورغم قيام الكيميائيين بتحديد صيغة البنزين الجزيئية بـ C_6H_6 إلا أنه كان من الصعب عليهم تحديد البناء الهيدروكربوني الذي يعطي هذه الصيغة. فصيغة الهيدروكربون المشبع ذي ذرات الكربون الست هي C_6H_{14}. ولأن جزيء البنزين ينقصه القليل من ذرات الهيدروجين، فقد استنتج الكيميائيون أن من الضروري أن يكون غير مشبع؛ وهذا يعني أن لديه بعض الروابط الثنائية أو الثلاثية أو كلتيهما معًا. واقترحوا الكثير من الصيغ البنائية المختلفة، ومنها الصيغة أدناه التي اقترحت عام 1860م.

$$CH_2 = C = CH - CH = C = CH_2$$



الشكل 24–4 استعملت الأصباغ لإنتاج الأنسجة ذات الألوان الزاهية على مر العصور.

فسّر ما الشيء المشترك بين الأصباغ الطبيعية والزيوت الطيارة (العطرية) المستخدمة في العطور؟



الشكل 25–4 تتوزع إلكترونات البنزين الرابطة بالتساوي في صورة كعكة ثنائية حول الحلقة بدلاً من البقاء قريبة من الذرات المنفردة.

المفردات

الاستعمال العلمي مقابل الاستعمال الشائع

أروماتي (Aromatic)

الاستعمال العلمي: مركب عضوي ثابت التركيب بسبب عدم بقاء الإلكترونات في مكان واحد.

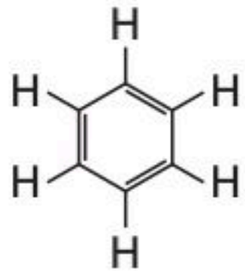
كأن نقول مثلاً: البنزين مركب أروماتي

الاستعمال الشائع: لها رائحة قوية.

كأن نقول مثلاً: هذا العطر ذو رائحة قوية.

وعلى الرغم من أن الصيغة الجزيئية لهذه الصيغة البنائية هي C_6H_6 فإن مثل هذا الهيدروكربون غير مستقر وشديد التفاعل؛ لوجود العديد من الروابط الثنائية، إلا أن البنزين مادة غير نشطة كيميائيًّا، ولا تتفاعل بالطرائق التي تتفاعل بها الألكينات والألكاينات عادة. ولهذا السبب استنتج العلماء أن مثل هذه الصيغة البنائية غير صحيحة.

حُلم كيكولي في عام 1865م اقترح الكيميائي الألماني فريدريك أوجست كيكولي Friedric August Kekulé (1829–1896م) صيغةً بنائيةً مختلفةً للبنزين– وهي شكل سداسي يتكون من ذرات الكربون تتناوب فيه الروابط الأحادية والثنائية. فكيف تُقارَنُ الصيغة الجزيئية لهذا الشكل بالصيغة الجزيئية للبنزين؟



ادّعى كيكولي أنه رأى الصيغة البنائية للبنزين في المنام عندما غلبه النعاس أمام الموقد في مدينة "جنت"، ببلجيكا، إذ قال إنه حلم بـ"أوروبوروس، Ouroboros"، وهو شعار مصري قديم تظهر فيه أفعى تفترس ذيلها، مما جعله يفكر في الشكل الحلقي. ويفسر الشكل السداسي المُسطح الذي اقترحه كيكولي بعض خصائص البنزين، ولكنه لا يفسر ضعف نشاطه الكيميائي.

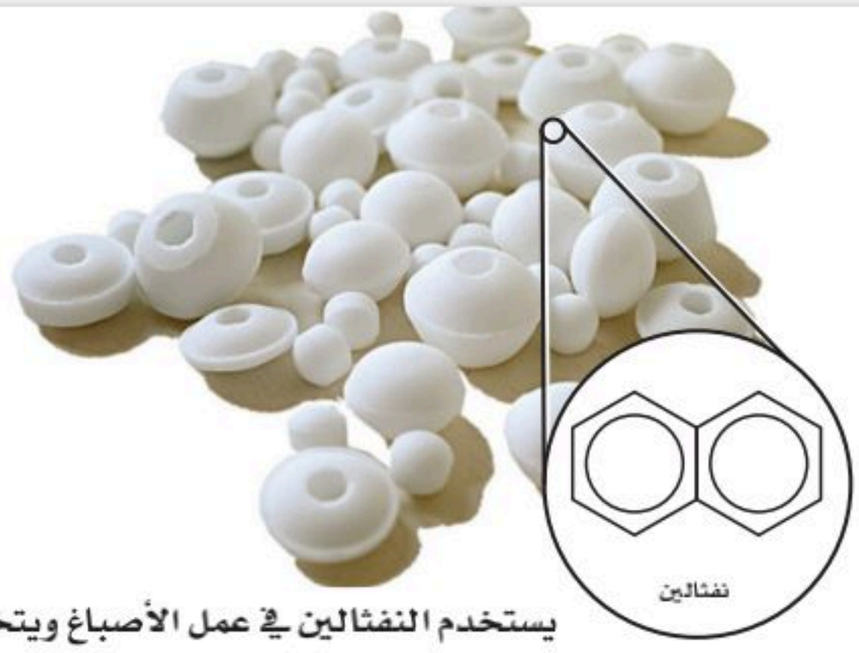
نموذج البنزين الحديث أكدت الأبحاث منذ اقتراح كيكولي أن الصيغة البنائية للبنزين هي فعلاً الشكل السداسي. وعلى الرغم من ذلك لم يُفسر ضعف النشاط الكيميائي للبنزين حتى 1930م، عندما اقترح لينوس باولينج نظرية المجالات المهجنة. وعند تطبيقها على البنزين تنبأت هذه النظرية أن أزواج الإلكترونات المكونة لروابط البنزين الثنائية لا تتجمع بين ذرتي كربون محدّدتين كما هو الحال في الألكينات. وعوضًا عن ذلك تكون أزواج الإلكترونات غير متمركزة (متحركة) delocalized، مما يعني أنها تشترك في جميع ذرات الكربون الست في الحلقة.

والشكل **25–4** يُوضح أن عدم التمركز هذا يجعل جزيء البنزين ثابتًا كيميائيًّا؛ لأن الإلكترونات المشتركة مع ست نوى كربون يصعب سحبها بعيدًا مقارنة بالإلكترونات الثابتة حول نواتين فقط. ولا تُكتَب ذرات الهيدروجين الست عادةً في الشكل، ولكن من الضروري أن تتذكر أنها موجودة. وفي هذا التمثيل ترمز الدائرة في منتصف الشكل السداسي إلى الغيمة المكونة من أزواج الإلكترونات الثلاثة.

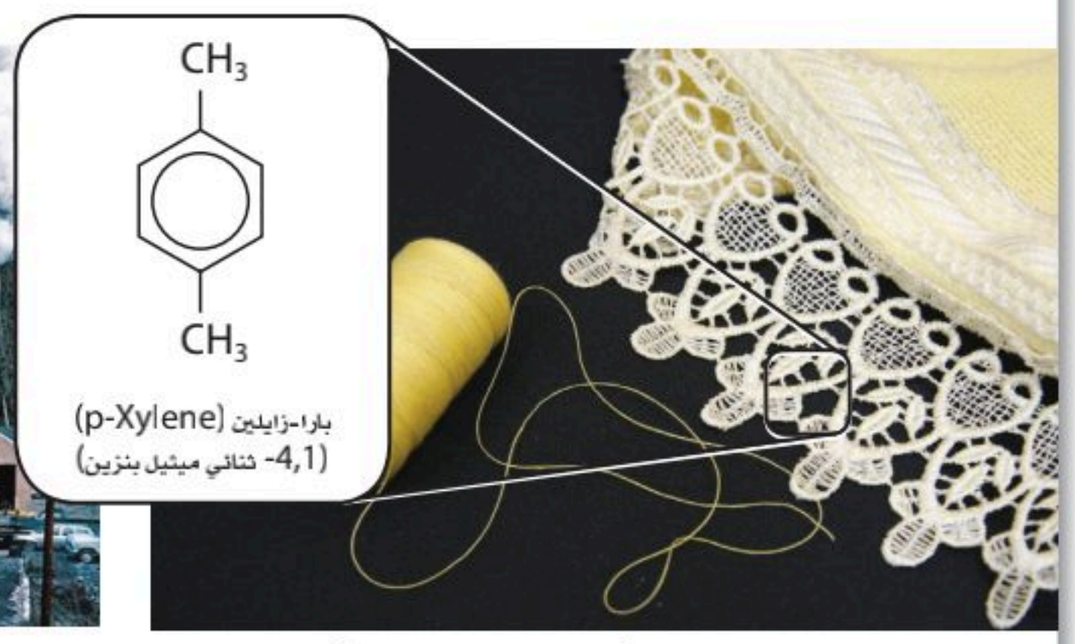




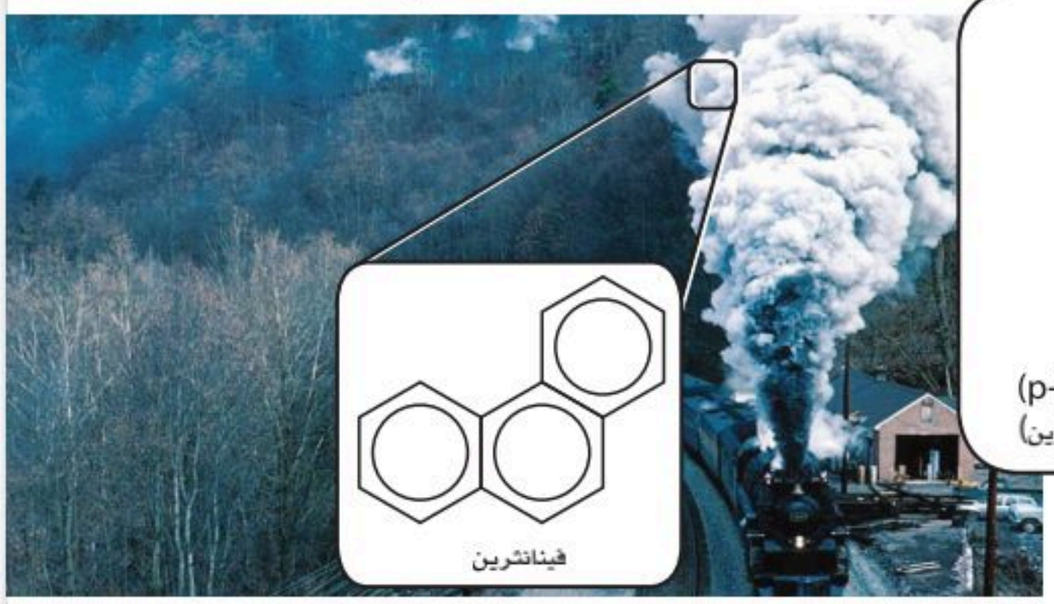
يستخدم الأنثراسين في إنتاج الأصباغ والدهان.



يستخدم النفثالين في عمل الأصباغ ويتخذ طاردًا للعث.



يستخدم الزايلين في عمل ألياف البوليستر والأنسجة.



يكثر الفينانثرين في الجو بسبب الاحتراق غير الكامل للهيدروكربونات.

الشكل 26–4 توجد الهيدروكربونات الأروماتية في البيئة بسبب الاحتراق غير الكامل للهيدروكربونات وتستخدم في صناعة الكثير من المنتجات.

المركبات الأروماتية Aromatic Compounds

تُسمّى المركّبات العضوية التي تحتوي على حلقات البنزين جزءًا من بنائها **المركّبات الأروماتية**. استخدم المصطلح أروماتي (aromatic) في الأصل لأن الكثير من المركبات المرتبطة مع البنزين والمعروفة في القرن التاسع عشر، وُجدت في الزيوت ذات الرائحة الطيبة الموجودة في البهارات، والفواكه، وغيرها من أجزاء النباتات. وتسمى الهيدروكربونات مثل الألكانات، والألكينات والألكاينات **المركبات الأليفاتية** لتميزها عن المركبات الأروماتية. وكلمة أليفاتي (aliphatic) يونانية الأصل، تعني الدُّهن. وذلك أن الكيميائيين القدامى حصلوا على المركبات الأليفاتية بتسخين دهون الحيوانات وشحومها. ما الأمثلة على الدهون الحيوانية التي قد تحتوي على مركبات أليفاتية؟

ماذا قرأت؟ استنتج لماذا استمرّ الكيميائيون في استخدام مصطلحي المركبات الأروماتية والمركبات الأليفاتية إلى الآن؟

تظهر الصيغة البنائية لبعض المركبات الأروماتية في **الشكل 26–4**. لاحظ أن الصيغة البنائية للنفثالين تبدو كحلقتي بنزين متلاصقتين جنبًا إلى جنب. ويعد النفثالين مثالاً على نظام الحلقات الملتحمة (fused)، بحيث يحتوي المركب العضوي على حلقتين أو أكثر تشتركان في الضلع نفسه. وتتشارك ذرات الكربون المكوِّنة للحلقات بالإلكترونات كما في البنزين.

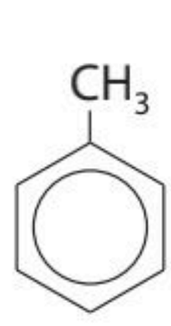
الربط الصحة

يوجد التولوين بشكل طبيعي في النفط الخام، ويستخدم في صناعة الطِّلاء، مُخَفِّفَات الطِّلاء، المناكير، الموادُ اللَّاصقة والنايلون، وفي بعض مراحل الطباعة والدِّبَاغة.

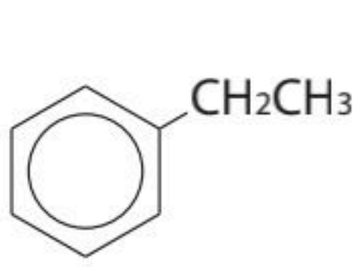
وللتولوين تأثيرٌ على الجهاز العصبي عند التعرض بكميَّات ضئيلة منه، فقد تظهر الأعراض التَّالية: التَّعب، الضَّعف، الاضْطراب، الشُّعورُ بالسُّكر، فُقدان الذَّاكرة، الغَثَيَان، فُقْدانُ الشَّهيَّة، فُقْدان السَّمعِ والبصرِ.

تسمية المركبات العضوية الأروماتية للمركبات الأروماتية القدرة على امتلاك مجموعات مختلفة مرتبطة مع ذرات الكربون فيها كبقية الهيدروكربونات. فمثلاً، يتألف ميثيل البنزين، المعروف أيضًا بـ(التولوين toluene)، من مجموعة ميثيل مرتبطة مع حلقة البنزين بدلاً من ذرة هيدروجين واحدة. ومتى وجدت مجموعة بديلة مرتبطة مع حلقة البنزين تذكّر أن ذرة الهيدروجين لم تعد هناك.

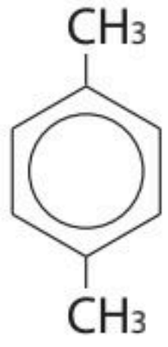
وتسمى مركبات البنزين ذات المجموعات البديلة بطريقة الألكانات الحلقية نفسها. فعلى سبيل المثال، يحتوي إيثيل بنزين على مجموعة إيثيل، المكوّنة من ذرتي كربون متصلة بالحلقة، ويحتوي 1،4- ثنائي ميثيل بنزين، para - xylene، على مجموعتي ميثيل متصلتين بالموقعين 1 و 4.



ميثيل بنزين
(تولوين)



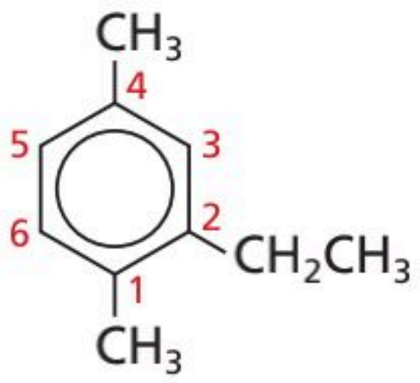
إيثيل بنزين



1، 4-ثنائي ميثيل بنزين

وتُرقَّم حلقات البنزين المتفرعة تمامًا مثل الألكانات الحلقية المتفرعة بطريقة تعطي أصغر أرقام ممكنة لمواقع المجموعات البديلة أو (التفرعات)، كما في **الشكل 27-4**. إن ترقيم الحلقة - كما هو مبين - يعطي الأرقام 1، 2، و4 لمواقع المجموعات البديلة. ولأن كلمة إيثيل تأتي قبل ميثيل في الترتيب الهجائي، لذا فإنها تكتب أولاً على الصورة: 2-إيثيل-1، 4- ثنائي ميثيل بنزين.

ماذا قرأت؟ **فسّر** ماذا تعني الدائرة داخل الحلقة السداسية الظاهرة في **الشكل 27-4**؟

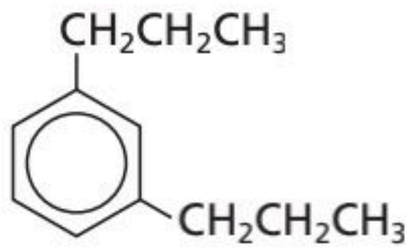


2 - إيثيل - 1، 4 - ثنائي ميثيل بنزين

الشكل 27-4 تسمى حلقات البنزين ذات التفرعات بطريقة تسمية الألكانات الحلقية نفسها.

مثال 4-4

تسمية المركّبات الأروماتية سمِّ المركّب الأروماتي الآتي.

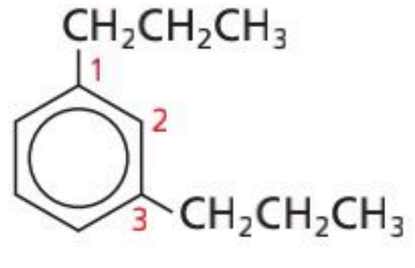


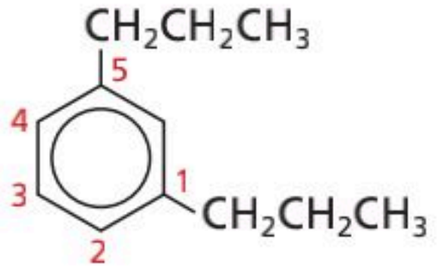
1 تحليل المسألة

لقد أُعطيت مركبًا أروماتيًّا، اتبع القواعد لتسميته.

2 حساب المطلوب

الخطوة 1. رقّم ذرات الكربون لإعطاء أصغر أرقام ممكنة.





إن الرقمين 1 و 3 كما ترى أصغر من الرقمين 1 و 5.

لذا فإن الأرقام التي يجب استخدامها لترقيم الهيدروكربون هي 1 و 3.

الخطوة 2. حدّد أسماء المجموعات البديلة. إذا تكررت المجموعة نفسها أكثر من مرة فأضف البادئة الدالة على عدد المجموعات الموجودة.

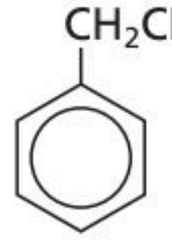
الخطوة 3. جمّع الاسم، ورتب المجموعات البديلة هجائيًّا، مستخدمًا الفواصل بين الأرقام والشرطات بين الأرقام والكلمات، ثم اكتب الاسم على الصورة 1، 3- ثنائي بروبيل بنزين.

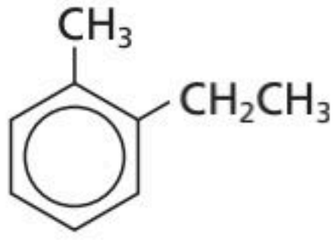
3 تقويم الإجابة

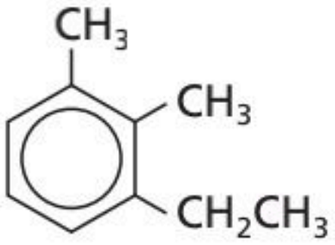
رُقّمت حلقة البنزين لتعطي التفرعات أصغر مجموعة ممكنة من الأرقام، وحُدّدت أسماء المجموعات البديلة على نحوٍ صحيح.

مسائل تدريبية

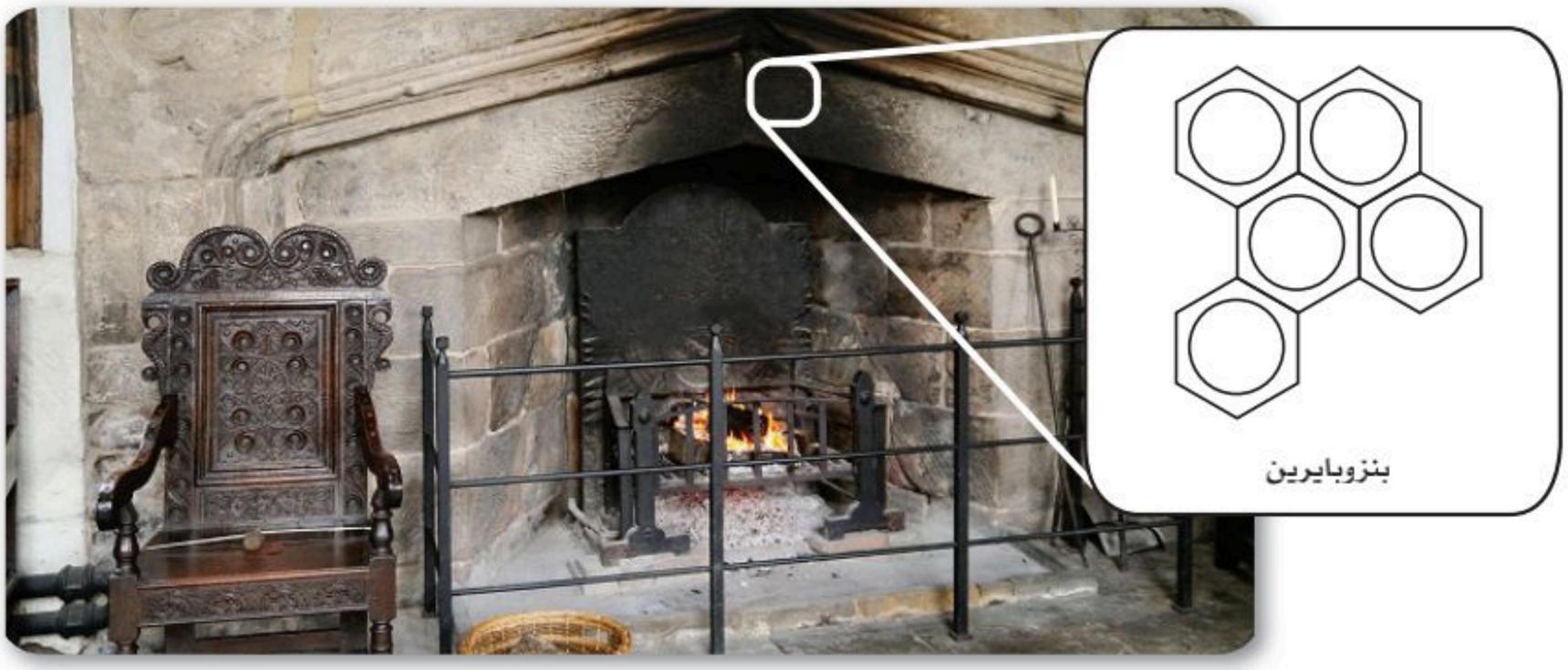
31. سمّ الصيغ البنائية الآتية:

a. 

b. 

c. 

32. تحفيز ارسم الصيغة البنائية للمركب 1، 4- ثنائي ميثيل بنزين.



الشكل 28–4 بنزوبايرين مادة كيميائية مسببة للسرطان، توجد في الرماد، وفي دخان السجائر وعوادم السيارات.

المواد المسرطنة شاع سابقًا استخدام الكثير من المركبات الأروماتية، وبخاصة البنزين والتولووين والإكزايلين، بوصفها مذيبات صناعية ومختبرية، إلا أن الاختبارات أظهرت ضرورة الحد من استخدام هذه المركبات؛ لأنها تؤثر في صحة الأشخاص المعرّضين لها بصورة متكررة. وتشمل المخاطر الصحية المرتبطة مع المركبات الأروماتية أمراض الجهاز التنفسي، والمشاكل المتعلقة بالكبد، وتلف الجهاز العصبي. وبالإضافة إلى هذه المخاطر فإن بعض المركبات الأروماتية مواد مسرطنة، أي تسبب مرض السرطان.

إن أول مادة مسرطنة تمّ تعرّفها هي مادة أروماتية اكتشفت في القرن العشرين في سِناج المداخن. وقد عُرف منظفو المداخن في بريطانيا بإصابتهم بالسرطان بمعدلات عالية جدًّا. واكتشف العلماء أن السبب في ذلك يعود إلى المركب الأروماتي بنزوبايرين الظاهر في **الشكل 28–4**، وهو ناتج ثانوي عن احتراق المخاليط المعقدة من المواد العضوية، ومنها الخشب والفحم. وعُرفت أيضًا بعض المركبات الأروماتية الموجودة في الجازولين على أنها مسرطنة.

المطويات

أدخل معلومات من هذا القسم في مطويتك.

التقويم 4-5

الخلاصة

- تحتوي الهيدروكربونات الأروماتية على حلقات بنزين بوصفها جزءًا من صيغها البنائية.
- تتوزع الإلكترونات في الهيدروكربونات الأروماتية على الحلقة كاملة بالتساوي.

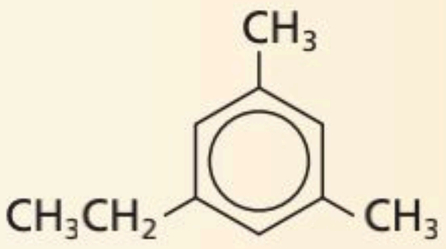
33. الفكرة الرئيسة **فسّر** الشكل البنائي للبنزين، وكيف يجعله عالي الاستقرار أو الثبات؟

34. **فسّر** كيف تختلف الهيدروكربونات الأروماتية عن الهيدروكربونات الأليفاتية؟

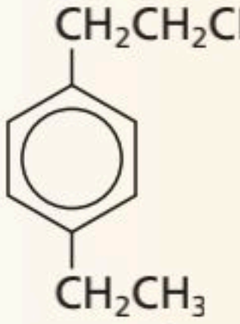
35. **صف** خواص البنزين التي جعلت الكيميائيين ينفون احتمالية كونه ألكينًا ذا روابط ثنائية متعددة.

36. **سمِّ** الصيغ البنائية الآتية:

a.



b. $CH_2CH_2CH_3$



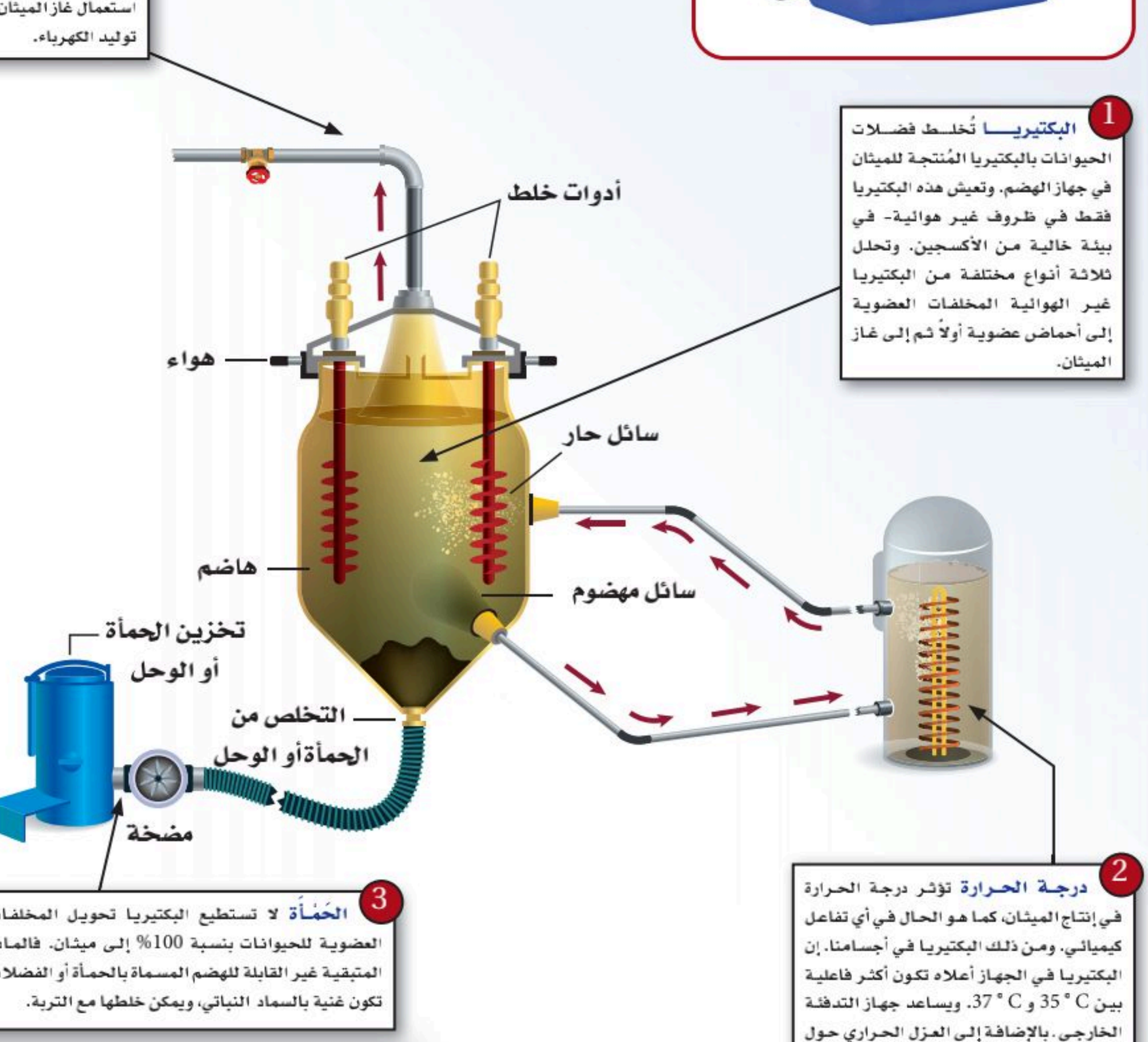
37. **فسّر** لماذا كانت العلاقة بين البنزوبايرين، والسرطان وطيدة؟

كيف تعمل الأشياء؟



تحويل المخلفات إلى طاقة : كيف يعمل جهاز هضم الميثان؟

يأمل المتخصصون أن يساهم مربي الحيوانات الأليفة في تقديم المخلفات العضوية لحيواناتهم لمشروع تجريبي يحوّل المواد العضوية إلى طاقة مفيدة؛ إذ يحول جهاز هضم الميثان المخلفات العضوية إلى غاز بيولوجي (حيوي)- وهو خليط من الميثان وثاني أكسيد الكربون، وحرق الميثان يزوّد بالطاقة اللازمة.



الكتابة في الكيمياء

ابحث اعمل كتيبًا تبين فيه كيفية إنتاج الغاز من المخلفات العضوية.

مختبر الكيمياء

الغازات الهيدروكربونية لموقد بنزن

الخلفية النظرية دعت الحاجة إلى تغيير أحد صمامات الغاز في المختبر. فقال محضِّر المختبر إن الغاز المستعمل هو غاز البروبان، على حين قال المعلم إن الغاز هو الغاز الطبيعي أو غاز الميثان. استعمل الطرائق العلمية للفصل بينهما.

السؤال أي نوع من غازات الألكانات يستعمل في مختبر العلوم؟

المواد والأدوات اللازمة

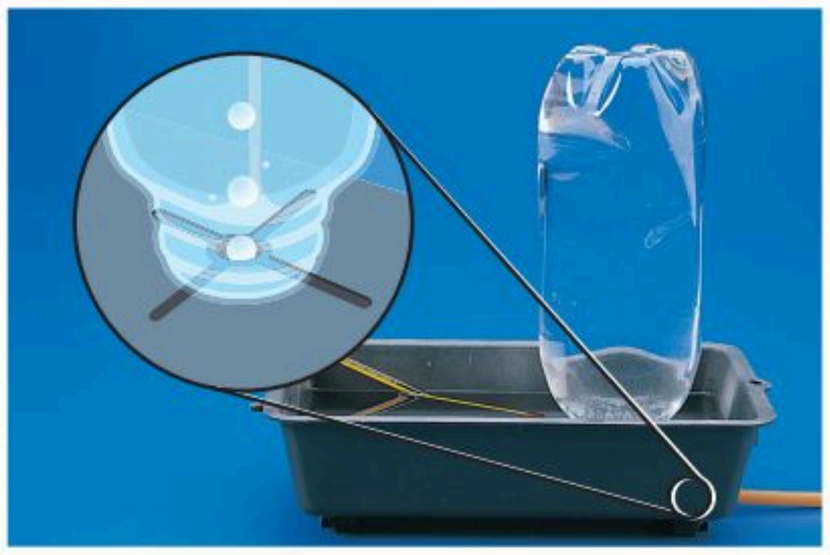
- بارومتر
- مقياس حرارة (ثيرمومتر)
- قارورة مشروبات غازية سعتها 1 L، وأخرى سعتها 2 L بغطاء.
- أنابيب مطاطية
- قارورة جمع الغازات تحت السوائل.
- مخبار مدرج سعة 100 mL
- ميزان (0.01g)
- محارم ورقية

إجراءات السلامة

تحذير: الكحولات مادة قابلة للاشتعال، احفظ السوائل والأبخرة بعيدا عن مصادر اللهب والشرر.

خطوات العمل

1. اقرأ نموذج السلامة كاملاً.
2. صل أنبوب جمع الغاز بمصدر الغاز في المختبر وقارورة جمع الغازات. ثم املأ القارورة بالماء وافتح صمام الغاز برفق، ودع الغاز يحل محل الماء في القارورة بعد اخراج الهواء من الأنبوب.
3. سجل كتلة قارورة المشروبات الغازية الجافة مع الغطاء، وسجل درجة الحرارة والضغط.
4. املأ القارورة بالماء وأغلقها بإحكام لمنع دخول الهواء.
5. ضع مقياس الحرارة (ثيرمومتر) في ماء وعاء جامع الغازات، وضع القارورة فوقه ثم انزع الغطاء مع إبقاء الفتحة تحت الماء، وضع فوهة القارورة فوق أنبوب الغاز مباشرة.
6. افتح صنبور الغاز ببطء ودعه يملأ القارورة، ثم أغلق الصمام وسجل درجة حرارة الماء.
7. اغلق القارورة بالغطاء وهي في وضع مقلوب، ثم أخرجها من الماء وجففها في الخارج.



8. سجل كتلة القارورة المملوءة بالغاز.
9. ضع القارورة داخل صندوق سحب الغازات وانزع الغطاء وأخرج الغاز جميعه بالضغط على جوانب القارورة. ثم املأ القارورة بالماء وسجل حجمه بوضعه في المخبار المدرج.
10. **النظافة والتخلص من النفايات** نظّف مكان العمل بحسب الارشادات.

حلل واستنتج

1. **جد** قيمة كثافة الهواء تحت 1 atm ودرجة حرارة 20 °C تساوي 1.205 g /L. واستعمل حجم القارورة لحساب كتلة الهواء في الزجاجة.
2. **احسب** كتلة القارورة الفارغة، وكتلة الغاز فيها، واستعمل حجم الغاز ودرجة حرارة الماء والضغط الجوي وقانون الغاز المثالي في حساب عدد مولات الغاز الذي تم جمعه. واستعمل أيضًا كتلة الغاز وعدد المولات في حساب الكتلة المولية للغاز.
3. **استنتج** كيف تقارن بين الكتلة المولية المحسوبة والكتلة المولية للميثان، الإيثان، والبروبان؟ استنتج نوع الغاز في القارورة.
4. **تحليل الخطأ.** اقترح مصادر للأخطاء في هذه التجربة.

الاستقصاء

صمّم تجربة لاختبار تأثير متغير واحد مثل درجة الحرارة أو الضغط الجوي في نتائج تجربتك.

الفصل 4

دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة تختلف الهيدروكربونات، وهي مركبات عضوية، باختلاف أنواع الروابط فيها.

4-1 مقدمة إلى الهيدروكربونات

الفكرة الرئيسة الهيدروكربونات مركبات عضوية تحتوي على عنصري الكربون والهيدروجين فقط وتعد مصدراً للطاقة والمواد الخام.

المفردات

- المركب العضوي
- الهيدروكربونات
- الهيدركربون المشبع
- الهيدروكربون غير المشبع
- التقطير التجزيئي
- التكسير الحراري

المفاهيم الرئيسة

- تحتوي المركبات العضوية على الكربون؛ إذ يمكنه تكوين سلاسل مستقيمة وأخرى متفرعة.
- الهيدروكربونات مواد عضوية تتألف من الكربون والهيدروجين.
- المصدران الرئيسان للهيدروكربونات هما النفط والغاز الطبيعي.
- يمكن فصل النفط إلى مكوناته عن طريق عملية التقطير التجزيئي.

4-2 الألكانات

الفكرة الرئيسة الألكانات هيدروكربونات تحتوي فقط على روابط أحادية.

المفردات

- الألكان
- السلسلة المتماثلة
- السلسلة الرئيسة
- المجموعة البديلة
- الهيدروكربون الحلقي
- الألكان الحلقي

المفاهيم الرئيسة

- تحتوي الألكانات على روابط أحادية فقط بين ذرات الكربون.
- تعد الصيغ البنائية أفضل تمثيل للألكانات والمركبات العضوية الأخرى. ويمكن تسمية هذه المركبات باستخدام قواعد نظامية حُدِّدت من الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية (أيوباك IUPAC).
- تسمى الألكانات المحتوية على حلقات هيدروكربونية بالألكانات الحلقية.

4-3 الألكينات والألكاينات

الفكرة الرئيسة الألكينات هيدروكربونات تحتوي على الأقل على رابطة ثنائية واحدة، وأما الألكاينات فهي هيدروكربونات تحتوي على رابطة ثلاثية واحدة على الأقل.

المفردات

- الألكين
- الألكاين

المفاهيم الرئيسة

- الألكينات والألكاينات هيدروكربونات تحتوي على الأقل على رابطة ثنائية أو ثلاثية واحدة، على التوالي.
- تُعد الألكينات والألكاينات مركبات عضوية غير قطبية ذات نشاط كيميائي أعلى من الألكانات، ولها خصائص أخرى مشابهة لخصائص الألكانات.

الفصل 4

دليل مراجعة الفصل

4-4 متشكلات الهيدروكربونات

الفكرة الرئيسة لبعض الهيدروكربونات الصيغة الجزيئية نفسها، لكنها تختلف في صيغها البنائية.

المفردات

- المتشكلات
- المتشكلات البنائية
- المتشكلات الفراغية
- المتشكلات الهندسية
- الكيرالية
- ذرة الكربون غير المتماثلة
- المتشكلات الضوئية
- الدوران الضوئي

المفاهيم الرئيسة

- المتشكلات مركبان أو أكثر لها الصيغة الجزيئية نفسها، ولكنها تختلف في صيغها البنائية.
- تختلف المتشكلات البنائية في الترتيب الذي ترتبط به الذرات معًا.
- ترتبط الذرات جميعها في المتشكلات الفراغية بالترتيب نفسه، ولكنها تختلف في ترتيبها الفراغي (الاتجاهات في الفراغ).

4-5 الهيدروكربونات الأروماتية

الفكرة الرئيسة تتصف الهيدروكربونات الأروماتية بدرجة عالية من الثبات بسبب بنائها الحلقي، حيث الأزواج الإلكترونية غير متمركزة.

المفردات

- المركب الأروماتي
- المركب الأليفاتي

المفاهيم الرئيسة

- تحتوي الهيدروكربونات الأروماتية على حلقات بنزين بوصفها جزءًا من صيغها البنائية.
- تتوزع الإلكترونات في الهيدروكربونات الأروماتية على الحلقة كاملة بالتساوي.

الفصل 4 تقويم الفصل

4-1

إتقان المفاهيم

38. الكيمياء العضوية لماذا أدى اكتشاف فوهلر إلى تطوير الكيمياء العضوية؟

39. ما الخاصية الرئيسة للمركب العضوي؟

40. ما خاصية الكربون المسؤولة عن التنوع الهائل في المركبات العضوية؟

41. سمّ مصدرين طبيعيين للهيدروكربونات.

42. فسر الخصائص الفيزيائية لمركبات النفط التي تستعمل لفصلها في أثناء عملية التقطير التجزيئي.

43. فسّر الفرق بين الهيدروكربونات المشبعة وغير المشبعة.

إتقان حل المسائل

44. التقطير رتب المركبات المدرجة في **الجدول 7-4** حسب الترتيب الذي تخرج به خلال تقطيرها من الخليط.

الجدول 7-4 درجات غليان الألكانات

المركب	درجة الغليان (°C)
الهكسان	68.7
الميثان	- 161.7
الأوكتان	125.7
البيوتان	- 0.5
البروبان	- 42.1

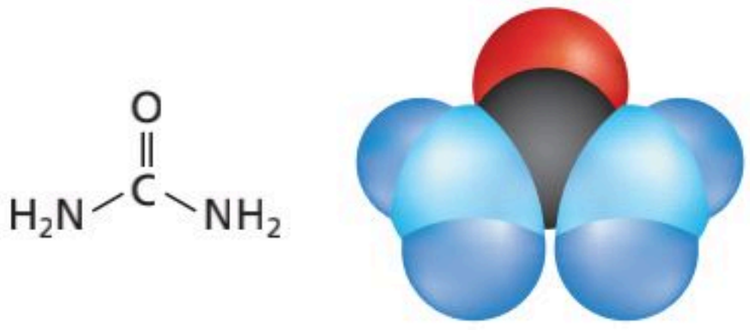
45. ما عدد الإلكترونات المشتركة بين ذرتي الكربون في كل من روابط الكربون الآتية؟

a. رابطة أحادية

b. رابطة ثنائية

c. رابطة ثلاثية

46. يبين **الشكل 29-4** نموذجين لليوريا، وهو جزيء حضّره فريدريك فوهلر لأول مرة عام 1828م.



الشكل 29-4

a. حدّد نوع كل من النموذجين.

b. هل اليوريا مركب عضوي أم غير عضوي؟ فسر إجابتك.

47. تُمثَّل الجزيئات باستخدام الصيغ الجزيئية، والصيغ البنائية، ونموذج الكرة والعصا، والنموذج الفراغي. ما مزايا ومساوئ كل نموذج؟

4-2

إتقان المفاهيم

48. صف خصائص السلاسل المُتماثلة للهيدروكربونات.

49. الوقود سمِّ ثلاثة ألكانات تُتخذ وقودًا، ثم اذكر استخدامًا آخر لكل منها.

50. اكتب الصيغة البنائية لكل مما يأتي:

a. الإيثان

b. الهكسان

c. البروبان

d. الهبتان

51. اكتب الصيغ البنائية المكثفة لكل من الألكانات في السؤال السابق.

52. اكتب مجموعة الألكيل المقابلة لكل من الألكانات الآتية، واكتب اسمها:

a. الميثان

b. البيوتان

c. الأوكتان

4 تقويم الفصل

53. كيف يختلف بنـــاء الألكان الحلقي عن بنـــاء الألكانات المستقيمة أو المتفرعة؟

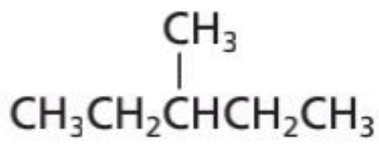
54. درجات التجمد والغليان اســـتخدم الماء والميثان لتفســـير كيـــف تؤثر قوى التجاذب بين الجزيئيـــة في درجة غليان ودرجة تجمد المادة.

إتقان حل المسائل

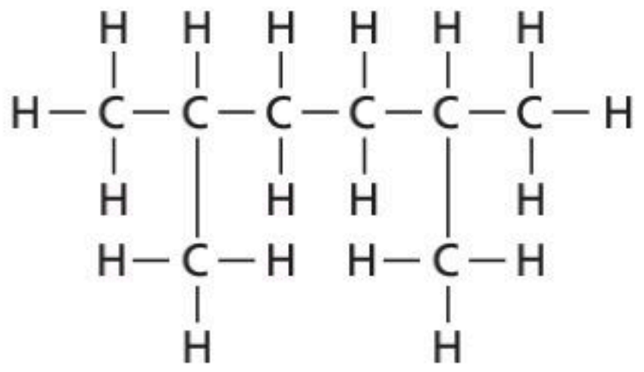
55. سمِّ المركبات التي لها الصيغ البنائية الآتية:

a. $CH_3CH_2CH_2CH_2CH_3$

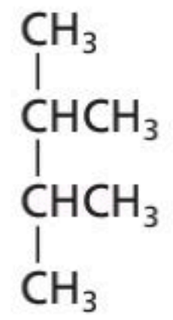
b.



c.



d.



56. اكتب الصيغ البنائية الكاملة للمركبات الآتية:

a. هبتان

b. 2- ميثيل هكسان

c. 3،2- ثنائي ميثيل بنتان

d. 2،2-ثنائي ميثيل بروبان

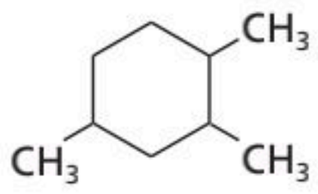
57. اكتب الصيغ البنائية المكثفة للمركبات الآتية:

a. 2،1- ثنائي ميثيل بروبان حلقي

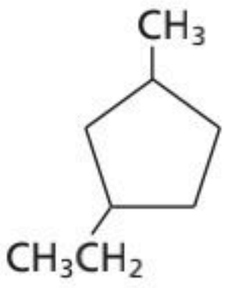
b. 1،1- ثنائي إيثيل-2-ميثيل حلقي بنتان.

58. سمّ المركبات التي لها الصيغ البنائية الآتية:

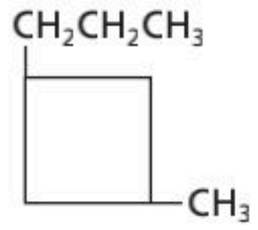
a.



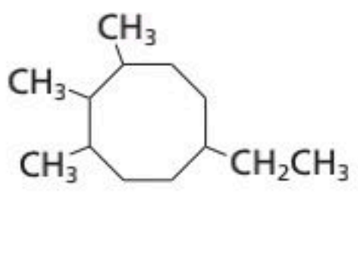
b.



c.



d.



4-3

إتقان المفاهيم

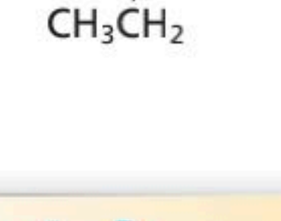
59. فسّر كيف تختلف الألكينات عن الألكانات، وكيف تختلف الألكاينات عن كلٍّ من الألكينات والألكانات؟

60. يُبنى اسم الهيدروكربون على أساس اسم السلسلة الرئيسة. فسِّر كيف تختلف طريقة تحديد السلسلة الرئيسة عند تسمية الألكينات عنها عند تسمية الألكانات؟

إتقان المسائل

61. سمّ المركبات المُمَثَّلة بالصيغ البنائية المكثفة الآتية:

a.



b.



c.

d.

62. اكتب صيغًا بنائية مكثفة للمركبات الآتية:

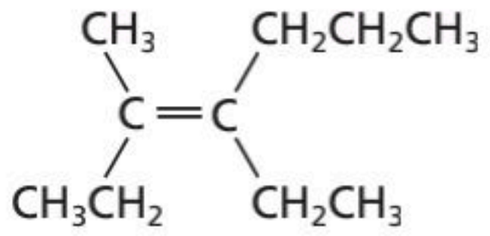
a. 4،1- ثنائي إيثيل هكسين حلقي

b. 4،2- ثنائي ميثيل-1-أوكتين

c. 2،2-ثنائي ميثيل-3-هكساين

4 تقويم الفصل

63. سمِّ المركب المُمَثل بالصيغة البنائية الآتية:



4-4

إتقان المفاهيم

64. فيمَ تتشابه المتشكلات؟ وفيم تختلف؟

65. صف الاختلاف بين متشـكلات سيس وترانس من حيث الترتيب الهندسي.

66. ما خصائص المادة الكيرالية؟

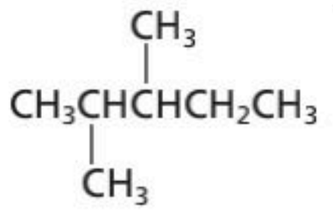
67. الضـوء كيف يختلف الضوء المستقطب عن الضوء العادي، ومن ذلك ضوء الشمس؟

68. كيف تؤثر المتشكلات الضوئية في الضوء المستقطب؟

إتقان حل المسائل

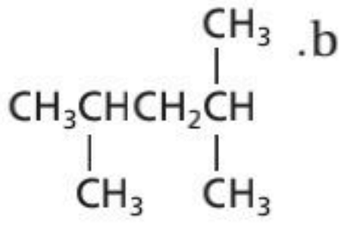
69. عيّن زوج المتشـكلات البنائية في مجموعـة الصيغ البنائية المكثفة الآتية:

.a

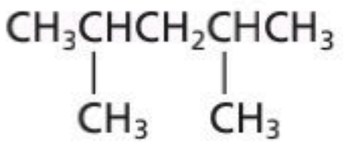


.c

.b



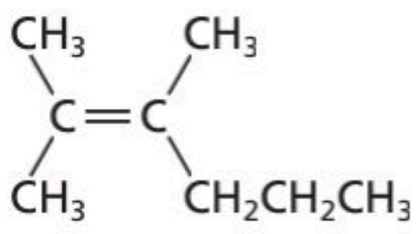
.d



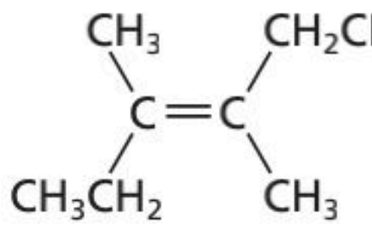
70. اكتب صيغًا بنائية مكثفة لأربعة متشكلات مختلفة تحمل الصيغة الجزيئية C_4H_8.

71. عيّن زوج المتشـكلات الهندسية من بين الأشكال الآتية، مبينًا سبب اختيارك، ثم فسّر علاقة الصيغة البنائية الثالثة بالصيغتين الآخرين:

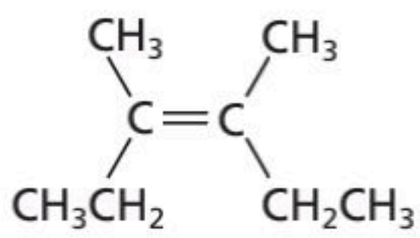
.a



.b



.c



72. اكتب متشكلين سيس وترانس للجزيء المُمَثل بالصيغة المكثفة الآتية، وميّز بينهما:

$$CH_3CH = CHCH_2CH_3$$

4-5

إتقان المفاهيم

73. ما الخاصيـة البنائيـة التي تشترك فيها الهيـدروكـربونات الأروماتية جميعها؟

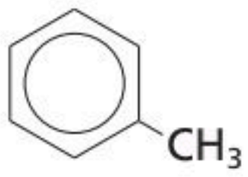
74. ما المقصود بالمواد المُسَرطِنة؟

إتقان حل المسائل

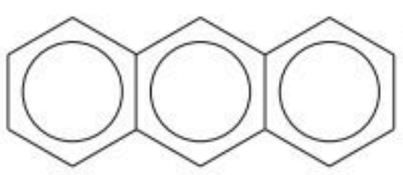
75. اكتب الصيغة البنائية لـِ 2،1- ثنائي ميثيل بنزين.

