KINGDOM OF BAHRAIN

Ministry of Education

مَمْلَكَة البَحْرَيْن

وَزَارَةُ التَّرْبِيَةِ وَالتَّعْلِيم

كيم315/كيم317

الكيمياء 4

للمرحلة الثانوية

2030

البحرين

BAHRAIN

كيم 315/ كيم 317

قررت وزارة التربية والتعليم بمملكة البحرين اعتماد هذا الكتاب لتدريس الكيمياء 4 بمدارسها الثانوية

إدارة سياسات وتطوير المناهج

الكيمياء 4

للمرحلة الثانوية

الطبعة الثالثة
1445 هـ - 2023 م

التأليف والتطوير

فريق متخصّص من وزارة التربية والتعليم بمملكة البحرين

حقوق الطبعة الإنجليزية محفوظة لشركة ماجروهل©، ٢٠٠٨م.

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

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

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

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

حضرة صاحب الجلالة الملك حمد بن عيسى آل خليفة

ملك مملكة البحرين المعظم

المقدِّمة

بِسْمِ اللهِ الرَّحْمنِ الرَّحيمِ

يأتي اهتمام مملكة البحرين بتطوير مناهج التعليم وتحديثها في إطار الخطة العامة للمملكة، وسعيها إلى مواكبة التطورات العالمية على مختلف الصُّعُد.

ويأتي كتاب الكيمياء 4 للمرحلة الثانوية في إطار مشروع تطوير مناهج الرياضيات والعلوم، الذي يهدف إلى إحداث تطور نوعي في تعليم هاتين المادتين وتعلمهما، يكون للطالب فيه الدور الرئيسي والمحوري في عمليتي التعليم والتعلم.

وقد جاءت هذه الطبعة من كتاب الكيمياء 4 في إطار التطوير المستمر لمنهج الكيمياء في المرحلة الثانوية. وتحتوي على أربعة فصول، هي: الأحماض والقواعد، والهيدروكربونات، ومشتقات المركبات الهيدروكربونية وتفاعلاتها، والمركبات العضوية الحيوية.

وجاء عرض محتوى الكتاب بأسلوب مشوق، وتنظيم تربوي فاعل، يعكس توجهات المنهج وفلسفته، فكتب بأسلوب يساعد الطالب على تنمية مهارات التحليل والتفسير والاستنتاج والتعبير، وذلك من خلال اهتمامه بالجانب التجريبي. كذلك اشتمل المحتوى على أنشطة متنوعة المستوى، تتسم بإمكانية تنفيذ الطلبة لها، وتراعي في الوقت نفسه مبدأ الفروق الفردية بينهم، بالإضافة إلى تضمينه صورًا وأشكالًا ورسومًا توضيحية معبرة تعكس طبيعة المحتوى، مع الحرص على مبدأ التقويم التكويني في فصول الكتاب ودروسه المختلفة.

كما أكدت فلسفة الكتاب أهمية إكساب الطالب المنهجية العلمية في التفكير والعمل، وتزويده بمهارات عقلية وعملية ضرورية، منها: الأنشطة الاستهلالية، والتجارب العلمية الأخرى، والإثراء العلمي، تهمّ قضايا عدة مثل قضايا البيئة المحلية والعالمية والتنمية المستدامة والذكاء الاصطناعي والنانوتكنولوجيا، بالإضافة إلى حرصها على ربط المعرفة مع واقع حياة الطالب، من خلال ربطها مع الرياضيات، وفروع العلم الأخرى، والتقنية والمجتمع.