76. سمِّ المركبات المُمَثلة بالصيغ البنائية الآتية:

.a



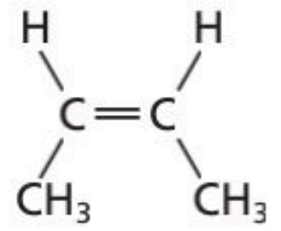
.b

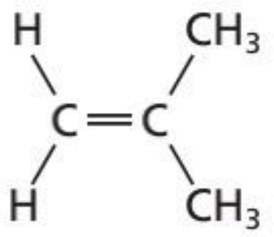


4 تقويم الفصل

مراجعة عامة

77. هل تمثّل الصيغتان البنائيتان الآتيتان الجزيء نفسه؟ فسّر إجابتك.

a.


b.


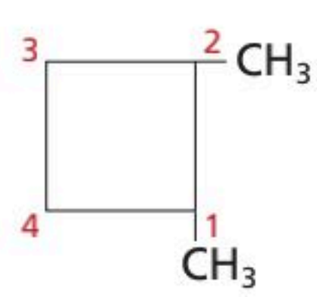
78. ما عدد ذرات الهيدروجين في جزيء ألكان يحتوي على تسع ذرات كربون؟ وما عددها في ألكين يحتوي على تسع ذرات كربون ورابطة ثنائية واحدة؟

79. إذا كانت الصيغة العامة للألكانات هي C_nH_{2n+2}، فحدد الصيغة العامة للألكانات الحلقية.

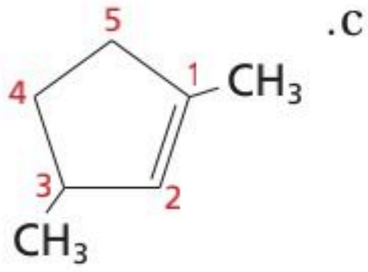
80. الصناعة لماذا تُعدّ الهيدروكربونات غير المشبعة بوصفها مواد أولية أكثرَ فائدة في الصناعة الكيميائية من الهيدروكربونات المشبعة؟

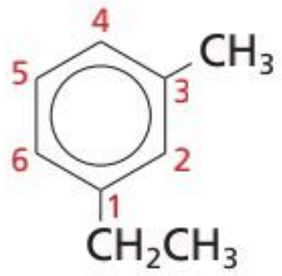
81. هل يُعد البنتان الحلقي متشكلًا للبنتان؟ فسِّر إجابتك.

82. حدّد ما إذا كان كل من الصيغ البنائية الآتية تُظهر الترقيم الصحيح. فإذا لم يكن كذلك فأعد كتابتها بالترقيم الصحيح:

a.


b. $CH_3CH_2C \equiv CCH_3$

c.


d.


83. لماذا يستخدم الكيميائيون الصيغ البنائية للمركبات العضوية بدلاً من الصيغ الجزيئية مثل C_5H_{12}؟

84. أيهما تتوقع أن يكون له خصائص فيزيائية متشابهة، زوج من المتشكلات البنائية أم زوج من المتشكلات الفراغية؟ فسِّر استنتاجك.

85. فسِّر لماذا نحتاج إلى الأرقام في أسماء أيوباك للعديد من الألكينات والألكاينات المستقيمة، في حين أننا لسنا بحاجة إلى كتابتها في أسماء الألكانات المستقيمة.

86. يُسمّى المركّب المحتوي على رابطتين ثنائيتين بالدايين، والصيغة البنائية المكثفة أدناه تمثل المركب 4،1-بنتاداين. استعن بمعرفتك بأسماء الأيوباك على كتابة الصيغة البنائية للمركب 3،1- بنتاداين.

$$H_2C = CH - CH_2 - CH = CH_2$$

التفكير الناقد

87. حدِّد اثنين من الأسماء الآتية لا يمكن أن يكونا صحيحين:

a. 2-إيثيل-2- بيوتين
b. 4،1- ثنائي ميثيل هكسين حلقي
c. 5،1- ثنائي ميثيل بنزين

88. استنتج يطلق الديكستروز dextrose؛ في بعض الأحيان على سكر الجلوكوز؛ لأن محلول الجلوكوز عُرف بأنه dextrorotatory. حلّل هذه الكلمة، وحدد ما تعنيه.

89. تفسير التصورات العلمية ارسم بناء كيكولي للبنزين، وفسّر لماذا لا يمثّل الصيغة البنائية الفعلية؟

90. السبب والنتيجة فسِّر السبب وراء كون الألكانات، مثل الهكسان والهكسان الحلقي، فعّالة في إذابة الشحم أو المواد الدهنية، على عكس الماء.

91. فسّر اكتب عبارة تفسر العلاقة بين عدد ذرات الكربون ودرجة غليان الألكانات.

تقويم الفصل 4

مسألة تحفيز

92. **ذرات الكربون الكيرالية** يحتوي الكثير من المركبات العضوية على أكثر من ذرة كربون كيرالية واحدة. ولكل ذرة كربون كيرالية في المركب زوج من المتشكلات الفراغية. والمجموع الكلي للمتشكلات المحتمَلة للمركب مساوٍ لِـ 2n، حيث تشير n إلى عدد ذرات الكربون الكيرالية. اكتب الصيغ البنائية للمركبات أدناه، وحدّد عدد المتشكلات الفراغية الممكنة لكل منها.

a. 5،3-ثنائي ميثيل نونان

b. 7،3-ثنائي ميثيل-5-إيثيل ديكان.

مراجعة تراكمية

93. ما العنصر الذي له التوزيع الإلكتروني $[Ar]3d^6 4s^2$ الأقلّ طاقة؟

94. ما شحنة الأيون المتكوّن من المجموعات الآتية؟

a. الفلزات القلوية.

b. الفلزات القلوية الأرضية.

c. الهالوجينات.

95. اكتب المعادلات الكيميائية لتفاعلات الاحتراق الكامل للإيثان، والإيثين، والإيثاين المنتجة للماء وثاني أكسيد الكربون.

تقويم إضافي

الكتابة في الكيمياء

96. الجازولين كان المركب "رباعي إيثيل الرصاص" لسنوات كثيرة، مكونًا أساسيًّا في الجازولين لمنع الفرقعة. ابحث عن الصيغة البنائية لهذا المركب وتاريخ تطويره واستعماله والأسباب الكامنة وراء توقف استعماله. وهل ما زال يتخذ مادة تُضاف إلى البنزين في أماكن من العالم؟

97. العطور يتكون المِسك المستعمل في العطور من الكثير من المركبات التي تشمل ألكانات حلقية كبيرة. ابحث عن مصادر مركبات المسك الطبيعي والصناعي في هذه المنتجات، واكتب تقريرًا موجزًا حولها.

أسئلة المستندات

الهيدروكربونات الأروماتية المتعددة الحلقات

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) وهي مركبات طبيعية، ولكن قد يزيد النشاط الإنساني من تركيزها في البيئة. ولدراسة مركبات PAH جُمعت عينات من التربة، وجرى تحليلها باستعمال نوى مشعة لمعرفة متى ترسّب كل مكوّن رئيس فيها.

الشكل 30-4 يبين تركيز الهيدروكربونات الأروماتية المتعددة الحلقات (PAH) التي عُثِر عليها في سنترال بارك في مدينة نيويورك.

البيانات مأخوذة من:

2005. Environmental science technology 39 (18): 7012 - 7019



الشكل 30-4

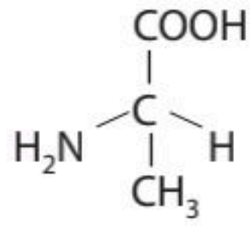
98. قارن بين معدلات تراكيز PAH قبل 1905م وبعد 1925م.

99. تنتج بعض النباتات والحيوانات مركبات PAH بكميات قليلة، ولكن معظمها يأتي من النشاطات البشرية، مثل حرق الوقود الأحفوري. استنتج السبب وراء الانخفاض النسبي في مستويات PAH في العقد الأخير من القرن التاسع عشر وبدايات العقد الأول من القرن العشرين.

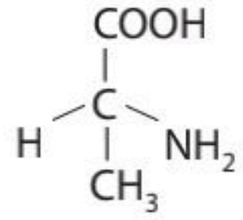
اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

1. يوجد الأنيلين، مثل جميع الأحماض الأمينية، في صورتين:



L-ألانيلين



D-ألانيلين

توجد الأحماض الأمينية جميعها تقريبًا على هيئة (L). فأي المصطلحات الآتية يصف بدقة L-أنيلين و D-أنيلين أحدهما بالنسبة إلى الآخر؟

a. متشكلات بنائية
b. متشكلات هندسية
c. متشكلات ضوئية
d. متشكلات فراغية

2. أيّ مما يأتي لا يؤثر في سرعة التفاعل؟

a. العوامل المساعدة
b. مساحة سطح المتفاعلات
c. تركيز المتفاعلات
d. نشاط النواتج الكيميائي

3. ما مولالية محلول يحتوي على 0.25 g من ثنائي الكلوروبنزين $C_6H_4Cl_2$ المذاب في 10.0 g من الهكسان الحلقي (C_6H_{12})؟

a. 0.17 mol /kg
b. 0.00017 mol /kg
c. 0.025 mol /kg
d. 0.014 mol /kg

استخدم الجدول أدناه للإجابة عن الأسئلة من 4 إلى 6.

بيانات عن هيدروكربونات متعددة				
الاسم	عدد ذرات C	عدد ذرات H	درجة الانصهار (C°)	درجة الغليان (C°)
هبتان	7	16	-90.6	98.5
1- هبتين	7	14	-119.7	93.6
1- هبتاين	7	12	-81	99.7
أوكتان	8	18	-56.8	125.6
1- أوكتين	8	16	-101.7	121.2
1- أوكتاين	8	14	-79.3	126.3

4. ما نوع الهيدروكربون الذي يتحول إلى غاز عند أقل درجة حرارة بناءً على المعلومات في الجدول السابق؟

a. ألكان
b. ألكين
c. ألكاين
d. أروماتي

5. إذا رَمَزَ n إلى عدد ذرات الكربون في الهيدروكربون، فما الصيغة العامة للألكاين المحتوي على رابطة ثلاثية واحدة؟

a. C_nH_{n+2}
b. C_nH_{2n+2}
c. C_nH_{2n}
d. C_nH_{2n-2}

6. نتوقع اعتمادًا على الجدول السابق أن تكون درجة انصهار النونان:

a. أعلى ممّا للأوكتان.
b. أقل ممّا للهبتان.
c. أعلى ممّا للديكان.
d. أقل ممّا للهكسان.

اختبار مقنن

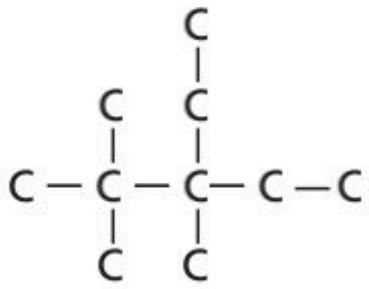
7. عند ضغـــط 1.00 atm ودرجة حرارة 20 °C، يذوب 1.72 g CO_2 في 1L ماء. فما كمية CO_2 الذائبة إذا ارتفع الضغط إلى 1.35 atm مع بقاء درجة الحرارة نفسها؟

a. 2.32 g /L
b. 1.27 g /L
c. 0.785 g /L
d. 0.431 g /L

8. أي العبارات الآتية لا يصف ما يحدث عندما يغلي السائل؟

a. ترتفع درجة حرارة النظام.
b. يمتص النظام الطاقة.
c. يتســاوى الضغط البخاري للسائل مع الضغط الجوي.
d. يدخل السائل في طور الغاز.

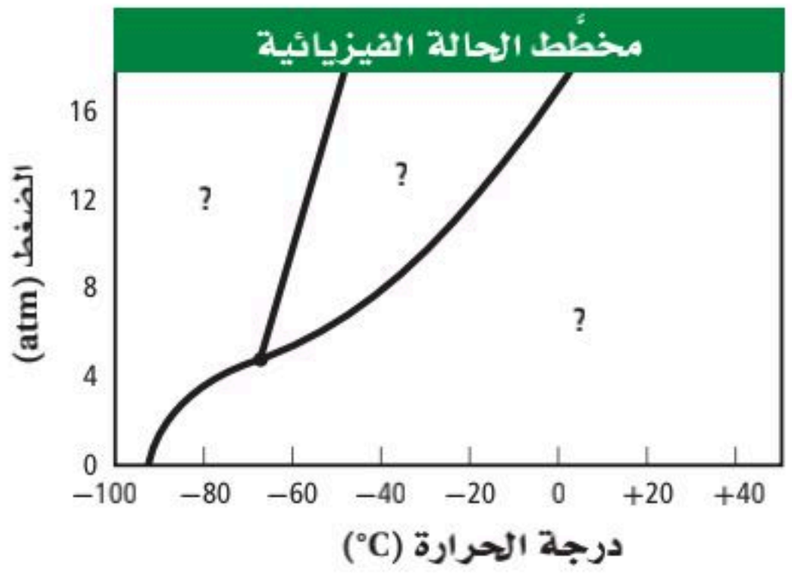
9. ما اسم المركب ذي الصيغة الهيكلية المبينة أعلاه؟



a. 2، 2، 3 - ثلاثي ميثيل - 3 - إيثيل بنتان
b. 3 - إيثيل - 3، 4، 4-ثلاثي ميثيل بنتان
c. 2 - بيوتيل - 2 - إيثيل بيوتان.
d. 3 - إيثيل - 2، 2، 3 - ثلاثي ميثيل بنتان.

أسئلة الإجابات القصيرة

استخدم الرســم البياني المبين أدناه للإجابة عن الأسئلة من 10 إلى 12.



10. ما حالة المادة الواقعة عند درجة حرارة 80 °C - وضغط 10 atm؟

11. ما درجة الحرارة والضغط عندما تكون المادة عند نقطتها الثلاثية؟

12. صف التغــيرات التي تحدث في الترتيــب الجزيئي عند زيــادة الضغط من 8 atm إلى 16 atm، مع بقاء درجة الحرارة ثابتة عند (0 °C).

أسئلة الإجابات المفتوحة

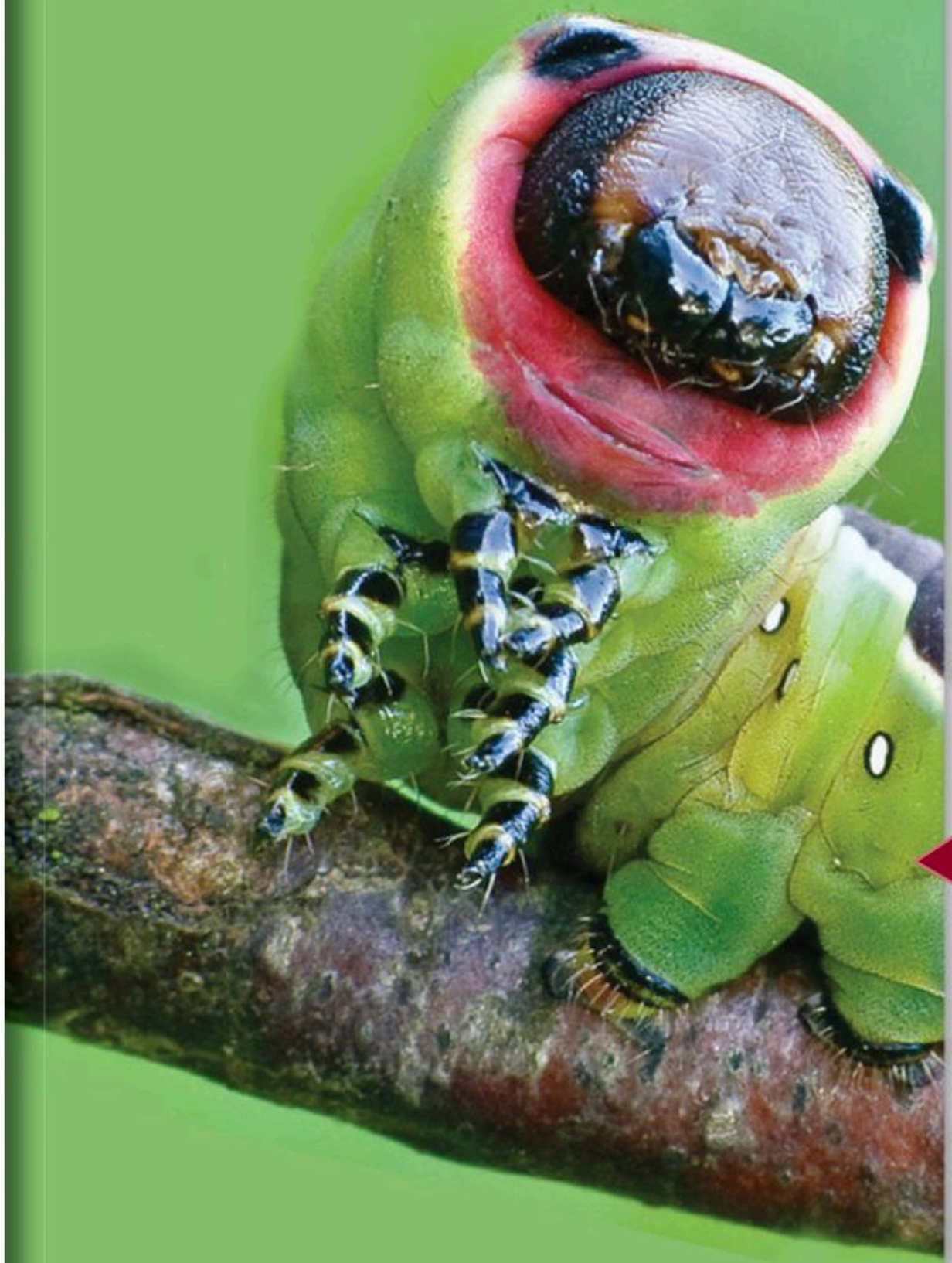
13. إذا احترق 5.00 L من غاز الهيدروجين عند درجة حرارة 20.0°C وضغط مقداره 80.1Kpa مع كمية فائضة من الأكسجين لتكوين الماء، فما كتلة الأكسجين المستهلك؟ افترض أن كلًّا من درجة الحرارة والضغط ثابتان.

الفصل 5

مشتقات المركبات الهيدروكربونية وتفاعلاتها
Substituted Hydrocarbons and Their Reactions



حمض الفورميك



الفكرة العامة يـؤدي اسـتبدال ذرات الهيدروجين في المركبـات الهيدروكربونية بمجموعـات وظيفية مختلفة إلى تكوين مركبات عضوية متنوعة.

5-1 هاليدات الألكيل وهاليدات الأريل

الفكرة الرئيسة يمكن أن تحل ذرة الهالوجين محل ذرة الهيدروجين في بعض المركبات الهيدروكربونية.

5-2 الكحولات، والإيثرات، والأمينات

الفكرة الرئيسة الأكسـجين والنيتروجين من أكثر الذرات شيوعًا في المجموعات الوظيفية العضوية.

5-3 مركبات الكربونيل

الفكرة الرئيسة تحتوي مركبات الكربونيل على ذرة أكسجين ترتبط برابطة ثنائية مع الكربون في المجموعة الوظيفية.

5-4 تفاعلات أخرى للمركبات العضوية

الفكرة الرئيسة تصنيف التفاعـلات الكيميائية للمركبات العضوية يجعل توقع نواتج هذه التفاعلات أسهل.

5-5 البوليمرات

الفكرة الرئيسة البوليمـرات الصناعية مركبـات عضوية كبيرة تتكـون من تكرار وحـدات مرتبطة معًـا عن طريق تفاعلات الإضافة أو التكثف.

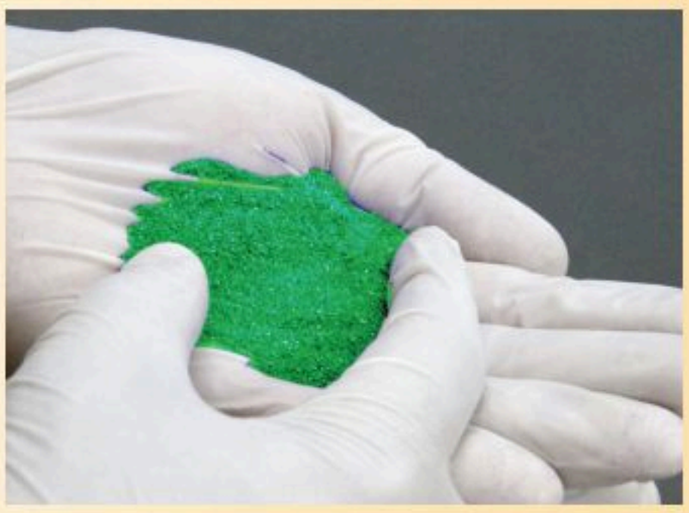
حقائق كيميائية

- تفرز يرقة فراشـة العث Larva نافـورة من حمض الفورميك عندما تتعرض لتهديد.
- تحتوي قرون استشعار الفراشة البالغة على مستقبلات كيميائية للكشف عن المركبات العضوية.

تجربة استهلالية

كيف تعد عجينة لزجة؟

تحتوي معظم المركبات العضوية على عناصر أخرى غير الهيدروجين والكربون، تكسبها خواص مميزة. كيف تتغير خواص هذه المركبات عندما تقوم المجموعات الوظيفية بتكوين روابط بين السلاسل؟



خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. استعمل **مخبارًا مدرجًا** لقياس 20 mL من محلول **كحول البولي فينيل بتركيز 4%**، ثم ضع المحلول في كأس بلاستيكية، ولاحظ لزوجة المحلول في أثناء تحريكه بساق التحريك.
3. أضف في أثناء التحريك 6 mL من **محلول رابع بورات الصوديوم بتركيز 4%**، إلى محلول كحول البولي فينيل، واستمر في التحريك حتى يبدو المحلول متجانسًا تمامًا.
4. البس القفازين، واسكب المادة الناتجة خارج الكأس، ثم اعجن البوليمر، واسحبه بالطول.

تحليل النتائج

5. **قارن** الخواص الفيزيائية للمادة المتفاعلة والمواد الناتجة.
6. **اشرح** كيف أثرت قوى التجاذب بين السلاسل الجزيئية في لزوجة المحلول.

استقصاء ما النسبة بين محلولي رابع بورات الصوديوم وكحول البولي فينيل؟ ما الذي تحصل عليه لو تغيرت هذه النسبة؟

المطويات
منظمات الأفكار

المجموعات الوظيفية:
اعمل المطوية الآتية لتنظيم المعلومات حول المجموعات الوظيفية للمركبات العضوية.

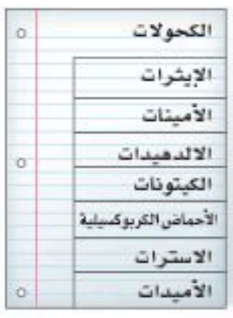
الخطوة 1 ضع سبع أوراق على شكل طبقات، كما في الصورة المجاورة.



الخطوة 2 قص الأوراق السبعة أفقيًّا بطول 3 سم، وذلك عند السطر السادس من الجهة العلوية للأوراق.



الخطوة 3 اعمل قَطعًا عموديًّا من أسفل حتى يلتقي مع القطع الأفقي.



الخطوة 4 ضع ورقة صحيحة أسفل الأوراق المقطوعة الأخرى، ثم اضبط قمم وجوانب كافة الأوراق، ودبس المطوية أو ضعها في دفتر الملاحظات، ثم ضع عليها علامات التبويب كما هو مبين في الشكل.

المطويات **استعمل هذه المطوية مع الأقسام 1–5، و2–5، و3–5، و4–5، وفي أثناء قراءتك لهذه الأقسام لخّص ما تعلمته عن تصنيف المركبات العضوية وتركيبها، واذكر أمثلة على كل منها.**

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

5–1

الأهداف

- **تتعرف** المجموعة الوظيفية، وتعطي أمثلة عليها.
- **تقارن** بين تراكيب هاليدات الألكيل وهاليدات الأريل.
- **تقوّم** درجة غليان الهاليدات العضوية.

مراجعة المفردات

المركب الأليفاتي: مركب هيدروكربوني غير عطري، مثل الألكان، والألكين، والألكاين.

المفردات الجديدة

المجموعة الوظيفية

هاليدات الألكيل

هاليدات الأريل

البلاستيك

تفاعلات الاستبدال

الهلجنة

هاليدات الألكيل وهاليدات الأريل
Alkyl Halides and Aryl Halides

الفكرة الرئيسة **يمكن أن تحل ذرة الهالوجين محل ذرة الهيدروجين في بعض المركبات الهيدروكربونية.**

الربط مع الحياة إذا كنت تلعب ضمن فريق، فأي اللاعبين يمكن تغييرهم في أثناء اللعب؟ يمكن على سبيل المثال تغيير اللاعب الذي يشعر بالإرهاق. نلاحظ أن خواص الفريق قد تغيرت بعد عملية الاستبدال.

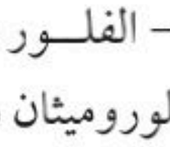
المجموعات الوظيفية Functional Groups

من المعروف أن ذرات الكربون في الهيدروكربونات ترتبط فقط مع ذرة كربون أخرى أو ذرات هيدروجين. ولكن يمكن لذرة الكربون أيضًا أن تكوّن رابطة تساهمية قوية مع عناصر أخرى، ومن أكثرها شيوعًا الأكسجين والنيتروجين والفلور والكلور والبروم واليود والكبريت والفوسفور.

وتوجد ذرات هذه العناصر في المواد العضوية بوصفها جزءًا من المجموعات الوظيفية. **والمجموعة الوظيفية** في المركبات العضوية هي ذرة أو مجموعة من الذرات تكسبه خواص مميزة، وتتفاعل دائمًا بالطريقة نفسها. وعند إضافة المجموعات الوظيفية للمركبات الهيدروكربونية ينتج دائمًا مواد لها خواص فيزيائية وكيميائية مختلفة عن المركبات الهيدروكربونية الأصلية. والمواد الظاهرة في **الشكل 1–5** – صناعية كانت أم طبيعية – جميعها تحتوي على مجموعات وظيفية تكسبها خواص فريدة تميزها، ومنها الرائحة مثلاً. ويبين **الجدول 1–5** المركبات العضوية التي تحتوي على أكثر من مجموعة وظيفية. ويمثل الرمزان R و R' سلسلة أو حلقة من الكربون مرتبطة مع المجموعة الوظيفية. تذكر أن كلًا من الرابطتين الثنائية والثلاثية بين ذرات الكربون تعد مجموعات وظيفية، على الرغم من وجود ذرات كربون وهيدروجين فقط. ومن خلال معرفة خواص المجموعة الوظيفية يمكنك توقع خواص المركبات العضوية التى تحتوي عليها، حتى لو لم تكن تعلمتها سابقًا.



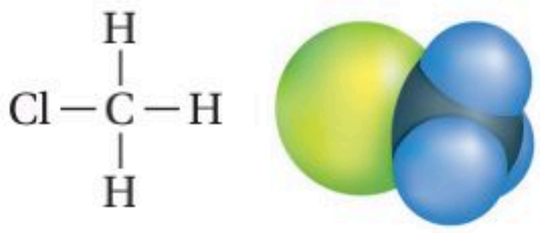
الشكل 1–5 جميع هذه المواد تحتوي على نوع واحد – على الأقل – من المجموعات الوظيفية التي ستدرسها في هذا الفصل. فعلى سبيل المثال يكون للفواكه والأزهار رائحة تميزها، ويعزى هذا إلى وجود جزيئات الإستر في هذه المواد.

الجدول 1-5 المركبات العضوية ومجموعاتها الوظيفية		
نوع المركب	الصيغة العامة	المجموعة الوظيفية
هاليدات الألكيل	R—X (X = F, Cl, Br, I)	الهالوجين
هاليدات الأريل	(X=F, Cl, Br,I)	الهالوجين
الكحولات	R—OH	الهيدروكسيل
الإيثرات	R—O—R′	الإيثر
الأمينات	$R—NH_2$	الأمين
الألدهيدات		الكربونيل
الكيتونات		الكربونيل
الأحماض الكربوكسيلية		الكربوكسيل
الإسترات		الإستر
الأميدات		الأميد

مركبات عضوية تحتوي على الهالوجينات
Organic Compounds Containing Halogens

الهالوجينات هي أبسط المجموعات التي يمكن أن تفكر فيها على أنها مجموعات وظيفية مرتبطة مع الهيدروكربونات؛ فإذا حلت ذرة هالوجين محل أي ذرة هيدروجين من الألكان نتج هاليد الألكيل. و**هاليدات الألكيل** مركبات عضوية تحتوي على ذرة هالوجين أو أكثر مرتبطة برابطة تساهمية مع ذرة كربون أليفاتية. وتوجد الهالوجينات الأربع الأولى - الفلور والكلور والبروم واليود - في العديد من المركبات العضوية. وعلى سبيل المثال، فإن الكلوروميثان هو هاليد ألكيل يتكون عندما تحل ذرة كلور محل ذرة من ذرات الهيدروجين الأربع في الميثان، كما هو موضح في **الشكل 2-5**.





كلوروميثان

الشكل 2—5 الكلوروميثان هو هاليد ألكيل، ويُستعمل في صناعة المواد اللاصقة المعروفة تجاريًّا بالسليكون؛ لتثبيت الأبواب والنوافذ.

هاليدات الأريل مركبات عضوية تتكون من هالوجين مرتبط مع حلقة البنزين أو مجموعة أروماتية أخرى. وتكتب الصيغة البنائية لهاليدات الأريل برسم المركب الأروماتي أولاً، ثم استبدال ذرات الهيدروجين بذرات الهالوجين بشكل محدد، كما في **الشكل 3a–5**.

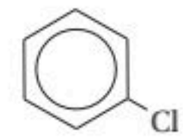
الربط مع علوم الأرض تستعمل هاليدات الألكيل على نطاق واسع في المبردات وأنظمة التكييف على شكل كلوروفلوروكربونات CFCs. وقد بقيت كذلك حتى أواخر الثمانينيات. ومعلوم أن CFCs يؤثر في طبقة الأوزون. وقد استبدلت الفلوروكلوروكربون (CFCs) بالهيدروفلوروكربون (HFCs)؛ حيث تحتوي فقط على ذرات الهيدروجين والفلور المرتبطة مع الكربون. ومن أكثر مركبات HFCs شيوعًا 1،1،2،2 – ثلاثي فلوروإيثان.

تسمية هاليدات الألكيل تسمى المركبات العضوية التي تحتوي على مجموعات وظيفية وفق طريقة IUPAC اعتمادًا على السلسلة الرئيسة للألكان. أما هاليدات الألكيل فيدل المقطع الأول على اسم الهالوجين مع إضافة حرف (و) في نهاية الاسم. لذا يكون المقطع الأول للفلور هو فلورو، والكلور هو كلورو، والبروم هو برومو، واليود هو أيودو، كما هو مبين في **الشكل 3b–5**.

في حالة وجود أكثر من ذرة هالوجين في الجزيء نفسه ترتب أسماء الذرات أبجديًا بحسب ترتيب الأحرف الإنجليزية. ويجب ترقيم السلسلة بحيث يعطى أقل رقم لموقع الذرة المرتبطة بذرة الهالوجين بحسب الترتيب الأبجدي. لاحظ كيفية تسمية هاليدات الألكيل في **الشكل 3c–5**. وبالطريقة نفسها ترقم حلقة البنزين في هاليدات الأريل لإعطاء أقل رقم لكل موقع بحسب الترتيب الأبجدي؛ بحيث يكون أقل رقم للذرة التي تأتي أولًا، كما في **الشكل 3d–5**.

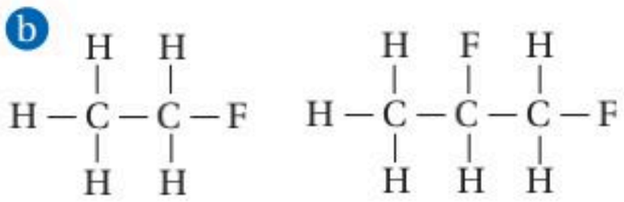
ماذا قرأت؟ استنتج لماذا يتم وضع أقل قيمة رقمية عند تسمية هاليد الأريل بدلاً من استعمال الترقيم العشوائي؟

a



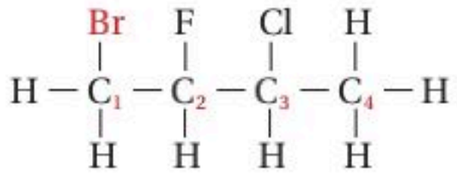
كلورو بنزين

b



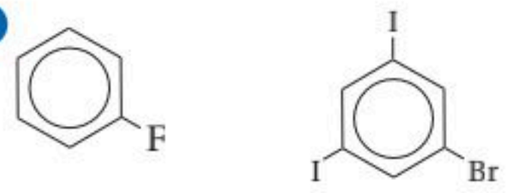
2،1-ثنائي فلورو بروبان — فلورو إيثان

c



1-برومو-3-كلورو-2-فلورو بيوتان

d



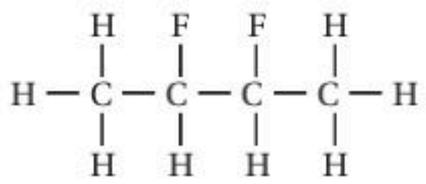
1-برومو-3،5-ثنائي أيودو بنزين — فلورو بنزين

الشكل 3–5 تحتوي الجزيئات العضوية على مجموعات وظيفية، تسمى اعتمادًا على تركيب سلسلة الألكان، ووفق النظام الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية (IUPAC).

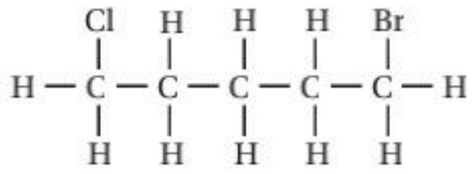
مسائل تدريبية

سمِّ هاليدات الألكيل أو الأريل التي لها الصيغ البنائية الآتية:

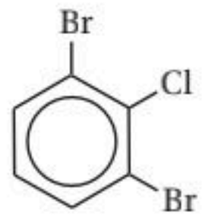
.1



.2



.3



الجدول 2-5 مقارنة بين هاليدات الألكيل والألكانات المقابلة لها

الاسم الكيميائي	الصيغة الكيميائية	درجة الغليان (°C)	الكثافة (g/ml) في الحالة السائلة
ميثان	CH_4	−162	0.423 عند 162 °C
كلورو ميثان	CH_3Cl	−24	0.911 عند 25 °C
بنتان	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_3$	36	0.626
1-فلورو بنتان	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2F$	62.8	0.791
1-كلورو بنتان	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2Cl$	108	0.882
1-بروموبنتان	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2Br$	130	1.218
1-أيودو بنتان	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2I$	155	1.516

زيادة (درجة الغليان)

زيادة (الكثافة)

خواص واستعمالات هاليدات الألكيل يبين **الجدول 2-5** قائمة ببعض الخواص الفيزيائية لعدد من هاليدات الألكيل والألكانات المقابلة لها.

لاحظ أن درجة غليان وكثافة كل كلوريد ألكيل أعلى من درجة غليان وكثافة الألكان الذي يحتوي على عدد ذرات الكربون نفسها. لاحظ أيضًا أن درجة الغليان والكثافة تزداد عند الانتقال عبر الهالوجينات من الفلور إلى اليود . ويعود السبب في ذلك إلى أنه عند الانتقال من الفلور إلى اليود يزداد عدد الإلكترونات الخارجية البعيدة عن النواة. وتميل هذه الإلكترونات إلى تغيير مكانها بسهولة، ونتيجة لذلك يزداد ميل هاليدات الألكيل لتكوين مركبات ثنائية القطب مؤقتة. ولأن الأقطاب تتجاذب معًا تزداد الطاقة اللازمة لفصل الجزيئات بعضها عن بعض، وبذلك تزداد درجة غليان هاليدات الألكيل بازدياد حجم ذرة الهالوجين.

ماذا قرأت؟ اشرح العلاقة بين عدد الإلكترونات في الهالوجين ودرجة الغليان.

على الرغم من أن هرمونات الغدة الدرقية في الإنسان تحتوي على يوديد عضوي إلا أنه من النادر أن يتم العثور على الهاليدات العضوية في الطبيعة. إن ذرات الهالوجين التي ترتبط بذرات الكربون أكثر نشاطًا من ذرات الهيدروجين المستبدلة. ولهذا السبب، كثيرًا ما تستعمل هاليدات الألكيل موادَّ أولية في الصناعات الكيميائية بوصفها مذيبات ومواد تنظيف؛ لأنها تذيب الجزيئات غير القطبية بسهولة، ومنها الدهون والزيوت. ويظهر **الشكل 4-5** تطبيقات رباعي فلورو بولي إيثين (PTFE)؛ إذ يتم تصنيع هذا النوع من **البلاستيك** من غاز رابع فلورو إيثين. ويمكن تسخين البلاستيك وتشكيله عندما يكون لينًا. وهناك بلاستيك آخر شائع يسمى الفينيل وهو كلوريد البولي فينيل (PVC) الذي يمكن صناعته في صورة لينة أو صلبة، ويمكن تشكيله على شكل صفائح رقيقة، أو نماذج للألعاب.

ماذا قرأت؟ اشرح لماذا تستعمل هاليدات الألكيل في الصناعات الكيميائية بوصفها مواد أولية بدلاً من الألكانات؟

الشكل 4-5 رباعي فلورو بولي إيثين (PTFE) مكون من مئات الوحدات. ويوفر سطحًا غير لاصق لكثير من أدوات المطبخ، ومن ذلك أدوات الخبز.



الجدول 3-5 تفاعلات الاستبدال

تفاعلات الاستبدال العامة لتكوين هاليدات الألكيل	مثال على تفاعلات الاستبدال (الهلجنة)
$R-CH_3 + X_2 \rightarrow R-CH_2X + HX$	$C_2H_6 + Cl_2 \rightarrow C_2H_5Cl + HCl$
حيث X فلور، أو كلور، أو بروم	كلورو إيثان إيثان
تفاعلات تكوين الكحولات	مثال على تفاعلات تكوين الكحولات
$R-X + OH^- \rightarrow R-OH + X^-$	$CH_3CH_2Cl + OH^- \rightarrow CH_3CH_2OH + Cl^-$
كحول هاليد الألكيل	إيثانول كلوروإيثان
تفاعلات تكوين الأمينات	مثال على تفاعلات تكوين الأمينات
$R-X + NH_3 \rightarrow R-NH_2 + HX$	$CH_3(CH_2)_6CH_2Br + NH_3 \rightarrow CH_3(CH_2)_6CH_2NH_2 + HBr$
أمين هاليد الألكيل	أوكتيل أمين 1-برومو أوكتان

تفاعلات الاستبدال Substitution Reactions

من أين يأتي التنوع الهائل للمركبات العضوية؟ يعد البترول المصدر الأول لجميع المركبات العضوية الصناعية. ويُظهر **الشكل 5-5** عمال حقول النفط وهم ينقبون عن النفط، وهو أحد أشكال الوقود الأحفوري الذي يتألف مجمله من مواد هيدروكربونية تقريبًا، وبخاصة الألكانات. كيف يمكن تحويل الألكانات إلى مركبات مختلفة مثل هاليدات الألكيل والكحولات والأمينات؟

من طرائق إدخال المجموعات الوظيفية تفاعلات الاستبدال، كما هو مبين في **الجدول 3-5**. وفي **تفاعلات الاستبدال** تحل ذرة أو مجموعة ذرية محل ذرة أو مجموعة ذرية أخرى في المركب. وفي حالة الألكانات، يمكن أن تحل ذرة هالوجين - مثل الكلور أو البروم - محل ذرة هيدروجين في عملية تسمى **الهلجنة**. ويوضح **الجدول 3-5** أحد الأمثلة على عملية الهلجنة؛ إذ يتم استبدال ذرة هيدروجين بذرة كلور في مركب الإيثان. ويبين **الشكل 6-5** نوعًا آخر من الهيدروكربونات المهلجنة يسمى الهالوثان (2- برومو - 2 - كلورو - 1،1،1 - ثلاثي فلورو إيثان)، والذي استعمل أول مرة في التخدير في خمسينيات القرن العشرين.

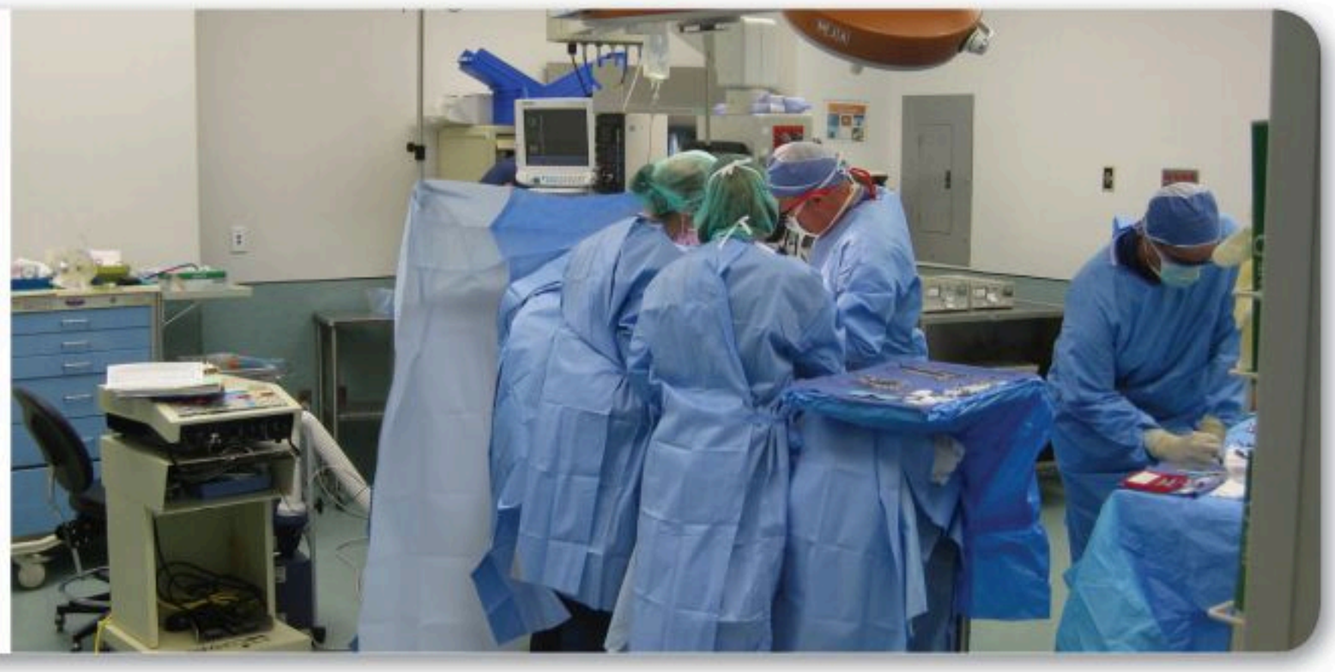
ويبين **الجدول 3-5** المعادلات العامة لتفاعلات الاستبدال. ويمكن أن تكون X في هذا التفاعل الفلور أو الكلور أو البروم، ولكن ليس اليود؛ لأن اليود لا يتفاعل جيدًا مع الألكانات.

ماذا قرأت؟ **ارسم** الصيغة البنائية للهالوثان.



الشكل 5-5 عمال حقول النفط ينقبون عن البترول. ويمكن استخراج ما يزيد على 100 ألف برميل يوميًا من بئر النفط الواحد.

اشرح العلاقة بين النفط والمركبات العضوية الصناعية.



الشكل 6–5 استعمل الهالوثان في الطب في خمسينيات القرن الماضي مخدرًا عامًّا للمرضى عند إجراء العمليات الجراحية.

تفاعلات استبدال أخرى عندما تتم هلجنة الألكانات يصبح هاليد الألكيل الناتج قابلاً للدخول في تفاعل استبدال آخر؛ حيث تحل ذرة أو مجموعة من الذرات محل ذرة الهالوجين. على سبيل المثال، تفاعل هاليد الألكيل مع المحاليل القاعدية، حيث تحل مجموعة OH^- محل ذرة الهالوجين لينتج الكحول. ويبين **الجدول 3–5** المعادلة العامة لتفاعل هاليد ألكيل مع محلول قاعدي بالإضافة إلى مثال على هذا التفاعل.

كما يؤدي تفاعل هاليد الألكيل مع الأمونيا NH_3 إلى أن تحل مجموعة الأمين NH_2– محل ذرة الهالوجين لينتج الألكيل أمين، كما هو مبين في **الجدول 3–5**.

المطويات

ضمِّن مطويتك معلومات من هذا القسم.

التقويم 1-5

الخلاصة

- يؤدي حلول مجموعات وظيفية محل ذرة هيدروجين في الهيدروكربونات إلى تكوين مجموعة كبيرة من المركبات العضوية.
- هاليد الألكيل مركب عضوي يحتوي على واحد أو أكثر من ذرات الهالوجين المرتبطة مع ذرة كربون في مركب أليفاتي.

4. الفكرة الرئيسة **قارن** فيم تختلف هاليدات الألكيل وهاليدات الأريل؟

5. **ارسم** الصيغ البنائية لكل مما يأتي:

a. 2– كلورو بيوتان

b. 1،1،1– ثلاثي كلورو إيثان

c. 3،1 – ثنائي فلورو هكسان

d. 4 – برومو– 1– كلورو بنزين

6. **عرّف** المجموعة الوظيفية، وسم المجموعة الوظيفية في كل من الصيغ البنائية الآتية، ثم سّم نوع المركب العضوي لكل منها:

a. $CH_3CH_2CH_2OH$

b. CH_3CH_2F

c. $CH_3CH_2NH_2$

d.

$$CH_3C(=O)-OH$$

7. **قوّم** كيف يمكن توقع درجة غليان البروبان، و1 – كلورو بروبان عند إجراء مقارنة بينهما؟ فسّر إجابتك.

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

5–2

الكحولات والإيثرات والأمينات
Alcohols, Ethers, and Amines

الأهداف

- **تحدد** المجموعات الوظيفية التي تميز الكحولات، والإيثرات، والأمينات.
- **ترسم** الصيغة البنائية لكل من الكحول والإيثر والأمين.
- **تناقش** خواص واستعمالات الكحولات والإيثرات والأمينات.

مراجعة المفردات

السوائل التامة الامتزاج تصف سائلين يذوب كل منهما في الآخر.

المفردات الجديدة

مجموعة الهيدروكسيل

الكحولات

الإيثرات

الأمينات

الفكرة الرئيسة **الأكسجين والنيتروجين من أكثر الذرات شيوعًا في المجموعات الوظيفية العضوية.**

الربط مع الحياة عندما تلقيت آخر مصل طبي قامت الممرضة بتطهير جلدك بالكحول قبل حقنك. هل تعلم أن الممرضة كانت تستعمل أحد مشتقات الهيدروكربونات؟

الكحولات Alcohols

كثير من المركبات العضوية تحتوي على ذرة أكسجين ترتبط مع ذرة كربون. ولأن ذرة الأكسجين تحتوي في مدارها الأخير على 6 إلكترونات، يكون لديها القدرة على تكوين رابطتين تساهميتين لتصل إلى نظام الثماني المستقر. كما يمكن لذرة الأكسجين أن ترتبط برابطة ثنائية مع ذرة الكربون لتحل محل ذرتين من الهيدروجين، وقد ترتبط برابطة أحادية مع الكربون ورابطة أخرى مع ذرة أخرى، مثل الهيدروجين. وتسمى مجموعة الأكسجين–والهيدروجين التي ترتبط برابطة تساهمية مع ذرة الكربون **مجموعة الهيدروكسيل** (OH–). وتسمى المركبات العضوية الناتجة عن إحلال مجموعة هيدروكسيل محل ذرة هيدروجين **الكحولات**. ويبين **الجدول 4–5** الصيغة العامة للكحولات ROH، كما يوضح أيضا العلاقة بين الألكانات البسيطة، مثل الميثان، وأبسط الكحولات الميثانول.

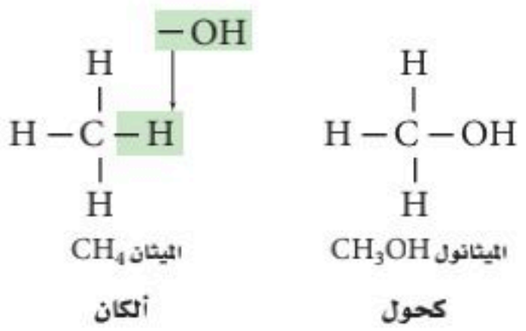
ويعد الإيثانول وثاني أكسيد الكربون نواتج عملية تخمر السكر الموجود في العنب، وعجين الخبز، ويستخدم الإيثانول في الطب بسبب فاعليته بوصفة مطهّرًا. كما يستعمل لتعقيم الجلد قبل إعطاء الحقن، ويمكن إضافته إلى البنزين، كما يعد مادة أولية مهمة لتحضير مركبات عضوية أخرى أكثر تعقيدًا.

يبين **الشكل 7–5** نموذجًا لجزيء الإيثانول ونموذجًا لجزيء الماء. وبالمقارنة بين النموذجين ستلاحظ أن زاوية الرابطة التساهمية من الأكسجين في جزيء الإيثانول تساوي مقياس الزاوية نفسها في جزيء الماء، ولذلك تكون مجموعة الهيدروكسيل في جزيء الكحول متوسطة القطبية، كما في جزيء الماء، وقادرة على تكوين روابط هيدروجينية مع مجموعة هيدروكسيل في جزيئات كحول أخرى. وبسبب هذه الرابطة فإن درجة غليان الكحول أعلى من درجة غليان المركبات الهيدروكربونية المماثلة لها في الشكل والحجم.

إرشادات الدراسة

اكتب تقريرًا عن المشروبات الكحولية وأضرارها، ودور الشباب في تعزيز الوعي بأضرار تعاطي المسكرات.

الجدول 4-5

الكحولات	
الصيغة العامة	أبسط الكحولات وأبسط الألكانات
ROH R تمثل سلسلة أو حلقة الكربون المرتبطة مع المجموعة الوظيفية.	

ويمكــن أن يمتــزج الكحول تمامًا مع الماء بســبب قطبيته ووجــود الرابطة الهيدروجينية. وفي الحقيقة يصعب فصل الكحول عن الماء بشــكل كامل بعد مزجهما. ولذلك تســتعمل عملية التقطير لفصل الكحــول عن الماء، وعلى الرغــم من ذلك يبقى حوالي 5% من المــاء في مزيج الإيثانول والماء بعد نهاية هذه العملية تمامًا، وبســبب قطبية مجموعة الهيدروكسيل في الكحول فإنه يعد مذيبًا جيدًا للمواد العضوية القطبية. فعلى ســبيل المثال، يعد الميثانول أبســط الكحولات، وهو من المذيبات الشائعة الاستعمال في الصناعة، مثل استعماله في بعض الدهانات، كما يستعمل 2- بيوتانول مذيبًا في بعض الأصباغ.