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

قائمة المحتويات

الفصل 1

الأحماض والقواعد 8

1–1 مقدمة في الأحماض والقواعد 10

1–2 قوة الأحماض والقواعد 20

1–3 أيونات الهيدروجين والرقم الهيدروجيني 26

1–4 تفاعلات التعادل 35

الكيمياء من واقع الحياة: تفاعلات الأحماض والقواعد وعملية الخبز 45

الفصل 2

الهيدروكربونات 56

2–1 مقدمة إلى الهيدروكربونات 58

2–2 الألكانات 64

2–3 الألكينات والألكاينات 74

2–4 متشكلات الهيدروكربونات 81

2–5 الهيدروكربونات الأروماتية 84

كيف تعمل الأشياء؟ تحويل المخلفات العضوية إلى طاقة 90

الفصل 3

مشتقات المركبات الهيدروكربونية وتفاعلاتها 100

3–1 هاليدات الألكيل وهاليدات الأريل 102

3–2 الكحولات، والإيثرات، والأمينات 107

3–3 مركبات الكربونيل 114

3–4 تفاعلات أخرى للمركبات العضوية 120

3–5 البوليمرات 127

الكيمياء في الحياة اليومية: الثوم 133

قائمة المحتويات

الفصل 4

المركبات العضوية الحيوية 144

4—1 البروتينات 146

4—2 الكربوهيدرات 152

4—3 الليبيدات 155

في الميدان: المهنة: عالم البيولوجيا الجزيئية 160

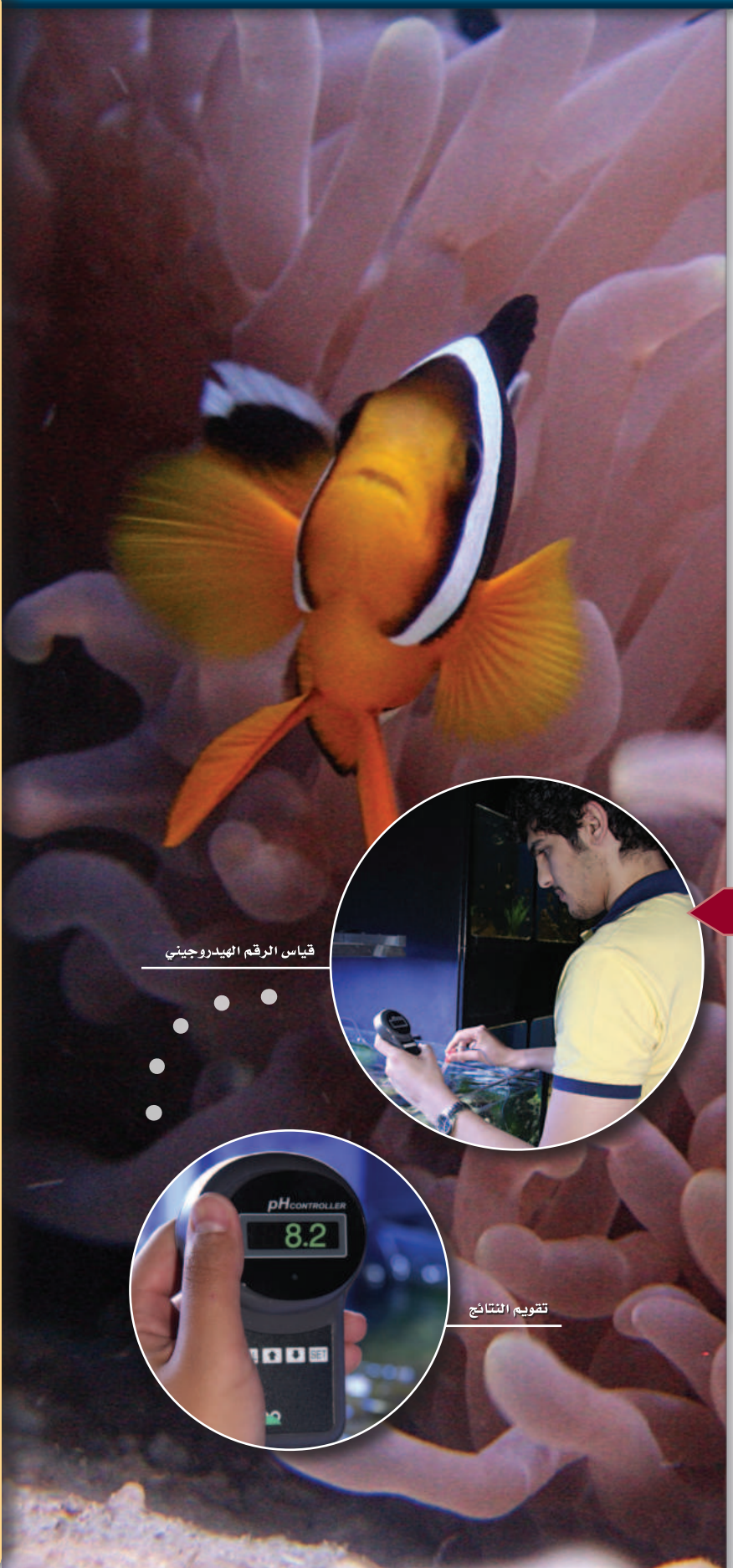
الملاحــق

المصطلحات 170

الجدول الدوري الحديث 178

الفصل 1 الأحماض والقواعد

Acids and Bases



الفكرة العامة يمكن تعريف الأحماض والقواعد باستعمال مفردات، منها أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد أو أزواج الإلكترونات.

1-1 مقدمة في الأحماض والقواعد

الفكرة الرئيسة تساعد النماذج المختلفة على وصف سلوك الأحماض والقواعد.

1-2 قوة الأحماض والقواعد

الفكرة الرئيسة تتأين الأحماض والقواعد القوية في المحاليل تأينًا تامًّا، بينما تتأين الأحماض والقواعد الضعيفة في المحاليل تأينًا جزئيًّا.

1-3 أيونات الهيدروجين والرقم الهيدروجيني

الفكرة الرئيسة يعبر كل من pH و pOH عن تركيز أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد في المحاليل المائية.

1-4 تفاعلات التعادل

الفكرة الرئيسة يتفاعل الحمض مع القاعدة في تفاعل التعادل لينتجا ملحًا وماء.

حقائق كيميائية

- يختلف الرقم الهيدروجيني pH في البيئات المائية المختلفة حسب المخلوقات المائية فيه.
- تُعد قيمة pH= 8.2 قيمة مقبولة عمومًا بالنسبة للأحياء المائية، إلا أن المحافظة على هذه القيمة في حوض السمك لا يضمن استمرار نمو الكائنات التي تعيش فيه بصورة طبيعية.
- تستطيع القشريات التي تعيش في مياه أمريكا الجنوبية العذبة العيش في مياه ذات رقم هيدروجيني pH بين 6.4 و7.0، في حين تستطيع القشريات الإفريقية العيش في مياه قيمة الرقم الهيدروجيني pH فيها بين 8.0 و 9.2.

نشاط استهلالي

ماذا يوجد في خزائنك؟

يمكنك أن تتعلم شيئًا حول خواص المنظفات المختلفة التي توجد في منزلك، وذلك باختبارها بوساطة أشرطة ورقية تسمى تبّاع الشمس. هل تستطيع تصنيف تلك المنظفات إلى مجموعتين؟

خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. ضع ثلاثًا إلى أربع قطرات من **منظفات منزلية** مختلفة في فجوات طبق التفاعلات البلاستيكي. وارسم جدولاً يبين موضع كل سائل.
3. اختبر كل منتج بورق تبّاع الشمس الأزرق والأحمر. ضع قطرتين من الفينولفثالين في كل عينة. ثمّ سجل ملاحظاتك.

تحذير: الفينولفثالين قابل للاشتعال. لذا أبعده عن اللهب.

تحليل النتائج

1. **صنّف** المنتوجات في مجموعتين، بناءً على مشاهداتك.
2. **صف** كيف تختلف المجموعتان؟ وماذا يمكنك أن تستنتج؟

استقصاء اختر عينة واحدة تفاعلت مع الفينولفثالين. هل تستطيع أن تعكس اتجاه هذا التفاعل؟ صمّم تجربة لاختبار فرضيتك.

بعد الانتهاء من دراسة هذا الفصل يتوقع من الطالب أن يكون قادرًا على:

- توضيح مفهوم الحمض والقاعدة وفق تعريفات "أرهينيوس" و"برونستد – لوري" و"لويس".
- الربط بين قوة الأحماض والقواعد وقيم ثوابت التأين.
- تطبيق مبادئ الاتزان لإجراء حسابات تتعلق بثوابت التأين للأحماض أو القواعد الضعيفة.
- حساب الرقم الهيدروجيني في المحاليل المائية.
- استخدام الرقم الهيدروجيني في التمييز بين المحاليل الحمضية والقاعدية.
- تفسير تفاعلات التعادل والإجراءات العملية الخاصة بها.
- إجراء الحسابات المتعلقة بتفاعلات التعادل.
- استخدام الأدوات والأجهزة المعملية والمختبر الافتراضي لإجراء التجارب وتمثيل مختلف المنحنيات والبيانات وتحليلها.
- وصف التأثير الحمضي أو القاعدي لمحاليل الأملاح.
- توضيح المفاهيم المتعلقة بالمحلول المنظم وآلية عمله.
- استخدام أدوات وأجهزة علمية لتسجيل بيانات وقياسها بدقة باستخدام وحدات قياس مترية مع مراعاة شروط الأمن والسلامة.
- تفسير البيانات المستقاة من الاستقصاءات باستخدام الحسابات والرسومات والنماذج وتكنولوجيا الحاسوب.

الكيمياء عبر المواقع الالكترونية

لمراجعة محتوى هذا الفصل ونشاطاته ارجع إلى الموقع: www.moe.gov.bh

1–1

تساؤلات جوهرية

- ما الأحماض وما القواعد؟
- كيف تحدد الخواص الفيزيائية والكيميائية للأحماض والقواعد؟
- ما المقصود بالمحلول الحمضي والمحلول القاعدي؟
- كيف تطورت النماذج التي تصف الأحماض والقواعد؟

مراجعة المفردات

تركيب لويس نموذج يستعمل التمثيل النقطي للإلكترونات؛ ليبين كيفية ترتيب الإلكترونات في الجزيئات.

المفردات الجديدة

المحلول الحمضي

المحلول القاعدي

نموذج أرهينيوس

نموذج برونستد – لوري

الحمض المرافق

القاعدة المرافقة

الأزواج المترافقة

مواد مترددة (أمفوتيرية)

نموذج لويس

مقدمة في الأحماض والقواعد
Introduction to Acids and Bases

الفكرة الرئيسة **تساعد النماذج المختلفة على وصف سلوك الأحماض والقواعد.**

الربط مع الحياة تعد الأحماض والقواعد من التصنيفات الأكثر شيوعًا لتصنيف المواد. ويمكنك تعرّفهما من الطعم اللاذع لبعض المشروبات المفضلة لديك، والرائحة الحادة للأمونيا في بعض المنظفات المنزلية.

خواص الأحماض والقواعد Properties of Acids and Bases

تلعب الأحماض دورًا مهمًّا في حياتك سلبًا وإيجابًا؛ فالنمل يطلق حمض الميثانويك (الفورميك) عندما يشعر بخطر يهدد مستعمرته، فينبّه أفراد المستعمرة كلها. وتؤدي الأحماض المذابة في ماء المطر إلى تكوين كهوف كبيرة في الصخور الجيرية، وتؤدي أيضًا إلى تلف الأبنية والمواقع الأثرية القيّمة مع مرور الزمن. وتستعمل الأحماض في إضافة النكهة إلى الكثير من المشروبات والأطعمة التي تتناولها، وهناك أيضًا حمض في المعدة، يساعد على هضم الطعام. وتلعب القواعد كذلك دورًا في حياتك؛ فالصابون الذي تستعمله والأقراص المضادة للحموضة التي قد تتناولها عند اضطراب المعدة كلاهما من القواعد. كما أن الكثير من المنظفات المنزلية كالتي استعملت في النشاط الاستهلالي هي أحماض أو قواعد.

الخواص الفيزيائية قد تكون بعض الخواص الفيزيائية للحموض والقواعد مألوفة لديك، فأنت تعلم مثلاً أن المحاليل الحمضية طعمها حمضي لاذع، ومنها العديد من المشروبات الغازية التي تمتاز بهذا الطعم؛ بسبب احتوائها على حمضي الكربونيك والفوسفوريك. ومنها الليمون والجريب فروت لاحتوائهما على حمضي الستريك والأسكوربيك؛ كما أن حمض الخليك يجعل طعم الخل حمضيًّا. وقد تعلم أيضًا أن المحاليل القاعدية طعمها مُرّ، ولها ملمس زَلِق. فكّر كيف تصبح قطعة الصابون زلقة عندما تبتل. لا تحاول أبدًا استعمال التذوق أو اللمس لتعرّف أي حمض أو قاعدة أو أي مادة أخرى في المختبر.

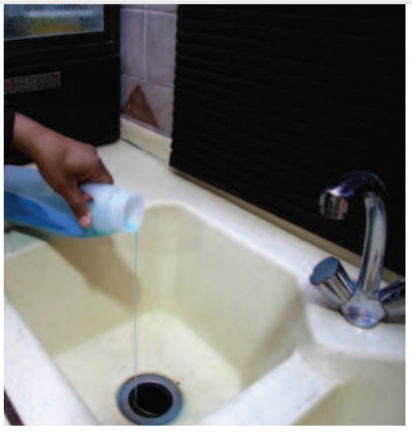
يبين **الشكل 1–1** نبتتين تنموان في تربتين مختلفتين، فإحداهما تنمو في تربة حمضية، والأخرى تنمو في تربة قاعدية أو قلوية.

الوردية

المخلّدة

الشكل 1-1 تنمو نبتة الوردية في التربة الغنية الرطبة المعتدلة الحموضة، في حين تنمو المخلّدة في تربة أقل رطوبة وقاعدية قليلاً.

تحوّل الأحماض تباع الشمس الأزرق إلى أحمر



تحوّل القواعد تبّاع الشمس الأحمر إلى أزرق

الشكل 2-1 يستعمل الحمض القوي حمض الهيدروكلوريك HCl في تنظيف الطوب والخرسانة. كما تعمل القاعدة القوية هيدروكسيد الصوديوم NaOH على تسليك المصارف المسدودة.

التوصيل الكهربائي ومن الخواص الأخرى للمحاليل الحمضية والقاعدية مقدرتها على توصيل الكهرباء. فالماء النقي غير موصل للكهرباء، إلا أن إضافة حمض أو قاعدة تنتج أيونات تجعل المحلول الناتج موصلاً للكهرباء.

الخواص الكيميائية يمكن تعرف الأحماض والقواعد من خلال تفاعلهما مع ورق تباع الشمس. ويمكن تعرف الأحماض أيضًا من خلال تفاعلاتها مع بعض الفلزات وكربوناتها.

التفاعلات مع تباع الشمس يعد تباع الشمس نوعًا من الأصباغ المستعملة عادة في التمييز بين محاليل الأحماض والقواعد، كما في **الشكل 2-1**؛ إذ تحوّل محاليل الأحماض لون ورقة تباع الشمس الزرقاء إلى الأحمر، وتحول محاليل القواعد لون ورقة تباع الشمس الحمراء إلى الأزرق.

التفاعلات مع الفلزات وكربوناتها يتفاعل كل من المغنيسيوم والخارصين مع محاليل الأحماض، فينتج عن هذا التفاعل غاز الهيدروجين. وتصف المعادلة الآتية التفاعل بين الخارصين وحمض الهيدروكلوريك:

$$Zn_{(s)} + 2HCl_{(aq)} \rightarrow ZnCl_{2(aq)} + H_{2(g)}$$

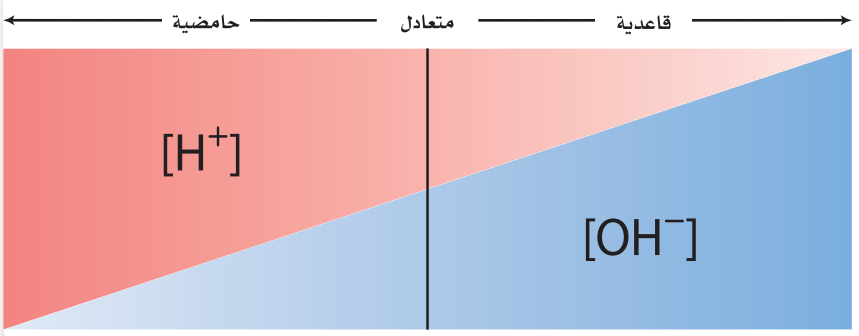
وتتفاعل كربونات الفلزات وكربونات الفلزات الهيدروجينية أيضًا مع محاليل الأحماض منتجة غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2. فعند إضافة الخل إلى صودا الخبز يحدث تفاعل بين حمض الإيثانويك $HC_2H_3O_2$ الذائب في الخل وكربونات الصوديوم الهيدروجينية $NaHCO_3$، وينتج غاز CO_2 الذي يسبّب تولّد الفقاعات.

$$NaHCO_{3(s)} + HC_2H_3O_{2(aq)} \rightarrow NaC_2H_3O_{2(aq)} + H_2O_{(l)} + CO_{2(g)}$$

يستعمل الجيولوجيون محلول حمض الهيدروكلوريك لتعرُّف الصخر الجيري الذي يتكون بشكل رئيسي من $CaCO_3$ ، فإذا أدت بضع قطرات من الحمض إلى إنتاج فقاعات ثاني أكسيد الكربون دل ذلك على أن الصخر يحتوي على مادة الجير.