لاحظ أن اســم الكحولات يعتمد على اســم الألكانــات المقابلة لها، مثل هاليدات الألكيل. فعلى سبيل المثال، CH_4 هو الميثان، وCH_3OH الميثانول، و CH_3CH_3 الإيثان، و CH_3CH_2OH الإيثانول. وتعتمد تسمية الكحولات أساسًــا على عدد ذرات الكربون في الألكان، وتعتمد قواعد التسمية العالمية الأيوباك IUPAC على السلســلة أو الحلقة الأصليــة أولاً، ثم إضافة المقطع (ول) إلى نهاية اســم الألكان ليمثل مجموعة الهيدروكسيل. وفي الكحولات التــي تتكون من ثلاث ذرات كربون أو أكثر هنــاك أكثر من موقع لمجموعة الهيدروكســيل. لذلك يجب الإشــارة إلى الموقع برقم يضاف إلى الاســم في البداية، كما هو مبين في الشكلين: **5-8a**، و **الشكل 5-8b**.

ماذا قرأت؟ فسّر لماذا لا تكون الأسماء 3- بيوتانول، و4- بيوتانول أسماء صحيحة للمواد؟

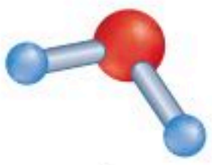
والآن انظر إلى **الشــكل 5-8c** تتكون حلقة المركب مــن 6 ذرات كربون مع روابط أحادية، وقد تعلمت من قبل أن اسم المركب هو هكسان حلقي. وبسبب وجود مجموعة $-OH$ مرتبطة مع الكربون يتم إضافة المقطع (ول) في نهاية اسم الألكان لأنه كحول. والترقيم هنــا ليس ضروريًّا لأن جميع ذرات الكربون في الحلقة متكافئة. لذا يســمى هذا المركب هكســانول حلقي. وهو مركب سام يستعمل مذيبًا لبعض المواد البلاستيكية ويدخل في صناعة المبيدات الحشرية.

ولتسمية الكحولات في حالة وجود أكثر من مجموعة هيدروكسيل في سلسلة الكربون يضاف المقطع "ثنائي" أو "ثلاثي" أو "رباعي" قبل الاسم ليشير إلى عدد مجموعات الهيدروكســيل قبل الاسم، ثم يضاف اسم الألكان والمقطع (ول) في نهاية الاسم.

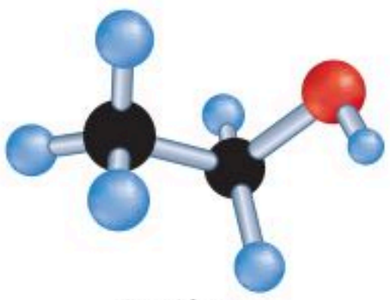
يبــين **الشــكل 5-8d** جــزيء 1،2،3- بروبان ترايول، واســمه الشــائع الجليــسرول. وهــو كحول يحتــوي على أكثر مــن مجموعة هيدروكســيل. والجليسرول يستعمل غالبًا مانعًا لتجمد الوقود في الطائرات.

ماذا قرأت؟ فسّر لماذا لم يتم ترقيم سلسلة ذرات الكربون عند تسمية المركب في **الشكل 5-8c**؟

الشكل 7-5 الزاوية بين رابطتي الأكسجين التساهمية لها القياس نفسه تقريبًا في جزيئي الماء والإيثانول.

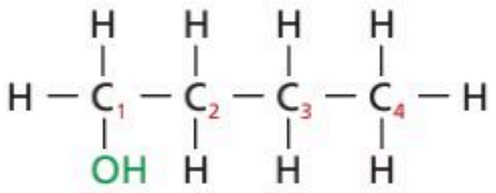


ماء

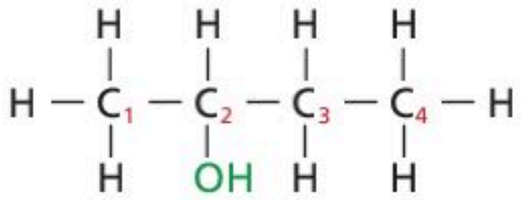


إيثانول

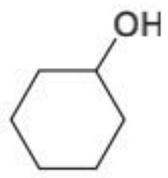
الشكل 8-5 تعتمد تسمية الكحولات على أسماء الألكانات المقابلة لها.



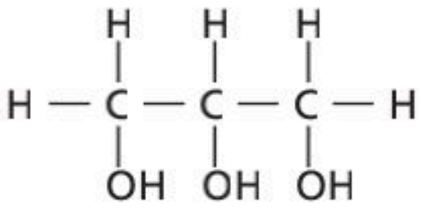
a. 1- بيوتانول



b. 2- بيوتانول



c. هكسانول حلقي



d. 1،2،3- بروبان ترايول (الجليسرول)

الإيثرات Ethers

الإيثرات مركبات عضوية تحتوي على ذرة أكسجين مرتبطة مع ذرتين من الكربون. والصيغة العامة للإيثرات هي 'ROR. وأبسط إيثر هو الذي ترتبط فيه ذرة الأكسجين مع مجموعتين من الميثيل. لاحظ التشـــابه بين الميثانول وثنائي ميثيل إيثر، كما هو مبين في **الجدول 5-5**.

استعمل المصطلح إيثر أول مرة في الكيمياء للمركب ثنائي إيثيل إيثر، وهو مادة متطايرة وشديدة الاشتعال، وقد استعملت مادة مخدرة في العمليات الجراحية منذ عام 1842م حتى القرن العشرين. ومع مرور الوقت، اســتعمل المصطلــح إيثر ليدل على المواد العضوية التي لها سلســلتان من الهيدروكربونات المرتبطة مع ذرة أكسجين واحدة.

ولعدم وجود ذرات هيدروجين مرتبطة مع ذرة الأكســجين في الإيثرات، لا تكوّن جزيئاتهــا روابط هيدروجينية بعضها مع بعض. ولذلك فالإيثرات عمومًا شــديدة التطاير؛ لأن درجــات غليانها منخفضة مقارنة بالكحــولات التي لها نفس الحجم والكتلــة الجزيئية. كما أن الإيثرات قليلة الذوبــان في الماء مقارنة بالكحولات لعدم وجــود روابط هيدروجينية بين جزيئاتها والماء، وهــي كذلك أقل قطبية. ومع ذلك يمكن لذرة الأكسجين أن تعمل مستقبلاً لذرات الهيدروجين من جزيئات الماء، وهو ما يفسر ذوبانها بشكل قليل.

ماذا قرأت؟ استنتج لماذا لا يفضل استعمال ثنائي إيثيل إيثر مادةً مخدرة؟

لتسمية الإيثرات التي لها سلسلتان متطابقتان من الألكيل ترتبط مع الأكسجين، يذكر اسم الألكيل أولاً، ثم يضاف كلمة إيثر. ويبين **الجدول 5-5** أيضًا التراكيب والأسماء لمركبين متماثلين من الإيثرات، هما: بروبيل إيثر، وهكســيل حلقي إيثر. أما إذا كانت مجموعات الألكيل مختلفة فعندها ترتب أبجديًّا بحسب الحروف الإنجليزية، ثم يتبع الاســم بكلمة إيثر. ويحتــوي **الجدول 5-5** كذلك على مثالين مــن الإيثرات، إيثيل بيوتيل إيثر، وإيثيل ميثيل إيثر.

المفردات

المفردات الأكاديمية

الرابطة (Bond)
الاتصال، والربط، والضم.
تربــط ذرة الأكســجين ذرتــين من الكربون لتكون الإيثر.

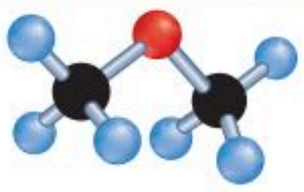
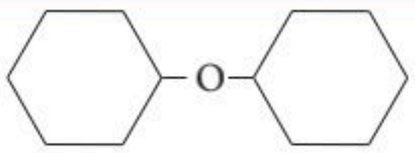
الربــط مع الصحــة

الإيثرات مُركبَات عُضويّة تتميز برائحة حُلوة في درجة حرارة الغُرفة، وهي موادُ قابلةٌ للإشتعال ومُتطَايرة، مما يجب الحذرُ من استنشاقها لسُمِّيَّتها ولتأثيرها السَّلبي على الجهاز التَّنفُسي.

المطويات

ضمِّن مطويتــك معلومات من هذا القسم.

الجدول 5-5 الإيثرات

الصيغة العامة	ثنائي الميثيل إيثر والميثانول
ROR′ حيث تمثل R و R′ سلسلة أو حلقة مرتبطة مع المجموعة الوظيفية	 ثنائي ميثيل إيثر درجة الغليان = −25°C  ميثانول درجة الغليان = 65°C
أمثلة على الإيثرات	
$CH_3CH_2CH_2-O-CH_2CH_2CH_3$ بروبيل إيثر $CH_3CH_2-O-CH_3$ إيثيل ميثيل إيثر	 هكسيل حلقي إيثر $CH_3CH_2-O-CH_2CH_2CH_2CH_3$ بيوتيل إيثيل إيثر

الأمينات Amines

تحتوي **الأمينات** على ذرات نيتروجين مرتبطة مع ذرات الكربون في سلاسل أليفاتية أو حلقات أروماتية، ولها الصيغة العامة RNH_2، كما هو مبين في **الجدول 6-5**.

ولقد اشتق الكيميائيون اسم الأمينات من الأمونيا NH_3. وتعد الأمينات أولية وثانوية أو ثالثية اعتمادًا على ما إذا كانت واحدة أو اثنتان أو ثلاث من ذرات الهيدروجين في الأمونيا قد حل محلها مجموعات عضوية.

وعند تسمية الأمينات يشار إلى مجموعة الأمين NH_2- بالمقطع أمينو في بداية الاسم أو أمين في نهاية الاسم. ويشار في بعض الحالات إلى موقع الأمين برقم، كما هو مبين في **الجدول 6-5**. وفي حالة وجود أكثر من مجموعة أمين يستعمل المقطع ثنائي أو ثلاثي أو رباعي ...إلخ في بداية الاسم ليدل على عدد مجموعات الأمين.

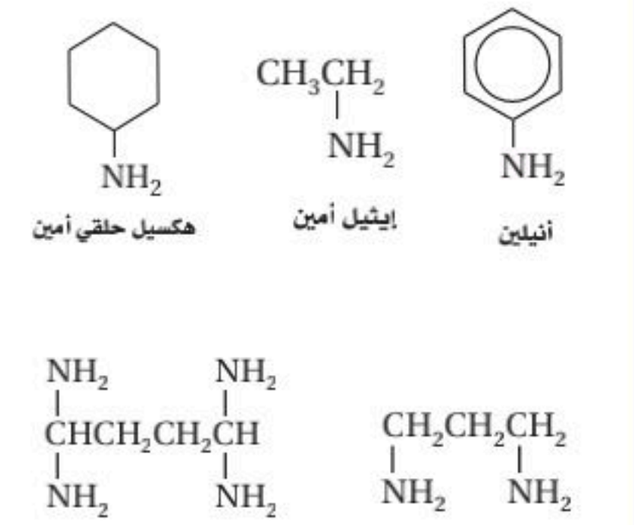
يستعمل الأنيلين في إنتاج الأصباغ ذات الظلال العميقة اللون. والاسم الشائع للأنيلين مستمد من النباتات التي عرفت في تلك الفترة التاريخية. كما أن لكل من هكسيل حلقي أمين والإيثيل أمين دورًا مهمًا في صناعة المبيدات الحشرية والمواد البلاستيكية والأدوية والمطاط المستعمل في صناعة الإطارات.

وتعد رائحة الأمينات المتطايرة غير مقبولة من قبل الإنسان. والأمينات هي المسؤولة عن الكثير من الروائح المميزة للمخلوقات الميتة، والمخلوقات المتحللة. وغالبًا ما تستعمل الكلاب البوليسية المدربة لتحديد مكان الرفات البشري باستعمال هذه الروائح المميزة بعد الكوارث، مثل التسونامي والأعاصير، والزلازل، كما تستعمل الأمينات في تحقيقات الطب الجنائي.

الجدول 6-5 الأمينات

الصيغة العامة
RNH_2 حيث تمثل R سلسلة كربون أو حلقة مرتبطة مع مجموعة وظيفية

أمثلة على الأمينات



التقويم 5-2

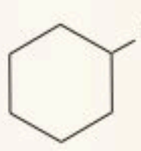
الخلاصة

- تتكون الكحولات، والإيثرات، والأمينات عندما تحل مجموعة وظيفية معينة محل ذرة هيدروجين في المركبات الهيدروكربونية.
- الكحولات تكوّن روابط هيدروجينية بسهولة؛ لذلك فإن درجات غليانها تكون كبيرة وتذوب بسهولة في الماء مقارنة بالمركبات الأخرى.

8. الفكرة الرئيسة **حدّد** عنصرين يتوافران بشكل كبير في المجموعات الوظيفية.

9. **حدّد** المجموعة الوظيفية لكل مما يأتي، وسمّ المادة المبينة لكل صيغة بنائية.

a.

b. 

c. $CH_3-O-CH_2CH_2CH_3$

10. **ارسم الصيغة البنائية لكل جزيء مما يأتي:**

a. 1- بروبانول

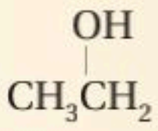
b. 3،1 - دايول بنتان حلقي

c. ثنائي بروبيل إيثر

d. 2،1 - بروبان ثنائي أمين

11. **ناقش** خواص الكحولات، والإيثرات، والأمينات، ثم اذكر استعمالاً واحدًا لكلٍّ منها.

12. **حلل** - اعتمادًا على الصيغة البنائية أدناه - أي المركبين أكثر ذوبانية في الماء؟ فسّر إجابتك.



CH_3-O-CH_3

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

5–3

الأهداف

- **تحدد** تركيب المركبات العضوية التي تحتوي على مجموعة الكربونيل مثل الألدهيدات، والكيتونات، والأحماض الكربوكسيلية، والإسترات، والأميدات.
- **تناقش** خواص المركبات التي تحتوي على مجموعة الكربونيل.

مراجعة المفردات

الكهروسالبية تشير إلى القدرة النسبية لذرات العنصر على جذب إلكترونات الرابطة.

المفردات الجديدة

مجموعة الكربونيل
الألدهيدات
الكيتونات
الأحماض الكربوكسيلية
مجموعة الكربوكسيل
الإسترات
الأميدات

مركبات الكربونيل
Carbonyl Compounds

الفكرة الرئيسة **تحتوي مركبات الكربونيل على ذرة أكسجين ترتبط برابطة ثنائية مع الكربون في المجموعة الوظيفية.**

الربط مع الحياة لعلك أكلت قطعة من الحلوى بنكهة الفاكهة الحقيقية. يحتوي الكثير من الفواكه الطبيعية – ومنها الفراولة – على الكثير من المركبات العضوية التي تعطي نكهة الفواكه المميزة. وتوجد مجموعة الكربونيل في أنواع كثيرة من النكهات الصناعية الشائعة.

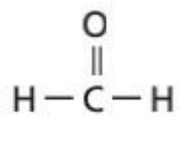
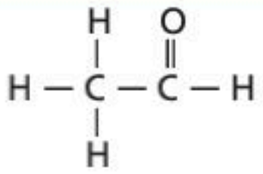
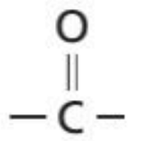
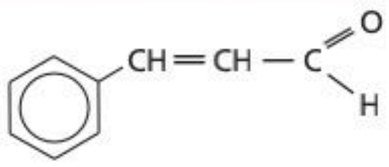
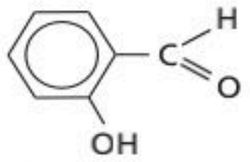
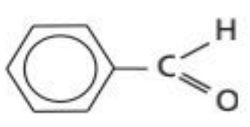
المركبات العضوية التي تحتوي على مجموعة الكربونيل
Organic Compounds Containing the Carbonyl Group

يسمى الترتيب الذي ترتبط فيه ذرة الأكسجين برابطة ثنائية مع ذرة كربون **مجموعة الكربونيل**. وهي المجموعة الوظيفية في المركبات العضوية المعروفة باسم الألدهيدات والكيتونات.

الألدهيدات تعد **الألدهيدات** مركبات عضوية تقع فيها مجموعة الكربونيل في آخر السلسلة، وتكون مرتبطة مع ذرة كربون متصلة بذرة هيدروجين من الطرف الآخر. والصيغة العامة للألدهيدات RCHO؛ حيث R مجموعة الألكيل أو ذرة الهيدروجين، كما هو مبين في **الجدول 7–5**.

وتسمى الألدهيدات بإضافة المقطع (ال) إلى نهاية اسم الألكان الذي له عدد ذرات الكربون نفسه. وهكذا يحتوي المركب ميثانال، كما هو مبين في **الجدول 7–5**، على ذرة كربون واحدة. وهذا يعني أن اسم الألدهيد يؤخذ من اسم الألكان المقابل وهو الميثان. ولأن مجموعة الكربونيل ترتبط في الألدهيدات مع ذرة الكربون التي تقع في نهاية السلسلة، لذلك لا نستعمل الترقيم عند تسمية الألدهيدات إلا في حالات التفرعات أو وجود مجموعات وظيفية أخرى. وللميثانال اسم شائع يعرف به هو الفورمالدهيد. أما الاسم الشائع للإيثانال فهو أسيتالدهيد. ويستعمل العلماء غالبًا الأسماء الشائعة للمركبات العضوية؛ لأنها مألوفة للكيميائيين.

الجدول 7-5

الألدهيدات	
الصيغة العامة	أمثلة على الألدهيدات
RCHO حيث R تمثل مجموعة ألكيل أو ذرة هيدروجين	 ميثانال (فورمالدهيد)
	 إيثانال (أسيتالدهيد)
 مجموعة الكربونيل	 3- فينل، بروب - 2 - إينال (سينامالدهيد)
	 2- هيدروكسي بنزالدهيد (ساليسالدهيد)
	 فينل ميثانال (بنزالدهيد)

يحتوي جزيء الألدهيد على مجموعة قطبية ونشطة في التفاعل. وكما هو الحال مع الإيثرات، لا تستطيع جزيئات الألدهيدات تكوين روابط هيدروجينية بعضها مع بعض؛ لأن جزيئاتها لا تحتوي على ذرات هيدروجين مرتبطة مباشرة مع ذرة الأكسجين، لذلك تكون درجة غليانها أقل من درجة غليان الكحولات التي لها عدد ذرات الكربون نفسه. ولجزيئات الماء القدرة على تكوين روابط هيدروجينية مع الأكسجين الموجود في مجموعة الألدهيد، لذلك تكون أكثر ذوبانية في الماء من الألكانات، ولكن ليس كذوبانية الكحولات والأمينات.

استعمل محلول الفورمالدهيد في عمليات الحفظ عدة سنوات، كما هو مبين في **الشكل 9-5**. وصناعيًّا تستعمل كميات كبيرة من الفورمالدهيد للتفاعل مع اليوريا لصنع نوع من الشمع المقاوم، والمواد البلاستيكية الصلبة المستعملة في صناعة الأزرار، وقطع غيار السيارات، والأجهزة الكهربائية، فضلًا عن الغراء الذي يعمل على إلصاق طبقات الخشب معًا. ويعد كل من بنزالدهيد وساليسالدهيد، الموضح تركيبهما في **الجدول 7-5** نوعين من المركبات التي تعطي اللوز نكهته الطبيعية. أما رائحة القرفة ومذاقها - وهي نوع من التوابل التي تستخرج من لحاء شجرة استوائية - فيمكن إنتاجها بكميات كبيرة بواسطة السينامالدهيد الموضح تركيبه في **الجدول 7-5**.

ماذا قرأت؟ حدد اثنين من استعمالات الألدهيدات.

الكيتونات يمكن أن ترتبط مجموعة الكربونيل مع الكربون في وسط السلسلة بدلاً من ارتباطها في نهاية السلسلة. و**الكيتونات** مركبات عضوية ترتبط فيها ذرة الكربون في مجموعة الكربونيل مع ذرتي كربون في السلسلة. وله الصيغة العامة الموضحة في **الجدول 8-5**. وترتبط ذرات الكربون على طرفي مجموعة الكربونيل مع ذرات كربون أخرى. إن أبسط الكيتونات وأكثرها شيوعًا هو الأسيتون، الذي ترتبط فيه ذرات الهيدروجين فقط مع ذرات الكربون الطرفية، كما هو مبين في **الجدول 8-5** أيضًا.

ويتم تسمية الكيتونات بإضافة المقطع (ون) إلى نهاية اسم الألكان، ووضع رقم قبل الاسم ليدل على موقع مجموعة الكيتون. ففي المثال السابق تغير اسم الألكان من بروبان إلى بروبانون. ولا يمكن لمجموعة الكربونيل إلا أن تقع في الوسط فقط، ومع ذلك يمكن إضافة الرقم 2- للاسم؛ لمزيد من التوضيح، كما في **الجدول 8-5**.

وتشترك الكيتونات والألدهيدات في الكثير من الخواص الفيزيائية والكيميائية لتشابه تركيبيهما. فالكيتونات مركبات قطبية وأقل نشاطًا من الألدهيدات. ولهذا السبب يعد الكيتون مذيبًا شائعًا للمواد القطبية المعتدلة، ومنها الشمع والبلاستيك والطلاء والورنيش والغراء. وكما هو الحال مع الألدهيد، لا تكوّن جزيئات الكيتون روابط هيدروجينة بعضها مع بعض، ولكن يمكن أن تكوّن روابط هيدروجينية مع جزيئات الماء. ولذلك فالكيتونات قابلة للذوبان في الماء إلى حد ما، ولكن الأسيتون قابل للذوبان في الماء بشكل تام.



الشكل 9-5 تم استعمال محلول الفورمالدهيد في الماضي لحفظ العينات البيولوجية. وقد تم تقييد استعمال الفورمالدهيد في السنوات الأخيرة لأن الدراسات تشير إلى أنه قد يسبب السرطان.

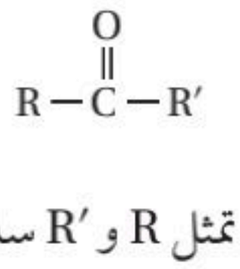
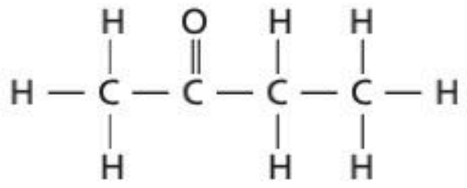
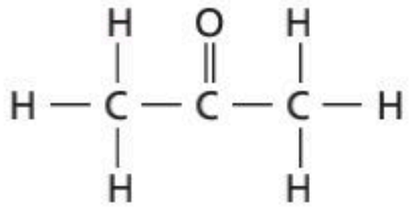
تجربة عملية

خواص الكربوهيدرات

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

الجدول 8-5

الكيتونات

الصيغة العامة	أمثلة على الكيتونات	
 حيث تمثل R و R′ سلاسل أو حلقات كربون مرتبطة مع مجموعات وظيفية	 2- بيوتانون (ميثيل إيثيل كيتون)	 2- بروبانون (الأسيتون)

الأحماض الكربوكسيلية Carboxylic Acids

الاحماض الكربوكسيلية مركبات عضوية تحتوي على **مجموعة الكربوكسيل**. وتتكون مجموعة الكربوكسيل من مجموعة كربونيل مرتبطة مع مجموعة هيدروكسيل. ولذلك تكون الصيغة العامة للأحماض الكربوكسيلية كما في **الجدول 9-5**. ويبين **الجدول 9-5** حمضًا مألوفًا، هو حمض الإيثانويك، وهو الحمض الموجود في الخل. وعلى الرغم من أن الكثير من الأحماض الكربوكسيلية لها أسماء شائعة، إلا أن الاسم بحسب طريقة التسمية الدولية يتكون من إضافة المقطع (ويك) إلى نهاية اسم الألكان وإضافة كلمة حمض في بداية الاسم. اسم حمض الأسيتيك مثلاً بحسب الطريقة الدولية هو حمض الإيثانويك.

وغالبًا ما تكتب مجموعة الكربوكسيل في صورة COOH – . فعلى سبيل المثال، يمكن كتابة حمض الإيثانويك في صورة CH_3COOH. ويتكون أبسط الأحماض الكربوكسيلية من مجموعة الكربوكسيل المرتبطة مع ذرة هيدروجين واحدة HCOOH كما في **الجدول 9-5**. واسمه بحسب الطريقة الدولية هو حمض الميثانويك، بينما الاسم الشائع له حمض الفورميك. وتقوم بعض الحشرات بإنتاج حمض الفورميك بوصفه آلية للدفاع عن نفسها، كما في **الشكل 10-5**.

ماذا قرأت؟ اشرح كيف يشتق اسم حمض الإيثانويك.

الأحماض الكربوكسيلية مركبات قطبية نشطة. وما يذوب منها في الماء يتأين بشكل ضعيف لإنتاج أيون الهيدرونيوم، ويكون أيون الحمض السالب في حاله اتزان مع الماء والحمض غير المتأين. ويتأين حمض الإيثانويك كالآتي:

$$CH_3COOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons CH_3COO^-{}_{(aq)} + H_3O^+{}_{(aq)}$$

تتأين الأحماض الكربوكسيلية في المحاليل المائية؛ لأن ذرتي الأكسجين ذات كهروسالبية عالية، وتجذب الإلكترونات بعيدًا عن ذرة الهيدروجين إلى مجموعة OH–. ونتيجة لذلك ينتقل بروتون الهيدروجين إلى ذرة أخرى لديها زوج من الإلكترونات غير المرتبطة، كذرة الأكسجين في جزيء الماء. ولأن الأحماض الكربوكسيلية تتأين في الماء فإنها تعمل على تحويل لون ورقة تباع الشمس الزرقاء إلى حمراء، وتتميز بمذاق حمضي لاذع.

ولبعض الأحماض الكربوكسيلية المهمة – ومنها حمض الأكساليك وحمض الأديبيك – مجموعتا كربوكسيل أو أكثر. مثل هذه الأحماض تسمى ثنائية الحمض. كما قد يحتوي البعض الآخر على مجموعات وظيفية إضافية مثل مجموعات الهيدروكسيل، كما في حمض اللاكتيك الموجود في اللبن. وعادةً تكون هذه الأحماض أكثر قابلية للذوبان في الماء، وأكثر حمضية من الأحماض التي تحتوي على مجموعة كربوكسيل واحدة فقط.

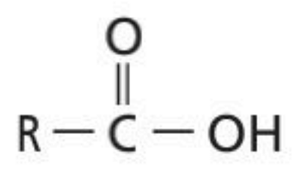
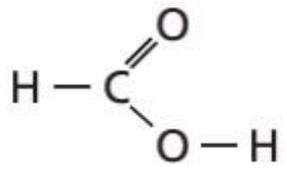
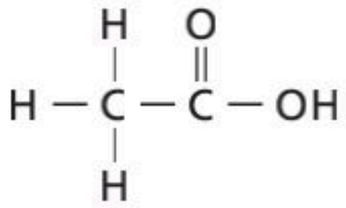
ماذا قرأت؟ قوّم مستعملاً المعلومات أعلاه. فسّر لماذا تصنف الأحماض الكربوكسيلية على أنها أحماض؟



الشكل 10-5 يدافع النمل اللاسع عن نفسه بإفراز سم يحتوي على حمض الفورميك.

حدد اسمًا آخر لحمض الفورميك.

الجدول 9-5

الأحماض الكربوكسيلية	
الصيغة العامة	أمثلة على الأحماض الكربوكسيلية
	
R تمثل سلسلة أو حلقة من الكربون	حمض الميثانويك (حمض الفورميك)
	
	حمض الإيثانويك (حمض الأسيتيك)

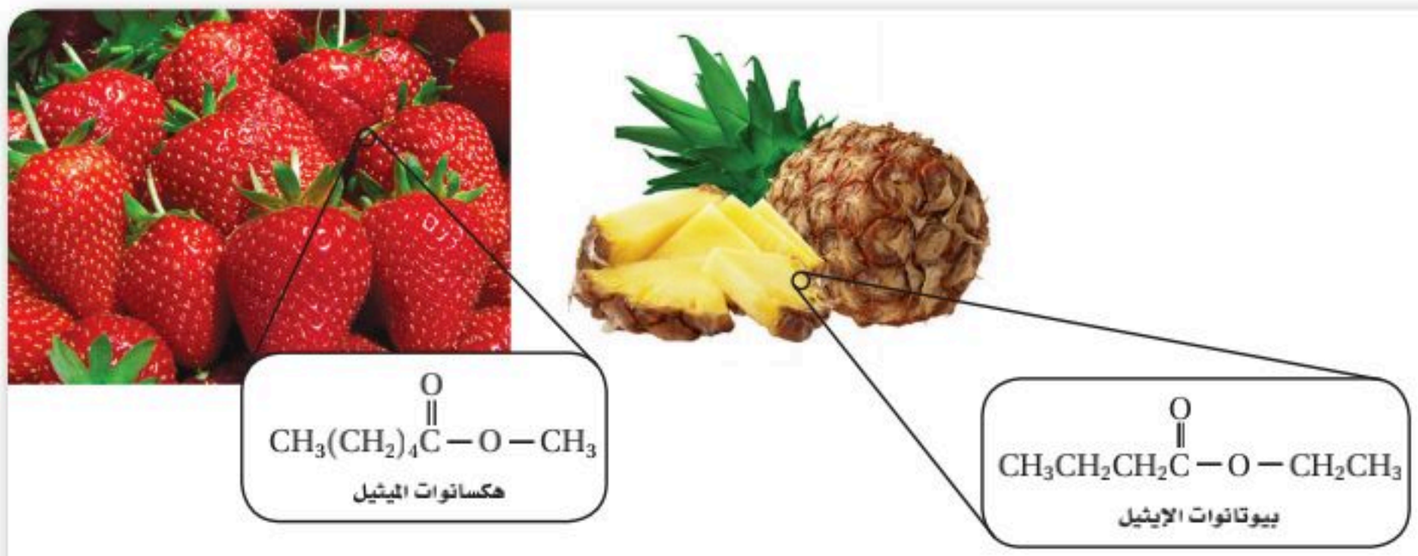
الجدول 10-5	الإسترات
الصيغة العامة	مثال على الإستر
$R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O-R'$ مجموعة إستر	مجموعة بروبيل — مجموعة إيثانوات $CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O-CH_2CH_2CH_3$ مجموعة إستر إيثانوات (أسيتات) البروبيل

مركبات عضوية مشتقة من الأحماض الكربوكسيلية
Organic Compounds Derived from Carboxylic Acids

يتألف العديد من أصناف المركبات العضوية من تركيب حمض كربوكسيلي استبدلت فيه ذرة الهيدروجين أو مجموعة الهيدروكسيل بذرات أو مجموعات أخرى. ومن أكثر الفئات شيوعًا الإستر والأميدات.

الإسترات تعدُّ **الإســترات** مركبات عضوية تحتوي على مجموعة كربوكسيل حلّت فيها مجموعة ألكيل محل ذرة الهيدروجين الموجودة في مجموعة الهيدروكســيل، كما في الصيغة العامة المبينّة في **الجدول 10-5**. ويتم تسمية الإسترات بكتابة اسم الحمض الكربوكسيلي واســتعمال المقطع (وات) بدل المقطع (ويك) متبوعاً بالألكيل، كما هو موضح في المثال المبين في **الجدول 10-5**. لاحظ كيف اشتق اسم البروبيل من الصيغة البنائية، وأن الاسم المبين بين القوسين يعتمد على حمض الأسيتيك، وهو الاسم الشائع لحمض الإيثانويك.

والإسترات مركبات قطبية متطايرة ورائحتها عطرة. وتوجد أنواع كثيرة منها في العطور والنكهات الطبيعية وفي الفواكه والأزهار، كما في **الشكل 11-5**. وتنتج النكهات الطبيعية - ومنها نكهة التفاح أو الموز - عن مزيج من جزيئات عضوية مختلفة منها الإسترات. وقد يكون سبب بعض هذه النكهات تركيب إستر واحد فقط. لذا يتم تصنيع الإسترات لاستعمالها في كثير من الأطعمة والنكهات والمشروبات والعطور والشموع العطرية، والمواد المعطرة الأخرى.



الشكل 11-5 تعد الإستــرات مصدر روائح وطعم الكثيــر من الفواكه؛ إذ يعزى طعم الفراولة إلى هكسانوات الميثيل، وطعم الأنانــاس لمركب بيوتانــوات الإيثيــل. ويعزى مصدر الروائح الطبيعية إلى خليط من الإسترات والألدهيدات والكحولات.

تجربة

تحضير الإستر

كيف تُميز الإستر؟

خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. حضّر حمامًا مائيًّا ساخنًا بإضافة 150mL من ماء الصنبور إلى كأس مدرجةٍ سعتها 250mL، وضع الكأس على سخان كهربائي، واضبط حرارته عند منتصف التدريج.
3. زِنْ 1.5g من حمض السلسليك. ثم ضعه في أنبوب اختبار وأضف إليه 3mL ماءً مقطرًا. استعمل مخبارًا مدرجًا سعته 10mL لقياس حجم الماء، ثم أضف 3mL ميثانول. وباستعمال الماصة أضف 3 قطرات من حمض الكبريتيك المركز إلى أنبوب الاختبار. **تحذير: يمكن أن يسبب حمض الكبريتيك المركّز حروقًا، وقد يشتعل الميثانول ويسبب انفجارًا، لذا احفظه بعيدًا عن مصدر اللهب. وتعامل دائمًا مع المواد الكيميائية بحذر.**
4. عندما يسخن الماء وقبل الغليان ضع أنبوب الاختبار في الحمام المائي مدة 5 دقائق. استعمل ماسك الأنابيب لنقل أنبوب الاختبار من الحمام المائي إلى حامل الأنابيب لاستخدامه لاحقًا.
5. ضع كرات قطنية في طبق بتري حتى المنتصف. ثم أفرغ محتويات أنبوب الاختبار فوق الكرات القطنية في طبق بتري، وسجل ملاحظاتك حول الرائحة الناتجة.

التحليل

1. **سمّ** بعض المنتجات التي تعتقد أنها تحتوي على هذا الإستر.
2. **قوّم** فوائد ومضار استعمال الإسترات الصناعية على المستهلك بالمقارنة مع استعمال الإسترات الطبيعية.

الأميدات تعدُّ **الأميدات** مركبات عضوية تنتج عن إحلال ذرة نيتروجين مرتبطة مع ذرات أخرى محل مجموعة هيدروكسيل OH – في الحمض الكربوكسيلي. ويوضح **الجدول 11-5** الصيغة العامة للأميدات.

تسمى الأميدات بكتابة اسم الألكان، ثم إضافة المقطع أميد في نهاية الاسم. لذا يكون اسم الأميد الظاهر في **الجدول 11-5** هو إيثان أميد، ولكنه يعرف بالاسم الشائع أسيتاميد، المشتق من الاسم الشائع حمض الأسيتيك.

ماذا قرأت؟ **سمّ** ثلاثة أنواع من الطعام الذي يحتوي على حمض الخل (الإيثانويك).

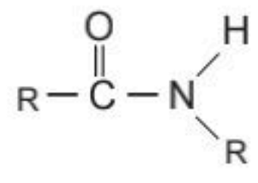
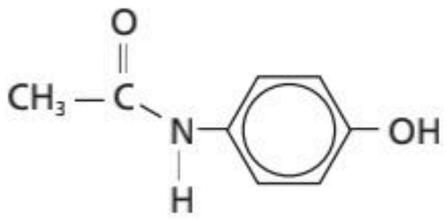
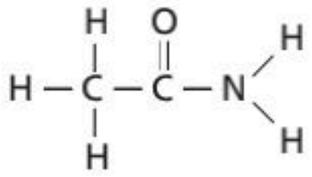
توجد مجموعة الأميد الوظيفية بشكل متكرر في البروتينات الطبيعية وبعض المواد الصناعية. فعلى سبيل المثال، قد تكون استعملت مواد تحتوي على الأسيتامينوفين – غير الأسبرين – لتخفيف الألم. وبالنظر إلى تركيب الأسيتامينوفين الظاهر في **الجدول 11-5**، ستلاحظ في مجموعة الأميد أن (– NH–) تربط مجموعة كربونيل مع مجموعة أروماتية.

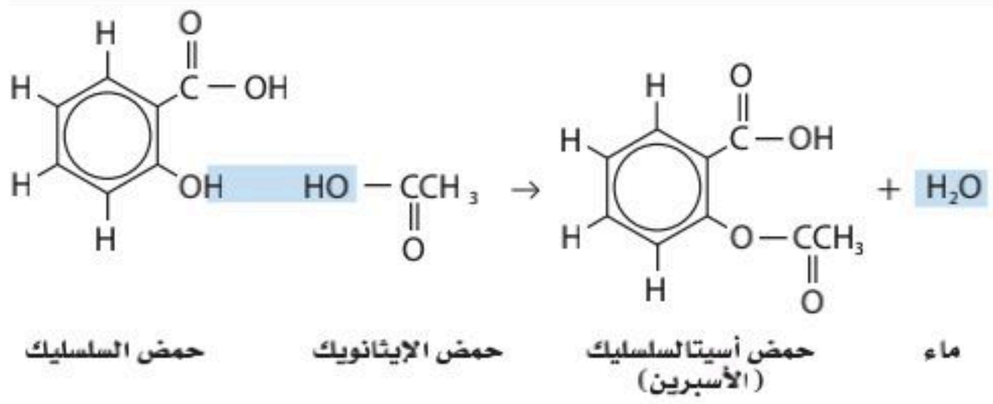
ويسمى أحد الأميدات المهمة كاربامايد NH_2CONH_2، والاسم الأكثر شيوعًا هو اليوريا، ويعرف أيضًا باسم ثنائي أميد حمض الكربونيك. واليوريا هي آخر نواتج عملية هضم البروتينات في الثدييات. وتوجد في الدم، والمرارة الصفراء، والحليب، وعرق الثدييات. عند تحطم البروتينات تنتقل منها مجموعات الأمين NH_2–، ثم تتحول إلى أمونيا NH_3، وهي مادة سامة للجسم، ويقوم الكبد بتحويلها إلى مادة اليوريا غير السامة. ويتم التخلص من اليوريا في الدم بواسطة الكلى وتخرج مع البول.

وبسبب احتواء اليوريا على نسبة عالية من النيتروجين وسهولة تحولها إلى أمونيا في التربة فإنها تستعمل في صناعة الأسمدة الزراعية. كما تستعمل اليوريا غذاء للماشية والأغنام؛ إذ تستعملها هذه الحيوانات لإنتاج البروتينات في أجسامها.

ماذا قرأت؟ **حدّد** أحد الأميدات الموجودة في جسم الإنسان.

الجدول 11-5

الأميدات	
الصيغة العامة	أمثلة على الأميدات
 مجموعة الأميد	 (أسيتامينوفين)
	 الإيثان أميد (أسيتاميد)



الشكل 12–5 لتحضير الأسبرين يتحد جزيئان عضويان من خلال تفاعل التكثف لتكوين جزيء أكبر.

التقويم 5-3

الخلاصة

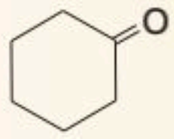
- مركبات الكربونيل مركبات عضوية تحتوي على مجموعة C=O.
- هناك خمسة أنواع مهمة من المركبات العضوية تحتوي على مركبات الكربونيل، هي: الألدهيدات، والكيتونات، والأحماض الكربوكسيلية، والإسترات، والأميدات.

13. الفكرة الرئيسة **صنف** كل مركب من مركبات الكربونيل الآتية إلى أحد أنواع المواد العضوية التي درستها في هذا القسم.

a. $CH_3CH_2-O-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-CH_3$

b. $CH_3CH_2CH_2\overset{\overset{O}{\|}}{C}-NH_2$

c.



d. $CH_3CH_2CH_2\overset{\overset{O}{\|}}{C}H$

14. صف نواتج تفاعل التكثف بين الحمض الكربوكسيلي والكحول.

15. حدد الصيغة العامة للألكانات C_nH_{2n+2}. اشتق الصيغة العامة التي تمثل الألدهيد، والكيتون، والحمض الكربوكسيلي.

16. استنتج لماذا تكون المركبات العضوية التي تحتوي على مجموعات كربوكسيل ذات خواص حمضية عندما تذوب في الماء، بينما ليس لمركبات أخرى مشابهة لها في التركيب مثل الألدهيد الخواص نفسها؟

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

5–4

تفاعلات أخرى للمركبات العضوية

Other Reactions of Organic Compounds

الأهداف

- **تصنف** تفاعلات المركبات العضوية إلى أحد الأنواع الخمسة الآتية: الاستبدال، أو الإضافة، أو الحذف، أو الأكسدة و الاختزال، أو التكثف.
- **تستعمل** الصيغ البنائية لكتابة معادلات تفاعلات المركبات العضوية.
- **تتوقع** نواتج تفاعلات المركبات العضوية

مراجعة المفردات

المحفّز مادة تزيد معدل سرعة التفاعل الكيميائي بخفض طاقات التنشيط دون أن تستهلك في التفاعل.

المفردات الجديدة

تفاعلات الحذف

تفاعلات حذف الهيدروجين

تفاعلات حذف الماء

تفاعلات الإضافة

تفاعلات إضافة الماء

تفاعلات الهدرجة

تفاعلات التكثف

الفكرة الرئيسة **تصنيف تفاعلات المركبات العضوية يجعل توقع نواتج التفاعلات أسهل.**

الربط مع الحياة عند تناولك طعام الغداء لا يخطر ببالك ما يحدث من أكسدة للمركبات العضوية. ومع ذلك فهذا ما يحدث داخل جسمك؛ حيث تعمل أجهزة الجسم على تفتيت الطعام الذي تناولته للحصول على الطاقة اللازمة لجسمك.

تصنيف تفاعلات المواد العضوية

Classifying Reactions of Organic Substances

اكتشف علماء الكيمياء العضوية آلاف التفاعلات التي يمكن بها تحويل المركبات العضوية إلى مركبات عضوية أخرى مختلفة. وباستعمال مجموعة من هذه التفاعلات، تعتمد الصناعات الكيميائية على تحويل المركبات الصغيرة من البترول والغاز الطبيعي إلى مركبات كبيرة. وتوجد المركبات العضوية المعقدة في العديد من المنتجات المفيدة، ومنها الأدوية والمواد المستهلكة، كما في **الشكل 13–5**. وبالإضافة إلى تفاعلات الاستبدال والتكثف هناك أنواع أخرى من التفاعلات العضوية، هي: الحذف والإضافة والأكسدة والاختزال.

تفاعلات الحذف هناك طريقة واحدة لتغير الألكان إلى مادة أكثر نشاطًا في التفاعلات الكيميائية، ألا وهي تكوين رابطة تساهمية ثنائية بين ذرتين من الكربون لتكوين الألكين. وتسمى عملية تكوين الألكين من الألكان **تفاعلات الحذف**، وهي التفاعلات التي يتم فيها حذف ذرتين من الذرات المرتبطة مع ذرتي كربون متجاورتين؛ حيث يتم إضافة رابطة ثنائية بين ذرتي الكربون. وغالبًا ما تكوّن الذرات المحذوفة جزيئات مستقرة، مثل H_2O، أو HCl، أو H_2.

ماذا قرأت؟ **عرف** تفاعلات الحذف مستعملًا كلماتك الخاصة.

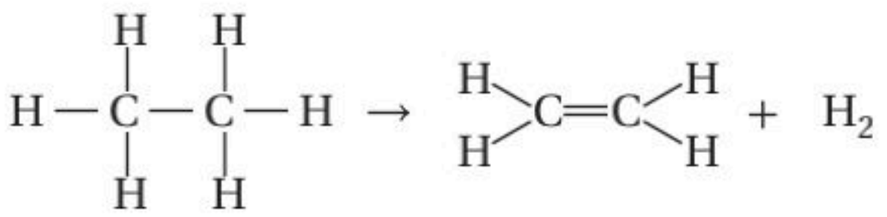


الشكل 13–5 الكثير من المنتجات الاستهلاكية – ومنها الأواني البلاستيكية والألياف المستعملة في صناعة الحبال والملابس، والزيوت والشموع التي تستعمل في مستحضرات التجميل – مصنوعة من البترول والغاز الطبيعي.



الشكل 14–5 يصنع البولي إيثيلين المنخفض الكثافة من غاز الإيثين تحت ضغط مرتفع عند وجود مواد محفزة. ويستعمل هذا النوع من البلاستيك في تجهيزات ملاعب الأطفال؛ لسهولة تشكيله في أشكال متنوعة، كما يسهل إعطاؤه ألوانًا متعددة، إضافة إلى قدرته على تحمل الاستعمال المتكرر.

يحضر الإيثين، وهو المادة الأولية المستعملة في صناعة أدوات وأرضيات الملاعب، كما هو مبين في **الشكل 14-5**، وتسمى التفاعلات التي يصاحبها حذف ذرتي هيدروجين من الإيثان **تفاعلات حذف الهيدروجين**. لاحظ أن ذرتي الهيدروجين قد كوّنتا غاز الهيدروجين.



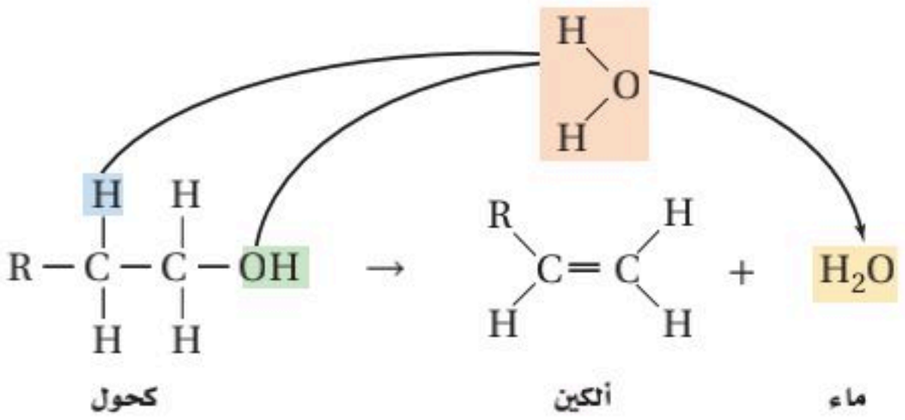
إيثان إيثين

ويمكن أن يدخل هاليد الألكيل في تفاعل حذف لإنتاج الألكين وهاليد الهيدروجين، كما هو مبين لاحقًا.

$$R{-}CH_2{-}CH_2{-}X \rightarrow R{-}CH{=}CH_2 + HX$$

هاليد الألكيل — ألكين — هاليد الهيدروجين

ويمكن أن تدخل الكحولات أيضًا في تفاعلات حذف يتم فيها فقد ذرة هيدروجين ومجموعة هيدروكسيل وتكوين الماء، كما هو مبين أدناه. وتسمى تفاعلات الحذف التي يصاحبها تكوين الماء **تفاعلات حذف الماء**. وفي هذا التفاعل يتحول الكحول إلى ألكين وماء.



كحول — ألكين — ماء

ويمكن كتابة معادلة هذا التفاعل عمومًا على النحو الآتي:

$$R{-}CH_2{-}CH_2{-}OH \rightarrow R{-}CH{=}CH_2 + H_2O$$

المطويات

ضمِّن مطويتك معلومات من هذا القسم.

الكيمياء في واقع الحياة

الهيدروكربونات العطرية المتعددة الحلقات

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)



الجزيئات البيولوجية يرمز إلى الهيدروكربونات العطرية المتعددة الحلقات بـ PAHs. وقد تم العثور عليها في النيازك، والمادة المحيطة بالنجوم الميتة. ونتيجة لمحاكاة العلماء للظروف في الفضاء تبين أن حوالي 10% من PAHs يتم تحويلها إلى كحول، وكيتونات، وإسترات. ويمكن استعمال هذه الجزيئات لتكوين المركبات التي تعد ذات أهمية للأنظمة البيولوجية.

تفاعلات الإضافة نوع آخر من تفاعلات المركبات العضوية، وهي تعد تفاعلات عكسية لتفاعلات الحذف. وتحدث **تفاعلات الإضافة** عندما ترتبط ذرات أخرى مع ذرات الكربون المكونة للرابطة التساهمية الثنائية أو الثلاثية. وتتضمن تفاعلات الإضافة تكسير الرابطة الثنائية في الألكينات أو الرابطة الثلاثية في الألكاينات. وتحدث هذه التفاعلات عند وجود تركيز عالٍ من الإلكترونات في الرابطة الثنائية أو الثلاثية. لذلك تميل الجزيئات والأيونات إلى جذب الإلكترونات لتكوين روابط تستعمل فيها إلكترونات الروابط الثنائية أو الثلاثية. وأكثر تفاعلات الإضافة شيوعًا هي التي تضيف كلًّا مما يلي: X_2، و HX، و H_2، و H_2O إلى الألكينات، كما في **الجدول 12-5**.

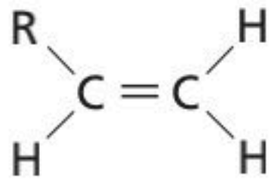
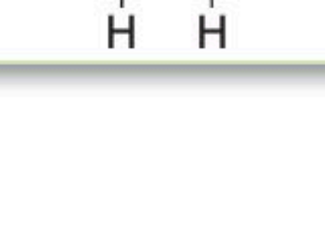
وتعد **تفاعلات إضافة الماء**، المبينة في **الجدول 12-5**، تفاعلات إضافة؛ حيث يتم فيها إضافة ذرة الهيدروجين ومجموعة الهيدروكسيل من جزيء الماء إلى الرابطة الثنائية أو الثلاثية. وتبين المعادلة العامة المبينة في **الجدول 12-5** أن تفاعلات إضافة الماء عكس تفاعلات حذف الماء.

وتسمى تفاعلات إضافة الهيدروجين إلى ذرات الكربون التي تكوّن الرابطة الثنائية أو الثلاثية **تفاعلات الهدرجة**؛ حيث يتفاعل جزيء واحد من H_2 مع الرابطة الثنائية بشكل تام، وعندما يضاف H_2 إلى الرابطة الثنائية في الألكينات يتحول الألكين إلى ألكان.

ماذا قرأت؟ **حدد** التفاعل العكسي لتفاعل الهدرجة.

الجدول 12-5

تفاعلات الإضافة

الألكين المتفاعل	المادة المتفاعلة المضافة	المادة الناتجة
	الماء	الكحول 
	الهيدروجين	ألكان
	هاليد الهيدروجين	هاليد الألكيل
	الهالوجين	ثنائي هاليد الألكيل

تستعمل المحفزات عادة في عملية هدرجة الألكينات؛ لأن طاقة تنشيط التفاعل عالية جدًّا في حال عدم وجود المحفزات. وتوفر المحفّزات -مثل مسحوق البلاتنيوم أو البالاديوم- سطحًا يعمل على ادمصاص جزيئات المواد المتفاعلة، ويهيئ الفرصة للإلكترونات للارتباط مع ذرات أخرى. وتفاعلات الهدرجة شائعة الاستعمال في تحويل السوائل الدهنية غير المشبعة الموجودة في الزيوت النباتية -مثل فول الصويا والذرة والفول السوداني- إلى دهون مشبعة وصلبة عند درجة حرارة الغرفة؛ حيث تستعمل الدهون المهدرجة بعد ذلك في تصنيع السمن. وتدخل الألكاينات أيضًا في تفاعلات الهدرجة لإنتاج الألكينات أو الألكانات. ويجب إضافة جزيء واحد من H_2 إلى كل رابطة ثلاثية لتحويل الألكاين إلى ألكين، كما يأتي:

$$R-C\equiv C-H + H_2 \rightarrow R-CH=CH_2$$

ويتحول الألكاين إلى ألكين بعد إضافة الجزيء الأول من H_2، وعند إضافة الجزيء الثاني من H_2 يستمر تفاعل الهدرجة ويتحول الألكين إلى ألكان.

$$R-CH=CH_2 + H_2 \rightarrow R-CH_2-CH_3$$

وتعد إضافة هاليد الهيدروجين إلى الألكين تفاعلات إضافة مهمة، ومفيدة في التفاعلات الصناعية لإنتاج هاليد الألكيل. والمعادلة العامة لهذه التفاعلات هي كما يأتي:

$$R-CH=CH-R' + HX \rightarrow R-CHX-CH_2-R'$$

مختبر تحليل البيانات

* مبنية على بيانات رقمية واقعية

تفسير البيانات

ما الظروف المناسبة لهدرجة زيت الكانولا؟

يتم هدرجة الزيوت النباتية للمحافظة على مذاقها وتغيير خواص الذوبانية لها. ولأن الدلائل تشير إلى أن متشكلات ترانس - للأحماض الدهنية تقترن مع زيادة مخاطر الإصابة بأمراض القلب والسرطان، لذا يفضل توافر الحد الأدنى من هذه الدهون، وتوافر الحد الأقصى لمتشكلات سيس - لحمض الأوليك.

البيانات والملاحظات

يبين الجدول عن اليسار بعض بيانات التجربة.

التفكير الناقد

1. **احسب** النسبة المئوية للناتج في كل محاولة في الجدول.
2. **قوّم** أي المحاولات تعطي أعلى نسبة مئوية من متشكلات سيس - لحمض الأوليك وأقل نسبة من متشكلات ترانس - للأحماض الدهنية؟
3. فسّر لماذا يتم استعمال هذه التقنية؟ وهل هي مفيدة في عمليات التصنيع؟

بيانات حول زيت الكانولا

	المحاكاة الحاسوبية		التجريبية	
رقم المحاولة	ترانس أحماض دهنية (wt. %)	سيس حمض الأوليك (wt. %)	ترانس أحماض دهنية (wt. %)	سيس حمض الأوليك (wt. %)
1	4.90	69.10	5.80	70.00
2	4.79	63.75	4.61	64.00
3	4.04	68.96	4.61	67.00
4	5.99	62.80	7.10	65.00
5	4.60	68.10	5.38	66.50

تفاعلات الأكسدة والاختزال يمكن تحويل كثير من المركبات العضوية إلى مركبات أخرى عن طريق تفاعلات الأكسدة والاختزال. فعلى سبيل المثال، افترض أنك تريد تحويل الميثان الموجود في الغاز الطبيعي إلى ميثانول، وهو مذيب صناعي عام ومادة أولية لصنع الفورمالدهيد وإسترات الميثيل. ويتم تحويل الميثان إلى ميثانول، كما في المعادلة المبينة في **الجدول 13-5**، بحيث تمثل [O] الأكسجين من مصدر مثل أكسيد النحاس II، أو ثاني كرومات البوتاسيوم، أو حمض الكبريتيك.

ماذا يحدث للميثان عندما يتفاعل؟ من المعروف أن الأكسدة هي عملية فقدان الإلكترونات، وتتأكسد المادة عندما تكسب الأكسجين أو تفقد الهيدروجين. أما الاختزال فهو عملية اكتساب الإلكترونات، وتختزل المادة عندما تفقد الأكسجين أو تكسب الهيدروجين. لذلك، حدثت أكسدة للميثان لأنه اكتسب الأكسجين وتحول إلى ميثانول. وبالتأكيد يتضمن كل تفاعل أكسدة واختزال عمليتي الأكسدة والاختزال. ويمكن وصف تفاعلات الأكسدة والاختزال في المواد العضوية اعتمادًا على التغير الذي يحدث للمركبات العضوية بعد التفاعل.

إن أكسدة الميثانول المبين في **الجدول 13-5** يعد الخطوة الأولى من مجموعة خطوات لتحضير الألدهيد، كما في **الجدول 13-5**. وللتوضيح تم حذف العوامل المؤكسدة. ويعد تحضير الألدهيد بهذه الطريقة من المهام الصعبة؛ لأن الأكسدة قد تستمر فيتحول الألدهيد إلى حمض كربوكسيلي.

ماذا قرأت؟ حدد استعمل **الجدول 13-5** لتحديد ناتجين محتملين عند استمرار أكسدة الألدهيد.

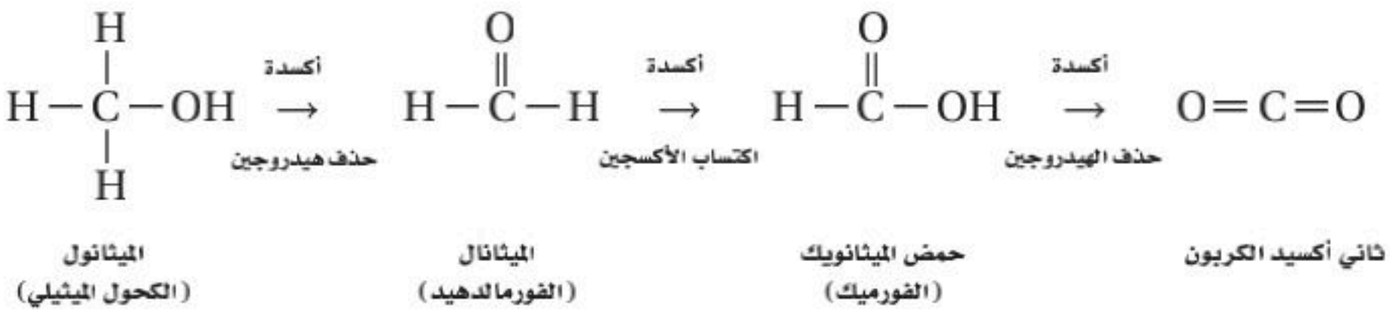
الجدول 13-5

تفاعلات الأكسدة والاختزال

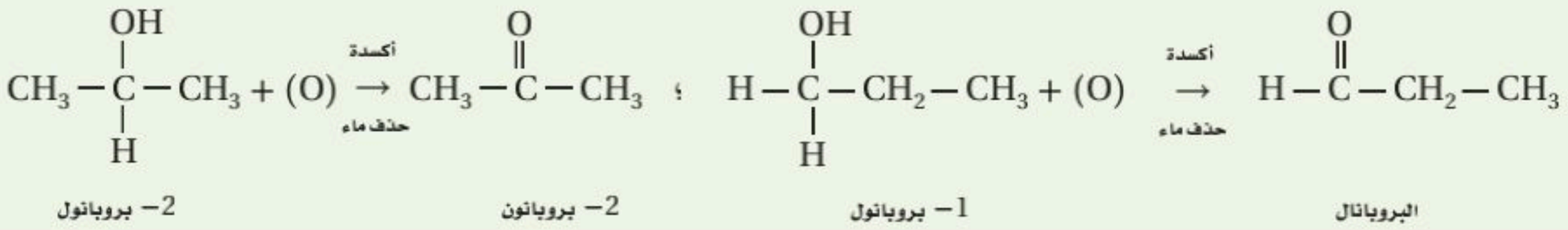
تحويل الألكانات إلى كحولات



الحصول على الألدهيدات والأحماض الكربوكسيلية من الكحولات



الحصول على الكيتونات من الكحولات



ومع ذلك، لاتتأكســد جميع الكحولات إلى ألدهيدات، ومن ثم إلى أحماض كربوكسيلية. ولفهم السبب، قارن بين أكسدة 1- بروبانول و2- بروبانول في **الجدول 13-5**. لاحظ أن أكسدة 2- بروبانول تنتج كيتون، وليس ألدهيد. والكيتون لا يتأكسد بسهولة إلى حمض كربوكسيلي، بينما يتأكسد 1 - بروبانول بسهولة لتكوين حمض البروبانويك، في حين يتكون 2 - بروبانون من أكسدة 2 - بروبانول وهو لا يتفاعل لإنتاج حمض كربوكسيلي.

ماذا قرأت؟ **اكتب** معادلة تكوين حمض البروبانويك مستعملًا صيغًا جزيئية تشبه تلك الموجودة في **الجدول 13-5**.

ما أهمية تفاعلات الأكسدة والاختزال؟ لقد عرفت أن تفاعلات الأكسدة والاختزال لديها القدرة على أن تغيّر مجموعة وظيفية إلى أخرى. وتساعد هذه الخاصية الكيميائيين على استعمال تفاعلات الأكسدة والاختزال، إضافة إلى تفاعلات الاستبدال والإضافة لتحضير مجموعة هائلة ومتنوعة من المنتجات النافعة. وتعتمد أنظمة المخلوقات الحية جميعها على الطاقة الناتجة عن تفاعلات الأكسدة. وتعد تفاعلات الاحتراق من أكثر تفاعلات الأكسدة والاختزال جذبًا للانتباه؛ إذ تحترق المركبات العضوية التي تحتوي على الكربون والهيدروجين في وجود كمية كافية من الأكسجين لإنتاج ثاني أكسيد الكربون والماء. وتوضح المعادلة الآتية احتراق الإيثان الطارد للحرارة.

$$2C_2H\,6(g) + 7O_{2(g)} \rightarrow 4CO_{2(g)} + 6H_2O_{(g)} \quad \Delta H = -3120\ kJ$$

وتعتمد معظم بلدان العالم على احتراق المواد الهيدروكربونية بوصفة المصدر الرئيس للطاقة، كما في **الشكل 15-5**.

تفاعلات التكثف Condensation Reactions تتضمن العديد من التحضيرات التي تتم في المختبرات والعمليات الصناعية تفاعل مادتين من المواد المتفاعلة العضوية لتكوين مركب عضوي ضخم؛ مثل الأسبرين، كما هو موضح في **الشكل 12-5**. ويعرف هذا النوع من التفاعل بتفاعل التكثف.

في **تفاعل التكثف** يتم ارتباط اثنين من جزيئات صغيرة لمركبات عضوية لتكوين جزيء آخر أكثر تعقيدًا. ويرافق هذه العملية فقدان جزيء صغير مثل الماء. وينتج هذا الجزيء عادة عن كلا الجزيئين المتحدين. وتعد تفاعلات التكثف تفاعلات حذف بحيث تتكون رابطة بين ذرتين لم تكونا مرتبطتين سابقًا.

ومن أكثر تفاعلات التكثف شيوعًا تلك التي تتضمن الجمع بين الحمض الكربوكسيلي مع جزيئات لمركبات عضوية أخرى. والطريقة الشــائعة لتحضير الإستر تتم بتفاعلات التكثف بين الأحماض الكربوكسيلية والكحول. ويمكن تمثيل هذا التفاعل بالمعادلة الكيميائية العامة الآتية.

$$RCOOH + R'OH \rightarrow RCOOR' + H_2O$$

توقع نواتج التفاعلات العضوية
Predicting Products of Organic Reactions

يمكن استعمال المعادلات العامة التي تمثل تفاعلات المواد العضوية - الاستبدال، والحذف، والإضافة، والأكسدة والاختزال، والتكثف لتوقع نواتج التفاعلات العضوية. فعلى سبيل المثال، لو طلب إليك توقع نواتج تفاعل الحذف لتفاعل 1- بيوتانول فأنت تعلم أن تفاعل الحذف الشائع يتضمن حذف الماء من الكحول.



الشكل 15-5 يعتمد الناس في جميع أنحاء العالم على أكسدة الهيدروكربونات للوصول إلى العمل ونقل المنتجات.

المعادلة العامة لحذف الماء من الكحول هي كما يأتي:

$$R — CH_2 — CH_2 — OH \rightarrow R — CH = CH_2 + H_2O$$

ولتحديد النواتج الفعلية، ارسم أولاً الصيغة البنائية لـ 1- بيوتانول، ثم استعمل المعادلة العامة نموذجًا لمعرفة كيفية تفاعل 1 - بيوتانول. تبين المعادلة العامة أنه تم حذف OH و H من سلسلة الكربون. وأخيرًا ارسم الصيغة البنائية للنواتج ، كما في المعادلة الآتية:

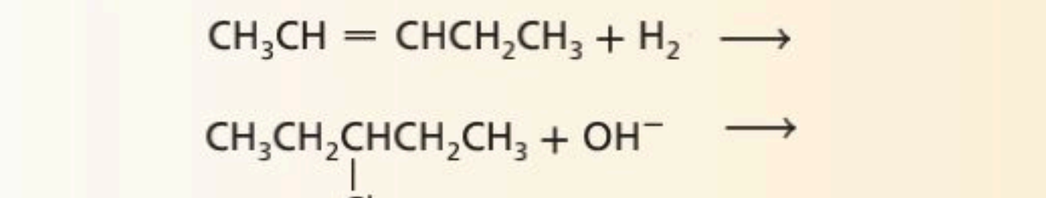
$$CH_3 — CH_2 — CH_2 — CH_2 — OH \rightarrow CH_3 — CH_2 — CH = CH_2 + H_2O$$

1 – بيوتانول　　1 – بيوتين

ومثال آخر، افترض أنك تود توقع نواتج التفاعل بين البنتين الحلقي وبروميد الهيدروجين. تذكر أن المعادلة العامة لتفاعلات الإضافة بين الألكينات وهاليدات الألكيل هي:

$$R — CH = CH — R' + HX \rightarrow R — CHX — CH_2 — R'$$

ارسم أولًا الصيغة البنائية للبنتين الحلقي، ثم أضف صيغة بروميد الهيدروجين، ويمكنك من المعادلة العامة ملاحظة مكان إضافة كل من الهيدروجين والبروم على الرابطة الثنائية لتكوين هاليد الألكيل. وأخيرًا ارسم صيغة الناتج. فإذا كان عملك صحيحًا فستحصل على المعادلة الآتية:



بنتين حلقي　　بروميد الهيدروجين　　بروموبنتان حلقي

التقويم 5-4

الخلاصة

- يمكن تصنيف معظم تفاعلات المركبات العضوية ضمن واحد من خمسة أنواع: الاستبدال، والتكثف، والحذف، والإضافة، والأكسدة والاختزال.
- يمكن معرفة المركبات العضوية المتفاعلة من توقع نواتج التفاعل.

17. الفكرة الرئيسة صنف كل تفاعل إلى استبدال، أو تكثف، أو إضافة، أو حذف .

a. $CH_3CH = CHCH_2CH_3 + H_2 \rightarrow CH_3CH_2—CH_2CH_2CH_3$

b. $CH_3CH_2CH_2\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{C}}HCH_3 \rightarrow CH_3CH_2CH = CHCH_3 + H_2O$

18. حدد نوع التفاعل العضوي الذي يحقق أفضل ناتج لكل عملية تحويل مما يأتي:

a. هاليد ألكيل ⟵ ألكين　　**c.** كحول + حمض كربوكسيلي ⟵ إستر

b. ألكين ⟵ كحول　　**d.** ألكين ⟵ هاليد ألكيل

19. أكمل كل معادلة مما يأتي عن طريق كتابة الصيغة البنائية للنواتج الأكثر احتمالًا:

a. $CH_3CH = CHCH_2CH_3 + H_2 \longrightarrow$

b. $CH_3CH_2\underset{\displaystyle Cl}{\underset{|}{C}}HCH_2CH_3 + OH^- \longrightarrow$

20. توقع النواتج فسّر لماذا يؤدي إضافة الماء إلى 1 – بيوتين إلى تكون نوعين من النواتج، بينما إضافة الماء إلى 2 – بيوتين تكوِّن نوعًا واحدًا من النواتج؟

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

5–5

الأهداف

- ترسم العلاقة بين البوليمر والمونومرات المكوّنة له.
- تصنف تفاعلات البلمرة إلى إضافة أو تكثف.
- تتوقع خواص البوليمر اعتمادًا على التراكيب الجزيئية ووجود المجموعات الوظيفية.

مراجعة المفردات

الكتلة المولية: كتلة مول واحد من المادة.

المفردات الجديدة

البوليمرات

المونومرات

تفاعلات البلمرة

البلمرة بالإضافة

البلمرة بالتكثف

البوليمرات Polymers

الفكرة الرئيسة **البوليمرات الصناعية مركبات عضوية كبيرة تتكون من تكرار وحدات مرتبطة معًا عن طريق تفاعلات الإضافة أو التكثف.**

الربط مع الحياة فكّر كيف تكون حياتك مختلفة دون أكياس الفطائر البلاستيكية، وأكواب البلاستيك، وأقمشة النايلون والبوليستر، والفينيل المستعمل في المباني، ومجموعة أخرى متنوعة من المواد الصناعية؟! تشترك جميع هذه المواد في شيء واحد على الأقل، هو أنها جميعًا مصنوعة من بوليمرات.

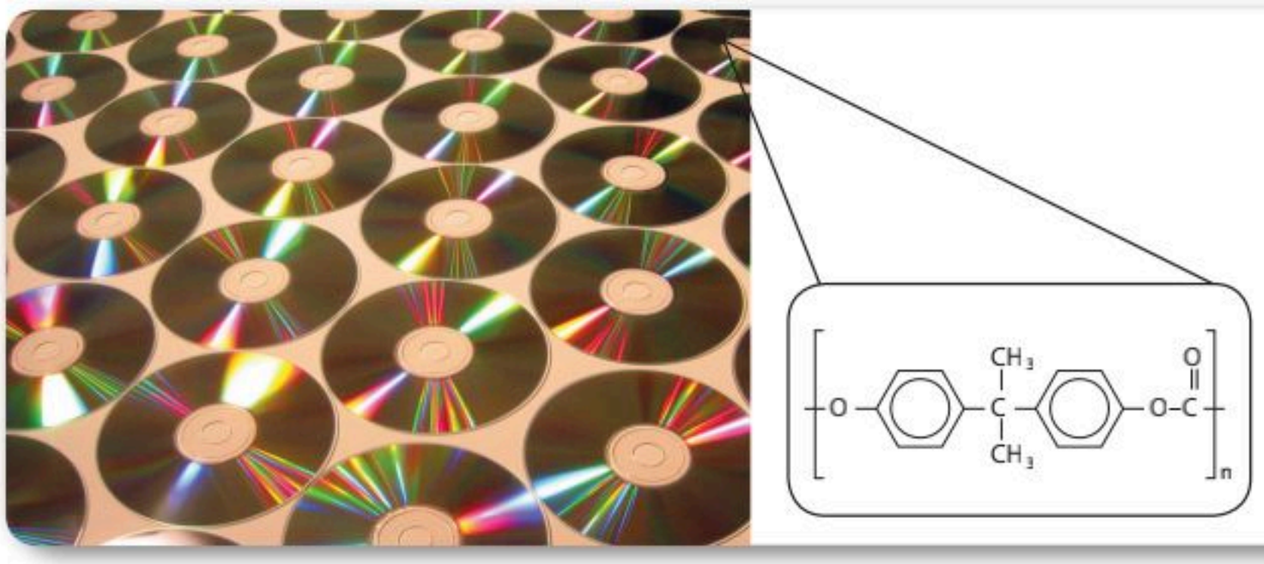
عصر البوليمرات The Age of Polymers

تحتوي الأقراص المضغوطة، كما هو موضح في **الشكل 16–5** على بولي كربونات، وهي مصنوعة من سلسلة جزيئات طويلة جدًّا مع مجموعات من الذرات ذات نمط تكراري منتظم. وهذا الجزيء مثال على البوليمرات الصناعية.

البوليمرات جزيئات كبيرة تتكوّن من العديد من الوحدات البنائية المتكررة. في **الشكل 16–5** يستعمل الرمز n بجانب الوحدة البنائية للبولي كربونات ليشير إلى عدد الوحدات البنائية في سلسلة البوليمر. ولأن قيم n تختلف اختلافًا كبيرًا من بوليمر إلى آخر، نجد أن الكتلة المولية للبوليمرات قد تكون أقل من 10,000 amu وقد تصل القيم إلى أكثر من 1,000,000 amu. فعلى سبيل المثال تحتوي سلسلة من الطلاء غير اللاصق على نحو 400 وحدة بنائية كتلتها المولية تساوي 40,000 amu.

وقديمًا كان استعمال الناس يقتصر على المواد الطبيعية قبل تطوير البوليمرات الصناعية، مثل الحجر والخشب والمعادن والصوف والقطن. وبحلول مطلع القرن العشرين أصبحت بعض البوليمرات الطبيعية المعالجة كيميائيًّا -مثل المطاط والبلاستيك والسيليلويد- متاحة للاستعمال، إلى جانب المواد الطبيعية. ويحضر السيليلويد بمعالجة سليلوز القطن أو الألياف الخشبية مع حمض النيتريك.

وكان أول بوليمر صناعي تم تحضيره عام 1909م قد تميز بالصلادة واللمعان. وهو نوع من البلاستيك يسمى الباكالايت. وبسبب مقاومته للحرارة، لايزال يستعمل إلى اليوم في أجهزة الوقود الكبيرة. ومنذ عام 1909م، طورت مئات البوليمرات الصناعية الأخرى. وبسبب الاستعمال الواسع للبوليمرات، ربط الناس هذا العصر بالبوليمرات.



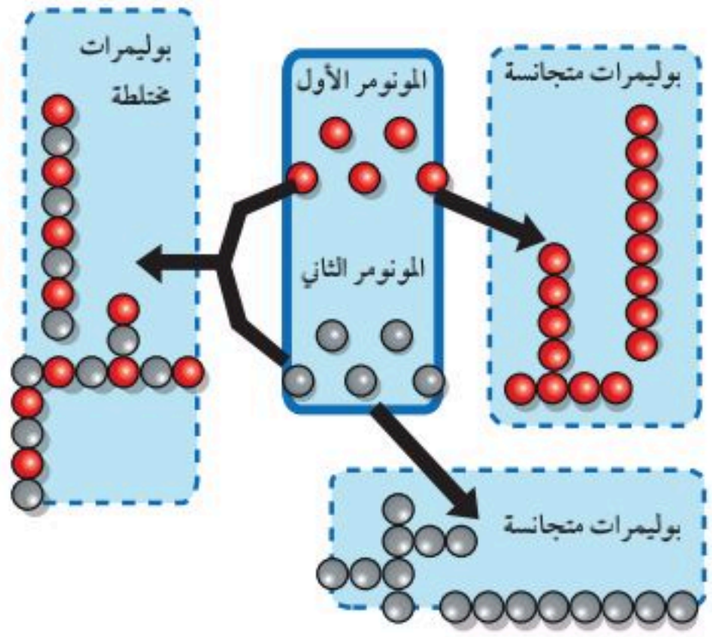
الشكل 16–5 الأقراص المدمجة مصنوعة من البولي كربونات، وتحتوي على سلاسل طويلة من الوحدات البنائية.

التفاعلات المستعملة لصناعة البوليمرات
Reactions Used to Make Polymers

يعد تصنيع البوليمرات عملية سهلة نسبيًّا، إذ يمكن تصنيع البوليمرات في خطوة واحدة، تكون فيها المادة المتفاعلة الرئيسة جزيئات عضوية صغيرة بسيطة تسمى مونومرات. والمونومرات هي الجزيئات التي يصنع منها البوليمر. فعند صناعة البوليمر ترتبط المونومرات معًا الواحد تلو الآخر في سلسلة من الخطوات السريعة. وغالبًا ما تستعمل المحفّزات ليتم التفاعل بسرعة معقولة. وفي بعض البوليمرات -مثل ألياف البوليستر والنايلون- يرتبط اثنان أو أكثر من المونومرات معًا بتسلسل متناوب. وتسمى التفاعلات التي ترتبط فيها المونومرات معًا تفاعلات البلمرة. وتسمى مجموعة الذرات المتكررة الناتجة عن ترابط المونومرات وحدة بناء البوليمر، ويبين **الشكل 17-5** العلاقة بين البوليمرات والمونومرات المكونه له.

وتتكون وحدة بناء البوليمر من اثنين من المونومرات المختلفة التي لها المكونات نفسها. ويبين **الشكل 18-5** ألعاب الأطفال غير القابلة للكسر التي تصنع من البولي إيثيلين المنخفض الكثافة (LDPE)، والذي يحضر ببلمرة الإيثين تحت ضغطٍ عالٍ. كما يعدالإيثين أيضا مادة أولية لتحضير وإنتاج البولي إيثيلين رباعي فثالات (PETE)، وهو المادة المستعملة في صناعة العبوات البلاستيكية. ويمكن تصنيعه في صورة ألياف تسمى ألياف البوليستر.

ويبين **الشكل 19-5** الخط الزمني لأحداث بارزة أدت إلى عصر البوليمرات وتسليط الضوء على تطور صناعة البوليمرات. وعلى الرغم من أن أول بوليمر تمت صناعته في العام 1909 م، إلا أن صناعة البوليمرات لم تزدهر إلا بعد الحرب العالمية الثانية.



الشكل 17-5 العلاقة بين البوليمر والمونومرات المكونة له.



الشكل 18-5 البولي إيثيلين مادة غير سامة وغير قابلة للكسر، لذا يدخل هذا البوليمر في صناعة ألعاب الأطفال.



الشكل 19-5 عصر البوليمرات يعمل العلماء لفهم بنية وخواص المركبات العضوية لتطوير المنتجات التي تؤثر في حياة الناس في كل مكان. وقد ساعدت إسهاماتهم في الدخول إلى عصر البوليمرات.

1830

1840م بدأ الأطباء استعمال الإيثر بوصفه مادة مخدرة في العمليات الجراحية.



1860

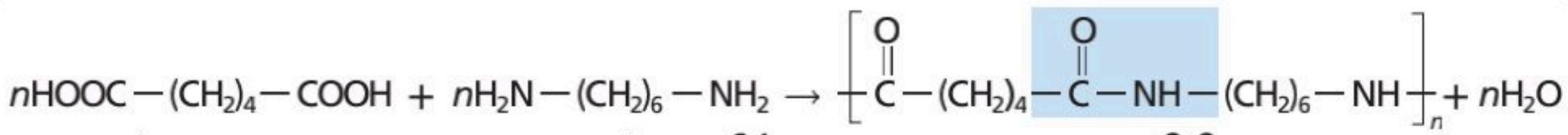
1865م تم تحديد تركيب البنزين الذي أصبح الأساس في إنتاج المركبات الأروماتية.

1879م تم اكتشاف السكرين بطريقة الصدفة في أثناء عمل الكيميائيين في تقطير الفحم.

1890

1899م انتشر الأسبرين على نطاق واسع من قبل الأطباء بوصفه مادة مسكنة للألم، وأصبح أكثر الأدوية بيعًا على مستوى العالم.

1909م أول بلاستيك صنع من البوليمرات الصناعية هو الباكالايت وقد تم تطوير صناعته.



الشكل 20–5 النايلون بوليمر يتكون من خيوط رفيعة تشبه الحرير.

البلمرة بالإضافة في البلمرة بالإضافة تبقى جميع الذرات الموجودة في المونومر في تركيب البوليمر. وعندما يكون المونومر هو الإيثين، ينتج البولي إيثيلين عن تفاعل بلمرة الإضافة؛ إذ تتكسر الروابط غير المشبعة في تفاعل البلمرة بالإضافة تمامًا كما في تفاعلات الإضافة. والاختلاف الوحيد بينهما هو أن الجزيء الثاني المضاف هو جزيء المادة نفسها، وهي الإيثين. كما يمكنك ملاحظة تشابه بوليمرات الإضافة المبينة في **الجدول 14–5** مع تركيب البولي إيثيلين؛ حيث ترتبط ذرات أو مجموعات من الذرات بالسلسلة لتحل محل ذرات الهيدروجين. وتَنتج هذه البوليمرات جميعها من عملية البلمرة بالإضافة.

البلمرة بالتكثف تحدث البلمرة بالتكثف عندما تحتوي المونومرات على اثنتين من المجموعات الوظيفية على الأقل تتحد معًا، ويصاحب ذلك خسـارة جزيء صغير غالبًا ما يكون الماء. وقد حضّر النايلون أول مرة في عام 1931م، ثم أصبح مادة شعبية؛ لأنه يمتاز بالقوة، ويمكن سحبه على شكل خيوط تشبه الحرير. ونايلون 6,6 هو اسم أحد أنواع النايلون المصنع. ويتكون أحد المونومرات من سلسلة في نهايتها ذرة كربون يرتبط معها مجموعات كربوكسيل، كما هو مبين في **الشـكل 20–5**. أما المونومر الآخر فهو سلسلة تحتوي على مجموعات الأمين في كلتا النهايتين. وتخضع هذه المونومرات لبلمرة التكثف؛ حيث تكوّن مجموعات أميد ترتبط مع وحدات فرعية من البوليمر، كما يشـير المربع المظلل في **الشكل 20–5**. لاحظ أنه يتم تكوين جزيء واحد من الماء مقابل كل أميد جديد يتكوَّن.

تجربة عملية

تفاعلات البلمرة

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية



1939–1945م استعمل النايلـون خلال الحرب العـالمية الثانية في صناعة المظلات والخيام، وكذلك دخل في صناعة الملابس.

1959م تم إنتاج الألـيـاف اللـدنـة والألـيـاف الـمـرنة صناعيًّا.

2006م طور الباحثون ورقًا رقيقًا جدًّا يقاوم الإشـعاع وهو بوليمر الكريستال – السائل المستعمل في الدوائر الكهربائية، مما جعلها مفيدة في تطبيقات الفضاء.

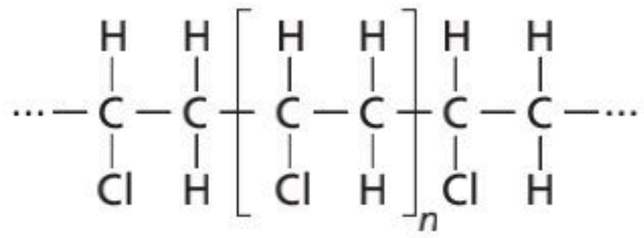
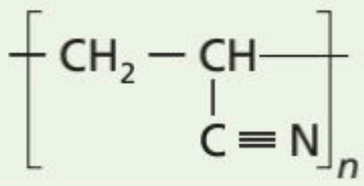
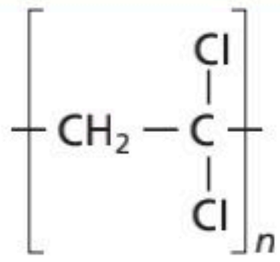
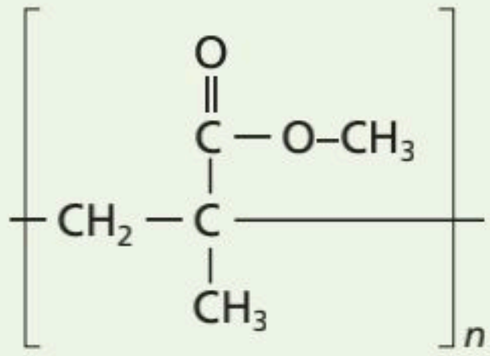
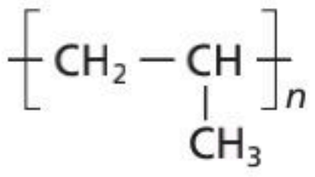
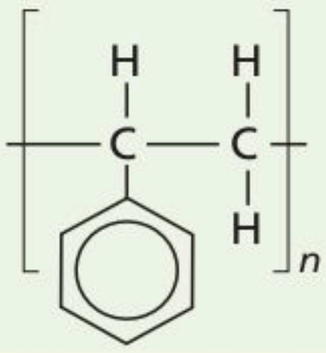
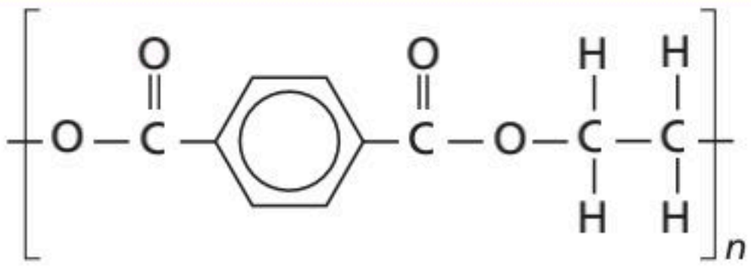
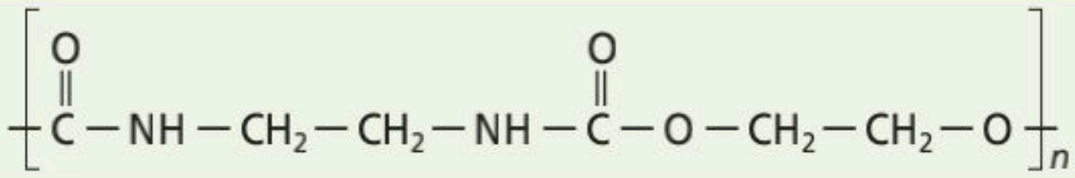
2010 — 1980 — 1950

1946م تتضمن المنتجات مع الطلاء غير اللاصـق (PTFE) الخطافات والتروس وتجهيزات المطبـخ، وقد انتشرت بشـكل تجاري.



1988م تـم إصـدار أوارق نقديـة مصنوعـة من البوليمرات لأول مرة في العالم، صادرة عن بنك أستراليا عام 1966م. وقد استعمل جميع الأستراليين هذه العملة البلاستيكية.

الجدول 14-5 **البوليمرات الشائعة**

البوليمر	الاستعمالات	الوحدة البنائية المتكررة
بولي كلوريد الفينيل (PVC)	أنابيب بلاستيكية، وتغطية اللحوم والمفروشات، وملابس ضد المطر، وجدران المنازل، وخراطيم مياه 	
بولي أكريلونيتريل	الأقمشة والملابس والمفروشات والسجاد	
بولي فينيلدين كلوريد	تغليف الطعام والأقمشة 	
بولي ميثيل ميثاكريلات	زجاج غير قابل للكسر، للنوافذ، والعدسات والتحف الفنية 	
بولي بروبلين (PP)	أوعية للمشروبات، والحبال، وأدوات المطبخ	
بولي ستايرين (PS) وستايرين البلاستيك	رغوة التغليف والعزل، وأوعية للنباتات، وحاوية لحفظ الطعام، وعمل النماذج 	
بولي إيثيلين رباعي فثالات (PETE)	زجاجات العصير والحليب، الإطارات، والملابس، وأواني الطعام التي تستعمل مرة واحدة	
بولي يورإيثان	الأثاث، ومخدات الفوم، والطلاء المقاوم للماء، وبعض أجزاء الأحذية	

خواص البوليمرات وإعادة تدويرها
Properties and Recycling of Polymers

لماذا نستعمل العديد من البوليمرات المختلفة هذه الأيام؟ أحد الأسباب يعود إلى سهولة تحضيرها، كما أن المواد الأولية المستعملة في تحضيرها غير مكلفة. ولكنْ هناك أسباب أخرى أكثر أهمية تتعلق بخواص البوليمرات نفسها؛ حيث يمكن سحب بعضها في صورة ألياف أنعم من الحرير، والبعض الآخر قوي كالفولاذ. كما أن البوليمرات غير قابلة للصدأ، والعديد منها أكثر تحملًا من المواد الطبيعية، ومن ذلك الخشب البلاستيكي الذي يظهر في **الشكل 21–5**؛ فهو غير قابل للتآكل، ولا يحتاج إلى إعادة طلاء.

خواص البوليمرات ومن أسباب زيادة الطلب على البوليمرات وانتشارها الواسع سهولة تشكيلها بأشكال مختلفة، أو سحبها على شكل ألياف رقيقة. علماً بأنه ليس من السهل القيام بذلك مع المعادن أو المواد الطبيعية الأخرى؛ لأنه يجب تسخينها إلى درجات حرارة مرتفعة، بحيث لا تنصهر عندها، وتصبح ضعيفة؛ حتى تستعمل في تصنيع أدوات صغيرة ورقيقة.

و كما هو الحال مع المواد جميعها، فإن للبوليمرات خواص تعود مباشرة إلى تركيبها الجزيئي. فبولي إيثيلين مثلًا عبارة عن سلسلة طويلة من الألكان. لذلك، فملمسه شمعي، ولا يذوب في الماء، وغير نشط كيميائيًّا، ورديء التوصيل للكهرباء. وقد جعلته هذه الخواص مثاليًّا لاستعماله في أوعية حفظ الطعام، وتغليف أسلاك الكهرباء.

مهن في الكيمياء

كيميائيو البوليمرات هل تبدو لك فكرة تطوير وتحسين البوليمرات فكرة جديدة وملهمة وتشكل تحديًا؟ يطور كيميائيو البوليمرات أنواعًا جديدة، كما يطورون استعمالات أو عمليات تصنيع جديدة للطرائق القديمة.

الدكتور سعيد بن محمد الزهراني، مخترع وعالم سعودي، حاصل على عدة جوائز وهي: جائزة إقليمية، وجائزة عالمية. كما حصل على براءة اختراع بعنوان «حفازات جديدة لإنتاج الألوفينات عن طريق الأكسدة النازعة للأكسجين وطرق تحضيرها واستخدامها». ويشرف على كرسي سابك **للبوليمرات** بالجامعة.

المفردات

أصل الكلمة

البلاستيك الحراري (Thermoplastic)
جاءت كلمة (ثرمو) من الكلمة اليونانية therme التي تعني الحرارة،
وجاءت كلمة بلاستيك من الكلمة اليونانية plastikos وتعني قالبًا أو نموذجًا، أو يتكون



الشكل 21–5 يصنع الخشب البلاستيكي من البلاستيك المعاد تدويره، مثل زجاجات العصير، والحليب، وغيرها من نفايات البولي إيثيلين.



الشكل 22–5 تساعد الرموز الموجودة على المواد البلاستيكية على إعادة تدويرها لأنها تحدد مكوناتها.

تدوير البوليمرات تشتق المواد الأولية المستعملة في تصنيع معظم البوليمرات من الوقود الأحفوري. ولأن الوقود الأحفوري مهدد بالنفاد فقد أصبحت عملية تدوير البلاستيك أكثر أهمية. فإعادة التدوير وشراء السلع المصنوعة من البلاستيك المعاد تدويره تقلل من حجم استعمال الوقود الأحفوري، وبذلك نحافظ على هذا النوع من الوقود.

وتعد عملية إعادة تدوير هذه المواد صعبة إلى حد ما؛ نظرًا إلى العدد الكبير من البوليمرات المختلفة الموجودة في هذه المنتجات. ولذلك لا بد من فرز المواد البلاستيكية وفقًا لمكونات البوليمر قبل إعادة استعمالها. وقد تكون عملية فرز المواد البلاستيكية طويلة ومكلفة، ولذلك يتم تحسين عملية صناعة البلاستيك من خلال تقديم رموز موحدة تشير إلى مكونات جميع المنتجات البلاستيكية. ولهذا فإن وجود رموز موحدة لصناعة البلاستيك، كما في **الشكل 22–5**، يوفر الوسائل السريعة لإعادة تدوير وفرز المواد البلاستيكية.

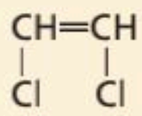
التقويم 5-5

الخلاصة

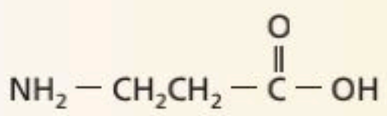
- البوليمرات جزيئات ضخمة تتكون من ارتباط جزيئات صغيرة تدعى المونومرات.
- تحضر البوليمرات من خلال تفاعلات الإضافة أو التكثف.
- يمكن استعمال المجموعات الوظيفية في البوليمرات لتوقع خواص البوليمر.

21. الفكرة الرئيسة **ارسم** الصيغة البنائية للبوليمر الذي ينتج عن المونومرات الآتية في حالتي: a. الإضافة، و b. التكثف.

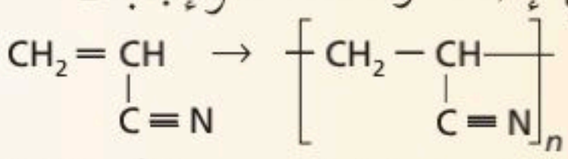
a.



b.

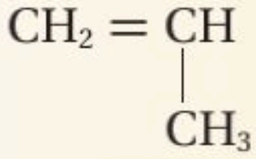


22. سمّ تفاعل البلمرة الآتي: إضافة أو تكثفًا. فسّر إجابتك.



23. حدّد تعوّض البوليمرات الصناعية في كثير من الأحيان الكثير من المواد الطبيعية، مثل الحجر، والخشب والمعادن، والصوف، والقطن، في العديد من التطبيقات. حدد بعض مزايا وعيوب استعمال المواد الصناعية بدلاً من المواد الطبيعية.

24. توقّع الخواص الفيزيائية للبوليمر الذي يصنع من المونومر الآتي، متناولاً بعض خصائصه مثل: الذوبان في الماء، والتوصيل الكهربائي، والملمس، والنشاط الكيميائي.



الكيمياء في الحياة اليومية

الثوم Garlic

هل تعلم أن طعم كل من الثوم الطازج والمطبوخ مختلفة جدًّا؟ فالثوم الطازج، كما هو مبين في **الشكل 1**، يحتوي على مواد تسبب إحساسًا حارقًا في الفم. ومع ذلك لا يسبب الثوم المطبوخ هذا الإحساس. ويعود السبب إلى التفاعلات الكيميائية. فعندما يُدَق الثوم الطازج أو يقطع أو يسحق فإنه ينتج مادة كيميائية تسمى الأليسين، كما في **الشكل 2**. ويعد إنتاج الأليسين آلية دفاع كيميائية يقوم بها نبات الثوم ضد غيره من المخلوقات الحية الأخرى. والأليسين مركب غير مستقر ويتحول إلى مركبات أخرى مع مرور الوقت، أو عند التسخين أو الطبخ، وهو ما يفسر لماذا لا يسبب الثوم المطبوخ إحساسًا حارقًا في الفم. وقد نهى الرسول عليه الصلاة والسلام آكل الثوم عن حضور صلاة الجماعة في المسجد لأن رائحة الثوم مؤذية.



الشكل 1 يحتوي الثوم الطازج على مادة كيميائية تسبب الألم كوسيلة دفاع ضد الأعداء.

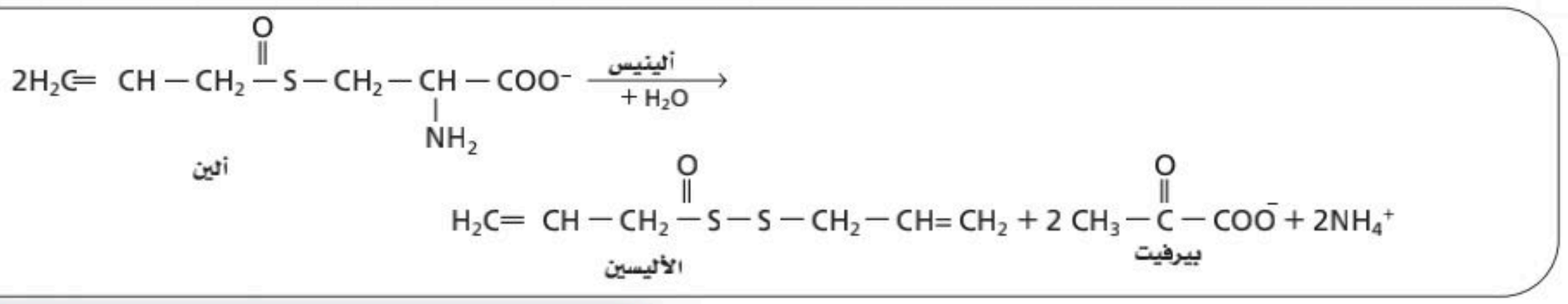
الإحساس بالألم والحرارة Sensing temperature and pain

يتم الإحساس بدرجة الحرارة والألم عن طريق الخلايا العصبية الموجودة في الجلد، بما في ذلك الجلد الموجود داخل فمك. وتحتوي هذه الخلايا العصبية على جزيئات تكشف عن درجة حرارة سطحها، والتي تسمى قنوات الاستقبال الناقلة (TRP) للأيون. وتتأثر قنوات الاستقبال (TRP) المختلفة باختلاف مدى درجة الحرارة. فعلى سبيل المثال، عندما يلمس شخص شيئًا ساخنًا، تتنبّه بعض قنوات الاستقبال (TRP) وتسمح لأيونات الكالسيوم المشحونة بالدخول إلى الخلايا العصبية. وهذا يؤدي إلى زيادة الشحنات في الخلايا العصبية. وعند زيادة الشحنات إلى حد كاف يتم إرسال إشارات كهربائية إلى الدماغ؛ حيث يتم تفسيرها على أنها إحساس بالسخونة.

ينشط الأليسين أيضاً الخلايا العصبية. وعلى ما يبدو فإن الأليسين فعال على زوج من بروتينات القناة الأيونية تسمى TRPA1 وTRPV1. وعندما توجد مادة الأليسين الكيميائية، تسمح هذه القنوات بدخول الأيونات إلى الخلية العصبية. ويؤدي إضافة الشحنات الكهربائية للخلية العصبية إلى إرسال إشارات للدماغ عن مواقع الإشارات، ويعمل الدماغ على تفسيرها على اعتبار أنها إحساس حارق.

استكشاف مستقبلات الألم Probing pain receptors

مع أنه من المثير للاهتمام أن نعرف لماذا يسبب تذوق الثوم الخام الألم إلا أن فهم كيفية قيام الأليسين بالتسبب في الإحساس بالألم هو أكثر أهمية وإثارة. ويأمل الباحثون أن تؤدي زيادة فهم كيفية عمل هذه المستقبلات إلى طرائق جديدة للسيطرة على الألم المزمن لدى المرضى.



الشكل 2 عند تقطيع الثوم أو سحقه يقوم الألين مع وجود إنزيم الألينيس بإنتاج الأليسين. وعند تذوق طعم الثوم الطازج فإن جزءًا من الخلايا العصبية في فمك يرسل إشارة كهربائية إلى الدماغ الذي يقوم بتفسيرها على اعتبار أنها إحساس حارق.

الكتابة في الكيمياء

ابحث وقم بإعداد ملصق أو بوستر يوضح تفاعلات كيميائية أخرى في النباتات.

مختبر الكيمياء

خواص الكحولات

الخلفية النظرية الكحولات مركبات عضوية تحتوي على مجموعة OH– الوظيفية. ويشير الاختلاف في سرعة تبخر الكحول إلى قوى الترابط بين جزيئات الكحول. فتبخر السوائل عملية ماصّة للطاقة، حيث يتم امتصاص الطاقة من البيئة المحيطة بالمادة. وهذا يعني أن درجة الحرارة ستنخفض عند حدوث التبخر.

السؤال كيف تختلف قوى الترابط في ثلاثة أنواع من الكحولات؟

المواد والأدوات اللازمة

ثرمومتر غير زئبقي.	إيثانول(95%).
ساعة إيقاف.	2- بروبانول (99%).
مناديل ورقية ناعمة.	سلك ربط أو مطاطة.
منشفة قماش.	قطعة من الورق المقوى لاستعمالها كمروحة.
ماصة (عدد 5).	
ميثانول	

إجراءات السلامة

تحذير: الكحولات مادة قابلة للاشتعال. احفظ السوائل والأبخرة بعيدًا عن مصادر اللهب والشرر.

خطوات العمل

1. اقرأ نموذج قواعد السلامة في المختبر.
2. ارسم جدولًا لتسجيل البيانات.
3. اقطع خمس قطع بقياس 2cm×6cm من المناديل الورقية الناعمة.
4. ضع الثرمومتر على منشفة مطوية على سطح طاولة مستوية بحيث يكون مستودع الثرمومتر على الحافة ويمتد الثرمومتر نفسه خارج الطاولة. تأكد أن الثرمومتر لن يسقط عن الطاولة.
5. لف قطعة من المناديل الورقية الناعمة حول مستودع الثرمومتر. ثبت القطعة بسلك الربط فوق مستودع الثرمومتر.
6. اطلب إلى شخص واحد ضبط ساعة الإيقاف وقراءة حرارة الثرمومتر، على أن يقوم شخص آخر بوضع كميات قليلة من الماء باستعمال الماصة ليتم اختبارها.
7. وعندما يصبح الشخصان جاهزين تضاف كمية كافية من الماء على القطعة الناعمة حتى تصبح مشبعة. وفي الوقت نفسه يقوم الشخص الآخر بتشغيل ساعة الإيقاف، وقراءة درجة الحرارة، وتسجيلها في جدول البيانات.
8. حرك الهواء حول قطعة المناديل الناعمة التي تغلف مستودع الثرمومتر مستعملًا قطعة من الكرتون المقوى. بعد مرور دقيقة واحدة اقرأ وسجل درجة الحرارة النهائية في جدول البيانات. تخلص من قطعة المناديل وجفف مستودع الثرمومتر.
9. أعد الخطوات من 5 وحتى 8 لكل من الكحولات الثلاثة: الميثانول، والإيثانول، و2- بروبانول.
10. احصل على درجة حرارة الغرفة والرطوبة من معلمك.
11. **التنظيف والتخلص من النفايات** ضع المناديل الورقية المستعملة في سلة المهملات، كما يمكن إعادة غسل واستعمال الماصات مرة أخرى.

التحليل والاستنتاج

1. **الملاحظة والاستنتاج** ماذا يمكنك أن تستنتج حول العلاقة بين انتقال الحرارة والتغيرات في درجات الحرارة التي قمت بملاحظتها؟
2. **التقويم** المحتوى الحراري المولي للتبخر (kJ /mol) لأنواع الكحولات الثلاثة عند درجة حرارة 25 °C هي كالآتي: ميثانول 37.4، إيثانول 42.3، 2- بروبانول 45.4، ما الذي يمكن أن تستنتجه حول قوى الترابط الموجودة في الكحولات الثلاثة؟
3. **قارن** اعمل مقارنة عامة بين الحجم الجزيئي للكحول من حيث عدد ذرات الكربون في السلسلة وسرعة تبخره.
4. **الملاحظة والاستنتاج** استنتج لماذا توجد اختلافات بين البيانات التي حصلت عليها وبيانات الطلبة الآخرين.
5. **تحليل الخطأ** حدد مصادر الأخطاء التي قد تظهر في الإجراءات التي قمت بها.

الاستقصاء

تصميم تجربة اقترح طريقة لجعل هذه التجربة أكثر دقة وضبطًا من الناحية الكمية. صمّم تجربة مستعملًا طريقتك الجديدة.

الفصل 5

دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة يؤدي استبدال ذرات الهيدروجين في المركبات الهيدروكربونية بمجموعات وظيفية مختلفة إلى تكوين مركبات عضوية متنوعة.

5-1 هاليدات الألكيل وهاليدات الأريل

الفكرة الرئيسة يمكن أن تحل ذرة الهالوجين محل ذرة الهيدروجين في بعض المركبات الهيدروكربونية.

المفردات

- المجموعة الوظيفية
- هاليدات الألكيل
- هاليدات الأريل
- البلاستيك
- تفاعلات الاستبدال
- الهلجنة

المفاهيم الرئيسة

- يؤدي استبدال ذرة هيدروجين في الهيدروكربونات بالمجموعات الوظيفية إلى تكوين مجموعة واسعة من المركبات العضوية.
- هاليد الألكيل هو مركب عضوي يحتوي على واحد أو أكثر من ذرات الهالوجين المرتبطة بذرة كربون في مركب أليفاتي.

5-2 الكحولات والإيثرات والأمينات

الفكرة الرئيسة الأكسجين والنيتروجين من أكثر الذرات شيوعًا في المجموعات الوظيفية العضوية.

المفردات

- مجموعة الهيدروكسيل
- الكحولات
- الإيثرات
- الأمينات

المفاهيم الرئيسة

- تتكون الكحولات، والإيثرات، والأمينات عندما تستبدل ذرة هيدروجين في المركبات الهيدروكربونية بمجموعة وظيفية معينة.
- لأن الكحولات تكون روابط هيدروجينية بسهولة تكون درجة غليانها كبيرة وتذوب بسهولة في الماء مقارنة بالمركبات الأخرى.