مسائل تدريبية

1. اكتب معادلات كيميائية رمزية موزونة للتفاعلات بين:
   a. الألومنيوم وحمض الكبريتيك.
   b. كربونات الكالسيوم وحمض الهيدروبروميك.
2. **تحدٍّ** اكتب المعادلة الأيونية النهائية للتفاعل في السؤال 1b



الشكل 1-3 لاحظ كيف يتغير كل من $[H^+]$ و $[OH^-]$ في وقت واحد.

فعندما يقل $[H^+]$ إلى جهة اليمين تزداد قيمة $[OH^-]$ إلى اليمين.

حدد على الرسم النقطة التي يكون عندها تركيز الأيونين متساويًا.

أيونات الهيدرونيوم والهيدروكسيد تحتوي المحاليل المائية جميعها على أيونات الهيدروجين H^+ وأيونات الهيدروكسيد OH^-. وتحدد الكميات النسبية من الأيونين ما إذا كان المحلول حمضيًّا أو قاعديًّا أو متعادلاً. والمحاليل المتعادلة ليست حمضية ولا قاعدية.

يحتوي **المحلول الحمضي** على أيونات هيدروجين أكثر من أيونات الهيدروكسيد. في حين يحتوي **المحلول القاعدي** على أيونات هيدروكسيد أكثر من أيونات الهيدروجين. أما المحلول المتعادل فيحتوي على تركيزين متساويين من أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد. ويمثل **الشكل 3-1** هذه العلاقات، في حين يمثل **الشكل 4-1** كيف طوّر العلماء فهمهم للأحماض والقواعد.

ينتج الماء النقي أعدادًا متساوية من أيونات H^+ وأيونات OH^- في عملية تسمى التأين الذاتي؛ إذ تتفاعل جزيئات الماء معًا منتجة أيون الهيدرونيوم H_3O^+ وأيون الهيدروكسيد.

$$\underset{\text{جزيئا ماء}}{H_2O_{(l)} + H_2O_{(l)}} \rightleftharpoons \underset{\text{أيون الهيدرونيوم}}{H_3O^+_{(aq)}} + \underset{\text{أيون الهيدروكسيد}}{OH^-_{(aq)}}$$

أيون الهيدرونيوم عبارة عن أيون هيدروجين مرتبط مع جزيء ماء بواسطة رابطة تساهمية. ويمكن استعمال الرمزين H^+ و H_3O^+ بالتبادل، أيْ يمكن وضع أحدهما مكان الآخر، كما في المعادلة المبسّطة للتأين الذاتي:

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

الشكل 4-1 تاريخ الأحماض والقواعد

يرتكز الفهم الحالي للأحماض والقواعد على مساهمات علماء الكيمياء والأحياء والبيئة، وكذلك على المخترعين خلال 150 سنة مضت.

1865م إدخال الرذاذ المعقم الذي يحتوي على حمض الكربوليك (الفينول) للمرة الأولى والذي يعد بداية الجراحة الحديثة في أجواء معقمة.

1883م افترض أرهينيوس أن الأحماض تنتج أيونات الهيدروجين H^+، في حين تنتج القواعد أيونات الهيدروكسيد OH^- عند إذابتها في الماء.

1923م توسّع العلماء في تعريف الأحماض والقواعد، وقدَّموا التعاريف المستعملة حاليًّا.

1869م اكتشاف الأحماض النووية مثل: DNA وRNA في نوى الخلايا.

1909م ساعد تطوير تدريج pH العلماء على تعريف حمضية المادة.

1870 — 1890 — 1910

نموذج أرهينيوس The Arrhenius Model

إذا كان الماء النقي متعادلاً فكيف يصبح المحلول المائي حمضيًّا أو قاعديًّا؟ كان أول شخص يجيب عن هذا التساؤل هو الكيميائي السويدي سفانت أرهينيوس الذي اقترح عام 1883م ما يعرف الآن باسم **نموذج أرهينيوس** للأحماض والقواعد، الذي ينص على أن الحمض مادة تحتوي على الهيدروجين، وتتأين في المحاليل المائية منتجة أيونات الهيدروجين. والقاعدة مادة تحتوي على مجموعة الهيدروكسيد، وتتحلل في المحلول المائي منتجة أيون الهيدروكسيد.

أحماض وقواعد أرهينيوس تأمل ما يحدث عند إذابة غاز كلوريد الهيدروجين في الماء بوصفه مثالاً على نموذج أرهينيوس للأحماض والقواعد؛ إذ تتأين جزيئات HCl مكوّنة أيونات H^+ التي تجعل المحلول حمضيًّا.

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

وعندما يذوب المركب الأيوني هيدروكسيد الصوديوم NaOH في الماء فإنه يتحلل لينتج أيونات OH^- التي تجعل المحلول قاعديًّا.

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

وبالرغم من أن نموذج أرهينيوس صحيح في تفسير العديد من المحاليل الحمضية والقاعدية، إلا أنه لا يخلو من بعض السلبيات؛ فمثلاً لا تحتوي الأمونيا NH_3 وكربونات الصوديوم Na_2CO_3 على مجموعة الهيدروكسيد، إلا أن كلًّا منهما ينتج أيونات الهيدروكسيد عند إذابته في الماء. وتعد كربونات الصوديوم المركب المسؤول عن جعل بحيرة ناترون في تنزانيا ذات وسط قاعدي، كما هو مبين في **الشكل 5-1**. لذا من الواضح أننا بحاجة إلى نموذج أكثر دقة يشمل القواعد جميعها.

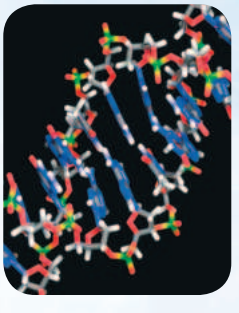
الشكل 5-1 تعد بحيرة ناترون في تنزانيا تجمعًا طبيعيًّا للمياه القاعدية. حيث تصب المياه في البحيرة حاملة معها كميات كبيرة من كربونات الصوديوم الذائبة من الصخور البركانية المحيطة دون أن تجد لها مخرجًا. ويزيد التبخر من تركيز هذا الملح، مخلّفًا قشرة بيضاء على السطح، وجاعلاً المياه عالية القاعدية.

1933 – 1934م طوّر العلماء مقياس pH المحمول.

1980 – 1990م لا تحتوي مقاييس pH التي تشتمل على رقائق السيليكون أجزاء زجاجية، وهي شائعة الاستعمال الآن في الصناعات الغذائية والتجميلية والدوائية.

2005م طوّر العلماء الأحماض المطورة، وهي أكثر حمضية من حمض الكبريتيك الذي تركيزه 100%. وتشمل تطبيقات هذه الأحماض إنتاج بلاستيك قوي وبنزين عالي الأكتان.

2010 | 1990 | 1970 | 1950



1953م جايمس واطسون، وفرانسيس كريك، وروزالند فرانكلين درسوا الحمض النووي DNA، واضعين بذلك إطار الصناعة التكنولوجية الحيوية.

1963م اكتشف العلماء المطر الحمضي في أمريكا الشمالية؛ فقد بينت الدراسات أن المطر الملوث أكثر حمضية مئة مرة من المطر غير الملوث.

نموذج برونستد - لوري The Brønsted–Lowry Model

اقترح الكيميائي الدنماركي يوهان برونستد والكيميائي الإنجليزي توماس لوري نموذجًا أشمل للأحماض والقواعد؛ يركز على أيون الهيدروجين H^+. ففي **نموذج برونستد – لوري** للأحماض والقواعد يكون الحمض هو المادة المانحة لأيون الهيدروجين، في حين تكون القاعدة هي المادة المستقبلة لهذا الأيون.

المواد المانحة لأيون الهيدروجين والمواد المستقبلة له إذا افترضنا أن الرمزين X و Y يمثلان عنصرين غير فلزيين أو أيونات سالبة متعددة الذرات فإننا نستطيع كتابة الصيغة العامة للحمض في صورة HX أو HY. وعندما يَذوب جزيء من حمض HX في الماء يعطي أيون H^+ لجزيء ماء، فيسلك جزيء الماء سلوك القاعدة، ويكتسب أيون H^+ ، كما في المعادلة الآتية:

$$HX_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + X^-_{(aq)}$$

وعند اكتسابه أيون H^+ يصبح جزيء الماء حمضًا، فتصبح صيغته H_3O^+، الذي يسمى أيون الهيدرونيوم، ويعد حمضًا لأن لديه أيون H^+ إضافيًّا يستطيع أن يمنحه. وعندما يمنح الحمض أيون H^+ يصبح الحمض HX مادة قاعدية X^-؛ لأن لديه شحنة سالبة، ويستطيع أن يستقبل أيون هيدروجين موجبًا. وهكذا يمكن أن يحدث تفاعل بين حمض وقاعدة في الاتجاه المعاكس. ويستطيع الحمض H_3O^+ أن يتفاعل مع القاعدة X^- مكونًا ماء وHX، فيحدث الاتزان الآتي:

$$HX_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + X^-_{(aq)}$$

حمض — قاعدة — حمض مرافق — قاعدة مرافقة

الأحماض والقواعد المرافقة يعد التفاعل الطردي في التفاعل السابق تفاعلًا لحمض وقاعدة. والتفاعل العكسي تفاعلًا لحمض وقاعدة. ولكن يعرف الحمض والقاعدة اللذان يتفاعلان في الاتجاه العكسي بأنهما حمض مرافق وقاعدة مرافقة. **فالحمض المرافق** هو المركب الكيميائي الذي ينتج عندما تستقبل القاعدة H_2O أيون الهيدروجين من الحمض HX، لتصبح الحمض المرافق H_3O^+ . أما **القاعدة المرافقة** فهي المركب الكيميائي الذي ينتج عندما يمنح الحمض أيون الهيدروجين. فعندما يمنح الحمض HX أيون الهيدروجين يصبح القاعدة المرافقة X^-. وفي التفاعل المبين أعلاه يمثل أيون الهيدرونيوم H_3O^+ الحمض المرافق للقاعدة H_2O، ويمثل أيون X^- القاعدة المرافقة للحمض HX. وتتألف تفاعلات برونستد – لوري من **أزواج مترافقة** من الحمض والقاعدة؛ حيث يتكون من مادتين ترتبطان معًا عن طريق منح واستقبال أيون هيدروجين واحد.

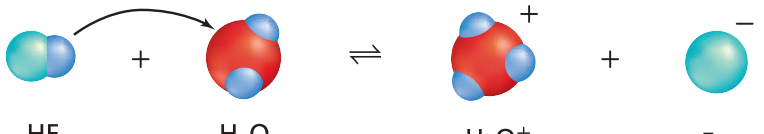
يبين **الشكل 6-1** تمثيلاً لزوج مترافق من حمض وقاعدة. فعندما تكون الكرة في يد الأب يكون هو الحمض، وعندما يرمي الكرة (أيون هيدروجين) إلى ابنه يصبح ابنه هو الحمض؛ لأن لديه الكرة (أيون هيدروجين) التي يستطيع أن يَهَبُها. ويصبح الأب هو القاعدة لأنه مستعد لتقبل الكرة (أيون الهيدروجين). الأب هو الحمض والابن هو القاعدة في التفاعل الطردي. أما في التفاعل العكسي، فيكون الابن هو الحمض المرافق؛ لأن لديه الكرة، في حين يكون الأب هو القاعدة المرافقة.

ماذا قرأت؟ اشرح كيف يمكن أن يكون أيون HCO_3^- حمضًا وقاعدة في آن واحد.

استخدم التكنولوجيا

تصنيف المواد... ابحث في الانترنت عن مواد كيميائية شائعة وصنفها إلى حمضية وقاعدية.

الشكل 6-1 عندما يرمي الأب الكرة إلى ابنه فإن الأب يمثل حمض برونستد – لوري و يمثل الابن قاعدته. وعندما يمسك الابن الكرة يمثل الحمض المرافق.



الشكل 7-1 يمنح فلوريد الهيدروجين أيون هيدروجين لجزيء الماء، لذا يُعَد فلوريد الهيدروجين حمضًا.

حدّد القاعدة المرافقة لفلوريد الهيدروجين.