5-3 مركبات الكربونيل

الفكرة الرئيسة تحتوي مركبات الكربونيل على ذرة أكسجين ترتبط برابطة ثنائية مع الكربون في المجموعة الوظيفية.

المفردات

- مجموعة الكربونيل
- الإسترات
- الألدهيدات
- الأميدات
- الكيتونات
- الأحماض الكربوكسيلية
- مجموعة الكربوكسيل

المفاهيم الرئيسة

- مركبات الكربونيل مركبات عضوية تحتوي على مجموعة C=O.
- تحتوي خمسة أنواع مهمة من المركبات العضوية على مركبات الكربونيل هي: الألدهيدات، والكيتونات، والأحماض الكربوكسيلية، والإسترات، والأميدات.

الفصل 5

دليل مراجعة الفصل

5-4 تفاعلات أخرى للمركبات العضوية

الفكرة الرئيسة تصنيف التفاعلات الكيميائية للمركبات العضوية يجعل توقع نواتج هذه التفاعلات أسهل.

المفردات

- تفاعلات الحذف
- تفاعلات حذف الهيدروجين
- تفاعلات حذف الماء
- تفاعلات الإضافة
- تفاعلات إضافة الماء
- تفاعلات الهدرجة
- تفاعلات التكثف

المفاهيم الرئيسة

- يمكن تصنيف معظم تفاعلات المركبات العضوية ضمن أحد خمسة أنواع، هي: الاستبدال، والحذف، والإضافة، والأكسدة والاختزال، والتكثف.
- تمكّن معرفة المركبات العضوية المتفاعلة من توقع نواتج التفاعل.

5-5 البوليمرات

الفكرة الرئيسة البوليمرات الصناعية مركبات عضوية كبيرة تتكون من تكرار وحدات مرتبطة معًا عن طريق تفاعلات الإضافة أو التكثف.

المفردات

- البوليمرات
- المونومرات
- تفاعلات البلمرة
- البلمرة بالإضافة
- البلمرة بالتكثف

المفاهيم الرئيسة

- البوليمرات مركبات ضخمة تتكون من ارتباط جزيئات صغيرة تسمى المونومرات.
- تحضر البوليمرات من خلال تفاعلات الإضافة أو التكثف.
- يمكن استعمال المجموعات الوظيفية في البوليمرات لتوقع خواص البوليمر.

5-1

إتقان المفاهيم

25. ما المجموعة الوظيفية؟

26. صف وقارن الصيغ البنائية لهاليدات الألكيل وهاليدات الأريل.

27. ما المواد المتفاعلة التي ستستعملها لتحويل الميثان إلى بروموميثان؟

28. سمّ الأمينات التي تمثلها الصيغ الآتية:

a. $CH_3(CH_2)_3CH_2NH_2$

b. $CH_3(CH_2)_5CH_2NH_2$

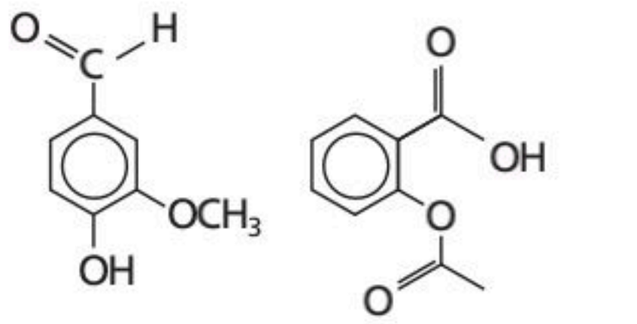
c. $CH_3(CH_2)_2CH(NH_2)CH_3$

d. $CH_3(CH_2)_8CH_2NH_2$

29. فسر لماذا تزداد درجات غليان هاليدات الألكيل بالتدريج عند الاتجاه إلى أسفل في مجموعة الهالوجينات في الجدول الدوري؟

إتقان حل المسائل

30. ضع دائرة حول المجموعات الوظيفية في الصيغ البنائية المبينة في **الشكل 23-5**، ثم اذكر اسم كل منها.



a. حمض الأسيتيل ساليسيليك **b.** الفانيلين

الشكل 23-5

31. ارسم الصيغة البنائية لهاليدات الألكيل أو الأريل الآتية:

a. كلوروبنزين

b. 1- برومو- 4 – كلوروهكسان

c. 2،1 - ثنائي فلورو- 3 – أيودو هكسان حلقي

d. 3،1 – ثنائي بروموبنزين

e. 2،2،1،1- رباعي فلورو إيثان

32. ارسم الصيغة البنائية للمركب: 1- برومو -2- كلوروبروبان.

33. ارسم المتشكلات البنائية المحتملة جميعها لهاليد الألكيل ذي الصيغة الجزيئية $C_5H_{10}Br_2$، ثم سمّ كلًّا منها.

34. سمِّ متشكلًا بنائيًّا واحدًا محتملًا عند تغيير موقع واحدة أو أكثر من ذرات الهالوجين لكل من هاليدات الألكيل الآتية:

a. 2- كلورو بنتان

b. 1،1- ثنائي فلورو بروبان

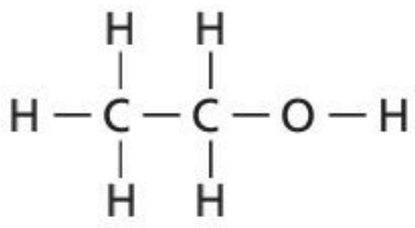
c. 3،1- ثنائي بروموبنتان حلقي

d. 1- برومو-2- كلوروإيثان

5-2

إتقان المفاهيم

35. ما اسم المركب المبين في **الشكل 24-5**؟ كيف يمكن تغيير الخواص الطبيعية له؟



الشكل 24-5

تقويم الفصل 5

36. تطبيقات عملية سـمّ كحولًا، أو أمينًـا، أو إيثرًا واحدًا، يستعمل لكل غرض من الأغراض الآتية:

a. مادة مطهرة
b. مذيب للطلاء
c. مانع للتجمد
d. مخدر
e. إنتاج الأصباغ

37. فسّر لماذا تكون ذوبانية جزيء الكحول في الماء أكثر من ذوبانية جزيء الإيثر رغم أن الكتلتين الموليتين لهما متساويتان؟

38. فسّر لماذا تكون درجة غليان الإيثانول أعلى كثيرًا من الأمينو إيثان رغم أن الكتلتين الموليتين لهما متساويتان تقريبًا؟

إتقان حل المسائل

39. سـمّ إيثرًا واحدًا له الصيغة البنائية لكل من الكحولين الآتيين:

a. 1- بيوتانول
b. 2- هكسانول

40. ارسم الصيغة البنائية لكل من الكحولات، والأمينات، والإيثرات الآتية:

a. 2،1 – بيوتادايول
b. 2- أمينوهكسان
c. ثنائي أيزوبروبيل إيثر
d. 2- ميثيل -1 – بيوتانول
e. بيوتيل بنتيل إيثر
f. بيوتيل حلقي ميثيل إيثر
g. 3،1- ثنائي أمينو بيوتان
h. بنتانول حلقي

5-3

إتقان المفاهيم

41. ارسم الصيغة العامة لكل نوع من أنـواع المركبات العضوية الآتية:

a. ألدهيد
b. إستر
c. كيتون
d. أميد
e. حمض كربوكسيلي

42. استعمالات شائعة سم الألدهيد، أو الكيتون، أو الحمض الكربوكسيلي، أو الإستر، أو الأميد المستعمل لكلٍّ من الأغراض الآتية:

a. حفظ العينات البيولوجية
b. مذيب لتلميع الأظافر
c. حمض في الخل
d. نكهة في الأطعمة والمشروبات

43. ما نوع التفاعل المستعمل لإنتاج الأسبرين من حمض السلسيليك وحمض الأسيتيك؟

إتقان حل المسائل

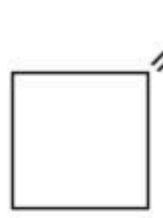
44. ارسم الصيغ البنائية لمركبات الكربونيل الآتية:

a. 2،2- ثنائي كلورو- 3 – بنتانون
b. 4- ميثيل بنتانال
c. هكسانوات الأيزوبروبيل
d. أوكتانوأميد
e. 3- فلورو- 2 – ميثيل حمض البيوتانويك
f. بنتانال حلقي
g. ميثانوات الهكسيل

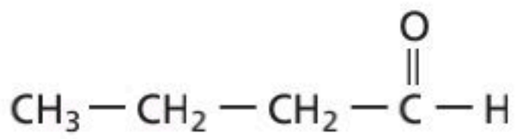
5 تقويم الفصل

45. سمّ مركبات الكربونيل الآتية:

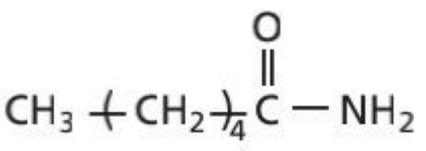
a.



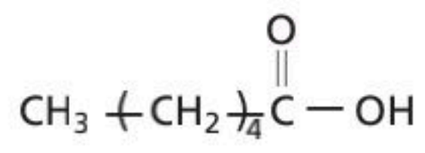
b.



c.



d.



5-4

إتقان المفاهيم

46. **تحضير المركبات العضوية** ما المواد الأولية اللازمة لتحضير معظم المركبات العضوية الصناعية؟

47. فسّر أهمية تصنيف التفاعلات الكيميائية؟

48. اكتب اسم التفاعل العضوي اللازم لإجراء التغييرات الآتية:

a. ألكين ⟵ ألكان

b. هاليد الألكيل ⟵ كحول

c. هاليد الألكيل ⟵ ألكين

d. أمين+ حمض كربوكسيلي ⟵ أميد

e. كحول ⟵ هاليد الألكيل

f. ألكين ⟵ كحول

إتقان حل المسائل

49. صنف كلًّا من التفاعلات العضوية الآتية إلى: استبدال، أو إضافة، أو أكسدة واختزال، أو حذف، أو تكثف.

a. 2- بيوتين+ هيدروجين ⟵ بيوتان

b. بروبان+ فلور ⟵ 2- فلوروبروبان+ فلوريد الهيدروجين.

c. 2- بروبانول ⟵ بروبين + ماء

d. بيوتين حلقي + ماء ⟵ بيوتانول حلقي

50. استعمل الصيغ البنائية لكتابة معادلات التفاعلات الآتية:

a. تفاعل الاستبدال بين 2- كلوروبروبان والماء لتكوين 2- بروبانول وكلوريد الهيدروجين.

b. تفاعل الإضافة بين 3- هكسين والكلور لتكوين 4،3 – ثنائي كلوروهكسان.

51. ما نوع التفاعل الذي يعمل على تحويل الكحول إلى كل نوع من المركبات الآتية:

a. إستر

b. ألكين

c. هاليد الألكيل

d. ألدهيد

52. استعمل الصيغ البنائية لكتابة معادلة تفاعل التكثف بين الإيثانول وحمض البروبانويك.

5-5

إتقان المفاهيم

53. اشرح الفرق بين عمليتي البلمرة بالإضافة والبلمرة بالتكثف.

تقويم الفصل 5

إتقان حل المسائل

54. تصنيع البوليمر ما المونومرات التي يلزم أن تتفاعل لإنتاج كل من البوليمرات الآتية؟

a. بولي إيثيلين

b. بولي ايثيلين تيرافثاليت

c. بولي رباعي فلوروإيثيلين

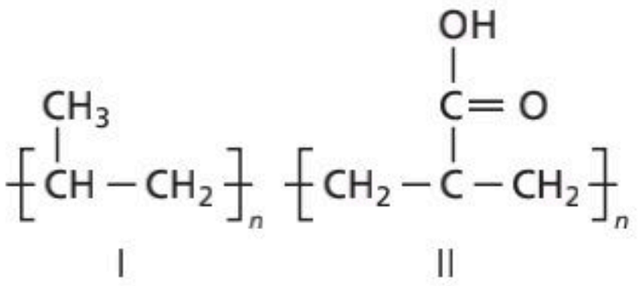
55. سم البوليمرات الناتجة عن المونومرات الآتية:

a. CH_3Cl

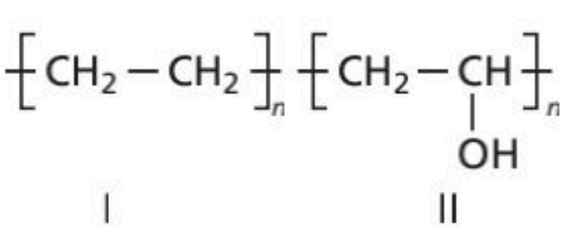
b. $CH_2{=}CCl_2$

56. اختر البوليمر في كل من الأزواج الآتية، الذي تتوقع أن تكون ذوبانيته أكبر في الماء.

a.



b.



57. ادرس الصيغ البنائية للبوليمرات الواردة في **الجدول 14-5**، ثم قرر هل تنتج هذه البوليمرات عن عملية بلمرة الإضافة أو بلمرة التكثف.

a. النايلون

b. بولي أكريلونيتريل

c. بولي يورإيثان

d. بولي بروبلين

58. الهرمونات البشرية أي الهالوجينات يوجد في الهرمونات التي تنتجها الغدة الدرقية الطبيعية في الإنسان؟

مراجعة عامة

59. صف خواص الأحماض الكربوكسيلية.

60. ارسم الصيغ البنائية للمركبات الآتية:

a. 2- بيوتانون

b. بروبانال

c. حمض الهكسانويك

d. أميد هبتان

61. سم نوع المركب العضوي الناتج عن التفاعلات الآتية:

a. الحذف في الكحول

b. إضافة كلوريد الهيدروجين إلى الألكين

c. إضافة الماء إلى الألكين

d. استبدال مجموعة الهيدروكسيل مكان ذرة الهالوجين.

62. اكتب استعمالين لكلٍّ من البوليمرات الآتية:

a. بولي بروبيلين

b. بولي يور إيثان

c. بولي رباعي فلوروإيثيلين

d. بولي فينيل كلوريد

63. ارسم الصيغة البنائية للمركبات العضوية الناتجة عن تفاعل الإيثين مع كل من المواد الآتية، واكتب أسماءها.

a. الماء

b. هيدروجين

c. كلوريد الهيدروجين

d. الفلور

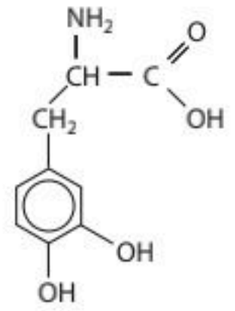
التفكير الناقد

64. التقويم ذوبانية حمض الإيثانويك (حمض الأسيتيك) عالية في الماء، وأحيانا الأحماض الكربوكسيلية التي تكون في الحالة الطبيعية على شكل سلسلة طويلة، مثل حمض البالمتيك ($CH_3(CH_2)_{14}COOH$) غير ذائبة في الماء. فسّر ذلك.

5 تقويم الفصل

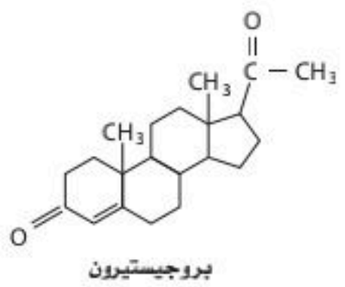
65. تفسير الرسوم العلمية اعمل قائمة بجميع المجموعات الوظيفية الظاهرة في المركبات العضوية الآتية:

a.



ليفادوبا

b.

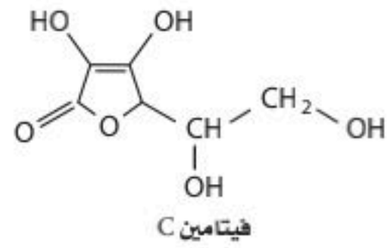


بروجيستيرون

66. التواصل اكتب الصيغة البنائية لكل المتشكلات البنائية ذات الصيغ الجزيئية الآتية، ثم اذكر اسم كل متشكل.

a. C_3H_8O **b.** $C_2H_4Cl_2$

67. تفسير الرسوم العلمية تحتاج الخلايا الحية في الإنسان إلى فيتامين C لتصنيع المواد التي تكون النسيج الضام مثل تلك الموجودة في الأربطة. اكتب أسماء المجموعات الوظيفية الموجودة في جزيء فيتامين C المبين في **الشكل 25-5**.



فيتامين C

الشكل 25-5

68. حدد ارسم الصيغة البنائية لمركب عضوي مكون من أربع ذرات كربون وينتمي إلى كل نوع من أنواع المركبات الآتية:

a. الإسترات **b.** الألدهيدات
c. الإيثرات **d.** الكحولات

69. التوقع يصف تفاعل الهلجنة الأحادي تفاعل استبدال ذرة هيدروجين واحدة بذرة هالوجين. بينما يصف تفاعل الهلجنة الثنائي تفاعل استبدال ذرتي هيدروجين بذرتي هالوجين.

a. ارسم جميع الصيغ البنائية الممكنة للمواد الناتجة عن تفاعل الهلجنة الأحادي الذي يتضمن تفاعل البنتان مع Cl_2.

b. ارسم الصيغ البنائية الممكنة جميعها للمواد الناتجة عن تفاعل الهلجنة الثنائي الذي يتضمن تفاعل البنتان مع Cl_2.

الجدول 15-5 ذوبانية الكحول في الماء
$(mol/100g\ H_2O)$

اسم الكحول	صيغة الكحول	الذوبانية
ميثانول	CH_3OH	غير محدد
إيثانول	C_2H_5OH	غير محدد
بروبانول	C_3H_7OH	غير محدد
بيوتانول	C_4H_9OH	0.11
بنتانول	$C_5H_{11}OH$	0.030
هكسانول	$C_6H_{13}OH$	0.058
هبتانول	$C_7H_{15}OH$	0.0008

70. تقويم ادرس **الجدول 15-5** من حيث ذوبانية بعض أنواع الكحولات في الماء. استعمل هذا الجدول للإجابة عن الأسئلة الآتية:

a. ما نوع الرابطة المتكونة بين مجموعة OH– في الكحول والماء؟

b. مستعملًا البيانات في الجدول، جد العلاقة بين ذوبانية الكحول في الماء وحجم الكحول.

c. قدّم تفسيرًا للعلاقة التي توصلت إليها في الجزء b.

مراجعة تراكمية

71. ما الخطوة المحددة للتفاعل؟

72. اعتمادًا على مبدأ لوتشاتلييه، كيف تؤثر زيادة حجم وعاء التفاعل على الاتزان الآتي؟

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

73. قارن بين الهيدروكربونات المشبعة وغير المشبعة.

تقويم الفصل 5

تقويم إضافي

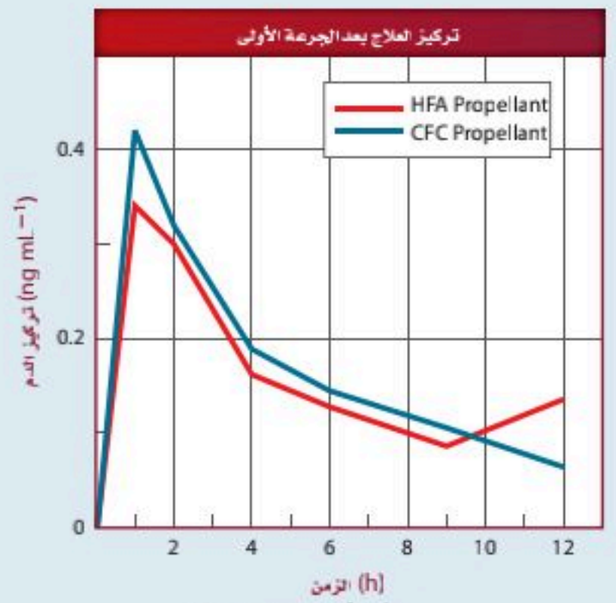
الكتابة في الكيمياء

74. نظرة تاريخيــة اكتب قصة قصيرة حــول حياتك لو كنت تعيش في القــرن الثامن عــشر قبل تطويــر البوليمرات الصناعية.

أسئلة المستندات

مواد الصيدلية تحتوي العديد من الأدوية المستعملة لعلاج الربو على مركبات الكلوروفلوروكربون. ومع ذلك نادى بروتوكول مونتريال بفرض حظر على استعمال هذه المركبات عام 2008م واستعمال مركبات الهيدرو فلوروألكان بدلاً منها. وقد وجد أن اثنين من مركبات الهيدرو فلوروألكان (HFAs) غير فعّالة في توصيل أدوية الربو إلى الرئتين، كما يلزم خفض جرعة الدواء إلى النصف عند استعمال الهيدرو فلوروألكان.

يبين **الشكل 26-5** تركيز العلاج بعد استعمال بخة واحدة من مركب بيكلوميثازون باستعمال بخاخات CFC وأخرى باستعمال بخاخات HFA.



الشكل 26-5

75. بعد اســتعمال جرعة واحــدة من عــلاج بيكلوميثازون beclomethasone، أي البخاخــات أدت إلى تركيــز أعلى للعلاج في الدم: HFA أو CFC؟

76. متى يصل تركيز العلاج إلى الذروة؟

77. نحتاج إلى نصف الكمية من العلاج عند استعمال مركبات HFA بالمقارنة بمركبات CFC للحصول على التركيز نفسه في الدم. استنتج مزايا استعمال جرعة أقل من الدواء للحصول على نتائج مماثلة.

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

1. ما النواتج المتوقعة لهذا التفاعل؟

$$CH_3CH_2CH_2Br + NH_3 \rightarrow ?$$

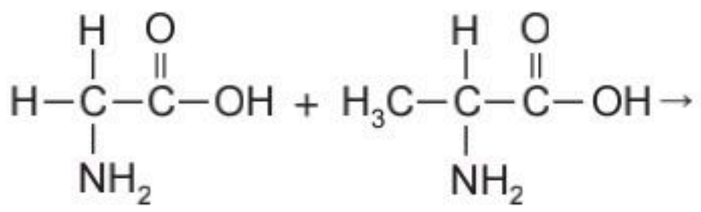
a. $CH_3CH_2CH_2NH_2Br + H_2$

b. $CH_3CH_2CH_2NH_3 + Br_2$

c. $CH_3CH_2CH_2NH_2 + HBr$

d. $CH_3CH_2CH_3 + NH_2Br$

2. ما نوع التفاعل الآتي؟



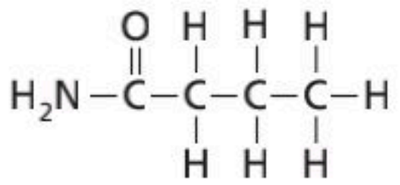
a. استبدال

b. تكثف

c. إضافة

d. حذف

3. ما نوع المركب الذي يمثله الجزيء الآتي؟



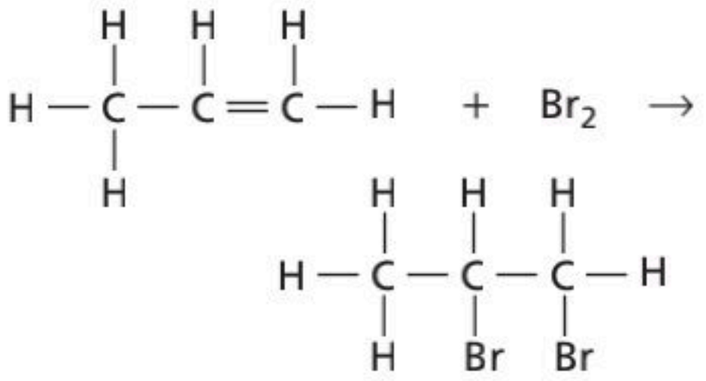
a. أمين

b. أميد

c. إستر

d. إيثر

4. ما نوع التفاعل المبين أدناه؟



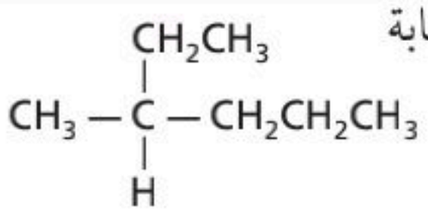
a. تكثف

b. حذف الماء

c. بلمرة

d. هلجنة

استعمل الشكل المجاور للإجابة عن السؤال رقم 5 .



5. أي مما يأتي يعد الاسم الصحيح للمركب؟

a. 3- ميثيل هكسان

b. 2- ميثيل بنتان

c. 2- بروبيل بيوتان

d. 1- ميثيل، 1- ميثيل بيوتان

6. أي المشتقات الهيدروكربونية له الصيغة العامة R–OH؟

a. الكحول

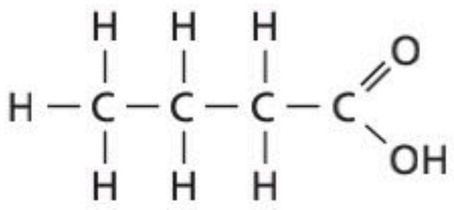
b. الأمين

c. الكيتون

d. الحمض الكربوكسيلي

أسئلة الإجابات القصيرة

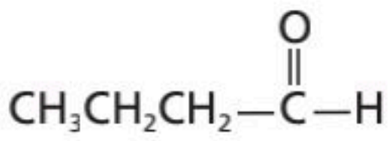
استعمل الشكل المجاور للإجابة عن السؤالين 7 و 8.



7. ما المجموعة الوظيفية الظاهرة في هذا المركب؟

8. ما اسم هذا المركب؟

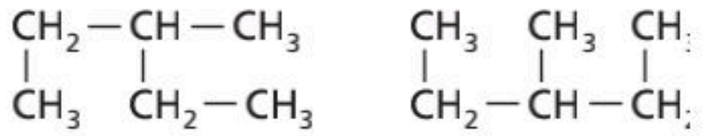
9. ما نوع المجموعة الوظيفية في المركب الآتي؟



10. ما الصيغة البنائية المختصرة للهبتان؟

أسئلة الإجابات المفتوحة

استعمل الشكل أدناه للإجابة عن السؤال رقم 11.



11. كل من الصيغتين البنائيتين أعلاه لهما الصيغة الجزيئية C_6H_{14} نفسها. هل يمكن اعتبار كل منهما متشكلًا للآخر؟ فسّر إجابتك.

الفصل 6 المركبات العضوية الحيوية (كيمياء الحياة)
The Bioorganic Compounds



الفكرة العامة تقوم المركبات العضوية الحيوية (البروتينات والكربوهيدرات والليبيدات -الدهون- والأحماض النووية) بالأنشطة الضرورية للخلايا الحية.

6-1 البروتينات

الفكرة الرئيسة تؤدي البروتينات وظائف أساسية تشمل تنظيم التفاعلات الكيميائية الحيوية، والدعم البنائي، ونقل المواد، وتقلصات العضلات.

6-2 الكربوهيدرات

الفكرة الرئيسة تزود الكربوهيدرات المخلوقات الحية بالطاقة والمواد البنائية.

6-3 الليبيدات

الفكرة الرئيسة تكوّن الليبيدات الأغشية الخلوية، وتختزن الطاقة، وتنظم العمليات الخلوية.

6-4 الأحماض النووية

الفكرة الرئيسة تخزن الأحماض النووية المعلومات الوراثية وتنقلها.

حقائق كيميائية

- يعطي جرام واحد من الدهون أكثر من ضعف الطاقة التي تعطيها الكمية نفسها من الكربوهيدرات والبروتينات.
- الليبيدات الفوسفورية هي ليبيدات خاصة تكوّن الأغشية الخلوية للخلايا الحية.
- يتكوّن الكروموسوم البشري الواحد من جزيء DNA الذي يبلغ طوله 5 cm تقريبًا إذا قمنا بشدّه.

تجربة استهلالية

كيف تختبر وجود السكريات البسيطة؟

تزود العديد من مصادر الغذاء المختلفة الجسم بالطاقة التي يستعملها باستمرار. وتُختزن هذه الطاقة في روابط جزيئات تسمى السكريات.

خطوات العمل

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.
2. املأ **كأسًا سعتها 400 mL** بالماء إلى ثلثها، وضعها على سخان كهربائي، وسخنه حتى يغلي الماء.
3. استخدم **مخبارًا مدرجًا** لقياس 5 mL من **محلول جلوكوز تركيزه 10%**، واسكبه في أنبوب اختبار.
4. **أضف** 3.0 mL من محلول بندكت إلى أنبوب الاختبار، واخلط المحلولين مستخدمًا **ساق التحريك**. وأضف حجر الغليان إلى أنبوب الاختبار، وهي قطعة صخرية صغيرة توضع لمنع فوران السائل في أثناء الغليان.

تحذير: محلول بندكت مهيج للعيون والجلد.

5. ضع أنبوب الاختبار في حمام الماء المغلي باستعمال **الملقط**، مدة 5 دقائق.
6. يدل تغير اللون إلى الأصفر أو البرتقالي على وجود سكر بسيط. سجل مشاهداتك.
7. كرّر الخطوات السابقة مستعملًا **محلول النشا 10%** ومعلق **الجيلاتين 10%**، وبضع قطرات من **معلق العسل في الماء**.

تحليل النتائج

1. **صف** تغيرات الألوان التي شاهدتها.
2. **صنّف** أي الأغذية تحتوي على سكر بسيط؟

استقصاء فكر في وجبة العشاء التي تناولتها أمس. ما الأغذية التي احتوت على سكريات بسيطة؟ وكيف يمكن اختبار هذه الأغذية للكشف عن ذلك؟

المطويات
منظمات الأفكار

المركبات العضوية الحيوية:
اعمل المطوية الآتية لمساعدتك على تنظيم المعلومات المتعلقة بالمركبات العضوية الحيوية.



الخطوة 1 اطو ورقة من أوراق دفتر الملاحظات طوليًا، تاركًا حاشية على الجانب الأيسر.



الخطوة 2 قصّ الجزء العلوي إلى أربع أشرطة.



الخطوة 3 اكتب العنوان الآتي على الحاشية. "المركبات العضوية الحيوية". واكتب على كلٍ من الأشرطة الأربعة أحد المصطلحات الآتية: البروتينات، الكربوهيدرات، الليبيدات، الأحماض النووية.

المطويات **استخدم هذه المطوية مع الأقسام 1–6، و2–6، و3–6، و4–6** لخص في أثناء قراءتك هذه الأقسام التركيب العام ووظيفة المركبات العضوية الحيوية، وأعط أمثلة على كل منها.

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

6–1

الأهداف

- **تصف** تركيب الأحماض الأمينية والبروتينات.
- **تشرح** وظيفة البروتينات في الخلايا.

مراجعة المفردات

البوليمرات مركبات كبيرة تتكون من وحدات متكررة عديدة تسمى المونومرات.

المفردات الجديدة

البروتينات

الأحماض الأمينية

الرابطة الببتيدية

الببتيد

تغير الخواص الطبيعية

الإنزيم

المادة الخاضعة لفعل الإنزيم

الموقع النشط

البروتينات Proteins

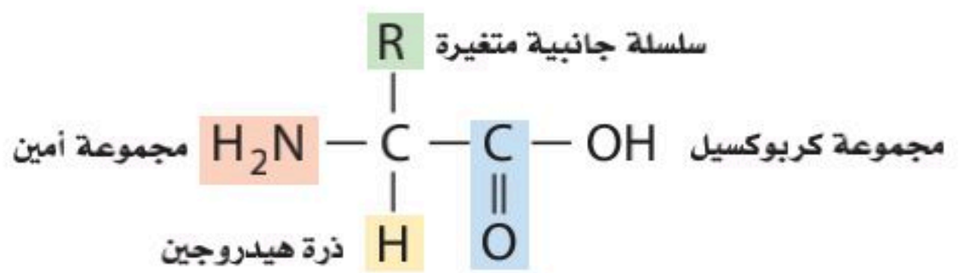
الفكرة الرئيسة **تؤدِّي البروتينات وظائف أساسية تشمل تنظيم التفاعلات الكيميائية الحيوية، والدعم البنائي، ونقل المواد، وتقلصات العضلات.**

الربط مع الحياة تحتوي بعض منتجات التنظيف -ومنها محلول تنظيف العدسات اللاصقة- على الإنزيمات. هل تساءلت يومًا ما الإنزيم؟

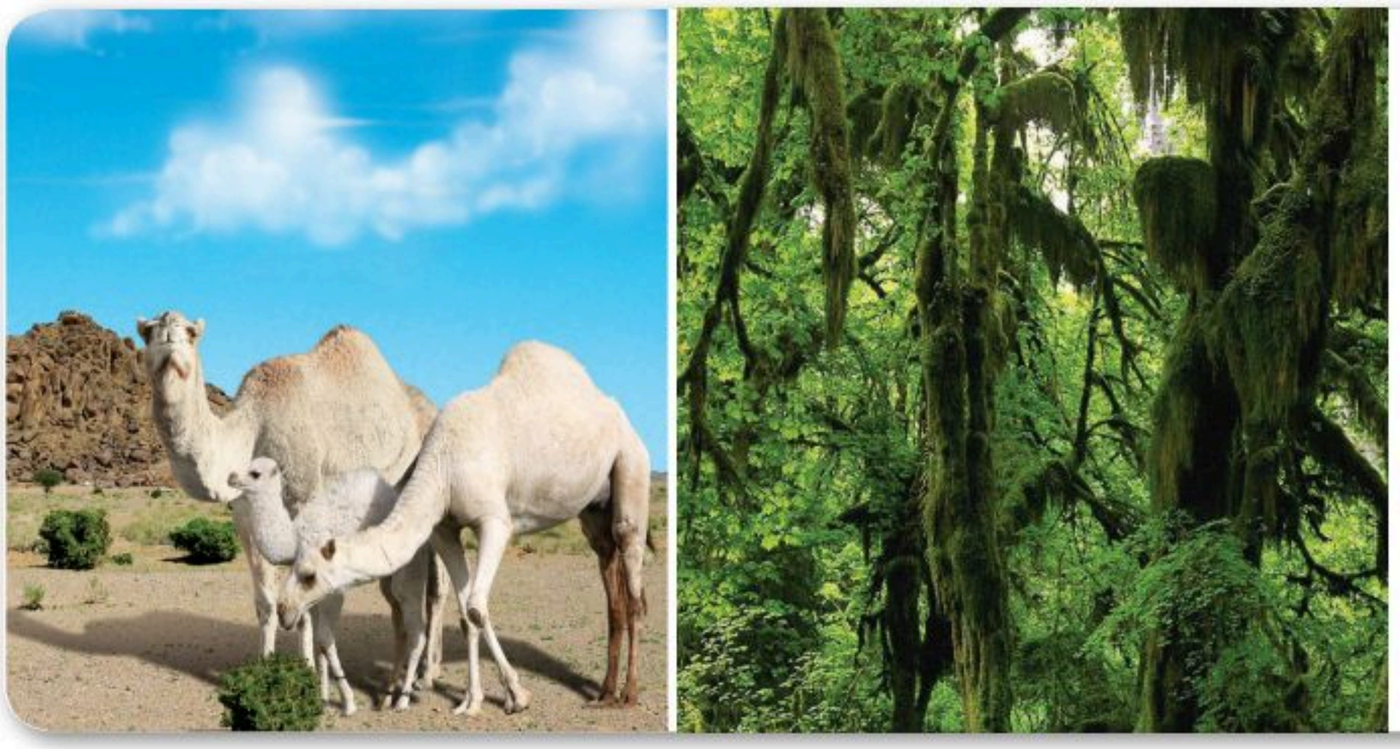
تركيب البروتين Protein Structure

تعد الإنزيمات نوعًا من البروتينات. والبروتينات بوليمرات عضوية تتكون من أحماض أمينية مرتبطة معًا بترتيب معين. والبروتينات ليست مجرد سلاسل كبيرة من الأحماض الأمينية المرتبة عشوائيًا. ويجب أن يكون البروتين مطويًّا في تركيب معين ثلاثي الأبعاد حتى يعمل بشكل صحيح. وجميع المخلوقات الحية؛ ومنها الإبل والنباتات المبينة في **الشكل 1-6**، تتكون من البروتينات.

الأحماض الأمينية توجد مجموعات وظيفية كثيرة ومختلفة من الأحماض الأمينية في المركبات العضوية. والأحماض الأمينية، كما يدل اسمها، جزيئات عضوية توجد فيها مجموعة الأمين ومجموعة الكربوكسيل الحمضية. والشكل الآتي يبين التركيب العام للحمض الأميني:

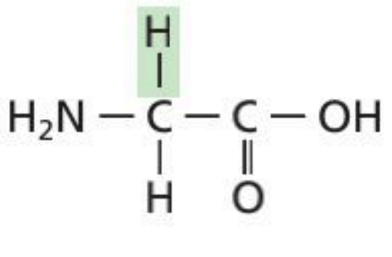
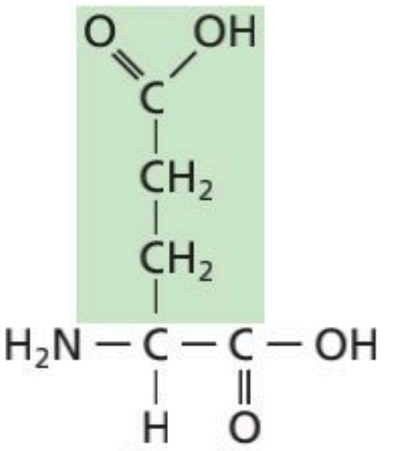


يوجد في كل حمض أميني ذرة كربون مركزية محاطة بأربع مجموعات: مجموعة الأمين ($-NH_2$)، ومجموعة الكربوكسيل ($-COOH$)، وذرة هيدروجين، وسلسلة جانبية متغيرة R. وتتفاوت السلسلة الجانبية من ذرة هيدروجين واحدة إلى تركيب معقد ذي حلقتين.



الشكل 1-6 تحتوي جميع المخلوقات الحية على البروتينات؛ فشعر الإبل وعضلاته جميعها تتكون من بروتينات بنائية، كما هو الحال لجذور النباتات وأوراقها.

الجدول 1-6 أمثلة على الأحماض الأمينية

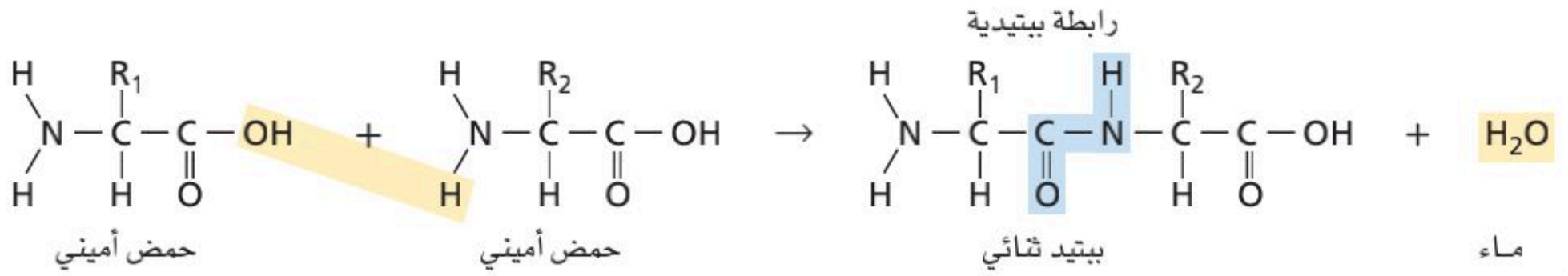
 الجلايسين	السيرين	السيستين	اللايسين
 حمض الجلوتامك	الجلوتامين	الفالين	فينيل الألنين

ادرس السلاسل الجانبية المختلفة للأحماض الأمينية المبينة في **الجدول 1–6**، وحدّد الألكانات غير القطبية، ومجموعات الهيدروكسيل القطبية، والمجموعات الحمضية والقاعدية مثل مجموعات الكربوكسيل والأمين، والحلقات الأروماتية، والمجموعات التي تحتوي على الكبريت. يزود هذا التنوع الواسع للسلاسل الجانبية الأحماض الأمينية المختلفة بتنوع كبير من الخواص الكيميائية والفيزيائية، ويساعد البروتينات على أداء وظائف عديدة ومختلفة.

الرابطة الببتيدية توفر مجموعات الأمين والكربوكسيل مواضع ربط مناسبة لربط الأحماض الأمينية معًا. ولأن الحمض الأميني هو في الوقت نفسه أمين وحمض كربوكسيلي، لذا يستطيع حمضان أمينيان أن يتحدا لتكوين أميد، وينطلق ماء في هذه العملية. هذا التفاعل هو تفاعل تكثف. وكما يبين **الشكل 2–6**، فإن مجموعة الكربوكسيل لأحد الحمضين الأمينيين تتحد مع مجموعة الأمين في الحمض الثاني لتكوين مجموعة الأميد الوظيفية.

ماذا قرأت؟ اشرح كيف تتكون مجموعة الأميد الوظيفية.

الشكل 2–6 ترتبط مجموعة الأمين لأحد الحمضين الأمينيين بمجموعة الكربوكسيل لحمض أميني آخر لتكوين ببتيد ثنائي وماء. والمجموعة العضوية الوظيفية التي تتكون تسمى رابطة ببتيدية.



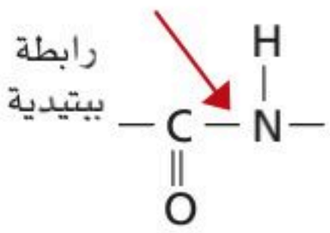
يطلق المختصون في الكيمياء الحيوية على رابطة الأميد المبينة في **الشكل 3–6**، والتي تجمع حمضين أمينيين اسم **الرابطة الببتيدية**. كما يطلق على السلسلة المكونة من حمضين أمينيين أو أكثر مرتبطة معًا بروابط ببتيدية **الببتيد**. أما الجزيء المكون من حمضين أمينيين مرتبطين معًا برابطة ببتيدية فيسمى ثنائي الببتيد. ويبين **الشكل 4a–6** تركيب ثنائي ببتيد مكونًا من الحمضين الأمينيين الجلايسين (Gly) وفينيل الألنين (Phe). في حين يبين **الشكل 4b–6** ثنائي ببتيد آخر مختلفًا مكوَّنًا أيضًا من الجلايسين وفينيل الألنين. فهل Gly- Phe هو المركب Phe-Gly نفسه؟ لا، إنهما مختلفان. تفحّص هذين المركبين ثنائي الببتيد لترى أن الترتيب الذي يرتبط فيه ثنائي الببتيد مهم، فما زال كل طرف من وحدة الحمضين الأمينيين في ثنائي الببتيد لديه مجموعة حرة: أحد الطرفين لديه مجموعة كربوكسيل حرة، والطرف الآخر لديه مجموعة أمين حرة. وتستطيع كل من هاتين المجموعتين الارتباط مع الطرف المقابل من حمض أميني آخر، مكونة المزيد من الروابط الببتيدية. وتقوم الخلايا الحية دائمًا ببناء الببتيدات بإضافة أحماض أمينية إلى الطرف الكربوكسيلي من الطرف النامي.

ماذا قرأت؟ **اشرح** الفرق بين الببتيد وثنائي الببتيد.

عديد الببتيد كلما زاد طول السلاسل الببتيدية أصبح من الضروري إعطاؤها أسماء أخرى. فالسلسلة المكونة من عشرة أحماض أمينية أو أكثر متصلة معًا بروابط ببتيدية تسمى عديد الببتيد. ويتضمن **الشكل 5–6** مثالاً على عديد الببتيد. وعندما يصل طول السلسلة نحو 50 حمضًا أمينيًّا يطلق عليها اسم بروتين.

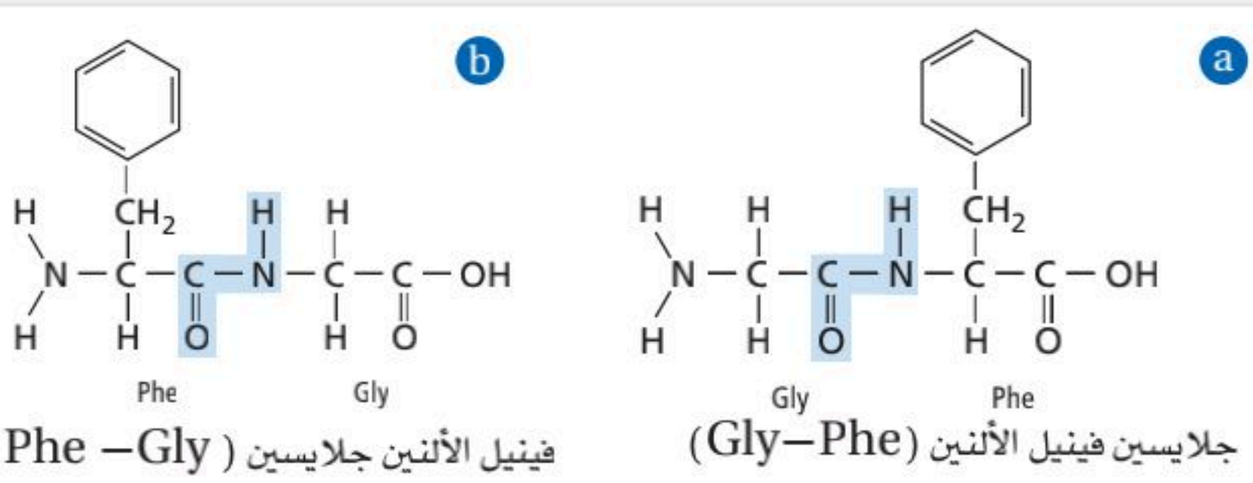
ولأن هناك 20 حمضًا أمينيًّا فقط تستطيع تكوين البروتينات، لذا فقد يبدو منطقيًّا وجود عدد محدود فقط من تراكيب البروتينات. ولكن البروتين يمكن أن يحتوي على 50 حمضًا أمينيًّا على الأقل، أو أكثر من 1000 حمض أميني مرتبة في أي تتابع ممكن. ولحساب عدد التتابعات الممكنة لهذه الأحماض الأمينية افترض أن كل موقع على السلسلة يمكن أن يكون فيه 20 حمضًا أمينيًّا محتملاً. الببتيد الذي يحتوي على n من الأحماض الأمينية فهناك 20^n من التتابعات المحتملة للأحماض الأمينية. وهكذا فإن ثنائي الببتيد الذي يتكون من حمضين أمينيين فقط يمكن أن يكون له 20^2، أو 400 تتابع محتمل للأحماض الأمينية. وحتى أصغر البروتينات، والذي يحتوي على 50 حمضًا أمينيًّا فقط لديه 20^{50} أو أكثر من 1×10^{65} احتمال من ترتيبات الأحماض الأمينية! ولأن خلايا الإنسان تصنع ما بين 80,000 و 100,000 بروتين مختلف، لذا يمكنك أن ترى أن هذا عبارة عن جزء صغير فقط من مجموع عدد البروتينات المحتملة.

ماذا قرأت؟ **احسب** عدد التتابعات المحتملة لسلسلة ببتيد تتكون من أربعة أحماض أمينية.



رابطة ببتيدية I

الشكل 3–6 تجمع الرابطة الببتيدية حمضين أمينيين لتكوين ثنائي الببتيد.

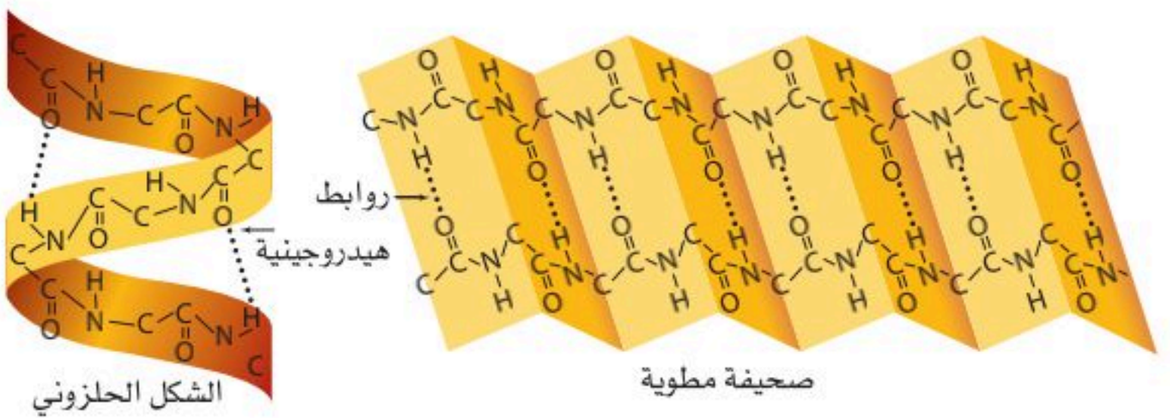


جلايسين فينيل الألنين (Gly–Phe)

فينيل الألنين جلايسين (Phe –Gly)

الشكل 4–6 يمكن أن يتحد الجلايسين (Gly) مع الفينيل الألنين (Phe) بطريقتين.

اشرح لماذا يعد هذان التركيبان مادتين مختلفتين؟



الشكل 5–6 يتضمن طي سلاسل الببتيد في صورة شكل حلزوني أو صحيفة مطوية تثبيتَ الأحماض الأمينية في مواقع معينة بواسطة الروابط الهيدروجينية. وهناك عدد من التفاعلات بين السلاسل لا تظهر هنا، ولكنها تؤدي دورًا مهمًّا في تحديد الشكل الثلاثي الأبعاد لعديد الببتيد.

تركيب البروتين الثلاثي الأبعاد تبدأ السلاسل الطويلة المكونة من الأحماض الأمينية بالطيّ مكونة أشكالاً ثلاثية الأبعاد قبل أن يكتمل تكوينها. ويتحدد الشكل الثلاثي الأبعاد عن طريق التفاعلات بين الأحماض الأمينية. فقد تتكون بعض أجزاء عديد الببتيد في صورة شكل حلزوني يشبه لفات سلك الهاتف. وقد تنثني بعض الأجزاء الأخرى إلى الأمام وإلى الخلف بصورة متكررة مكوّنة تركيبًا على هيئة صحيفة مطوية عدة طيات. وقد تنثني سلسلة عديد الببتيد إلى الخلف على نفسها وتغير اتجاهها. كما يمكن أن يحتوي بروتين معين على عدة لوالب، وصحائف، ولفّات، وقد لا يحتوي على أي منها. ويبين **الشكل 5–6** نمط الطي للولب نموذجي وصحيفة. والشكل الكلي الثلاثي الأبعاد للعديد من البروتينات شكل كروي غير منتظم. وهناك أنواع أخرى من البروتينات لها شكل ليفي طويل. وشكل البروتين مهم لعمله، فإذا تغير هذا الشكل فقد لا يستطيع أن يقوم بعمله داخل الخلية.

تغير الخواص الطبيعية ينتج عن التغيرات في درجة الحرارة وقوة الرابطة الأيونية والرقم الهيدروجيني pH والعوامل الأخرى انفكاك طيات البروتين ولوالبه، فيؤدي هذا إلى **تغيُّر الخواص الطبيعية** (Denaturation) الأصلية للبروتين، وهي العملية التي تشوه تركيب البروتين الطبيعي الثلاثي الأبعاد وتمزقه أو تتلفه. ويؤدي الطبخ عادة إلى تغير الخواص الطبيعية للبروتينات في الأغذية. فعند سلق بيضة تصبح صلبة لأن زلال البيضة الغني بالبروتين يتصلب نتيجة تغير الخواص الطبيعية للبروتين. ولما كانت البروتينات تعمل بصورة صحيحة فقط عندما تكون مطوية، لذا فإنها تصبح غير فعالة بصورة عامة إذا حدث لها تحويل في خواصها الطبيعية.

الوظائف المتعددة للبروتينات
The Multiple Functions of Proteins

تؤدي البروتينات أدوارًا كثيرة في الخلايا الحية؛ فهي تقوم بتسريع التفاعلات الكيميائية، ونقل المواد، وتنظيم العمليات الخلوية، والدعم البنائي للخلايا، والاتصالات داخل الخلايا وفيما بينها، وتسريع حركة الخلايا، وتعمل عمل المصدر للطاقة عند شحّ المصادر الأخرى.

تسريع التفاعلات يعمل العدد الأكبر من البروتينات في معظم المخلوقات الحية عمل الإنزيمات والعوامل المحفزة للتفاعلات الكثيرة التي تحدث في الخلايا الحية. يعد **الإنزيم** عاملًا محفزًا حيويًّا؛ حيث يعمل على تسريع التفاعل الكيميائي دون أن يُستهلك في هذا التفاعل. ويؤدي عادة إلى تخفيض طاقة تنشيط التفاعل عن طريق تثبيت الحالة الانتقالية.

تجربة عملية

تغيير طبيعة البروتين

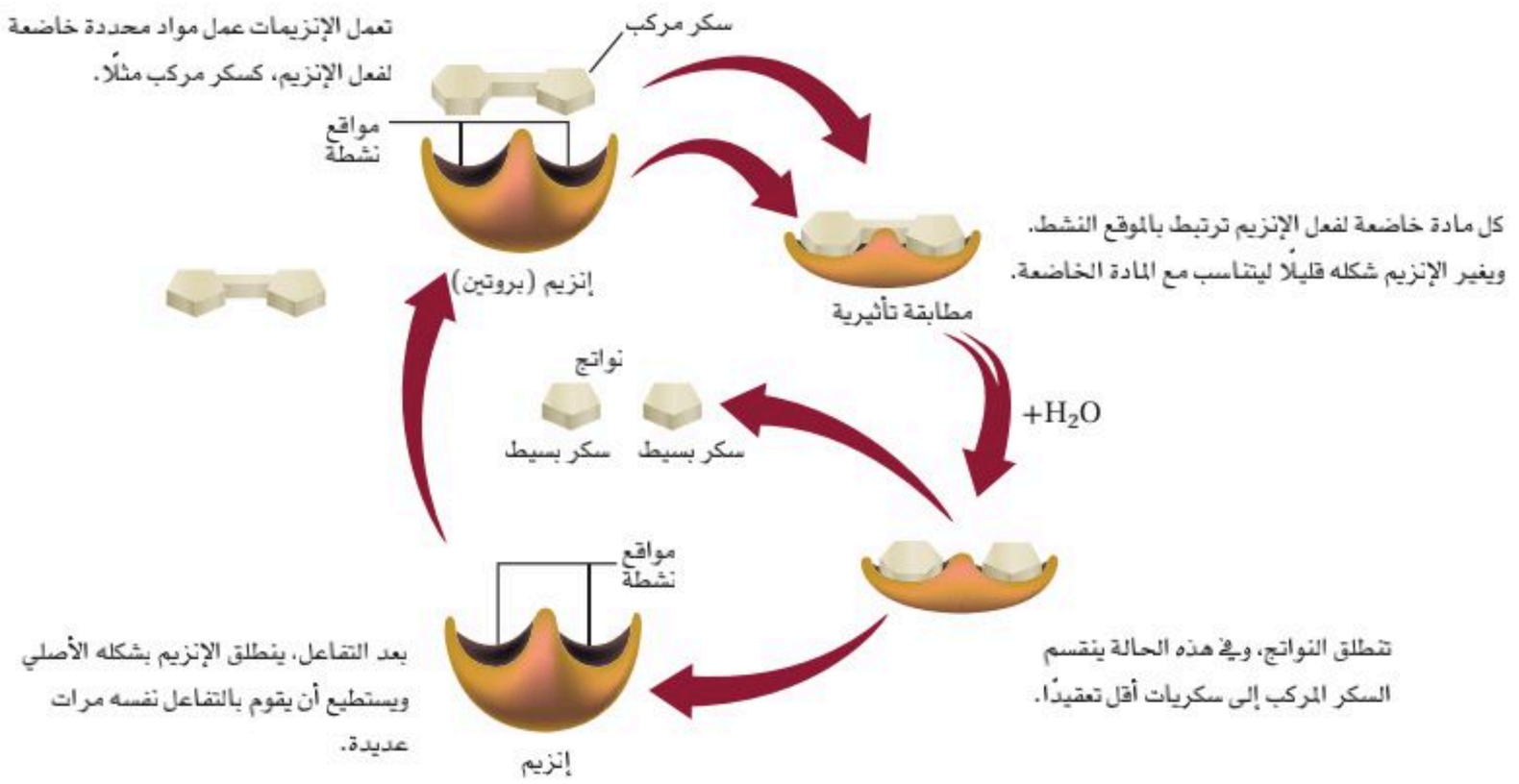
ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

واقع الكيمياء في الحياة

الإنزيمات



البابايين هو أحد أمثلة الإنزيمات التي قد تكون استعملتها ويوجد في البابايا، والأناناس، ومصادر نباتية أخرى. ويعمل هذا الإنزيم عاملًا مساعدًا في التفاعل الذي يفكك جزيئات البروتين، ويحوّلها إلى أحماض أمينية حرة. والبابايين هو العامل الفعّال في بقاء اللحوم طرية؛ فعندما تنثر البابايين المجفف على اللحم الرطب فإنه يكوّن محلولاً يكسر ألياف البروتين القاسية في اللحم فيجعله أكثر طراوة.



الشكل 6–6 تخفض الإنزيمات طاقة التنشيط اللازمة لحدوث التفاعل، وتغير السرعة التي يحدث بها التفاعل دون أن تتغير هي في التفاعل.

كيف تعمل الإنزيمات؟ إن مصطلح **مادة خاضعة لفعل الإنزيم** يشير إلى مادة متفاعلة في تفاعل يعمل الإنزيم فيه عمل عامل محفز، كما في **الشكل 6–6**. وترتبط المواد الخاضعة لفعل الإنزيم بمواضع معينة على جزيئات الإنزيم، وهي عادة عبارة عن جيوب أو شقوق. وتسمى النقطة التي ترتبط بها المواد الخاضعة لفعل الإنزيم **الموقع النشط** للإنزيم. وبعدما ترتبط المادة الخاضعة بالموقع النشط يغير هذا الموضع شكله قليلاً ليحيط بالمادة الخاضعة بصورة أكثر إحكامًا، وتسمى هذه العملية المطابقة التأثيرية؛ إذ يجب أن تتطابق أشكال المواد الخاضعة مع شكل الموقع النشط، بالطريقة نفسها التي تتطابق بها قطع الألغاز أو القفل والمفتاح. ولن يرتبط الجزيء الذي يختلف شكله قليلاً عن شكل المادة الخاضعة المعتادة للإنزيم بصورة جيدة بالموقع النشط، وقد لا يحدث التفاعل.

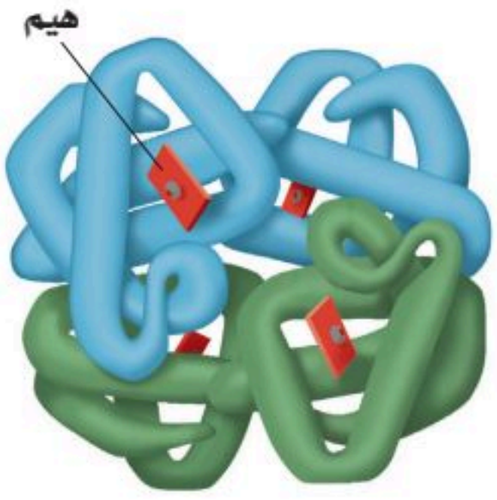
ويسمى التركيب المتكون من الإنزيم والمادة الخاضعة عند ارتباطهما مركبَ الإنزيم والمادةَ الخاضعة. فالحجم الكبير لجزيئات الإنزيم يمكّنها من تكوين روابط متعددة مع المواد الخاضعة، كما يسمح التنوع الكبير للسلاسل الجانبية للأحماض الأمينية في الإنزيم بتكوين عدد من القوى بين الجزيئية المختلفة. وتخفّض القوى بين الجزيئية هذه طاقة التنشيط اللازمة للتفاعل؛ حيث تتكسر الروابط وتتحول المادة الخاضعة لفعل الإنزيم إلى نواتج.

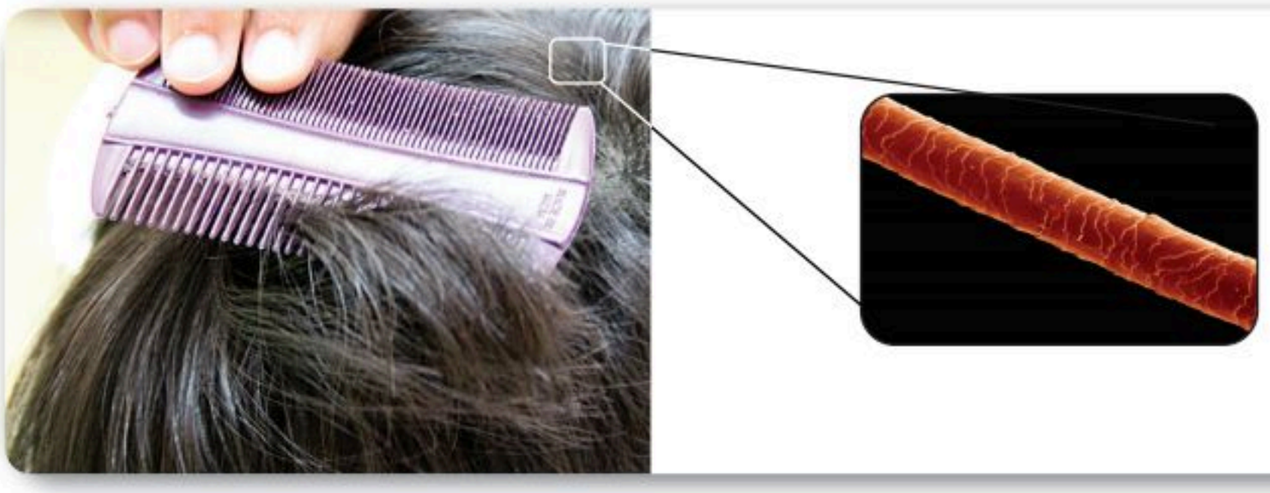
ماذا قرأت؟ **صف** بكلماتك الخاصة كيف يعمل الإنزيم؟

بروتينات النقل تنقل بعض البروتينات جسيمات أصغر منها في أرجاء الجسم. ويبين **الشكل 7–6** بروتين الهيموجلوبين، الذي ينقل الأكسجين في الدم من الرئتين إلى سائر الجسم. وهناك بروتينات أخرى تتحد بجزيئات حيوية تسمى ليبيدات؛ لتنقلها من جزء من الجسم إلى جزء آخر خلال مجرى الدم.

الشكل 7–6

الهيموجلوبين بروتين كروي، فيه أربع سلاسل عديدة الببتيد، يحتوي كل منها على مجموعة حديد تسمى هيم، يرتبط معها الأكسجين.





الشكل 8–6 يتكون شعر الإنسان من بروتين ليفي يسمى الكيراتين.

الدعم البنائي تقتصر بعض البروتينات على وظيفة وحيدة هي تكوين تراكيب حيوية للمخلوقات الحية، وتعرف هذه الجزيئات باسم البروتينات البنائية. والبروتين البنائي الأكثر توافرًا في معظم الحيوانات هو الكولاجين، وهو جزء من الجلد والأوتار والأربطة والعظام. وتشمل البروتينات البنائية الأخرى: الريش والفرو والصوف والحوافر والأظفار والشرنقات، والشعر، كما في **الشكل 8–6**.

الإشارات الخلوية cell signalling الهرمونات جزيئات تحمل الإشارات من أحد أجزاء الجسم إلى جزء آخر. وبعض الهرمونات بروتينات. فالأنسولين -وهو مثال مألوف للبروتينات- هرمون بروتيني صغير يتكون من 51 حمضًا أمينيًّا تنتجه بعض خلايا البنكرياس. وعندما يُطلق الأنسولين إلى مجرى الدم يعطي إشارات لخلايا الجسم أن سكر الدم متوافر بكثرة ويجب تخزينه. يؤدي عدم توافر الأنسولين في كثير من الأحوال إلى مرض السكري الذي ينتج عن كثرة السكر في مجرى الدم. ولما كانت التقنية الحديثة قد جعلت تصنيع البروتينات في المختبر ممكنًا، لذا فقد تم صناعة بعض الهرمونات البروتينية لاستعمالها أدوية. ومن ذلك الأنسولين، وهرمونات الغدة الدرقية، وهرمونات النمو. وتستعمل البروتينات الطبيعية والصناعية في العديد من المنتجات، من محاليل التنظيف إلى وسائل المساعدة الصحية والتجميلية.

المطويات

ضمِّن مطويتك معلومات من هذا القسم.

التقويم 1-6

الخلاصة

- البروتينات بوليمرات حيوية تتكون من أحماض أمينية ترتبط بروابط ببتيدية.
- تنطوي سلاسل البروتينات مكوّنة تراكيب معقدة ثلاثية الأبعاد.
- للبروتينات وظائف عديدة في جسم الإنسان تشتمل على وظائف داخل الخلايا وأخرى بينها، ووظائف دعم بنائي.

1. **الفكرة الرئيسة** **صف** ثلاثة بروتينات، وحدّد وظائفها.
2. **قارن** بين بناء الأحماض الأمينية، وثنائي الببتيد، وعديد الببتيد، والبروتين، أيها له أكبر كتلة جزيئية، وأيها له أصغر كتلة جزيئية؟
3. **ارسم** تركيب ثنائي الببتيد Gly–Ser، وضع دائرة حول الرابطة الببتيدية.
4. **قوّم** ما خواص البروتينات التي تجعلها عوامل مساعدة مفيدة؟ وفيم تختلف عن عوامل مساعدة أخرى سبق أن درستها؟
5. **اشرح** ثلاث وظائف للبروتينات في الخلايا، وأعط مثالاً على كل وظيفة.
6. **صنّف** حمضًا أمينيًّا من **الجدول 1–6** يمكن تصنيفه في كل فئة من الأزواج الآتية:

a. غير قطبي مقابل قطبي **b.** أروماتي مقابل أليفاتي **c.** حمضي مقابل قاعدي

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

6–2

الأهداف

- **تصف** تراكيب السكريات الأحادية، والثنائية، وعديدة التسكر.
- **تشرح** وظائف الكربوهيدرات في المخلوقات الحية.

مراجعة المفردات

المتشكلات الفراغية نوع من المتشكلات ترتبط ذراتها بالترتيب نفسه، ولكنها تتجه في اتجاهات مختلفة في الفراغ.

المفردات الجديدة

الكربوهيدرات
السكريات الأحادية
السكريات الثنائية
السكريات عديدة التسكر

الكربوهيدرات Carbohydrates

الفكرة الرئيسة **تزود الكربوهيدرات المخلوقات الحية بالطاقة والمواد البنائية.**

الربط مع الحياة هناك تركيز كبير من وسائل الإعلام على الكربوهيدرات. فقد أصبح النظام الغذائي القليل الكربوهيدرات طريقة مفضلة للتحكم في الوزن، إلا أن الكربوهيدرات مصدر مهم لطاقة الجسم.

أنواع الكربوهيدرات Kinds of Carbohydrates

يعطي تحليل كلمة كربوهيدرات لمحة عن تركيب هذه المجموعة من الجزيئات. لقد أدت الملاحظات القديمة -التي بينت أن الصيغة الكيميائية العامة لهذه المركبات هي $C_n(H_2O)_n$، والتي تبدو وكأنها هيدرات الكربون- إلى تسميتها كربوهيدرات. ومع أن العلماء الآن يعرفون أنه لا توجد جزيئات ماء كاملة مرتبطة مع الكربوهيدرات إلا أن الاسم بقي من دون تغيير.

الوظيفة الرئيسة للكربوهيدرات في المخلوق الحي هي أنها مصدر للطاقة المختزنة. وتضم الأغذية الغنية بالكربوهيدرات الحليب والفواكه والخبز والبطاطس. والكربوهيدرات مركبات عضوية تحتوي على عدة مجموعات من الهيدروكسيل (-OH)، بالإضافة إلى مجموعة الكربونيل الوظيفية (C=O). وهذه الجزيئات تتراوح في قياسها بين وحدة بنائية واحدة إلى بوليمرات مكونة من مئات أو حتى آلاف وحدات البناء الأساسية.

السكريات الأحادية أبسط أنواع الكربوهيدرات، والتي كثيرًا ما تسمى سكريات بسيطة هي **السكريات الأحادية**. تحتوي أكثر السكريات الأحادية شيوعًا خمس أو ست ذرات كربون. ويبين **الشكل 9-6** أمثلة على السكريات الأحادية. لاحظ وجود مجموعة كربونيل على إحدى ذرات الكربون ومجموعات هيدروكسيل على معظم ذرات الكربون الأخرى. إن وجود مجموعة الكربونيل يجعل هذه المركبات إما ألدهايدات وإما كيتونات، وذلك بحسب موقع مجموعة الكربونيل. كما أن تعدد المجموعات القطبية يجعل السكريات الأحادية قابلة للذوبان في الماء، ويعطيها درجات انصهار عالية.

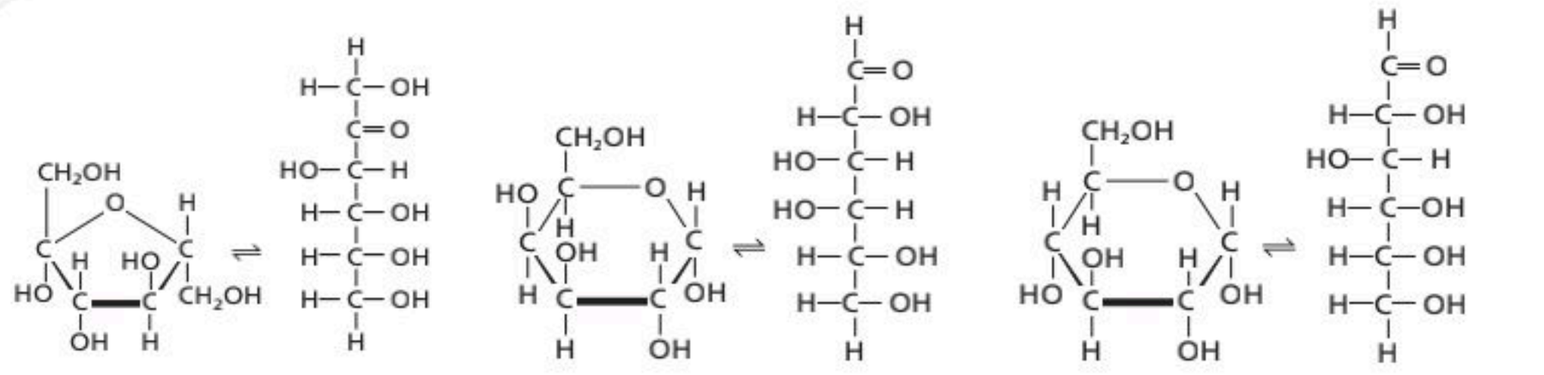
King Faisal
INTERNATIONAL PRIZE

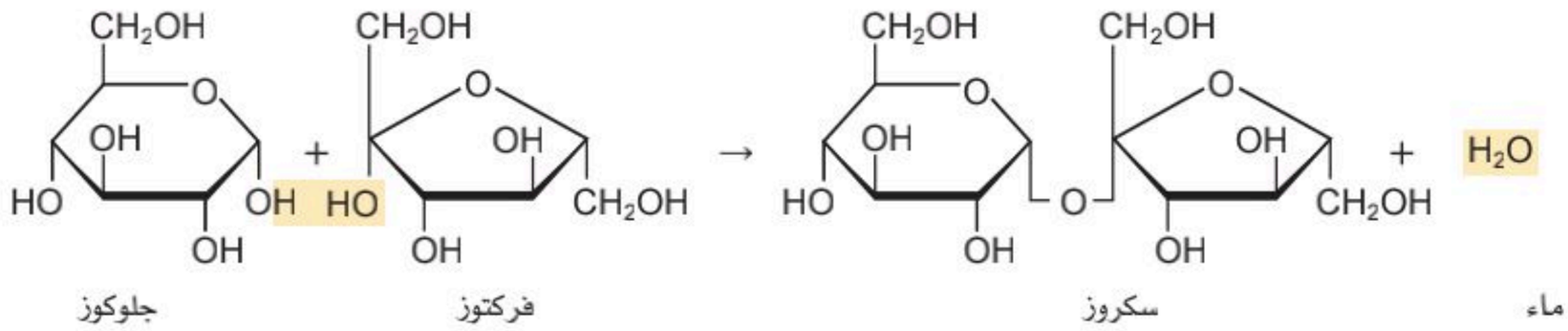


مُنِح البروفيسور ريمون أرغل لوميو جائزة الملك فيصل فرع العلوم عام ١٤١٠ هـ لنجاحه مع زميله البروفيسور فرانك ألبرت كوتن؛كونهما أول من ركَّب السكروز كيميائياً، ويعد ريمون من أكبر العلماء المعاصرين في كيمياء السكريات التي لها شأن عظيم في العمليات الحيويَّة.

المصدر*: موقع جائزة الملك فيصل/ فرع العلوم
http://kingfaisalprize.org/ar/science/

الشكل 9-6 الجلوكوز، والجلاكتوز، والفركتوز سكريات أحادية. وتكون في المحاليل المائية في حالة اتزان بين الشكل الحلقي وشكل السلسلة المفتوح.





الشكل 10–6 عندما يتحد الجلوكوز والفركتوز يتكون السكر الثنائي السكروز. لاحظ أن الماء أيضًا ناتج تفاعل هذا التكثف. وتذكّر أن كل تركيب حلقي يتكون من ذرات كربون غير ظاهرة في الشكل حتى لا يبدو معقدًا.

الجلوكوز سكر سداسي الكربون، وله تركيب ألدهيدي. ويوجد بتركيز عالٍ في الدم؛ لأنه يعمل بوصفه مصدرًا رئيسًا للطاقة الفورية للجسم. ولهذا السبب يسمى الجلوكوز في كثير من الأحيان سكرَ الدم.

والجلاكتوز سكر على علاقة وثيقة بالجلوكوز، ويختلف عنه فقط في كيفية اتجاه ذرة الهيدروجين ومجموعة الهيدروكسيل في الفراغ حول إحدى ذرات الكربون الست. وتجعل هذه العلاقة من الجلوكوز والجلاكتوز متشكلين هندسيين. فالفركتوز، الذي يعرف بسكر الفاكهة لأنه موجود في معظم الفواكه، هو سكر أحادي يتكون من ست ذرات كربون له تركيب كيتوني. كما أن الفركتوز متشكل بنائي للجلوكوز.

عندما تكون السكريات الأحادية في محلول مائي فإنها توجد في الصورة الحلقية وتركيب السلسلة المفتوحة، ولكنها تغير شكلها باستمرار وبسرعة. والتراكيب الحلقية هي الأكثر استقرارًا، وهي الشكل السائد للسكريات الأحادية في حالة الاتزان. وتلاحظ في **الشكل 9–6** أن مجموعات الكربونيل توجد فقط في تركيب السلسلة المفتوحة. وفي التركيب الحلقي تتحول مجموعات الكربونيل إلى مجموعات هيدروكسيل.

السكريات الثنائية تستطيع السكريات الأحادية أن ترتبط معًا عن طريق تفاعل التكثف الذي يطلق الماء، كما هو الحال في الأحماض الأمينية. وعندما يرتبط سكّران أحاديان معًا يتكون **سكر ثنائي**، كما في **الشكل 10–6**، ويطلق على الرابطة الجديدة المتكوّنة الرابطة الإيثرية C-O-C.

والسكروز هو أحد السكريات الثنائية، ويعرف أيضًا بسكر المائدة؛ لأنه يستعمل بشكل رئيس في التحلية. ويتكون السكروز من اتحاد الجلوكوز مع الفركتوز. كما أن اللاكتوز سكر ثنائي شائع أيضًا، وهو الكربوهيدرات الأهم في الحليب، ويسمى غالبًا سكر الحليب. ويتكون اللاكتوز عندما يتحد الجلوكوز والجلاكتوز.

السكريات عديدة التسكر يستعمل اسم الكربوهيدرات المعقدة أو **السكريات عديدة التسكر** للبوليمرات التي تتكون من السكريات البسيطة وتحتوي على 12 وحدة بناء أساسية أو أكثر. وترتبط الوحدات الأساسية في عديدة التسكر بنفس نوع الروابط التي تجمع سكرين أحاديين لتكوين سكر ثنائي. أما الجلايكوجين، المبين في **الشكل 11–6**، فهو من السكريات عديدة التسكر، ويتألف من وحدات جلوكوز تختزن الطاقة، ويوجد غالبًا في الكبد وعضلات الإنسان وحيوانات أخرى. كما يوجد في بعض أنواع المخلوقات المجهرية، ومنها البكتيريا والفطريات.

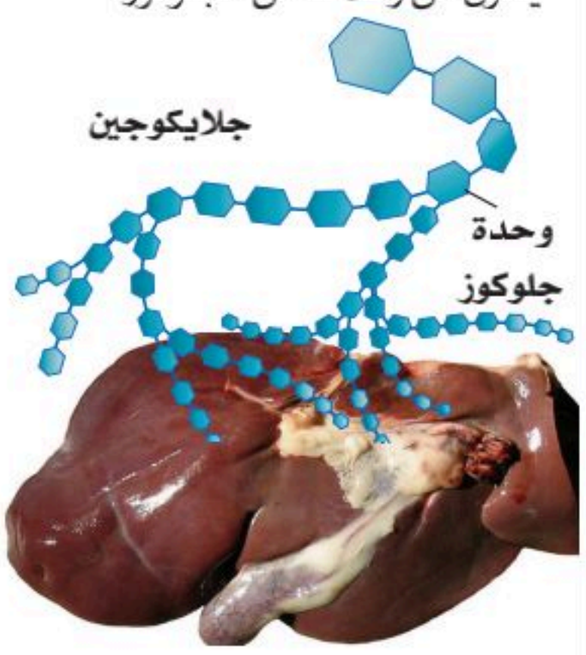
ماذا قرأت؟ **قارن** بين السكريات الأحادية والثنائية وعديدة التسكر.

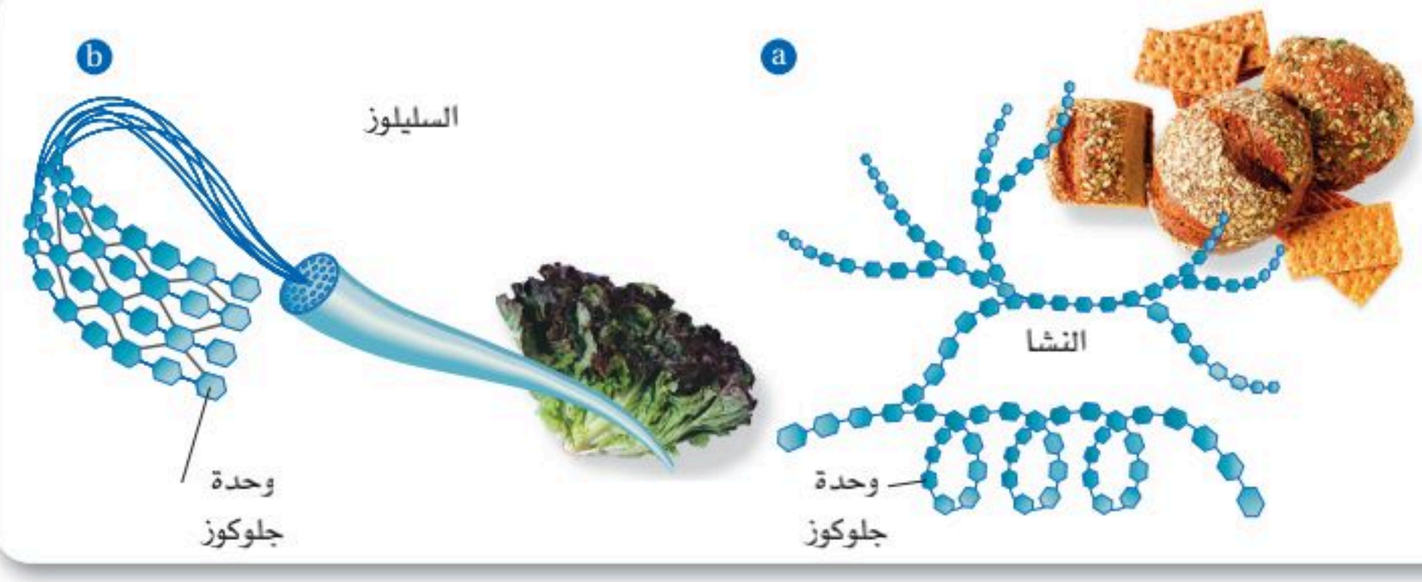
المفردات

أصل الكلمة

العديدة التسكر (Polysaccharide)
اشتق هذا الاسم من الكلمة اليونانية Polys، والتي تعني "متعدد"، والكلمة السنسكريتية القديمة Sakkara، والتي تعني "سكر".

الشكل 11–6 يعد الجلايكوجين الموجود في عضلات وكبد الحيوانات من السكريات عديدة التسكر؛ حيث يتكون من وحدات من الجلوكوز.





الشكل 12–6 النشا والسليلوز نوعان مهمان من السكريات العديدة التسكر

a. للنشا تركيب متفرع أو غير متفرع.

b. للسليلوز تركيب غير متفرع يشبه السياج ذا السلاسل المتقاطعة.

يبين **الشكل 12–6** نوعين آخرين مهمين من السكريات العديدة التسكر، هما: النشا والسليلوز. وعلى الرغم من أن كلاً منهما يتكوّن من وحدات أساسية من الجلوكوز، إلا أنهما يختلفان في خواصّهما ووظائفهما. تصنع النباتات النشا والسليلوز. والنشا جزيء طري لا يذوب في الماء ويستعمل لتخزين الطاقة، في حين أن السليلوز بوليمر لا يذوب في الماء، ويكوّن الجدران القاسية للخلية النباتية، كتلك الموجودة في الخشب.

ويعود السبب في هذا الاختلاف إلى أن الروابط التي تربط الوحدات الأساسية معًا تتجه اتجاهات مختلفة في الفراغ. وبسبب هذا الاختلاف في شكل الروابط يستطيع الإنسان أن يهضم الجلايكوجين والنشا، ولكنه لا يستطيع أن يهضم السليلوز. كما لا تستطيع إنزيمات الهضم أن تستوعب السليلوز في مواقعها النشطة. والسليلوز الذي في الفواكه والخضراوات والحبوب التي نأكلها، يسمى أليافًا غذائية؛ لأنه يمر في الجهاز الهضمي دون أن يتغير كثيرًا.

المطويات

ضمِّن مطويتك معلومات من هذا القسم.

التقويم 6-2

الخلاصة

- الكربوهيدرات مركبات تحتوي على مجموعات هيدروكسيل (OH–) متعددة، ومجموعة الكربونيل الوظيفية (C=O).
- يتراوح حجم الكربوهيدرات بين وحدات بناء أساسية مفردة إلى بوليمرات تتكون من مئات أو آلاف الوحدات الأساسية.
- توجد السكريات الأحادية في المحاليل المائية في تراكيب حلقية ومفتوحة السلسلة.

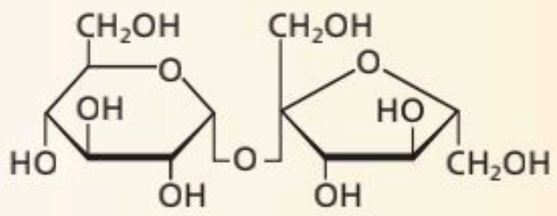
7. الفكرة الرئيسة **اشرح** وظائف الكربوهيدرات في المخلوقات الحية.

8. **صف** تراكيب السكريات الأحادية والثنائية وعديدة التسكر؟

9. **قارن** بين تراكيب النشا والسليلوز. كيف تؤثر الاختلافات في التركيب في مقدرتنا على هضم هذين النوعين من السكريات؟

10. **احسب** إذا كان لأحد الكربوهيدرات 2^n متشكل محتمل، حيث n تساوي عدد ذرات الكربون في التركيب، فاحسب عدد المتشاكلات المحتملة للسكريات الأحادية الأتية: الجلاكتوز، والجلوكوز، والفركتوز.

11. **تفسير الرسوم العلمية** انسخ رسم السكروز على ورقة منفصلة، وضع دائرة حول مجموعة الإيثر الوظيفية التي تربط الوحدات الأساسية السكرية معًا.



رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

6–3

الأهداف

- **تصف** تراكيب الأحماض الدهنية، والجليسريدات الثلاثية، والليبيدات الفوسفورية والستيرويدات.
- **تشرح** وظائف الليبيدات في المخلوقات الحية.
- **تحدد** بعض تفاعلات الأحماض الدهنية.
- **تربط** بين تركيب الأغشية الخلوية ووظيفتها.

مراجعة المفردات

غير قطبي من دون منطقتين منفصلتين موجبة وسالبة أو من دون قطبين.

المفردات الجديدة

الليبيدات
الأحماض الدهنية
الجليسريدات الثلاثية
التصبُّن
الليبيدات الفوسفورية
الشموع
الستيرويدات

الليبيدات Lipids

الفكرة الرئيسة **تكوّن الليبيدات الأغشية الخلوية، وتختزن الطاقة وتنظم العمليات الخلوية.**

الربط مع الحياة ما الشيء المشترك بين الشمع الذي يستعمل في تلميع السيارات والدهن الذي يقطر من اللحم المشوي، وفيتامين (د) الذي يضاف إلى الحليب الذي يشربه الناس؟ جميعها ليبيدات.

ما الليبيد؟ What is a lipid?

الليبيدات جزيئات حيوية كبيرة غير قطبية. ولما كانت الليبيدات غير قطبية فهي غير قابلة للذوبان في الماء. وتؤدي الليبيدات وظيفتين رئيستين في المخلوقات الحية؛ تختزن الطاقة بشكل فعّال، وتكوّن معظم تركيب الأغشية الخلوية، كما أنها تختلف عن البروتينات والكربوهيدرات في أنها ليست بوليمرات ذات وحدات بناء أساسية متكررة.

الأحماض الدهنية على الرغم من أن الليبيدات ليست بوليمرات، إلا أن لها وحدة بناء رئيسة مشتركة. ووحدات البناء هذه هي **الأحماض الدهنية**، وهي أحماض كربوكسيلية ذات سلاسل طويلة. وتحوي معظم الأحماض الدهنية الطبيعية ما بين 12 و 24 ذرة كربون. ويمكن تمثيل تركيبها بالصيغة الآتية: $CH_3(CH_2)_nCOOH$

تحتوي معظم الأحماض الدهنية على عدد زوجي من ذرات الكربون، وهذا ناتج عن إضافتها ذرتين معًا في الوقت نفسه في تفاعلات إنزيمية. كما يمكن وضع الأحماض الدهنية في مجموعتين رئيستين؛ اعتمادًا على وجود أو عدم وجود روابط ثنائية بين ذرات الكربون. وتُعرَف الأحماض الدهنية التي لا تحتوي على روابط ثنائية بالمشبعة، في حين تسمى غيرَ المشبعة إذا احتوت على رابطة ثنائية أو أكثر. ويبين **الشكل 13–6** تركيبي حمضين دهنيين شائعين.

ماذا قرأت؟ **اشرح** لماذا يوصف حمض الأوليك بأنه غير مشبع؟

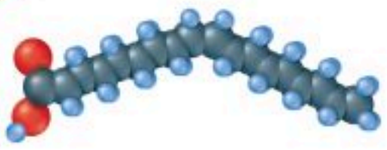
الشكل 13–6 حمض الأوليك غير المشبع ذو 18 ذرة كربون وحمض السيتريك المشبع يوجدان في العديد من الأطعمة، ومنها الزبد.

فسّر كيف يتأثر تركيب الجزيء بوجود الرابطة الثنائية؟



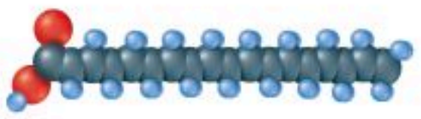
زبدة

حمض الأوليك

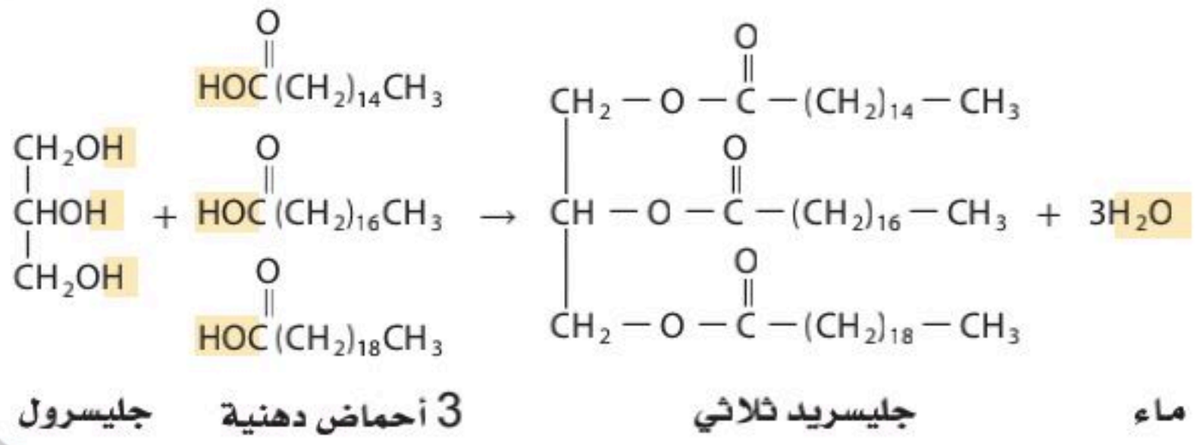


$$HO\overset{O}{\overset{\|}{C}}CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH{=}CHCH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$$

حمض السيتريك



$$HO\overset{O}{\overset{\|}{C}}CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$$



الشكل 14–6 تتكون روابط الإستر في الجليسريد الثلاثي عندما تتحد مجموعات الهيدروكسيل الموجودة في الجليسرول بمجموعات الكربوكسيل الموجودة في الأحماض الدهنية.

المفردات

الاستخدام العلمي والاستخدام الشائع

يُشَبِّع (Saturate)

الاستخدام العلمي: يضيف شيئًا إلى حد أنه يمكن معه استيعاب المزيد أو ذوبانه أو الاحتفاظ به، مثل تشبّع الماء المالح بالملح.

الاستخدام الشائع: يزود السوق بمنتج أو منتجات إلى الحد الأقصى لطاقته الاستهلاكية.

يمكن أن يتشبع الحمض الدهني غير المشبع إذا تفاعل مع الهيدروجين. ومن المعروف أن الهدرجة هي تفاعل إضافة يتم فيه تفاعل غاز الهيدروجين مع ذرات الكربون المرتبطة بروابط متعددة. وتستطيع كل ذرة كربون غير مشبعة أن تستوعب ذرة هيدروجين إضافية واحدة لتصبح مشبعة. فمثلاً، يمكن أن تتم هدرجة حمض الأوليك Oleic acid، في **الشكل 13–6**، ليكوّن حمض السيتريك.

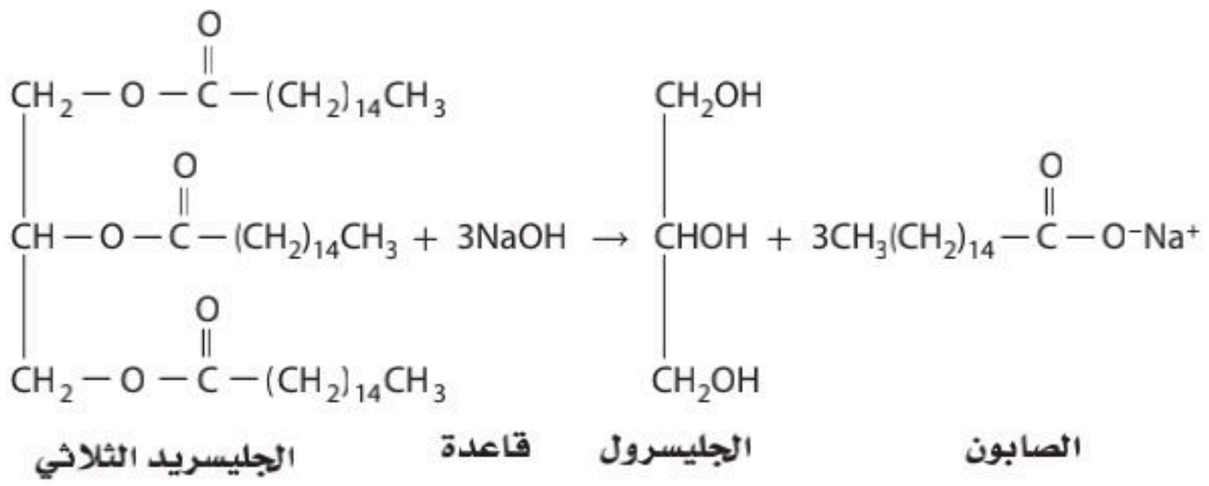
توجد الروابط الثنائية في الأحماض الدهنية الطبيعية جميعها تقريبًا في صورة المتشكل الهندسي سيس. ونظرًا إلى اتجاه سيس فإن هذا لا يساعد على وجود تركيب الأحماض الدهنية غير المشبعة متراصّة. ونتيجة لذلك لا تتكون قوى تجاذب كثيرة بين الجزيئات كما في جزيئات الأحماض الدهنية المشبعة، ولذَلك تكون درجات انصهار الأحماض الدهنية غير المشبعة أقل.

الجليسريدات الثلاثية على الرغم من أن الأحماض الدهنية موجودة بكثرة في المخلوقات الحية، إلا أنها نادرًا ما تكون وحدها. فهي تكون غالبًا مرتبطة بالجليسرول، وهو جزيء من ثلاث ذرات كربون، ترتبط كل منها مع مجموعة هيدروكسيل. وعندما ترتبط ثلاثة أحماض دهنية بالجليسرول بروابط إستر يتكون **الجليسريد الثلاثي**. ويبين **الشكل 14–6** تكوين الجليسريد الثلاثي. ويمكن أن تكون الجليسريدات الثلاثية صلبة أو سائلة في درجة حرارة الغرفة، كما في **الشكل 15–6**. وعندما تكون سائلة تسمى عادة زيوتًا. أما إذا كانت صلبة في درجة حرارة الغرفة فتُسمّى دهونًا.

ماذا قرأت؟ حدد اثنين من الزيوت النباتية واثنين من الدهون الحيوانية.

الشكل 15–6 معظم مخاليط ثلاثي الجليسريدات النباتية المصدر توجد في الحالة السائلة؛ لأن ثلاثي الجليسريدات يحتوي على أحماض دهنية غير مشبعة، في حين تحتوي الدهون الحيوانية على كمية أكبر من الأحماض الدهنية المشبعة، لذا تكون عادة صلبة في درجة حرارة الغرفة.





الشكل 16–6 يتكون الصابون من تفاعل الجليسريد الثلاثي وقاعدة قوية.

وعندما تتوافر الطاقة بكثرة تخزّن الخلايا الدهنية الطاقة الفائضة في الأحماض الدهنية على هيئة جليسريد ثلاثي. وعندما تقلّ الطاقة تقوم الخلايا بتحليل الجليسريد الثلاثي مطلقةً الطاقة التي استعملت في تكوينها. ومع أن الإنزيمات تحلل الجليسريد الثلاثي داخل الخلايا الحية إلا أنه يمكن إجراء تفاعل مشابه لذلك خارج الخلايا باستعمال قاعدة قوية مثل هيدروكسيد الصوديوم. ويُسمّى هذا التفاعل – تميُّه الجليسريد الثلاثي مع وجود محلول مائي لقاعدة قوية لتكوين أملاح الكربوكسيلات والجليسرول– **التصبُّنَ**. ويستعمل تفاعل التصبُّن كما في **الشكل 16–6**، في إنتاج الصابون، وهو عبارة عن أملاح الصوديوم للأحماض الدهنية. ولجزيء الصابون طرفان: طرف قطبي، وآخر غير قطبي.

يستعمل الصابون مع الماء في تنظيف الأوساخ والزيوت غير القطبية؛ لأن جزيئات الأوساخ والزيوت غير القطبية ترتبط بالطرف غير القطبي لجزيئات الصابون، في حين يكون الطرف القطبي لجزيئات الصابون قابلاً للذوبان في الماء. وهكذا يمكن إزالة جزيئات الصابون المحملة بالأوساخ باستعمال الماء.

تجربة

تفاعل التصبُّن (عملية صناعة الصابون) (saponification)

كيف يصنع الصابون؟ يُسمى التفاعل بين الجليسريد الثلاثي وقاعدة قوية التصبُّن، كما في **الشكل 16-6**.

خطوات العمل

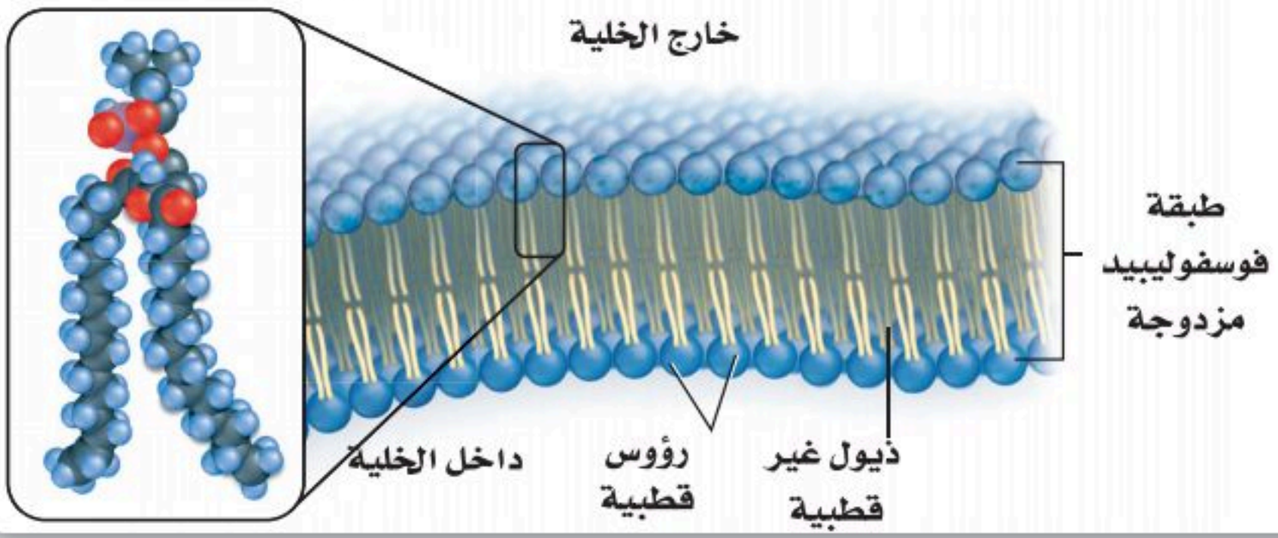
1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.
2. ضع **كأسًا سعتها 250mL** على سخان كهربائي. وأضف 25g من **السمن النباتي الصلب** إليها. ثم أشعل السخان الكهربائي على درجة حرارة متوسطة.
3. استخدم **مخبارًا مدرجًا سعته 25ml** لإضافة 12mL **إيثانول** ببطء في أثناء انصهار السمن النباتي، ثم أضف 5mL من **NaOH** تركيزه **6.0M** إلى الكأس.

تحذير: الإيثانول قابل للاشتعال، و NaOH يسبب حروقًا للجلد؛ لذا البس القفازين.

4. سخّن الخليط مدة 15 دقيقة تقريبًا، وحركه **بساق التحريك** من حين إلى آخر، دون أن يغلي.
5. ضع الكأس جانبًا، باستعمال **الملقط**، وعندما يجمد الخليط دعه يبرد مدة 5 دقائق، ثم ضعه في **كأس سعتها 600 mL** مملوءة بالماء البارد.
6. أضف 25mL من محلول NaCl المشبع إلى الخليط الذي في الكأس. ولأن الصابون ليس شديد الذوبان في الماء المالح فإنه سيبدو في صورة كتل صغيرة.
7. اجمع كتل الصابون بترشيحها خلال **قطعة قماش** موجودة **كبطانة لقمع**.
8. اضغط الصابون داخل **طبق تبخير** وأنت تلبس القفازين، ثم انزعهما واغسل يديك.

التحليل

1. **فسِّر** ما نوع الروابط التي تتحلل في الجليسريد الثلاثي في أثناء تفاعل التصبّن؟
2. **حدّد** نوع الملح الذي تكوّن في هذا التفاعل الكيميائي.
3. **حدّد** ما الطرف القطبي لجزيء الصابون؟ وما الطرف غير القطبي؟



الشكل 17–6 تحتوي الليبيدات الفوسفورية على رأس قطبي وذيلين غير قطبيين. تتكون أغشية الخلايا من طبقة مزدوجة من الليبيدات تسمى ثنائية الطبقة. وتوجد الرؤوس القطبية في هذه الطبقة على المحيط الخارجي، بينما توجد الذيول غير القطبية في الداخل.

تجربة عملية

الدهون المشبعة وغير المشبعة

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

اللايبيز الفوسفوري (فوسفولايبيز) phospholipase هناك نوع مهم آخر من الجليسريد الثلاثي يُسمى الليبيد الفوسفوري، يوجد بكثرة في الأغشية البلازمية. و**الليبدات الفوسفورية** جليسريدات ثلاثية استبدل فيها أحد الأحماض الدهنية بمجموعة فوسفات قطبية، تكوّن الجزء القطبي من الجزيء رأسًا، كما في **الشكل 17–6**، وتبدو الأحماض الدهنية غير القطبية في صورة ذيول. ويتكون الشكل النموذجي للغشاء البلازمي من طبقتين من الليبيد الفوسفوري، وهي مرتبة بحيث تكون ذيولها غير القطبية متجهة نحو الداخل ورؤوسها القطبية متجهة إلى الخارج. ويسمى هذا الترتيب الليبيد الثنائي الطبقة. ولما كان تركيب هذا الليبيد يعمل بوصفه حاجزًا، فإن الخلية تستطيع أن تنظم المواد التي تدخل خلال هذا الغشاء وتخرج منه.

الربط مع علم الأحياء يحتوي سُمّ الأفاعي السامة على نوع من الإنزيمات يعرف بالليبيز الفوسفوري. وتعمل هذه الإنزيمات عاملًا محفزًا لتحليل الليبيد الفوسفوري – وهو جليسريد ثلاثي استبدل فيه أحد الأحماض الدهنية بمجموعة فوسفات. ويحتوي سمّ أحد أنواع الأفاعى على الليبيز الفوسفوري الناتج عن تفكك (تميّه) رابطة الإستر لذرة الكربون الوسطى في الليبيد الفوسفوري. وإذا دخل الجزء الأكبر من ناتج هذا التفاعل إلى مجرى الدم فإنه يذيب أغشية كريات الدم الحمراء فتتمزق. إن لدغة هذه الأفعى يمكن أن تؤدي إلى الموت إذا لم يتم علاجها فورًا.