فلوريد الهيدروجين – حمض برونستد – لوري تأمّل معادلة تأين فلوريد الهيدروجين HF في الماء، والمبينة في **الشكل 7-1**. أيّ الزوجين هو الحمض، وأيهما هو القاعدة المرافقة؟ ينتج الحمض في التفاعل الطردي – وهو في هذه الحالة فلوريد الهيدروجين– قاعدته المرافقة F^-، وهي تعد أيضًا القاعدة في التفاعل العكسي. بينما تنتج القاعدة في التفاعل الطردي – وهي في هذه الحالة الماء– حمضها المرافق H_3O^+، وهو يعد أيضًا الحمض في التفاعل العكسي.

$$HF_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + F^-_{(aq)}$$

حمض — قاعدة — حمض مرافق — قاعدة مرافقة

يستعمل فلوريد الهيدروجين في صنع مركبات متنوعة تحتوي على الفلور، مثل الطبقة المغلفة لأدوات الطبخ غير اللاصقة، والمبينة في **الشكل 8-1**. وهو حمض بالنسبة لنموذجي أرهينيوس وبرونستد – لوري.

الأمونيا – قاعدة برونستد – لوري معظم الأحماض والقواعد التي تتفق مع تعريف أرهينيوس للأحماض والقواعد تتفق أيضًا مع تعريف برونستد – لوري. ولكن بعض المواد الأخرى التي لا توجد فيها مجموعة الهيدروكسيد لا يمكن أن تُعَدَّ من القواعد حسب تعريف أرهينيوس، ولكن يمكن تصنيفها على أنها أحماض حسب نموذج برونستد – لوري. مثال ذلك الأمونيا NH_3، فعندما تذوب الأمونيا في الماء يكون الماء حمضًا حسب تعريف برونستد – لوري في التفاعل الطردي. ولأن جزيء الأمونيا NH_3 يستقبل أيون H^+ ليكوّن أيون الأمونيوم NH_4^+، تُصنّف الأمونيا بوصفها قاعدة برونستد – لوري في التفاعل الطردي.

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

قاعدة — حمض — حمض مرافق — قاعدة مرافقة

أما في التفاعل العكسي فيعطي أيون الأمونيوم NH_4^+ أيون H^+ ليكوّن جزيء أمونيا. وهكذا يعمل عمل حمض حسب برونستد – لوري. ويكون بذلك أيون الأمونيوم هو الحمض المرافق للقاعدة، الأمونيا. ويتقبل أيون الهيدروكسيد أيون H^+ ليكوّن جزيء ماء. وهكذا يكون قاعدة حسب برونستد – لوري. لذا يكون أيون الهيدروكسيد هو القاعدة المرافقة للحمض والماء.

الماء – حمض وقاعدة برونستد – لوري تذكّر أنه عندما يذوب HF في الماء فإن الماء يسلك سلوك القاعدة؛ وعندما تذوب الأمونيا NH_3 في الماء يسلك الماء سلوك الحمض. ولذا يسلك الماء سلوك الحمض أو القاعدة حسب طبيعة المواد المذابة في المحلول. ويُسمى الماء والمواد الأخرى التي تستطيع أن تسلك سلوك الأحماض والقواعد مواد **مترددة (أمفوتيرية)**.

المفردات

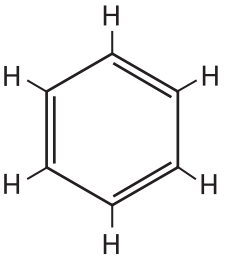
أصل الكلمة

مترافق (**Conjugate**) معنى كلمة Conjugate في اللغة العربية مترافق، وقد أخذت هذه الكلمة من اللغة اللاتينية، وهي تعني:

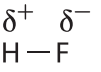
Con– بادئة بمعنى مع أو معًا.

jugate فعل بمعنى يتّصل أو يتّحد.

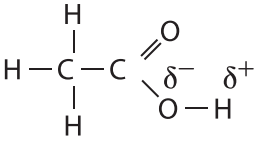
الشكل 8-1 ا لنا نو تكنو لو جيا – **استبدال على مستوى الذرات:** يتفاعل فلوريد الهيدروجين مع مركبات عضوية تسمى الهيدروكربونات لصنع السطح الناعم غير اللاصق لهذه الأدوات المنزلية، حيث تستبدل ذرات الهيدروجين بذرات الفلور.



بنزين



فلوريد الهيدروجين



حمض الإيثانويك

الشكل 9-1 تعتمد قدرة الهيدروجين على التأين على قطبية رابطته. ففي حمض الإيثانويك يكون الأكسجين أكثر كهروسالبية من الهيدروجين، لذا تكون الرابطة بين الأكسجين والهيدروجين قطبية. ولذلك تستطيع ذرة الهيدروجين أن تتأين في المحلول. أما في فلوريد الهيدروجين فيعد الفلور عالي الكهروسالبية، لذا يكون HF حمضًا في المحلول. بينما في البنزين هناك فرق قليل في الكهروسالبية بين ذرات الكربون والهيدروجين، لذا فالبنزين ليس حمضًا.

مسائل تدريبية

3. حدّد الأزواج المترافقة من الحمض والقاعدة في كل تفاعل مما يلي:

a. $NH_4^+{}_{(aq)} + OH^-{}_{(aq)} \rightleftharpoons NH_{3(aq)} + H_2O_{(l)}$

b. $HBr_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+{}_{(aq)} + Br^-{}_{(aq)}$

c. $CO_3^{2-}{}_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons HCO_3^-{}_{(aq)} + OH^-{}_{(aq)}$

4. تحدٍّ نواتج تفاعل حمض وقاعدة هي H_3O^+ و SO_4^{2-}. اكتب معادلة موزونة للتفاعل، وحدّد الأزواج المترافقة من الحمض والقاعدة.

الأحماض الأحادية البروتون والمتعددة البروتونات
Monoprotic and Polyprotic Acids

تستطيع أن تعرف أن كلًّا من HCl و HF حمض يحتوي على أيون هيدروجين واحد في كل جزيء، بناءً على معرفتك للصيغة الكيميائية لكل منهما. فالحمض الذي يستطيع أن يمنح أيون هيدروجين واحدًا فقط يُسمى حمضًا أحادي البروتون. ومن الأحماض الأحادية البروتون أيضًا حمض البيروكلوريك $HClO_4$، وحمض النيتريك HNO_3، وحمض الهيدروبروميك HBr وحمض الإيثانويك CH_3COOH. ولأن حمض الإيثانويك أحادي البروتون لذا تكتب صيغته غالبًا في صورة $HC_2H_3O_2$ لتأكيد حقيقة أن ذرة هيدروجين واحدة فقط من الذرات الأربع قابلة للتأين.

ذرات الهيدروجين القابلة للتأين الفرق بين ذرة الهيدروجين القابلة للتأين في حمض الخليك وذرات الهيدروجين الثلاث الأخرى هو أن الذرة القابلة للتأين مرتبطة مع عنصر الأكسجين الأكثر كهروسالبية من الهيدروجين. والفرق في الكهروسالبية يجعل الرابطة بين الأكسجين والهيدروجين قطبية. ويبين **الشكل 9-1** تركيب حمض الإيثانويك، مع تركيب حمض HF وتركيب البنزين C_6H_6 غير الحمضي. فترتبط ذرة الهيدروجين في مركب فلوريد الهيدروجين مع ذرة الفلور العالية الكهروسالبية، لذا فالرابطة بينهما قطبية، وتصبح ذرة الهيدروجين قابلة للتأين إلى حد ما. أما ذرات الهيدروجين في البنزين فكل منها مرتبط مع ذرة كربون ذات كهروسالبية تساوي تقريبًا كهروسالبية الهيدروجين. فتكون هذه الروابط غير قطبية، لذا يكون البنزين غير حمضي.