الشموع عبارة عن نوع آخر من الليبيدات تحتوي أيضًا على أحماض دهنية. و**الشموع** ليبيدات تتكون من اتحاد حمض دهني مع كحول ذي سلسلة طويلة. وتبين الصيغة أدناه التركيب العام لهذه الدهون الصلبة الطرية ذات درجات الانصهار المنخفضة، حيث تمثل x و y أعدادًا مختلفة من مجموعات CH_2.

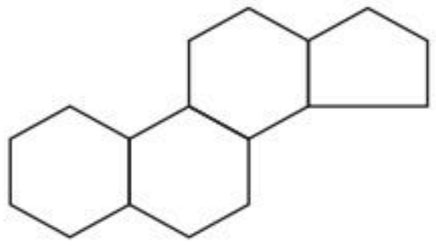
$$CH_3(CH_2)_x - \overset{\overset{O}{\|}}{C} - O - (CH_2)_yCH_3$$

تنتج النباتات والحيوانات الشمع، وكثيرًا ما تُغطّى أوراق النبات بالشمع الذي يمنع فقدان الماء. ويبين **الشكل 18–6** كيف أن قطرات المطر تكون كرات كالخرز على أوراق النبات، مما يشير إلى وجود طبقة شمعية. كما أن أقراص العسل التي يبنيها النحل مصنوعة أيضًا من الشمع الذي يعرف عادة باسم شمع النحل. واتحاد حمض البالمتيك المكون من حمض دهني ذي 16 ذرة كربون مع كحول يحتوي على سلسلة من 30 ذرة كربون يؤدي إلى تكوين نوع شائع من شمع النحل. وتُصنع الشموع أحيانًا من شمع العسل؛ لأنه يميل إلى الاحتراق ببطء وهدوء.

الشكل 18–6 تنتج النباتات شمعًا يُغطي أوراقها ويحميها من الجفاف.



الستيرويدات لاتحتوي جميع الليبيدات على سلاسل أحماض دهنية؛ **فالستيرويدات** ليبيدات تحتوي تراكيبها على حلقات متعددة. وجميع الستيرويدات مبنية من تركيب الستيرويد الأساسي المكوّن من الحلقات الأربع المبينة أدناه.



وبعض الهرمونات – ومنها العديد من الهرمونات الجنسية– هي ستيرويدات تنظم عمليات الأيض. ويُعد الكولسترول – وهو ستيرويد آخر – مكونًا بنائيًّا مهمًّا للأغشية الخلوية، كما أن فيتامين (د) أيضًا يحتوي على تركيب الستيرويد ذي الحلقات الأربع، ويؤدي دورًا في تكوين العظام. أما العلجوم البحري العملاق ***Bufo marinus***، كما في **الشكل 19–6**، فيستعمل ستيرويد يسمى بوفوتوكسين بوصفه آلية دفاعية؛ إذ يفرز السم من نتوءات صغيرة على ظهره ومن غدد خلف عينيه مباشرة. هذا السمّ هو مجرد مادة مهيّجة للإنسان. أما للحيوانات الصغيرة فإنه يؤدي إلى إسالة لعابها، وفقدان التوازن، والتشنجات، والموت.



الشكل 19–6 يستعمل العلجوم البحري العملاق سُمًّا ستيرويديًّا يُدعى بوفوتوكسين بوصفه آلية دفاع. ويُعدّ هذا السمّ قاتلاً لبعض الحيوانات كالكلاب والقطط.

المطويات

ضمِّن مطويتك معلومات من هذا القسم.

التقويم 6-3

الخلاصة

- الأحماض الدهنية أحماض كربوكسيلية طويلة السلاسل تحتوي عادة على ما بين 12 و 24 ذرة كربون.
- لا تحتوي الأحماض الدهنية المشبعة على روابط ثنائية؛ في حين تحتوي الأحماض الدهنية غير المشبعة على رابطة ثنائية أو أكثر.
- يمكن أن ترتبط الأحماض الدهنية مع الجليسرول لتكوّن الجليسريد الثلاثي.
- الستيرويدات ليبيدات تحتوي على تراكيب متعددة الحلقات.

12. الفكرة الرئيسة صف وظيفة الليبيدات.

13. **صف** تراكيب الأحماض الدهنية، والجليسريدات الثلاثية، والليبيدات الفوسفورية، والستيرويدات، والشمع.

14. **اعمل** قائمة بوظيفة مهمة لكلٍّ من الليبيدات الآتية:

a. الجليسريدات الثلاثية
b. الليبيدات الفوسفورية
c. الشموع
d. الستيرويدات

15. **اذكر** تفاعلين من تفاعلات الأحماض الدهنية.

16. **صف** تركيب الأغشية الخلوية وعملها.

17. **اكتب** معادلة الهدرجة الكاملة للحمض الدهني غير المشبع وحمض اللينوليك.

$CH_3(CH_2)_4CH=CHCH_2CH=CH(CH_2)_7COOH$

18. **تفسير الرسوم العلمية** ارسم البناء العام الخاص ب الليبيد الفوسفوري ، وعيّن عليه الأجزاء القطبية وغير القطبية.

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

6–4

الأهداف

- **تحدّد** المكوّنات البنائية للأحماض النووية.
- **تربط** وظيفة DNA بتركيبه.
- **تصف** تركيب RNA ووظيفته.

مراجعة المفردات

المعلومات الوراثية: سلسلة يتم توريثها موجودة في RNA أو DNA وتنتقل السمات والخصائص من جيل إلى الجيل الذي يليه.

المفردات الجديدة

الحمض النووي

النيوكليوتيد

الأحماض النووية Nucleic Acids

الفكرة الرئيسة **تخزن الأحماض النووية المعلومات الوراثية وتنقلها.**

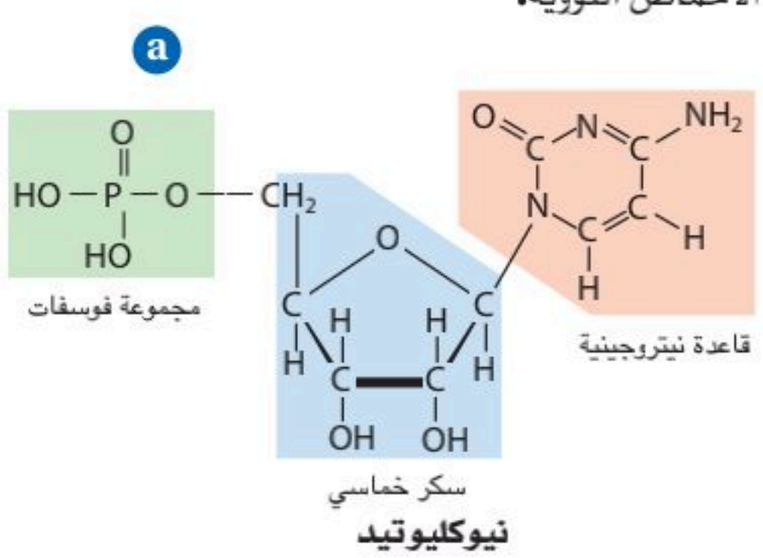
الربط مع الحياة أصبح فحص DNA شيئًا عاديًّا في الطب والعلم الجنائي، وعلم الأنساب، والتعرّف على ضحايا الكوارث. ولقد مكّنتنا التقنية الحديثة من الحصول على عينة DNA مفيدة من مصادر مدهشة كشعرةٍ أو لعابٍ جافٍّ على طابع بريدي.

تركيب الأحماض النووية Structure of Nucleic Acids

تشكل الأحماض النووية نوعًا رابعًا من الجزيئات الحيوية. وهي جزيئات تخزين المعلومات في الخلية. وقد أخذت هذه الجزيئات اسمها من الموقع الخلوي الذي توجد فيه هذه الجزيئات بشكل رئيس، وهو النواة. وتقوم الأحماض النووية بوظائفها الرئيسة من مركز التحكم هذا. والحمض النووي بوليمر حيوي يحتوي على النيتروجين، ويقوم بتخزين المعلومات الوراثية ونقلها. وتسمى وحدة البناء الأساسية للحمض النووي **النيوكليوتيد**. ولكل نيوكليوتيد ثلاثة أجزاء: مجموعة فوسفات غير عضوية، وسكر أحادي ذو خمس ذرات كربون، وتركيب يحتوي على نيتروجين يسمى قاعدة نيتروجينية. تفحص أجزاء **الشكل 6–20a**، فعلى الرغم من أن مجموعة الفوسفات هي نفسها في جميع النيوكليوتيدات، إلا أن السكر والقاعدة النيتروجينية يختلفان.

يحتوي الحمض النووي على سكر أحادي مكون من 5 ذرات كربون ويسمى سكر (بنتوز) pentose من أحد النيوكليوتيدات مرتبط بفوسفات نيوكليوتيد آخر، كما في **الشكل 6–20b**. وهكذا تشكل النيوكليوتيدات سلسلة، أو شريطًا، يحتوي على سكر خماسي ومجموعات فوسفات متناوبة. وكل سكر خماسي يرتبط أيضا بقاعدة نيتروجينية تبرز من السلسلة. وتتكدس القواعد النيتروجينية على وحدات النيوكليوتيدات المتجاورة واحدة فوق الأخرى في وضع منحرف قليلاً، فتشبه درجات السلّم، كما في **الشكل 6–20b**. وتبقي القوى بين الجزيئية كل قاعدة نيتروجينية قريبة من القواعد النيتروجينية التي فوقها والتي تحتها.

الشكل 6–20 النيوكليوتيدات وحدات البناء الأساسية التي تتكون منها بوليمرات الأحماض النووية.



الأحماض النووية سلاسل طولية من سكريات ومجموعات فوسفات متعاقبة. ويرتبط بكل سكر قاعدة نيتروجينية، ولأن النيوكليوتيدات ملتوية فإن السلاسل تشبه درجات السلم.

يحتوي كل نيوكليوتيد على قاعدة تحتوي على نيتروجين وسكر خماسي ومجموعة فوسفات.

DNA: اللولب المزدوج DNA: The Double Helix

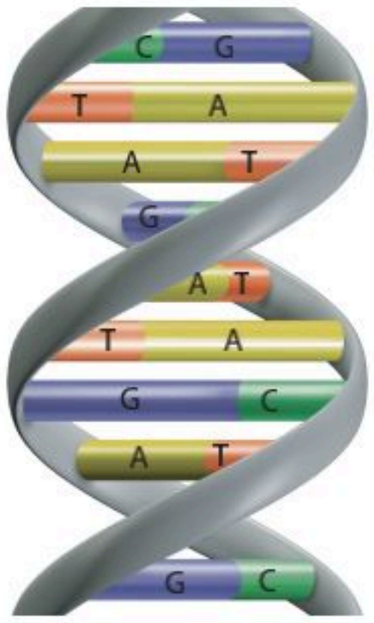
ربما سمعت عن حمض ديوكسي رايبونيوكلييك DNA، وهو أحد نوعين من الأحماض النووية التي توجد في الخلايا الحية؛ إذ يحتوي DNA على الخطط الرئيسة لبناء جميع بروتينات جسم المخلوق الحي.

تركيب DNA يتكون DNA من سلسلتين طويلتين من النيوكليوتيدات ملتفتين معًا لتشكّلا بناءً حلزونيًّا كما في **الشكل 21-6**. ويحتوي كل نيوكليوتيد في DNAعلى مجموعة فوسفات، وسكر ديوكسي رايبوز ذي الخمس ذرات من الكربون وهو عبارة عن سكر خماسي منقوص الأوكسجين Deoxyribose، وقاعدة نيتروجينية. وتشكل جزيئات السكر ومجموعات الفوسفات المتعاقبة في كل سلسلة الجزء الخارجي، أو العمود الفقري للتركيب اللولبي. أما القواعد النيتروجينية فتوجد داخل التركيب. ولأن البناء اللولبي يتكون من سلسلتين فهو يعرف باللولب المزدوج.

يحتوي DNA على أربع قواعد نيتروجينية مختلفة هي: الأدينين (A)، الثايمين (T)، السايتوسين (C)، والجوانين (G). إذ يحتوي كل من الأدينين والجوانين على حلقة مزدوجة، كما في **الشكل 22-6**. أما الثايمين والسايتوسين فلهما تركيبان أحاديا الحلقة. انظر مرة أخرى إلى **الشكل 21-6** تلاحظ أن كل قاعدة نيتروجينية على شريط من اللولب تقابلها قاعدة نيتروجينية على الشريط المقابل، بالطريقة نفسها التي تتقابل بها أسنان السحّاب المنزلق. وتتقارب أزواج القواعد المتجاورة إلى حدّ تتكوّن بينها روابط هيدروجينية. ولما كانت كل قاعدة نيتروجينية لديها ترتيب فريد من المجموعات الوظيفية العضوية التي تستطيع أن تكوّن روابط هيدروجينية، فإن القواعد النيتروجينية تشكل دائمًا أزواجًا بطريقة معينة، حيث يتكون دائمًا العدد الأفضل من الروابط الهيدروجينية.

ماذا قرأت؟ صف مم يتكون أسنان سَحّاب DNA المنزلق؟

ويرتبط الجوانين دائمًا بالسايتوسين، ويرتبط الأدينين دائمًا بالثايمين، كما في **الشكل 22-6**. وتسمى أزواج G-C وA-T أزواجًا قاعدية متطابقة. ولذلك تساوي كمية الأدينين في جزيء DNA دائمًا كمية الثايمين، وكمية السايتوسين دائمًا تساوي كمية الجوانين. وفي عام 1953م استخدم جيمس واطسون وفرانسيس كريك هذه الملاحظة ليقوما بأحد أعظم الاكتشافات العلمية في القرن العشرين عندما حددا تركيب DNA ذا اللولب المزدوج. لقد حقّقا هذا الإنجاز دون أن يقوما بالعديد من التجارب المختبرية، بل قاما بدلاً من ذلك بتجميع أعمال عدد كبير من العلماء الذين قاموا بدراسة DNA وتحليلها.

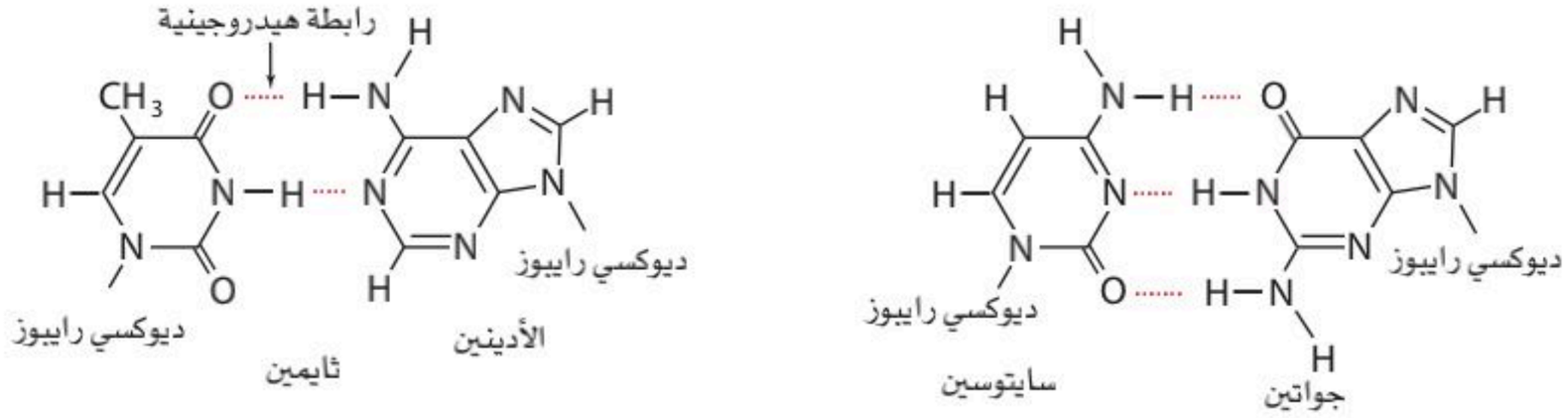


الشكل 21-6 تركيب DNA هو لولب مزدوج يشبه سحابًا منزلقًا ملتويًا. ويتكوّن العمودان الفقريان من السكر والفوسفات، ويشكّلان الجانبين الخارجيين للسحاب المنزلق.

إرشادات الدراسة

ناقش مع زملائك العلاقة بين المؤثرات العقلية، وتأثيرها على تغيير تركيب الـ **DNA**.

الشكل 22-6 يحدث تزاوج القواعد في DNA بين قاعدة ذات حلقتين وقاعدة ذات حلقة واحدة؛ حيث يتزاوج الأدينين والثايمين دائمًا ويشكلان زوجًا بينهما رابطتان هيدروجينيتان، ويتزاوج الجوانين والسايتوسين دائمًا فيكونان زوجًا يرتبطان بثلاث روابط هيدروجينية.

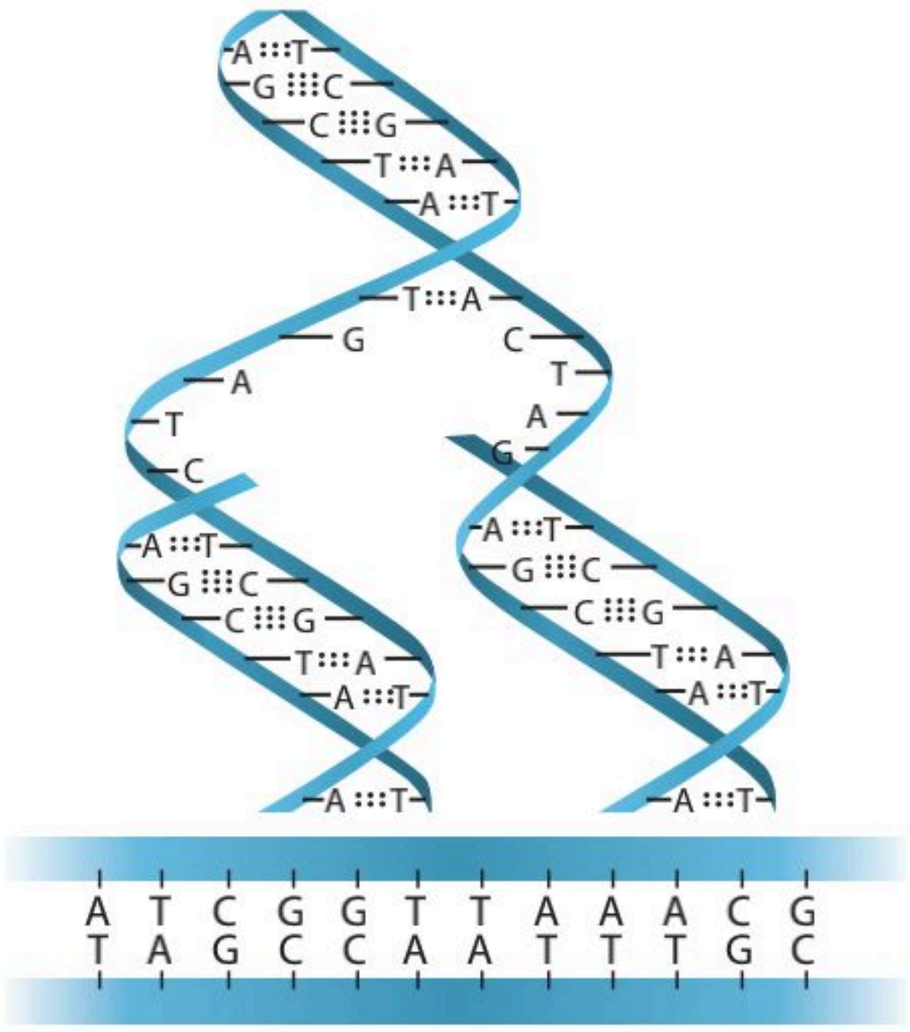


وظيفة DNA استخدم واطسون وكريك نموذجهما لتوقع كيف يمكن أن يؤدي تركيب DNA الكيميائي وظيفته. يختزن DNA المعلومات الوراثية للخلية في النواة، ويُنسخ DNA قبل انقسام الخلية حتى يحصل الجيل الجديد من الخلايا على المعلومات الوراثية نفسها. وبعد أن قرر واطسون وكريك أن سلسلتي لولب DNA تكمل إحداهما الأخرى، أدركا أن الأزواج القاعدية المتطابقة تنسخ المادة الوراثية للخلية بطريقة آلية. فقواعد DNA النيتروجينية الأربع تتخذ حروفًا أبجدية في لغة تخزين المعلومات للخلايا الحية. ويمثل التسلسل المحدد لهذه الحروف التعليمات الشاملة للمخلوق الحي، كما يحمل تسلسل الحروف في كلمات جملةٍ ما معنًى خاصًّا. ويختلف تسلسل القواعد في كل نوع من المخلوقات الحية، مما يسمح بتنوع ضخم من أشكال الحياة- وكل ذلك عن طريق لغة تستخدم أربعة حروف فقط. **و يقدَّر** أن DNA الخلية البشرية يحتوي على نحو ثلاثة مليارات زوج من القواعد النيتروجينية **المتطابقة**، مرتبة في تسلسل خاص بالبشر.

مختبر حل المشكلات

كوّن نموذجًا

كيف يتضاعف DNA؟ يتضاعف DNA قبل انقسام الخلية؛ حيث تحصل كل من الخليتين الجديدتين على مجموعة كاملة من التعليمات الوراثية. وعندما يبدأ DNA في التضاعف، يبدأ شريطا النيوكليوتيد بالانفكاك، ويقوم إنزيم بفك الروابط الهيدروجينية بين القواعد النيتروجينية فينفصل الشريطان. كما تقوم إنزيمات أخرى بإيصال نيوكليوتيدات حرة من الوسط المحيط إلى القواعد النيتروجينية المكشوفة، فيرتبط الأدنين بروابط هيدروجينية مع الثايمين، ويرتبط السايتوسين بالجوانين. وهكذا يقوم كل شريط ببناء شريط مكمّل عن طريق مزاوجة القواعد بالنيوكليوتيدات الحرة. وهذه العملية موضحة في الرسم المجاور. وبعد أن يتم ارتباط النيوكليوتيدات الحرة بالروابط الهيدروجينية في أماكنها، تقوم السكريات والفوسفات بالارتباط بروابط تساهمية بالسكريات ومجموعات الفوسفات على النيوكليوتيدات المجاورة لتكوّن عمودًا فقريًّا جديدًا. ويرتبط كل شريط من جزيء DNA الأصلي بشريط جديد.

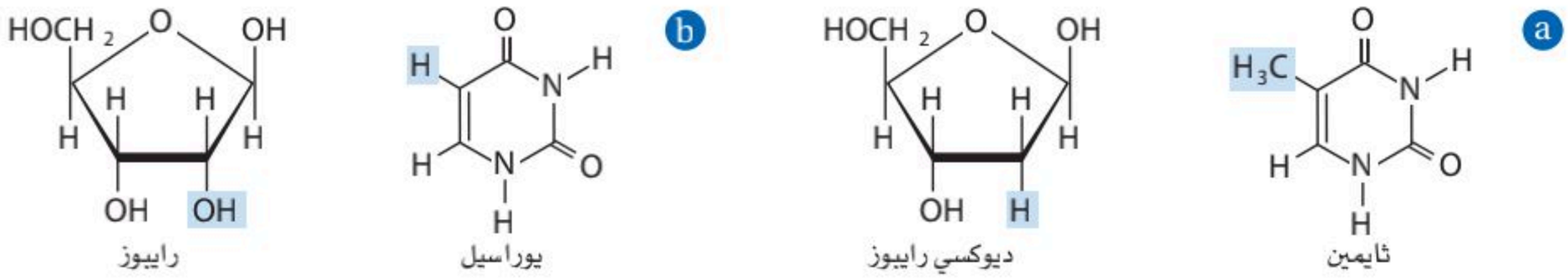


التحليل

يبين الرسم السفلي إلى اليسار قطعة صغيرة من جزيء DNA. انسخ تسلسل القواعد على ورقة نظيفة، وكن حذرًا حتى لا تخطئ في النسخ. وبيّن خطوات التضاعف لإنتاج قطعتين من DNA.

التفكير الناقد

1. **قارن** بين التسلسل في الشريط الذي صُنع حديثًا والتسلسل في الشريط الأصلي الذي يرتبط به.
2. **اشرح** إذا لُونت قطعة DNA الأصلية باللون الأحمر ولوِّنت النيوكليوتيدات الحرة باللون الأزرق، فما نمط الألوان الذي سيكون في قطعة DNA التي تكوّنت حديثًا؟ وهل ستكون جميع القطع الجديدة لها الألوان نفسها؟
3. **اشرح** كيف يمكن أن يتأثر المخلوق الحي إذا حدث خطأ في أثناء تضاعف DNA فيه؟ وهل التأثيرات دائمة؟ وضح إجابتك.



الشكل 23–6 يختلف DNA وRNA من حيث مكوناتهما؛ فالتركيبان عن اليمين موجودان في DNA، أما التركيبان عن اليسار فموجودان في RNA.
حدّد اختلافين في تركيبي RNA و DNA.

RNA

حمض الرايبونيوكلييك حمض نووي، يختلف تركيبه العام عن تركيب DNA في ثلاث طرائق مهمة، كما في الشكل **23–6**. أولاً أن DNA يحتوي على القواعد النيتروجينية الأدينين، والسايتوسين، والجوانين، والثايمين. في حين يحتوي RNA على الأدينين، والسايتوسين، والجوانين، واليوراسيل. ولا يوجد الثايمين أبدًا في RNA. ثانيًا، يحتوي RNA على سكر الرايبوز، في حين يحتوي DNA على سكر الديوكسي رايبوز الذي يوجد فيه ذرة هيدروجين بدل مجموعة هيدروكسيل في أحد المواقع.

أمّا الفرق الثالث بين DNA وRNA فهو في الشكل؛ إذ يكون DNA عادة على شكل لولب ثنائي؛ حيث تقوم الروابط الهيدروجينية بربط السلسلتين معًا عن طريق قواعدها. في حين يتكون RNA من شريط واحد دون وجود روابط هيدروجينية بين القواعد.

ويخزن DNA المعلومات الوراثية، في حين يمكن RNA الخلايا من استخدام المعلومات الموجودة في DNA. لقد تعلمت أن المعلومات الوراثية للخلية موجودة في تسلسل من القواعد النيتروجينية في جزيء DNA. وأن الخلايا تقوم باستعمال تسلسل القواعد هذا لتكوّن RNA بتسلسل متطابق. ومن ثم يستعمل RNA لصنع بروتينات بتسلسل من الأحماض الأمينية يتقرر بترتيب القواعد النيتروجينية في RNA، وتسمى هذه التسلسلات باسم الشفرة الوراثية. ولما كانت البروتينات هي الأدوات الجزيئية التي تقوم بمعظم النشاطات في الخلية، لذا يعد اللولب المزدوج لـ DNA هو المسؤول في النهاية عن التحكم في آلاف التفاعلات الكيميائية التي تحدث في الخلايا.

المطويات
ضمّن مطويتك معلومات من هذا القسم.

التقويم 6-4

الخلاصة

- الأحماض النووية بوليمرات من النيوكليوتيدات التي تتكون من قاعدة نيتروجينية، ومجموعة فوسفات، وسكر خماسي
- DNA و RNA هي جزيئات تخزين معلومات للخلية.
- يتكون DNA من شريطين، في حين يتكون RNA من شريط واحد.

19. الفكرة الرئيسة اشرح الوظيفة الأساسية لكل من RNA و DNA.

20. **حدّد** المكونات البنائية الخاصة لكل من RNA وDNA.

21. **اربط** وظيفة DNA بتركيبه.

22. **حلّل** تركيب الأحماض النووية، ثم حدّد التركيب الذي يجعلها أحماضًا.

23. **توقع** ماذا يحدث إذا احتوى DNA الذي يحمل شفرة صنع بروتين على تسلسل قواعد خاطئ؟

في الميدان

المهنة: عالم البيولوجيا الجزيئية

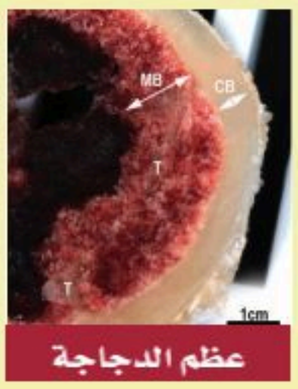
فحص الحمض يكشف مفاجأة

"لا يوجد عالم بيولوجيا جزيئية ذو تفكير صحيح يعمل ما عملته ماري شفايتزر Mary Schweitzer. نحن لا نبذل كل هذا الجهد لإخراج هذه الأشياء من الأرض لندمرها في حمض". هذا ما قاله أحد زملاء ماري شفايتزر، العالمة التي استخدمت تقنيات البيولوجيا الجزيئية لتكشف نسيجًا لينًا يجب ألا يكون موجودًا في عظم فخذ ديناصور متحجر منذ 68 مليون سنة.

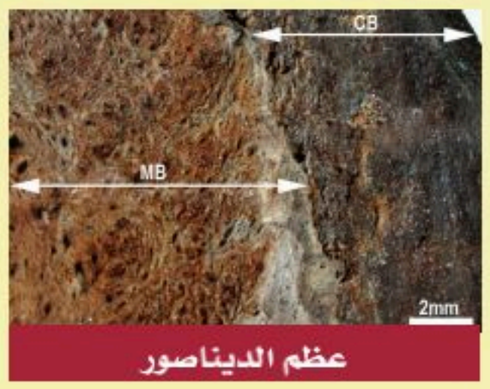
الأم بوب Mother Bob عندما قام علماء البيولوجيا الجزيئية باستخراج الديناصور المتحجر الذي أطلق عليه لقب "بوب" عام 2003 م من منطقة نائية في ولاية مونتانا الأمريكية، وضعت العظام في غطاء من الجبس لحمايتها في أثناء عملية النقل. ولكن كان وزن العظام والجبس يفوق قدرة الطائرة العمودية على حمله، مما اضطر علماء البيولوجيا الجزيئية أن يكسروا عظم الفخذ لكي يستطيعوا نقل الديناصور من تلك المنطقة النائية. وقد أخذت شفايتزر كِسَرًا من عظم الفخذ لدراستها دراسة إضافية.

وقد جاءت المفاجأة الأولى بسرعة؛ حيث كانت "بوب" أنثى، وكانت تنتج البيض عند وفاتها. والعظم الذي درسته شفايتزر يسمى عظمًا نخاعيًّا. وكان هذا النسيج العظمي معروفًا سابقًا في الطيور فقط، كما في **الشكل 1**. إذ ينتج الدجاج البيّاض العظم النخاعي، ويستعمل لاحقًا الكالسيوم المخزَّن في العظم لتكوين قشر البيض. وبعد إنتاج البيض يختفي هذا العظم. ويبين **الشكل 1** العظم النخاعي الموجود في عظم الديناصور "بوب".

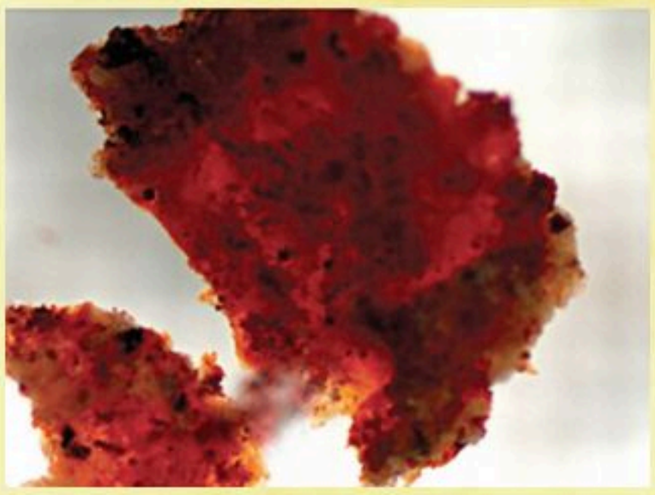
شكل 1 يحتوي كل من عظم الدجاجة وعظم الديناصور على عظم خارجي قاس يسمى العظم القشري (CB)، وعظمٍ ألينَ يسمى العظم النخاعي (MB).



عظم الدجاجة



عظم الديناصور



شكل 2 وجد العلماء أيضًا أوعية دموية وخلايا منفردة في النسيج اللين للديناصور.

الاختبار الحمضي The Acid Test لدراسة العظم النخاعي عن كثب أذابت شفايتزر كِسَرًا من العظم في حمض مخفف للتخلص من فوسفات الكالسيوم، وهذه تقنية تستعمل عادة في فحص النسيج الحديث. ولما كان العظم المتحجر قد تحوّل عادة إلى مادة معدنية، لذا كان يُفترض أن يذوب كليًّا في الحمض المخفف، إلا أن هذه الخطوة أعطت نتائج مذهلة؛ إذ وجد نسيج لين داخل العظم. وقد ظهر تحت المجهر أن هذا النسيج عبارة عن أوعية دموية محفوظة، بالإضافة إلى خلايا منفردة، كما في **الشكل 2**.

ولكن كيف يمكن أن يبقى النسيج طريًّا مدة 68 مليون سنة في الأرض؟

المزيد من العمل More Work قامت شفايتزر بعد ذلك بفحص عظام أخرى بالاختبار الحمضي نفسه ووجدت نسيجًا لينًا وتراكيب دقيقة مشابهة. ولا يعلم أحد حتى الآن ما الذي تظهره هذه التراكيب الدقيقة. إلا أن أحد العلماء يقول: "ربما تكون هناك أشياء كثيرة غفلنا عنها بسبب افتراضنا كيف تحدث عملية الحفظ"، ومن الواضح أن ذلك يتطلب المزيد من البحث.

الكتابة في الكيمياء

كتابة للاقناع من غير المحتمل أن يوجد DNA الديناصور في هذه الأنسجة اللينة. وعلى الرغم من ذلك فإن هذا الاكتشاف يثير السؤال الآتي: هل يمكن استنساخ الحيوانات المنقرضة من DNA الذي يتم الحصول عليه؟ اكتب مقالة إقناعية تعبر فيها عن رأيك حول هذا السؤال.

مختبر الكيمياء

فعل الإنزيم ودرجة الحرارة

الخلفية النظرية الإنزيمات عوامل محفزة طبيعية تستعملها المخلوقات الحية لتسريع التفاعلات، ولهذه البروتينات تراكيب متخصصة تمكّنها من التفاعل مع مواد محددة.

سؤال كيف تؤثر درجة الحرارة في عمل الإنزيمات؟

المواد والأدوات اللازمة

لب البطاطس الحمراء	مخبار مدرج 25 mL
فوق أكسيد الهيدروجين ($3\%\ H_2O_2$)	مقياس درجة حرارة
ماء	مسطرة
كأس سعتها 250 mL عدد 4	قطع ثلج
أنبوب اختبار عدد 4	ساعة
حامل أنابيب اختبار	سخان كهربائي
ماسك أنابيب اختبار	كبدة طازجة ونيئة

إجراءات السلامة

خطوات العمل

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.
2. اكتب فرضية تحدد درجة الحرارة التي تكون الإنزيمات عندها أكثر نشاطًا.
3. انسخ جدول البيانات على ورقة منفصلة.
4. ضع أنابيب الاختبار الأربعة في حامل الأنابيب.
5. ضع 2.0 mL من معجون لب البطاطس في كل أنبوب اختبار.
6. مستعملًا السخان الكهربائي والثلج جهز أربع كؤوس عند درجات حرارة مختلفة؛ تحتوي الأولى على ماء مثلج، والثانية على ماء في درجة حرارة الغرفة، والثالثة على ماء في درجة حرارة الجسم، والرابعة على ماء في درجة الغليان (100 °C) أو قريبًا منها.
7. ضع أنبوب اختبار واحدًا في كل من الكؤوس الأربع مستخدمًا ماسك أنابيب الاختبار.
8. قس درجة حرارة كل كأس وسجّلها.
9. قس بعد 5 min من وضع الأنابيب في الكؤوس 5.0 mL من $3\%\ H_2O_2$، وضعها في كل أنبوب اختبار.
10. دع التفاعل يستمر مدة 5 min.
11. قس ارتفاع الرغوة الناتجة في كل أنبوب.
12. اغسل الأنابيب بعد التخلص من محتوياتها.
13. أعد الخطوات من 4 إلى 12 مستعملًا 2 mL من معجون الكبد بدلاً من معجون لب البطاطس.

جدول البيانات

حوض ماء	درجة الحرارة (°C)	ارتفاع الرغوة (cm)
البطاطس		
ماء مثلج		
ماء في درجة حرارة الغرفة		
ماء في درجة حرارة الجسم		
ماء مغلي (قريب من 100 °C)		
الكبد		
ماء مثلج		
ماء في درجة حرارة الغرفة		
ماء في درجة حرارة الجسم		
ماء مغلي (قريب من 100 °C)		

14. **التنظيف والتخلص من النفايات** تخلص مما تبقى من المحاليل بحسب توجيهات معلمك، ثم اغسل أدوات المختبر، وأعدها إلى أماكنها المخصصة.

التحليل والاستنتاج

1. **الرسوم البيانية واستعمالها** مثّل البيانات بالأعمدة واضعًا درجة الحرارة على محور السينات وارتفاع الرغوة على محور الصادات، واستعمل لونًا مختلفًا لكل من بيانات البطاطس، والكبد، وأعمدتها.
2. **لخص** كيف تؤثر درجة الحرارة في عمل الإنزيمات؟ واستنتج لماذا كان التفاعل الأنشط في درجة الحرارة التي وجدتها؟
3. **السبب والنتيجة** أيّ الأنابيب كانت فيها الرغوة لكل من البطاطس والكبد هي الأقل؟ اقترح تفسيرًا لما حدث.
4. **قارن** هل أيّدت البيانات المختبرية فرضيتك في الخطوة 2؟ وضح إجابتك.
5. **نموذج** اكتب معادلة موزونة لتَحَلُّل فوق أكسيد الهيدروجين لكل تفاعل. كيف يتشابه التفاعلان؟ ولماذا؟
6. **تحليل الخطأ** حدّد مصادر الخطأ المحتملة لهذه التجربة، واقترح طرائق لتصحيحها.

الاستقصاء

صمّم تجربة هل يؤثر التغير في pH في النتائج؟ صمّم تجربة لتكتشف الإجابة.

الفصل 6

دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة تقوم المركبات العضويــة الحيوية: البروتينات، والكربوهيدرات، والليبيدات بالأنشــطة الضرورية للخلايا الحية.

6-1 البروتينات

الفكرة الرئيسة تؤدي البروتينات وظائف ضرورية تشــمل تنظيم التفاعلات الكيميائيــة، والدعم البنائي، ونقل المــواد، وتقلصات العضلات.

المفردات

- البروتينات
- الأحماض الأمينية
- الرابطة الببتيدية
- الببتيدات
- تغير الخواص الطبيعية
- الإنزيمات
- المادة الخاضعة لفعل الإنزيم
- الموقع النشط

المفاهيم الرئيسة

- البروتينات بوليمرات حيوية تتكون من أحماض أمينية ترتبط بروابط ببتيدية.
- تنطوي سلاســل البروتينات مكوّنة تراكيــب معقدة ثلاثية الأبعاد.
- للبروتينات وظائف عديدة في جسم الإنسان ، منها: وظائف داخل الخلايا، وأخرى بينها، ووظائف دعم بنائي.

6-2 الكربوهيدرات

الفكرة الرئيسة تزود الكربوهيــدرات المخلوقات الحيــة بالطاقة والمواد البنائية.

المفردات

- الكربوهيدرات
- السكريات الأحادية
- السكريات الثنائية
- السكريات عديدة التسكر

المفاهيم الرئيسة

- الكربوهيدرات مركبات تحتوي على مجموعات هيدروكسيل (OH-) متعددة، ومجموعة الكربونيل الوظيفية (C=O).
- يتراوح حجم الكربوهيدرات بين وحدات بناء أساسية مفردة إلى بوليمرات تتكون من مئات أو آلاف الوحدات الأساسية.
- توجد الســكريات الأحاديــة في المحاليل المائيــة في تراكيب حلقية ومفتوحة السلسلة.

6-3 الليبيدات

الفكرة الرئيسة تكوّن الليبيداتُ الأغشيةَ الخلويةَ، وتختزن الطاقة، وتنظم العمليات الخلوية.

المفردات

- الليبيدات
- الأحماض الدهنية
- الجليسريدات الثلاثية
- التصبُّن (صناعة الصابون)
- الليبيدات الفوسفورية
- الشموع
- الستيرويدات

المفاهيم الرئيسة

- الأحماض الدهنية أحماض كربوكسيلية طويلة السلاسل تحوي عادة ما بين 12 و 24 ذرة كربون.
- لا تحتوي الأحماض الدهنية المشبعة على روابط ثنائية؛ في حين تحتوي الأحماض الدهنية غير المشبعة على رابطة ثنائية أو أكثر.
- يمكــن أن ترتبــط الأحمــاض الدهنية بالجليــسرول لتكوّن الجليسريد الثلاثي.
- الستيرويدات ليبيدات تحتوي على تراكيب متعددة الحلقات.

6-4 الأحماض النووية

الفكرة الرئيسة تختزن الأحماض النووية المعلومات الوراثية وتنقلها.

المفردات

- الحمض النووي
- النيوكليوتيد

المفاهيم الرئيسة

- الأحماض النووية بوليمرات من النيوكليوتيدات التي تتكون من قاعدة نيتروجينية، ومجموعة فوسفات، وسكر خماسي.
- DNA و RNA جزيئات تخزين معلومات للخلية.
- يتكــون DNA من شريطــين، في حين يتكــون RNA من شريط واحد.

الفصل 6 التقويم

6-1

إتقان المفاهيم

24. ماذا تُسمى السلسلة المكوّنة من ثمانية أحماض أمينية؟ والسلسلة المكوّنة من 200 حمض أميني؟

25. سمِّ نوعين من المجموعات الوظيفية التي تتفاعل معًا لتكوين رابطة ببتيدية، وسمِّ أيضًا المجموعة الوظيفية في الرابطة الببتيدية نفسها.

26. استعمل الرموز المبينة لتمثيل تراكيب أربعة أحماض أمينية مختلفة، لرسم تراكيب أربعة ببتيدات ممكنة يتكون كل منها من أربعة أحماض أمينية يمكن ربطها بترتيبات مختلفة:

الحمض الأميني 1: ■ الحمض الأميني 3: ◆

الحمض الأميني 2: ▲ الحمض الأميني 4: ●

27. تشريح جسم الإنسان سمِّ خمسة أجزاء من الجسم تحتوي على بروتينات بنائية.

28. عدّد أربع وظائف رئيسة للبروتينات، وأعط مثالاً واحدًا على بروتين يقوم بكل وظيفة من هذه الوظائف.

29. صف شكلين شائعين لتركيب البروتين الثلاثي الأبعاد.

30. سمِّ المجموعات الوظيفية في السلاسل الجانبية للأحماض الأمينية الآتية:

a. الجلوتامين

b. السيرين

c. حمض الجلوتاميك

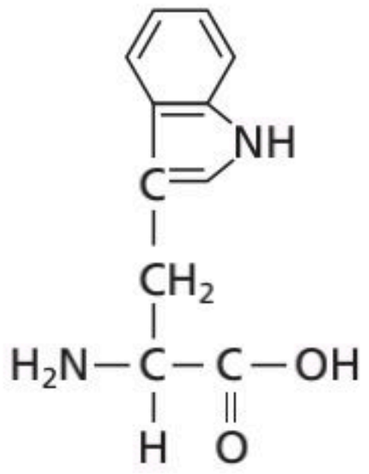
d. اللايسين

31. اشرح كيف يعمل الموقع النشط للإنزيم.

32. أعطِ مثالاً على حمض أميني له حلقة أروماتية في سلسلته الجانبية.

33. سمِّ حمضين أمينيين لا قطبيين، وآخرين قطبيين.

34. التركيب المبين في **الشكل 24-6** للتريبتوفان. صف بعض الخواص التي تتوقعها للتريبتوفان، بناءً على تركيبه. وإلى أي المركبات العضوية الحيوية ينتمي التريبتوفان؟ وضح إجابتك.



الشكل 24-6

35. هل ثنائي ببتيد اللايسين- الفالين هو المركب ثنائي ببتيد الفالين – اللايسين نفسه؟ وضح إجابتك.

36. إنزيمات كيف تخفّض الإنزيمات طاقة التنشيط لتفاعلٍ ما؟

37. كيمياء الخلية معظم البروتينات ذات الشكل الكروي موجهة، بحيث تكون معظم أحماضها الأمينية اللاقطبية في الجهة الداخلية والأحماض القطبية موجودة على السطح الخارجي. فهل يمكن أن يكون ذلك معقولاً من حيث طبيعة بيئة الخلية؟ وضح إجابتك.

إتقان حل المسائل

38. بكم طريقة يمكنك ترتيب ثلاثة أو أربعة أو خمسة أحماض أمينية مختلفة في الببتيد؟

39. كم رابطة ببتيدية توجد في ببتيد يحوي خمسة أحماض أمينية؟

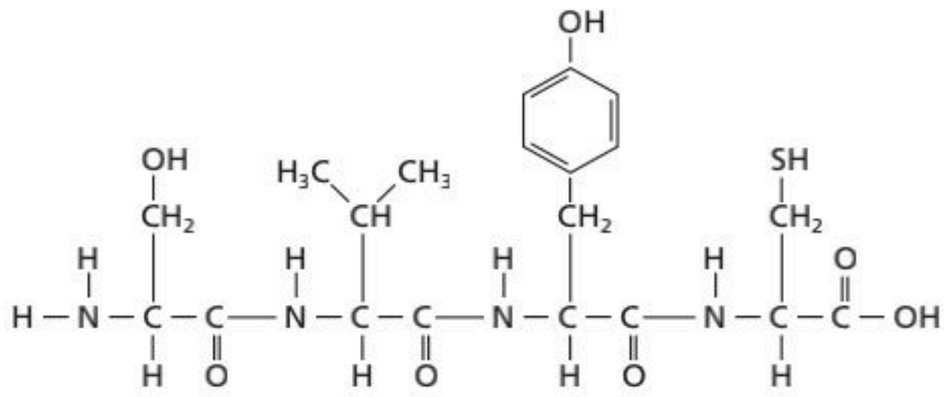
40. البروتينات متوسط الكتلة المولية لحمض أميني في ببتيد متعدد هو 110. فما الكتلة المولية التقريبية للبروتينين الآتيين؟

a. الأنسولين (51 حمضًا أمينيًّا)

b. المايوسين (1750 حمضًا أمينيًّا)

تقويم الفصل 6

41. حدّد عدد الأحماض الأمينية والروابط الببتيدية التي توجد في الببتيد المبين في **الشكل 25-6**.



الشكل 25-6

42. معدل الكتلة المولية لحمض أميني هو 110 g/mol، احسب عدد الأحماض الأمينية التقريبي في بروتين كتلته المولية 36,500 g/mol

6-2

إتقان المفاهيم

43. الكربوهيدرات صنّف الكربوهيدرات الآتية إلى سكريات أحادية، أو ثنائية، أو عديدة التسكر:

a. النشا
b. الجلوكوز
c. السكروز
d. الرايبوز
e. السليلوز
f. الجلايكوجين
g. الفركتوز
h. اللاكتوز

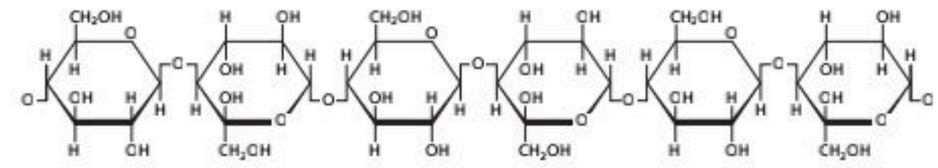
44. سمِّ متشكلين للجلوكوز.

45. ما نوع الرابطة التي تتكون عند اتحاد سكرين أحاديين لتكوين سكر ثنائي؟

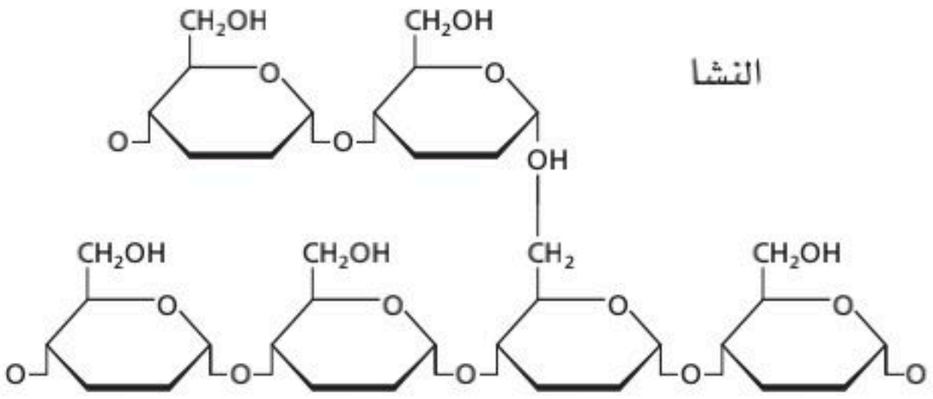
46. السكريات أعط مصطلحًا علميًّا لكل مما يأتي:

a. سكر الدم
b. سكر المائدة
c. سكر الفاكهة
d. سكر الحليب

47. السليلوز والنشا قارن بين التراكيب الجزيئية للسليلوز والنشا المبينة في **الشكل 26-6**.



السليلوز



النشا

الشكل 26-6

48. الكيمياء في النباتات قارن بين وظائف النشا والسليلوز في النباتات، ووضح أهمية التركيب الجزيئي لكل منهما بالنسبة لوظيفته.

49. استنتج كيف تعطي الاختلافات في ترتيبات الروابط في السليلوز والنشا خواص مختلفة؟

50. يتكون السكر الثنائي المالتوز من وحدتي جلوكوز. ارسم تركيبه.

51. لماذا يُنتج تميّه السليلوز، والجلايكوجين، والنشا سكرًا أحاديًّا واحدًا فقط؟ وما السكر الأحادي الذي ينتج؟

52. الهضم لماذا لا يمكن أن يتحلل السكر الثنائي أو العديد التسكر عند عدم وجود الماء؟ دعّم إجابتك بمعادلة.

53. ارسم تراكيب الفركتوز عندما يكون في صورة سلسلة مفتوحة. ضع دائرة حول كل ذرة كربون غير متماثلة، ثم احسب عدد المتشكلات الفراغية التي لها صيغة الفركتوز نفسها.

54. السكريات قارن بين الجلوكوز والفركتوز من حيث الصيغة الجزيئية والكتلة المولية والمجموعات الوظيفية.

6 تقويم الفصل

55. منظور تاريخي الكربوهيدرات ليست هيدرات الكربون كما يوحي الاسم بذلك. اشرح كيف حدث هذا المفهوم غير الصحيح.

إتقان حل المسائل

56. الكربوهيدرات المعقدة الستاكيوز سكر رباعي يحتوي على وحدتي D- جالاكتوز، ووحدة D- جلوكوز، ووحدة D- فركتوز. والكتلة المولية لكل وحدة سكر هي 180 g/mol قبل ارتباطها معًا في هذا السكر الرباعي. فإذا كان جزيء ماء واحد يتحرر مقابل كل وحدتي سكر ترتبطان معًا، فما الكتلة المولية للستاكيوز؟

6-3

إتقان المفاهيم

57. قارن بين تركيبي الجليسريد الثلاثي والليبيد الفوسفوري.

58. توقع أيهما تكون درجة انصهاره أعلى: الجليسريد الثلاثي المأخوذ من دهن البقر، أو الجليسريد الثلاثي المأخوذ من زيت الزيتون؟ فسّر إجابتك.

59. الصابون والمنظفات اشرح كيف أن تركيب الصابون يجعله عامل تنظيف فعّالاً؟

60. ارسم جزءًا من غشاء ليبيدي ذي طبقتين، وأشر إلى الأجزاء القطبية وغير القطبية من الغشاء.

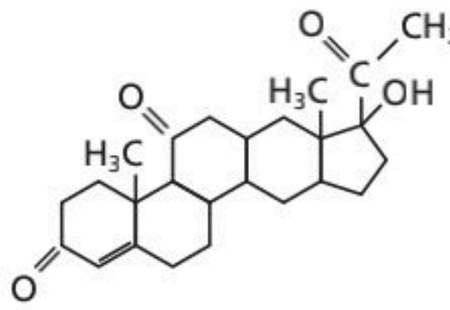
61. أين تُختزن الأحماض الدهنية في جسم الإنسان؟ وفي أي صورة؟

62. ما نوع الليبيد الذي لا يحتوي على سلاسل أحماض دهنية؟ ولماذا تُصنّف هذه المركبات على أنها ليبيدات؟

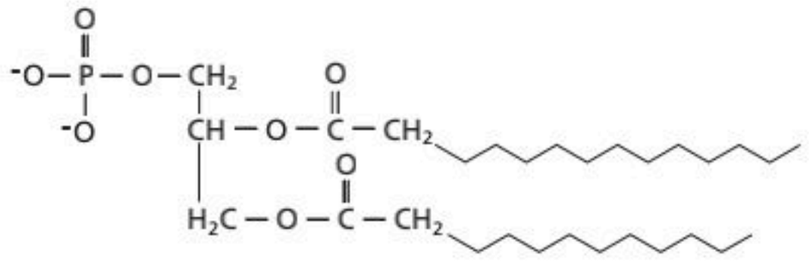
63. الصابون ارسم تركيب صابون بالمتات الصوديوم. (البالمتات هي القاعدة المرافقة للحمض الدهني المشبع ذي 16 ذرة كربون والمعروف باسم حمض البالمتيك)، وأشر إلى طرفيه: القطبي واللاقطبي.

64. حدّد هل يعد كل تركيب مما يأتي: حمضًا دهنيًّا، أو جليسريد ثلاثيًّا، أو ليبيد فوسفوريًّا، أو ستيرويد، أو شمعًا؟ فسّر إجابتك.

a.



b.



إتقان حل المسائل

65. إذا كانت كثافة حمض البالمتيك الدهني 0.853g/mL عند 62 °C، فما كتلة عينة من حمض البالمتيك حجمها 0.886 L عند درجة الحرارة نفسها؟

66. الدهون غير المشبعة كم مولاً من غاز الهيدروجين تتطلبه هدرجة تامة لـ 1 mol من حمض اللينولينيك؟ اكتب معادلة موزونة لتفاعل الهدرجة. علمًا بأن الصيغة الكيميائية لحمض اللينولينيك هي:

$CH_3CH_2CH{=}CHCH_2CH{=}CHCH_2CH{=}CH(CH_2)_7COOH$

6-4

إتقان المفاهيم

67. ما التراكيب الثلاثة التي تكوّن النيوكليوتيد؟

68. سمِّ حمضين نوويين موجودين في المخلوقات الحية.

69. اشرح دور DNA و RNA في إنتاج البروتينات.

70. أين يوجد DNA في الخلايا الحية؟

تقويم الفصل 6

71. صف أنــواع الروابط والتجاذبــات التي تربط وحدات البناء الأساسية معًا في جزيء DNA.



الشكل 27-6

72. صنّف التركيــب النووي المبين في **الشــكل 27-6** إلى DNA أو RNA، فسّر إجابتك.

73. ترتبط القاعدة جوانــين في تركيب DNA ثنائي اللولب دائمًا بالسايتوســين، ويرتبط الأدنين دائمًا بالثايمين. فماذا تتوقع أن تكون النســب بين كميــات C وT وA و G في طول معين من DNA؟

74. نســخ DNA يحتوي أحد أشرطة جزيء DNA الترتيب القاعدي التالي. فما تعاقب القواعد على الشريط الآخر في جزيء DNA؟

C-C-G-T-G-G-A-C-A-T-T-A

75. العمليــات الحيوية قــارن بين التفاعــلات الكلية للبناء الضوئــي والتنفس الخلــوي من حيث المــواد المتفاعلة، والنواتج، والطاقة.

إتقان حل المسائل

76. الشــفرة الوراثية هي شــفرة ثلاثيــة؛ أي أنه تعاقب من ثــلاث قواعد في RNA يــدل على كل حمــض أميني في سلسلة ببتيدية أو بروتين. ما عدد قواعد RNA الضرورية للدلالة على بروتين يحتوي على 577 حمضًا أمينيًّا؟

77. مقارنات DNA تحتوي خلية البكتيريا إيشيريكياكولاي أو (إي كــولاي) E.coli عــلى 4.2×106 زوجًــا من قواعد DNA، في حــين تحتوي كل خلية بشرية على نحو 3×10^9 زوجًا من قواعد DNA. ما النســبة المئوية التي يمثلها DNA في إيشيريشــياكولاي بالنسبة إلى الخريطة الوراثية البشرية؟

78. كم جرامًا من الجلوكوز يمكن أن يتأكســد كليًّا بـ 2.0 L من غاز O_2 في الظروف المعيارية في أثناء التنفس الخلوي؟

79. الطاقة احسب مجموع الطاقة بوحدة kJ التي تتحول إلى ATP في أثناء عمليات التنفس الخلوي والتخمر، وقارن بينها.

مراجعة عامة

80. ارســم مجموعات الكربونيــل الوظيفيــة في الجلوكوز والفركتوز. فيم تتشابه هذه المجموعات، وفيم تختلف؟

81. ســمِّ وحدات البناء الأساســية التي تكــوّن البروتينات والكربوهيدرات المركبة.

82. صف وظائف البروتينات، والكربوهيدرات، والليبيدات، في الخلايا الحية.

83. اكتب معادلة كيميائية موزونة تمثل تميه اللاكتوز.

84. اكتــب معادلة موزونة لتركيب الســكروز من الجلوكوز والفركتوز.

التفكير الناقد

85. احســب يتكــون 38 mol تقريبًــا مــن ATP عند التأكســد الكامــل للجلوكــوز في أثنــاء التنفــس الخلوي. فــإذا كانت حــرارة الاحــتراق لمــول واحــد مــن الجلوكــوز تســاوي 2.82×10^3 kJ /mol ، وكل مــول مــن ATP يختــزن 30.5 kJ من الطاقة، فما كفاءة التنفس الخلوي بدلالة النسبة المئوية من حيث الطاقة المتاحة المخزونة في روابط ATP الكيميائية؟

86. تعرّف الســبب والنتيجة تقترح بعــض الأنظمة الغذائية تحديدًا شــديدًا لكمية الليبيدات، فلــماذا لا يُعد حذف الليبيدات من الغذاء كليًّا فكرة جيدة؟

87. الرســوم البيانية واســتعمالها يبين **الجدول 2-6** عددًا من الأحماض الدهنية المشبعة وقيم بعض خواصها الفيزيائية.

a. مثّل بيانيًّا عدد ذرات الكربون ودرجة الانصهار.

تقويم الفصل 6

b. مثّل بيانيًّا عدد ذرات الكربون والكثافة.

c. استنتج العلاقات بين عدد ذرات الكربون في الحمض الدهني وكثافته ودرجة انصهاره.

d. توقع درجة الانصهار التقريبية لحمض دهني مشبع فيه 24 ذرة كربون.

الجدول 2-6 الخواص الفيزيائية لبعض الأحماض الدهنية المشبعة

الاسم	عدد ذرات الكربون	درجة الانصهار (°C)	الكثافة (g/ml) (عند 60-80 °C)
حمض البالمتيك	16	63	0.853
حمض الميريستيك	14	58	0.862
حمض الأراكيديك	20	77	0.824
حمض الكابريليك	8	16	0.910
حمض الدوكوسانويك	22	80	0.822
حمض الستيريك	18	70	0.847
حمض اللوريك	12	44	0.868

مسألة تحفيز

88. احسب كم مولاً من ATP يمكن أن ينتج الجسم البشري من السكر الموجود في 28 kg من التفاح الأحمر. استخدم الإنترنت للحصول على معلومات لحل المسألة.

مراجعة تراكمية

89. حدد الحمض والقاعدة في المواد المتفاعلة لكل مما يلي:

a. $HBr + H_2O \rightarrow H_3O^+ + Br^-$

b. $NH_3 + HCOOH \rightarrow NH_4^+ + HCOO^-$

c. $HCO_3^- + H_2O \rightarrow CO_3^{2-} + H_3O^+$

90. ما الخلية الجلفانية؟

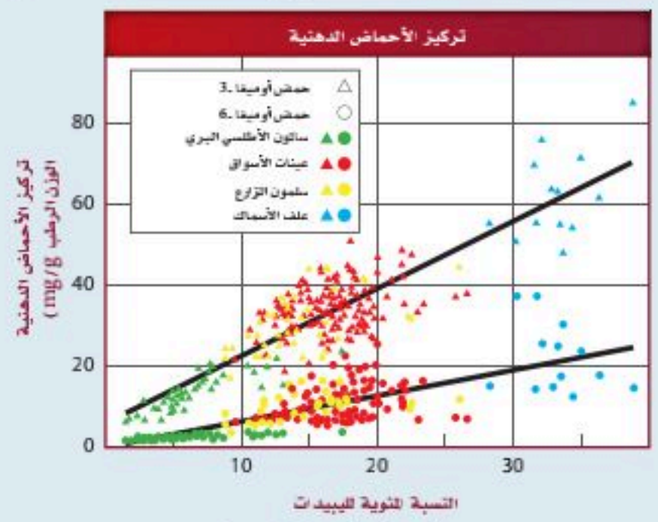
تقويم إضافي

الكتابة في الكيمياء

91. **الكولسترول** استعمل المكتبة أو الإنترنت لعمل بحث عن الكولسترول، واكتب مقالة صحفية تتعلق بالكولسترول موجهة إلى القرّاء في سن المراهقة. وتأكد من الإجابات عن الأسئلة الآتية في المقالة: أين يستعمل هذا المركب في جسمك؟ ما وظيفته؟ لماذا يعد الإكثار من الكولسترول في الغذاء غير مناسب؟ هل الوراثة عامل في ارتفاع الكولسترول؟

أسئلة المستندات

الأحماض الدهنية أوميجا- 3 وأوميجا- 6 أحماض دهنية أخذت أسماؤها من تراكيبها. فهي تحتوي على رابطة ثنائية إما على بعد 3 ذرات كربون أو 6 ذرات كربون من نهاية سلسلة الحمض الدهني. وتأثير هذه الأحماض الدهنية مفيد في الصحة؛ لأنها تخفض مستويات الكولسترول السيئ، وترفع مستويات الكولسترول الجيد في الدم. لقد دُرست مستويات الأحماض الدهنية أوميجا -3 وأوميجا -6 في سمك السلمون من ثلاثة مصادر مختلفة، وفي الغذاء المستعمل في مزارع السلمون أيضًا. ويبين **الشكل 28-6** النسبة المئوية للأحماض الدهنية أوميجا -3 وأوميجا-6 مقارنة بمجموع كمية الليبيدات في العينات.



الشكل 28-6

92. أي أنواع الأسماك احتوى على أكبر كمية من الأحماض الدهنية أوميجا؟

93. بناءً على هذه الدراسة، أي أنواع السلمون تنصح به لشخص يريد الإكثار من كمية الأحماض الدهنية أوميجا-3 وأوميجا-6 في غذائه؟

94. استنتج من الرسم البياني لماذا يحتوي سلمون المزارع والأسواق الكبرى على كمية من الأحماض الدهنية أوميجا-3 وأوميغا-6 أكبر من تلك الموجودة في السلمون البري؟

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

1. أي مما يأتي لا ينطبق على الكربوهيدرات؟

a. توجد السكريات الأحادية باستمرار بين التركيب الحلقي وتركيب السلسلة المفتوحة.

b. ترتبط السكريات الأحادية في النشا بنفس نوع الروابط التي ترتبط بها في اللاكتوز.

c. لجميع الكربوهيدرات الصيغة العامة $C_n(H_2O)_n$.

d. تقوم النباتات فقط بصنع السليلوز، ويهضمه الإنسان بسهولة.

2. أي مما يلي غير صحيح فيما يتعلق بالأحماض النووية RNA و DNA؟

a. يحتوي DNA على السكر الرايبوزي منقوص الأكسجين، بينما يحتوي RNA على السكر الرايبوزي.

b. يحتوي RNA على القاعدة النيتروجينية اليوراسيل، بينما لا يحتوي DNA على ذلك.

c. يتكون RNA من شريط مفرد، بينما يتكون DNA من شريط مزدوج.

d. يحتوي DNA على القاعدة النيتروجينية الأدنين، بينما لا يحتوي RNA على ذلك.

استخدم الجدول الآتي في الإجابة عن السؤالين 3 و 4.

بيانات النيوكليوتيدات لعينات من DNA

العينة	محتوى كل نيوكليوتيد	A	G	C	T
I	العدد	195	?	231	?
	النسبة	20.8	?	29.2	?
II	العدد	?	402	?	?
	النسبة	?	32.5	?	?
III	العدد	?	?	194	234
	النسبة	?	?	22.7	27.3
IV	العدد	266	203	?	?
	النسبة	28.4	21.6	?	?

3. ما النسبة المئوية للثايمين (T) في العينة IV؟

a. 28.4%

b. 78.4%

c. 71.6%

d. 21.6%

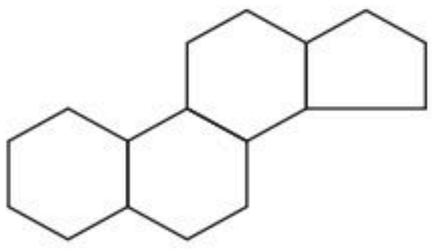
4. ما عدد جزيئات السايتوسين في جزيء واحد من العينة (II)؟

a. 402

b. 434

c. 216

d. 175



5. تمثل الصيغة أعلاه:

a. سليلوز

b. نشا

c. بروتين

d. ستيرويد

6. تعد الأحماض الأمينية الوحدات البنائية في:

a. الكربوهيدرات

b. الأحماض النووية

c. الليبيدات

d. البروتينات

7. يتكون السكروز من:

a. جزيئات من الفركتوز

b. جزيئات من الجلوكوز

c. جزيء من الفركتوز وآخر من الجلوكوز

d. جزيء من الفركتوز وآخر من الجالاكتوز

اختبار مقنن

8. الجلايكوجين من السكريات عديدة التسكر التي تستخدم لتخزين الطاقة في:

a. الحيوانات

b. النباتات

c. الفطريات

d. البكتيريا

9. يعد الجلوكوز والفركتوز من السكريات:

a. الأحادية

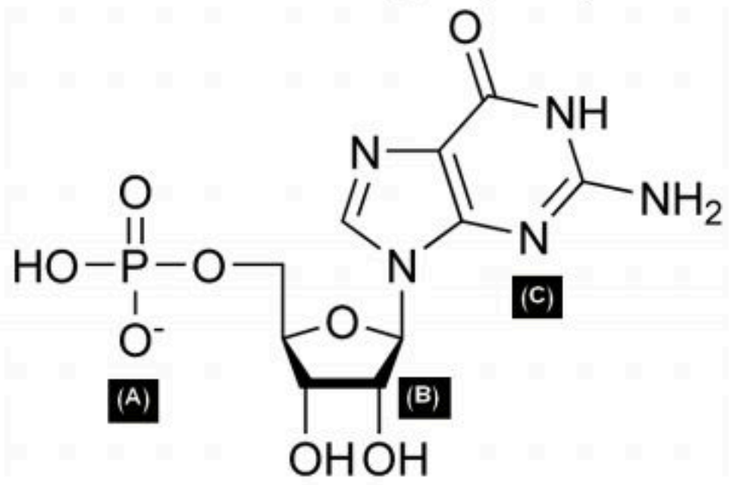
b. الثنائية

c. السداسية

d. عديدة التسكر

أسئلة الإجابات القصيرة

10. يحدد ترتيب القواعد النيتروجينية في RNA ترتيب الأحماض الأمينية المكوّنة للبروتين؛ فمثلاً الشفرة الوراثية CAG خاصة بالحمض الأميني الجلوتامين. ما عدد الأحماض الأمينية التي يمكن تشفيرها في شريط من RNA الذي يتكون من 2.73×10^4 قاعدة نيتروجينية؟



11. استخدم الشكل أعلاه في الإجابة عما يلي:

a. ما الذي يمثله الشكل؟

b. ما الذي تمثله الأجزاء المشار إليها بالأحرف A، B، C؟

أسئلة الإجابات المفتوحة

استخدم الشكل أدناه للإجابة عن السؤال 12.

12. سجل أحد الطلاب اسم الألكان الممثل بالسلسلة الكربونية أعلاه كما يلي: 2 – ايثيل 3، 3 – ثنائي ميثيل بنتان. هل إجابة زميلك صحيحة؟ إذا لم تكن صحيحة فما الاسم الصحيح لهذا المركب؟

13. قارن بين المركبات الأليفاتية، والمركبات الأروماتية.

المصطلحات

(أ)

الاتـزان غيـر المتجانـس Heterogeneous Equilibrium حالة اتـزان تكون فيها المـواد المتفاعلة والنواتج في حالات فيزيائية مختلفة.

الاتـزان الكيميائـي Chemical Equilibrium حالـة التفاعل التي تكون عندها سـرعتا التفاعل الأمامي والخلفي متساويتان.

الاتـــزان المتـجـانـــس Homogeneous Equilibrium حالة اتـزان تكون فيها المـواد المتفاعلة والنواتج في الحالة الفيزيائية نفسها.

الأحماض الكربوكسيلية Carboxylic Acid مركبات عضوية تحتوي على مجموعة الكربوكسيل COOH-.

الأحماض الدهنيـة Fatty Acids وحـدة بناء رئيسـية مشـتركة في الليبيـدات وهي أحماض كربوكسـيلية ذات سلاسل طويلة.

الأحماض الأمينية Amino Acid جزيئات عضوية توجد فيها مجموعة الأمين ومجموعة الكربوكسيل الحمضية.

الإسـترات Ester مركبات عضويـة تحتوي على مجموعة كربوكسيل حلت فيها مجموعة ألكيل محل ذرة الهيدروجين الموجودة في مجموعة الهيدروكسيل، ويمكن ان تكون مواد متطايرة وذات رائحة عطرية، وهي من المركبات القطبية.

الألـكان Alkane هيدروكربـون يحتوي روابط مفردة بين الذرات.

الألكاين Alkyne مركب هيدروكبوني غير مشبع كالإيثاين (C_2H_2) يحتوي على رابطة ثلاثية أو أكثر.

الألكين Alkene هيدروكربـون غيـر مشـبع كالإيثين (C_2H_2) يحتوي رابطة تساهمية ثنائية أو أكثر.

الألـكان الحلقـي Cycloalkane هيدروكربـون حلقي يحتوي على روابط تساهمية مفردة فقط، ويتكون من حلقات فيها ثلاثة ذرات كربون أو أكثر.

الألدهيـدات Aldehydes مركبـات عضويـة تقـع فيها مجموعة الكربونيل في آخر السلسلة، وتكون مرتبطة مع ذرة كربـون متصلة بذرة هيدروجين من الطرف الآخر. والصيغة العامة للألدهيـدات RCHO، حيث R مجموعة الألكيل أو ذرة الهيدروجين.

الأمينـات Amines مركبـات عضويـة تحتـوي ذرات نيتروجيـن مرتبطة بذرات الكربون في سلاسـل أليفاتية أو حلقات أروماتية، ولها الصيغة العامة RNH_2.

الأميـدات Amides مركبـات عضوية تنتج عن اسـتبدال مجموعة OH- في الحمض الكربوكسـيلي بذرة نيتروجين مرتبطة بذرات أخرى.

الإنزيمـات Enzymes عوامل محفـزةٌ حيويةٌ تعمل على تسريع التفاعلات الكيميائية دون أن تستهلك.

الإيثـرات Ethers مركبات عضوية تحتوي ذرة أكسـجين مرتبطة مـع ذرتين من الكربون. والصيغـة العامة للإيثرات هي 'ROR.

الأيـون المشـترك Common Ion أيـون مشـترك بين مادتين أيونيتين أو أكثر.

(ب)

البلاستيك Plastic بوليمر يمكن تسخينه وتشكيله عندما يكون لينًا. وهناك بلاستيك آخر شائع يسمى الفينيل وهو البولي فينيل كلوريد (PVC) والذي يمكن صناعته في صورة لينة أو صلبة، ويمكن تشكيله على شكل صفائح رقيقة، أو نماذج للألعاب.

البوليمرات Polymers جزيئات كبيرة تتكون من العديد من الوحدات البنائية المتكررة.

البلمرة بالإضافة AdditionPolymerization التفاعل الذي تتكسر فيه الروابط غير المشبعة تماما كما في تفاعلات الإضافة، والاختلاف الوحيد بينهما هو ان الجزيء الثاني المضاف هو جزيء المادة نفسها.

البلمرة بالتكاثف Condensation Polymerigation التفاعل الذي يحدث عندما تحتوي المونومرات على اثنتين من المجموعات الوظيفية على الأقل وتتحد مع بعضها ويصاحب ذلك فقد جزيء صغير غالبًا ما يكون الماء.

البروتينات Proteins مركبات عضوية حيوية تتكون من أحماض أمينية مرتبطة معًا بترتيب معين.

الببتيدات Peptides السلاسل المكونة من حمضين أمينيين أو أكثر، ترتبط معًا بروابط ببتيدية.

(ت)

تأثير الأيون المشترك Common Ion Effect انخفاض الذوبانية بسبب وجود أيون مشترك.

التفاعل الانعكاسي Reversible Reaction التفاعل الكيميائي الذي يحدث في كلا الاتجاهين الطردي والعكسي.

تفاعل الاستبدال Substitution Reactions التفاعلات تحل فيها ذرة أو مجموعة من الذرات في الجزيء محل ذرة أو مجموعة أخرى من الذرات.

تفاعلات التكاثف Condensation Reactions

التفاعلات التي يتم فيها ارتباط اثنين من جزيئات صغيرة لمركبات عضوية لتكوين جزيء آخر أكثر تعقيدًا. ويرافق هذه العملية فقدان جزيء صغير مثل الماء. وينتج هذا الجزيء عادة من كلا الجزيئين المتحدين.

تفاعلات الحذف Elimination Reactions التفاعلات التي يتم فيها حذف ذرتين من الذرات المرتبطة مع ذرتي كربون متجاورتين؛ حيث يتم إضافة رابطة ثنائية بين ذرتي الكربون. وغالبًا ما تكوّن الذرات التي تحذف جزيئات مستقرة، مثل H_2O، أو HCl، أو H_2.

تفاعلات حذف الهيدروجين Dehydrogenation Reactions التفاعلات التي يصاحبها حذف ذرتي هيدروجين.

تفاعلات حذف الماء Dehydration Reactions

تفاعلات الحذف التي يصاحبها تكوين الماء.

تفاعلات الإضافة Addition Reactions التفاعل الذي يتم فيه ارتباط ذرات أخرى مع ذرات الكربون المكونة للرابطة التساهمية الثنائية أو الثلاثية. ويتضمن هذا التفاعل تكسير الرابطة الثنائية في الألكينات أو الرابطة الثلاثية في الألكاينات.

تفاعل إضافة الماء Hydration Reaction التفاعلات التي يتم فيه إضافة ذرة الهيدروجين ومجموعة الهيدروكسيل من جزيء الماء إلى الرابطة الثنائية أو الثلاثية.

تفاعلات الهدرجة Hydrogenation Reactions

تفاعلات إضافة الهيدروجين إلى ذرات الكربون التي تكوّن الرابطة الثنائية أو الثلاثية. وعندما يتفاعل جزيء واحد من H_2 مع الرابطة الثنائية بشكل كامل، يضاف H_2 إلى الرابطة الثنائية في الألكينات، يتحول الألكين إلى ألكان.

تفاعلات البلمرة Polymerization Reactions

التفاعلات التي ترتبط فيها المونومرات مع بعضها البعض.

تغيير الخواص الطبيعية الأصلية Denaturation

العملية التي تشوه تركيب البروتين الطبيعي الثلاثي الأبعاد وتمزقه أو تتلفه.

التصبُّن Saponification تميُّه الجلسريد الثلاثي بوجود محلول مائي لقاعدة قوية لتكوين أملاح الكربوكسيلات والجلسرول.

التقطير التجزيئي Fractional Distillation عملية فصل مكونات البترول إلى مكونات أبسط منها من خلال تكثفها عند درجات حرارة مختلفة.

التكسير الحراري Cracking العملية التي يتم فيها تحويل المكونات الثقيلة للبترول الى جازولين عن طريق تكسير الجزيئات الكبيرة الى جزيئات أصغر.

(ث)

ثابت الاتزان Equilibrium Constant القيمة العددية لنسبة تراكيز المواد الناتجة الى تراكيز المواد المتفاعلة ويرفع كل تركيز الى أس مساويًا للمعامل الخاص به في المعادلة الكيميائية الموزونة.

ثابت حاصل الذوبانية Solubility Product Constant ثابت اتزان ذوبان مادة أيونية قليلة الذوبان في الماء.

ثابت السرعة Specific Rate Constant قيمة عددية تربط بين تركيز المتفاعلات بسرعة التفاعل عند درجة حرارة معينة.

(ج)

الجلسريد الثلاثي Triglyceride تركيب يتكون من ارتباط ثلاثة أحماض دهنية بالجلسرول بواسطة روابط إستر.

الجول Joule الوحدة الدولية لقياس الطاقة والحرارة.

(ح)

الحـرارة Heat أحد أشكال الطاقة التي تنتقل من الأجسام الساخنة إلى الأجسام الأقل برودة.

حـرارة الاحتـراق Enthalpy of Combustion كمية الحـرارة الناتجة عن احتراق مول واحد مـن المادة احتراقًا كليًا.

حـرارة التكويـن القياسـية Standard Enthalpy of Formation التغيـر في المحتوى الحـراري الذي يرافق تكوين مـول واحد من مركـب في الظروف القياسـية من عناصره في حالته الطبيعية.

الحـرارة المولاريـة للانصهـار Molar Enthalpy (Heat) of Fusion كميـة الحرارة التـي يتطلبها تحويل مول واحد من المادة الصلبة إلى سائل.

الحرارة المولارية للتبخر Molar Enthalpy (Heat) of Vaporization كميـة الحرارة اللازمـة لتحويل مول واحد من المادةالسائلة إلى بخار.

الحـرارة النوعيـة Specific Heat كميـة الحرارة التي يتطلبهـا رفع درجة حـرارة جرامًا واحدًا مـن المادة درجة سليزية واحدة.

الحمض النـووي Nucleic Acid مبلمـر حيوي يحتوي على النيتروجين، ويقوم بتخزين المعلومات الوراثية ونقلها.

(د)

الدوران الضوئي Optical Rotation ما يحدث عند مرور ضوء مسـتقطب في محلول يحتـوي مصاوغات بصرية؛ إذ ينحـرف اتجاه الضوء المسـتقطب نحـو اليمين من خلال المصاوغ (D) أو نحو اليسار من خلال المصاوغ (L).

(ذ)

ذرة كربـون غيـر متماثلـة Asymmetric Carbon ذرة كربون متصلـة بأربع ذرات أو مجموعات ذرات مختلفة في المركبات الكيرالية.

(ر)

الرابطـة الببتيديـة Peptide Bond رابطة الأميد التي تجمع حمضين أمينيين.

رتبة التفاعل Reaction Order تبين كيف تتأثر سـرعة التفاعل بمادة معينة.

(س)

السـتيرويدات Steroids ليبيدات تحتـوي تراكيبها على حلقـات متعددة. وجميع السـتيرويدات مبنيـة من تركيب الستيرويد الأساسي المكوّن من الحلقات الأربع.

سـرعة التفاعـل الكيميائـي Reaction Rate التغير في تركيز المواد المتفاعلة أو الناتجة في وحدة الزمن.

السُـعر Calorie كمية الحـرارة اللازمة لرفع درجة حرارة جرام واحد من الماء النقي درجة سيليزية واحدة.

السكريات الأحادية Monosaccharides أبسط الكربوهيدرات تركيبًا، وتدعى السكريات البسيطة أيضًا.

السكريات الثنائية Disaccharides وهي السكريات الناتجة من اتحاد جزيئين من السكريات الأحادية.

السكريات العديدة التسكر Polysaccharides بوليمر من السكريات البسيطة يحتوي على 12 وحدة بناء أساسية أو أكثر.

السلسلة الرئيسة Parent Chain أطول سلسلة متصلة من ذرات الكربون في الألكانات والأصلكينات والألكاينات المتفرعة.

السلسلة المتماثلة Homologous Series مجموعة من المركبات تختلف عن بعضها بتكرار عدد وحدات البناء.

(ش)

الشموع Waxes ليبيدات تتكون من اتحاد حمض دهني مع كحول ذي سلسلة طويلة.

(ص)

صلب غير متبلور Amorphous Solid مادة صلبة، الجسيمات فيها غير مرتبة بنمط معين، تتكون أحيانًا عندما تبرد المادة الذائبة بسرعة لتكوين بلورات.

(ط)

الطاقة Energy القدرة على بذل شغل أو إنتاج حرارة.

طاقة التنشيط Activation Energy الحد الادنى من الطاقة اللازمة لبدء التفاعل.

طاقة الوضع الكيميائية Chemical Potential Energy الطاقة المخزونة في المادة والناتجة عن تركيبها.

(ق)

قانون الاتزان الكيميائي Law Of Chemical Equilibrium ينص على أن النظام الكيميائي يمتلك نسبة محددة من النواتج والمتفاعلات عند درجة حرارة معينة.

قانون سرعة التفاعل Rate Law مقدار تغير تركيز المواد المتفاعلة أو الناتجة في وحدة الزمن.

قانون هس Hess's Law تغير الطاقة في تفاعل كيميائي يساوي مجموع التغيرات في طاقة التفاعلات الفردية المكونة له.

قانون حفظ الطاقة Law Of Conservation Of Energy ينص على أن الطاقة لا تفنى ولا تستحدث وإنما تتحول من شكل إلى آخر.

(ك)

الكحولات Alcohols مركبات عضويــة ناتجة عن حلول مجموعة هيدروكسيل محل ذرة هيدروجين.

الكربوهيدرات Carbohydrates مركبات تحتوي على عدة مجموعات من الهيدروكسيل (OH–) بالإضافة إلى مجموعة الكربونيل الوظيفية (C=O).

الكون Universe عبارة عن النظام مع المحيط.

الكيتونات Ketones مركبــات عضوية ترتبــط فيها ذرة الكربــون في مجموعــة الكربونيــل مع ذرتــي كربون في السلسلة. وله الصيغة العامة RCOR'.

الكيرالية Chirality خاصية المركب الذي يحتوي على ذرة كربون غير متماثلة.

الكيمياء الحرارية Thermochemistry تــدرس تغيرات الحرارة التي ترافــق التفاعلات الكيميائية وتغيرات الحالة الفيزيائية.

(ل)

الليبيدات Lipids مركبات عضوية حيوية غير قطبية كبيرة جدًّا، تختلف فــي تركيبها، وتعمل علــى تخزين الطاقة في المخلوقات الحية، وتدخل في معظم تركيب غشاء الخلية.

الليبيدات الفوسفورية Phospholipids ثلاثــي الجلســريد اســتبدل فيه أحد الأحماض الدهنية بمجموعة فوسفات قطبية.

(م)

مبدأ لوتشاتلييه Le Châtelier's Principle عنــد وقوع قوة خارجة علــى نظام يقوم ذلك النظام بالاتجاه نحو الطرف الذي يعمل على امتصاص تأثير القوة.

المتشكلات Isomers مركبان أو أكثر لها الصغية الجزيئية نفسها ولكنهما يختلفان في صيغتهما البنائية.

المتشكلات الضوئية Optical Isomers مصاوغات فراغية ناتجة عن الترتيبــات المختلفة للمجموعات الأربع المختلفة والموجودة على ذرة الكربون نفسها لها الخصائص الفيزيائية والكيميائية نفسها الاّ أنّ تفاعلاتها الكيميائية تعتمد على الكيرالية.

المتشكلات البنائية Structural Isomers مصاوغات بنائية تترتب فيها الذرات بتسلسلات مختلفة، مما يؤدي إلى اختلاف مركباتها في الخصائص الكيميائية والفيزيائية، رغم امتلاكها الصيغة الجزيئية نفسها.

المتشكلات الفراغية Stereoisomers نــوع مــن المصاوغات لها التركيب نفسه ولكنها تترتب بشكل مختلف في الفراغ.

المتشكل الهندسي Geometric Isomers نــوع من المصاوغات الناتجة عن ترتيب المجموعات أو الذرات في الفراغ.

المثبّط Inhibitor مادة تؤدي إلى إبطاء سرعة التفاعل.

المجموعة الوظيفية Functional Group ذرة أو مجموعة من الذرات تتفاعل دائمًا بالطريقة نفسها. وعند إضافتها للمركبات الهيدروكربونية ينتج دائمًا مواد لها خواص فيزيائية وكيميائية مختلفة عن المركبات الهيدروكربونية الأصلية.

مجموعة الهيدروكسيل hydroxyl Group مجموعة الأكسجين – الهيدروجين التي ترتبط تساهميًا مع ذرات أخرى مثل الكربون.

مجموعة الكربونيل Carbonyl Group الترتيب الذي ترتبط فيه ذرة الأكسجين برابطة ثنائية مع ذرة كربون. وهي المجموعة الوظيفية في المركبات العضوية المعروفة باسم الألدهيدات والكيتونات.

مجموعة الكربوكسيل Carboxyl Group عبارة عن مجموعة كربونيل مرتبطة مع مجموعة هيدروكسيل.

المجموعة البديلة substitution groups التفرعات الجانبية من السلسلة الرئيسية.

المحتوى الحراري Enthalpy المحتوى الحراري للنظام تحت ضغط ثابت.

المحتوى الحراري (أو حرارة) التفاعل Enthalpy of Reaction (heat) كمية الحرارة الممتصة أو المنطلقة في التفاعل الكيميائي.

المحفّز Catalyst مادة كيميائية تضاف إلى التفاعل الكيميائي فتزيد من سرعته دون أن تتأثر كيميائيًا.

المحيط Surroundings كل شيء في الكون غير النظام.

المركبات العضوية Organic Compounds مركبات تحتوي الكربون ما عدا أكاسيد الكربون والكربيدات والكربونات فهي غير عضوية.

المركبات الأروماتية (العطرية) Aromatic Compounds مركبات عضوية تحتوي على حلقة بنزين أو أكثر.

المركبات الأليفاتية AliphaticCompounds مركب هيدروكربوني غير أروماتي كالألكان والألكين والألكاين.

المسعر Calorimeter جهاز معزول حراريًا يستخدم لقياس كمية الحرارة الممتصة أو المنطلقة في أثناء عملية كيميائية أو فيزيائية.

المعادلة الكيميائية الحرارية Thermochemical Equation معادلة كيميائية موزونة تشتمل على حالات المواد، والتغير في الطاقة.

المعقد المنشط Activated Complex مجموعة من الذرات فترة بقائها معًا قصيرة جدًّا قد ينتج عنها النواتج أو قد تعود إلى صورة المتفاعلات.

المونومرات Monomers الجزيئات الصغيرة أو الوحدات البنائية التي يصنع منها البوليمرات.

المادة الخاضعة لفعل الإنزيم Substrate يشير إلى مادة متفاعلة في تفاعل يعمل فيه الإنزيم عمل عامل محفز.

الموقع النشط Active Site النقطة التي ترتبط بها المواد الخاضعة لفعل الإنزيم.

(ن)

النظام System جزء معين من الكون يحتوى على التفاعل أو العملية المراد دراستها.

نظريـة التصادم Collision Theory تنص على وجوب اصطدام الجزيئات، الأيونات أو الذرات لحدوث التفاعل.

نظريـة دالتـون الجزئيـة Dalton's Law Of Partial Pressures الضغـط الكلي لمزيج من الغازات يسـاوي مجموع الضغوط الجزئية لكل منها.

النيوكليوتيـد Nucleotide وحـدة البنـاء الأساسـية للحمض النووي. ويتكـون كل نيوكليوتيد من ثلاثة أجزاء: مجموعة فوسـفات غير عضوية، وسـكر أحادي ذو خمس ذرات كربون، وتركيب يحتوي على نيتروجين يدعى قاعدة نيتروجينية.

(هـ)

هاليـدات الأريـل Aryl Halides مركبات عضوية تتكون من هالوجين مرتبط مع حلقـة البنزين أو مجموعة أروماتية أخرى.

هاليـدات الألكيـل Alkyl Halides مركبـات عضويـة تحتوي ذرة هالوجين مرتبطة برابطة تساهمية مع ذرة كربون أليفاتية.

الهلجنة Halogenation تفاعل تحل فيه ذرة هالوجين - مثل الكلور أو البروم - محل ذرة هيدروجين.

الهيدروكربـون Hydrocarbon أبسـط المركبـات العضوية، ويتكون من عنصري الكربون والهيدروجين فقط.

الهيـدروكربـون غيـر المشبـع Unsaturated Hydrocarbon مركب هيدروكربوني يحتوي على الأقل رابطة تساهمية ثنائية أو ثلاثية بين ذرات الكربون.

الهيدروكربون المشبع Saturated Hydrocarbon هيدروكربون يحتوي روابط تساهمية أحادية فقط.

الهيدروكربونات الحلقية Cyclic Hydrocarbon مركب هيدروكربوني يحتوي على حلقة هيدروكربونية.

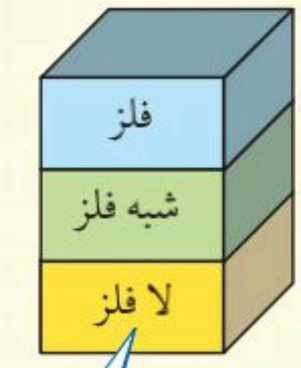
جداول مرجعية

قيم حرارة التكوين لبعض المواد

ΔH_f° (kJ/mol) (تراكيز المحاليل المائية لهذه المواد يساوي 1M)

المادة	ΔH_f°	المادة	ΔH_f°	المادة	ΔH_f°	المادة	ΔH_f°
Ag(s)	0	CsCl(s)	−443.0	H_3PO_4(aq)	−1271.7	NaBr(s)	−361.1
AgCl(s)	−127.0	Cs_2SO_4(s)	−1443.0	H_2S(g)	−20.6	NaCl(s)	−411.2
AgCN(s)	146.0	CuI(s)	−67.8	H_2SO_3(aq)	−608.8	$NaHCO_3$(s)	−950.8
Al_2O_3	−1675.7	CuS(s)	−53.1	H_2SO_4(aq)	−814.0	$NaNO_3$(s)	−467.9
$BaCl_2$(aq)	−855.0	Cu_2S(s)	−79.5	$HgCl_2$(s)	−224.3	NaOH(s)	−425.8
$BaSO_4$	−1473.2	$CuSO_4$(s)	−771.4	Hg_2Cl_2(s)	−265.4	Na_2CO_3(s)	−1130.7
BeO(s)	−609.4	F_2(g)	0	Hg_2SO_4(s)	−743.1	Na_2S(s)	−364.8
$BiCl_3$(s)	−379.1	$FeCl_3$(s)	−399.49	I_2(s)	0	Na_2SO_4(s)	−1387.1
Bi_2S_3(s)	−143.1	FeO(s)	−272.0	K(s)	0	NH_4Cl(s)	−314.4
Br_2	0	FeS(s)	−100.0	KBr(s)	−393.8	O_2(g)	0
CCl_4(l)	−128.2	Fe_2O_3(s)	−824.2	$KMnO_4$(s)	−837.2	P_4O_6(s)	−1640.1
CH_4(g)	−74.6	Fe_3O_4(s)	−1118.4	KOH	−424.6	P_4O_{10}(s)	−2984.0
C_2H_2(g)	227.4	H(g)	218.0	LiBr(s)	−351.2	$PbBr_2$(s)	−278.7
C_2H_4(g)	52.4	H_2(g)	0	LiOH(s)	−487.5	$PbCl_2$(s)	−359.4
C_2H_6(g)	−84.0	HBr(g)	−36.3	Mn(s)	0	SF_6(g)	−1220.5
CO(g)	−110.5	HCl(g)	−92.3	$MnCl_2$(aq)	−555.0	SO_2(g)	−296.8
CO_2(g)	−393.5	HCl(aq)	−167.159	$Mn(NO_3)_2$(aq)	−635.5	SO_3(g)	−454.5
CS_2(l)	89.0	HCN(aq)	108.9	MnO_2(s)	−520.0	SrO(s)	−592.0
Ca(s)	0	HCHO	−108.6	MnS(s)	−214.2	TiO_2(s)	−944.0
$CaCO_3$(s)	−1206.9	HCOOH	−425.0	N_2(g)	0	TlI(s)	−123.8
CaO(s)	−634.9	HF(g)	−273.3	NH_3(g)	−45.9	UCl_4(s)	−1019.2
$Ca(OH)_2$(s)	−985.2	HI(g)	26.5	NH_4Br(s)	−270.8	UCl_6(s)	−1092.0
Cl_2(g)	0	H_2O(l)	−285.8	NO(g)	91.3	Zn(s)	0
Co_3O_4(s)	−891.0	H_2O(g)	−241.8	NO_2(g)	33.2	$ZnCl_2$(aq)	−415.1
CoO(s)	−237.9	H_2O_2(l)	−187.8	N_2O(g)	81.6	ZnO(s)	−350.5
Cr_2O_3(s)	−1139.7	H_3PO_2(l)	−595.4	Na(s)	0	$ZnSO_4$(s)	−982.8

الجدول الدوري للعناصر



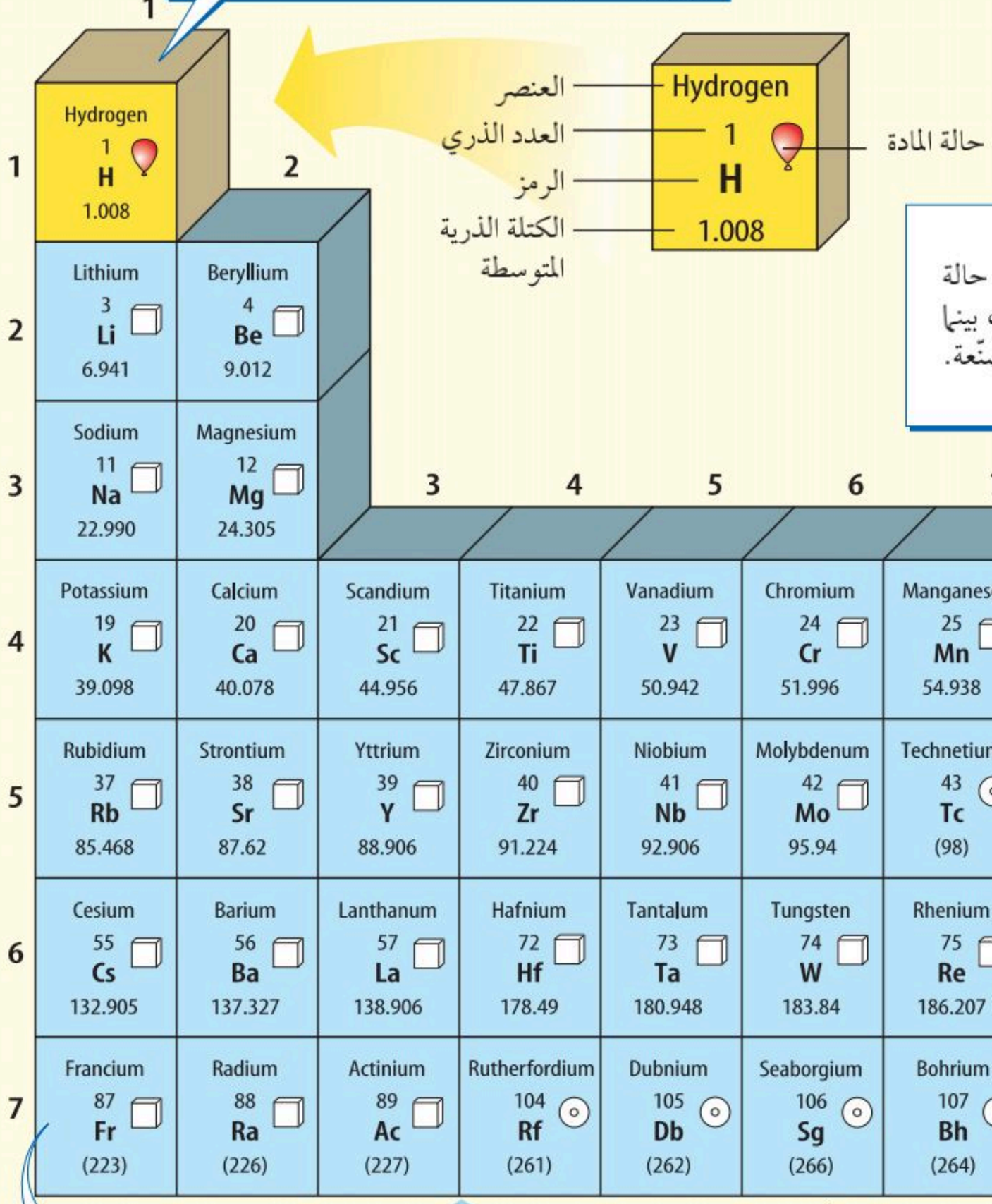
يدل لون صندوق كل عنصر على ما إذا كان فلزًّا أو شبه فلز أو لافلزًّا.

10	11	12	13	14	15	16	17	18
								Helium 2 He 4.003
			Boron 5 B 10.811	Carbon 6 C 12.011	Nitrogen 7 N 14.007	Oxygen 8 O 15.999	Fluorine 9 F 18.998	Neon 10 Ne 20.180
			Aluminum 13 Al 26.982	Silicon 14 Si 28.086	Phosphorus 15 P 30.974	Sulfur 16 S 32.065	Chlorine 17 Cl 35.453	Argon 18 Ar 39.948
Nickel 28 Ni 58.693	Copper 29 Cu 63.546	Zinc 30 Zn 65.409	Gallium 31 Ga 69.723	Germanium 32 Ge 72.64	Arsenic 33 As 74.922	Selenium 34 Se 78.96	Bromine 35 Br 79.904	Krypton 36 Kr 83.798
Palladium 46 Pd 106.42	Silver 47 Ag 107.868	Cadmium 48 Cd 112.411	Indium 49 In 114.818	Tin 50 Sn 118.710	Antimony 51 Sb 121.760	Tellurium 52 Te 127.60	Iodine 53 I 126.904	Xenon 54 Xe 131.293
Platinum 78 Pt 195.078	Gold 79 Au 196.967	Mercury 80 Hg 200.59	Thallium 81 Tl 204.383	Lead 82 Pb 207.2	Bismuth 83 Bi 208.980	Polonium 84 Po (209)	Astatine 85 At (210)	Radon 86 Rn (222)
Darmstadtium 110 Ds (269)	Roentgenium 111 Rg (272)	Copernicium 112 Cn 285.177	Nihonium 113 Nh 286.183	Flerovium 114 Fl 289.191	Moscovium 115 Mc 290.196	Livermorium 116 Lv 293.205	Tennessine 117 Ts 294.211	Oganesson 118 Og 294.214

Europium 63 Eu 151.964	Gadolinium 64 Gd 157.25	Terbium 65 Tb 158.925	Dysprosium 66 Dy 162.500	Holmium 67 Ho 164.930	Erbium 68 Er 167.259	Thulium 69 Tm 168.934	Ytterbium 70 Yb 173.04	Lutetium 71 Lu 174.967
Americium 95 Am (243)	Curium 96 Cm (247)	Berkelium 97 Bk (247)	Californium 98 Cf (251)	Einsteinium 99 Es (252)	Fermium 100 Fm (257)	Mendelevium 101 Md (258)	Nobelium 102 No (259)	Lawrencium 103 Lr (262)

جداول مرجعية

العناصر في كل عمود تسمى مجموعة، ولها خواص كيميائية متشابهة.

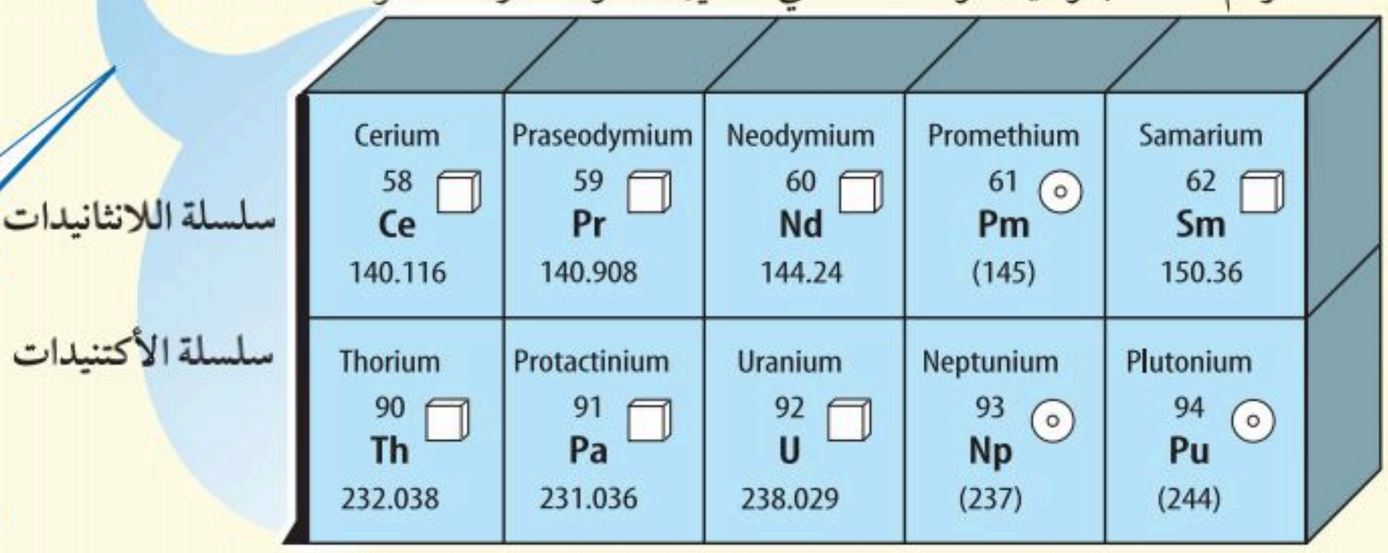




الرمـوز الثلاثة العليا تـدل على حالة العنصر في درجة حـرارة الغرفة، بينما يدل الرمز الرابع على العناصر المصنّعة.

صفوف العناصر الأفقية تسمى دورات. يزداد العـدد الذري من اليسار إلى اليمين في كل دورة.

الرقم المحاط بقوسين هو العدد الكتلي للنظير الأطول عمرًا للعنصر.



سلسلة اللانثانيدات

سلسلة الأكتنيدات

يدل السهم على المكان الذي يجب أن توضع فيه هذه العناصر في الجدول. لقد تم نقلها إلى أسفل الجدول توفيرًا للمكان.