وقد تمنح بعض الأحماض أكثر من أيون هيدروجين واحد. فمثلاً يستطيع كل من حمض الكبريتيك H_2SO_4 وحمض الكربونيك H_2CO_3 أن يمنح أيوني هيدروجين؛ فكلاهما يحتوي ذرتي هيدروجين متصلتين مع ذرتي أكسجين بروابط قطبية. والأحماض التي تحتوي على ذرتي هيدروجين قابلتين للتأين في كل جزيء تُسمى أحماضًا ثنائية البروتونات. ويحتوي كل من حمضي الفوسفوريك H_3PO_4 والبوريك H_3BO_3 على ثلاث ذرات هيدروجين قابلة للتأين في كل جزيء، وتُسمى أحماضًا ثلاثية البروتونات. ويمكن استعمال مصطلح حمض متعدد البروتونات لأي حمض يحتوي على أكثر من ذرة هيدروجين قابلة للتأين.

يبين **الجدول 1-1** الأحماض الأحادية والعديدة البروتونات وقواعدها المرافقة.

الجدول 1-1	الأحماض الشائعة وقواعدها المرافقة		
الحمض		القاعدة المرافقة	
الاسم	الصيغة الكيميائية	الاسم	الصيغة الكيميائية
حمض الهيدروكلوريك	HCl	أيون الكلوريد	Cl^-
حمض النيتريك	HNO_3	أيون النترات	NO_3^-
حمض الكبريتيك	H_2SO_4	أيون الكبريتات الهيدروجنية	HSO_4^-
أيون الكبريتات الهيدروجنية	HSO_4^-	أيون الكبريتات	SO_4^{2-}
حمض الهيدروفلوريك	HF	أيون الفلوريد	F^-
حمض الهيدروسيانيك	HCN	أيون السيانيد	CN^-
حمض الإيثانويك	$HC_2H_3O_2$	أيون الإيثانوات	$C_2H_3O_2^-$
حمض الفوسفوريك	H_3PO_4	أيون ثنائي هيدروفوسفات	$H_2PO_4^-$
أيون ثنائي هيدروفوسفات	$H_2PO_4^-$	أيون الهيدروفوسفات	HPO_4^{2-}
أيون الهيدروفوسفات	HPO_4^{2-}	أيون الفوسفات	PO_4^{3-}
حمض الكربونيك	H_2CO_3	أيون الكربونات الهيدروجنية	HCO_3^-
أيون الكربونات الهيدروجنية	HCO_3^-	أيون الكربونات	CO_3^{2-}

تتأين الأحماض المتعددة البروتونات جميعها في أكثر من خطوة. فخطوات تأين حمض الفوسفوريك الثلاث مبينة في المعادلات الآتية:

$$H_3PO_{4(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + H_2PO_4^-{}_{(aq)}$$
$$H_2PO_4^-{}_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + HPO_4^{2-}{}_{(aq)}$$
$$HPO_4^{2-}{}_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + PO_4^{3-}{}_{(aq)}$$

نموذج لويس The Lewis Model

لاحظ أن جميع المواد المصنّفة أحماضًا وقواعد حسب نموذج أرهينيوس تُصنف أيضًا أحماضًا وقواعد حسب نموذج برونستد – لوري. وبالإضافة إلى ذلك، فإن بعض المواد غير المصنفة بأنها قواعد حسب نموذج أرهينيوس تُصنف قواعد حسب نموذج برونستد – لوري.

إذن قد لا تستغرب إذا علمت أن نموذجًا آخر أكثر شمولية للأحماض والقواعد اقترحه الكيميائي لويس (1875 – 1946م) الذي طوّر أيضًا نظرية زوج الإلكترونات للترابط الكيميائي، وقدم تراكيب لويس التي تبين مواقع الإلكترونات في الذرات والجزيئات. وقد طبّق نظريته على تفاعلات الأحماض والقواعد. واقترح أن الحمض أيون أو جزيء فيه فلك ذري فارغ يستطيع أن يتقبل (يشارك) زوجًا من الإلكترونات. وأن القاعدة أيون أو جزيء له زوج إلكترونات وحيد يستطيع أن يمنحه أو يشارك فيه. وبحسب **نموذج لويس** فإن حمض لويس مادة مستقبلة لَزْوج من الإلكترونات، وقاعدة لويس مادة مانحة لزوج من الإلكترونات. لاحظ أن نموذج لويس يشمل جميع المواد المصنّفة أحماضًا وقواعد حسب برونستد – لوري، وغيرها كثير أيضًا.

المفردات الأكاديمية

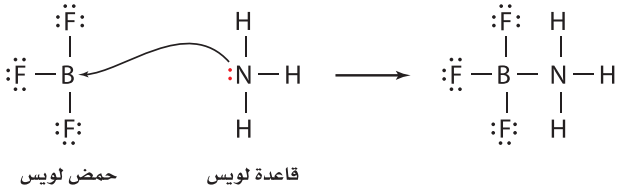
يطابق (Conform)

نقول: إن تصرفاتهم تتطابق مع توقعات المجتمع.

مانحات ومستقبلات أزواج الإلكترونات تأمل التفاعل بين أيون الهيدروجين H^+ وأيون الفلوريد F^- لتكوين جزيء فلوريد الهيدروجين (HF). لقد تم توضيح دور زوج الإلكترونات من خلال تراكيب لويس الآتية:

يمثل أيون H^+ في هذا التفاعل حمض لويس؛ حيث يستقبل مدار 1s الفارغ زوجًا من الإلكترونات من أيون F^-. ويمثل أيون الفلوريد قاعدة لويس، لذا فهو يعطي زوجًا من الإلكترونات غير المشترك ليكون الرابطة بين الهيدروجين والفلور في HF. لاحظ أن هذا التفاعل يتطابق أيضًا مع نموذج برونستد – لوري للأحماض والقواعد؛ لأن H^+ يمكن اعتباره مانحًا لأيون هيدروجين، و F^- مستقبلًا لأيون هيدروجين.

فتفاعل غاز ثالث فلوريد البورون BF_3 مع غاز الأمونيا NH_3 لتكوين $BF_3\ NH_3$ هو تفاعل حمض لويس مع قاعدة لويس.

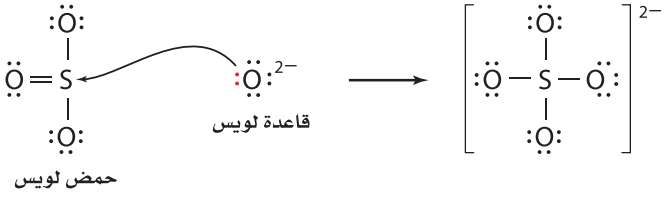


وأن ذرة البورون في BF_3 لها ستة إلكترونات تكافؤ، لذا يستطيع المدار الفارغ أن يستقبل زوجًا من الإلكترونات من قاعدة لويس.

ويحدث تفاعل حمض لويس مع قاعدة لويس أيضًا عندما يتفاعل غاز ثالث أكسيد الكبريت SO_3 مع أكسيد الماغنيسيوم الصلب MgO.

$$SO_{3(g)} + MgO_{(s)} \rightarrow MgSO_{4(s)}$$

حيث يمثل زوج الحمض – القاعدة في هذا التفاعل ثالث أكسيد الكبريت SO_3 وأيون الأكسيد O^{2-} من أكسيد الماغنيسيوم، أما الناتج فهو أيون الكبريتات.



لاحظ أن حمض لويس وهو في هذه الحالة جزيء SO_3، يستقبل زوج إلكترونات من قاعدة لويس، وهو أيون O^{2-}. ويلخص **الجدول 2–1** نماذج أرهينيوس وبرونستد – لوري ولويس للأحماض والقواعد .

الجدول 2-1 **النماذج الثلاثة للأحماض والقواعد**

النموذج	تعريف الحمض	تعريف القاعدة
أرهينيوس	منتج H^+	منتج OH^-
برونستد – لوري	مانح H^+	مستقبل H^+
لويس	يستقبل زوجًا من الإلكترونات	يمنح زوجًا من الإلكترونات

يعد تفاعل SO_3 مع MgO مهمًّا؛ لأنه ينتج بلورات من ملح كبريتات الماغنيسيوم، تعرف باسم ملح إبسوم $MgSO_4.7H_2O$. ولهذا الملح استعمالات عدة، منها تخفيف آلام العضلات، ومغذٍّ للنباتات. وللتفاعل الذي ينتج كبريتات الماغنيسيوم أيضًا تطبيقات بيئية؛ فعندما يحقن MgO في الغازات الخارجة من مداخن محطات توليد الطاقة الكهربائية التي تعمل بالفحم الحجري، كما في **الشكل 10-1**، فإنه يتفاعل مع SO_3 ويعمل على انتزاعه من الغازات العادمة الخارجة من المصنع إلى الجو. أما إذا ترك SO_3 لينتشر في الغلاف الجوي فسوف يتحد مع الماء الموجود في الهواء مكونًا حمض الكبريتيك الذي يسقط على الأرض في صورة مطر حمضي.

الربط مع علم الأرض

الأنهيدريد تتحد جزيئات غاز ثاني أكسيد الكربون بجزيئات الماء في الجو لتكون حمضًا يدعى حمض الكربونيك H_2CO_3، الذي يهطل مع المطر، وعندما يصل ماء المطر الحمضي إلى الأرض يتسرب جزء منه في التربة ليصل إلى الصخور الجيرية، فيؤدي إلى إذابتها ببطء، مما يسبب تكوّن كهوف ضخمة تحت الأرض خلال آلاف السنين. وتقطر المياه من سقف الكهوف مخلّفة الجير المذاب. وهذا الجير الذي يتكون في صورة رقاقات جليدية تتدلى من السقف تسمى الهوابط. وكذلك تتكون كتل من كربونات الكالسيوم على أرض الكهوف، وتسمى الصواعد.

تتكوَّن مثل هذه الكهوف لأن ثاني أكسيد الكربون أنهيدريد حمضي، وهو أكسيد يستطيع أن يتحد مع الماء ليكوّن حمضًا. وهناك أكاسيد أخرى تتحد مع الماء مكوّنة قواعد. فمثلاً يكوّن أكسيدُ الكالسيوم CaO (الجير الحي) القاعدةَ هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ (الجير المطفأ). وعمومًا تكوّن أكاسيد العناصر الفلزية القواعد؛ بينما تكوّن أكاسيد اللافلزات الأحماض.

الكيمياء الخضراء

قضايا بيئية

الشكل 10-1 يمكن إزالة ثالث أكسيد الكبريت – أحد الغازات العادمة الناتجة عن احتراق الفحم الحجري في المصنع– من الغازات الخارجة من المِدخنة من خلال تفاعلها مع أكسيد الماغنيسيوم في تفاعل حمض وقاعدة لويس. لاحظ أنه رغم وجود كمية جيدة من البخار الخارج من برجي التبريد إلا أن هناك القليل من الدخان الذي يمكن رؤيته من المِدخنة.

تقويم الدرس 1-1

الخلاصة

- تحدّد تراكيز أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد ما إذا كان المحلول حمضيًّا، أم قاعديًّا، أم متعادلاً.
- يجب أن يحتوي حمض أرهينيوس على ذرة هيدروجين قابلة للتأين، ويجب أن تحتوي قاعدة أرهينيوس على مجموعة هيدروكسيد قابلة للتأين.
- حمض برونستد – لوري مادة مانحة لأيون هيدروجين، بينما قاعدة برونستد – لوري مادة مستقبلة لأيون هيدروجين.
- حمض لويس مادة تستقبل زوجًا من الإلكترونات، بينما قاعدة لويس مادة تعطي زوجًا من الإلكترونات.

الفكرة الرئيسة

5. **اشرح** لماذا لا تُصنّف العديد من أحماض وقواعد لويس على أنها أحماض أو قواعد أرهينيوس أو برونستد – لوري؟
6. **قارن** بين الخواص الفيزيائية والكيميائية للأحماض والقواعد.
7. **اشرح** كيف تحدد تراكيز أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد ما إذا كان المحلول حمضيًّا أم قاعديًّا أم متعادلاً؟
8. **اشرح** لماذا لا يصنف العديد من المركبات التي تحتوي ذرة هيدروجين أو أكثر على أنها أحماض أرهينيوس؟
9. **حدّد** الأزواج المترافقة من الأحماض والقواعد في المعادلة الآتية:

$$HNO_2 + H_2O \rightleftharpoons NO_2^- + H_3O^+$$

10. **اكتب** تركيب لويس لثالث كلوريد الفوسفور PCl_3. وهل يعد PCl_3 حمض لويس، أم قاعدة لويس، أم لا واحد منهما؟

1–2

تساؤلات جوهرية

- **ما** العلاقة بين قوة الحمض والقاعدة مع درجة تأينهما؟
- **كيف** تقارن قوة حمض ضعيف بقوة قاعدته المرافقة، وقوة قاعدة ضعيفة بحمضها المرافق؟
- **كيف** تشرح العلاقة بين قوى الأحماض والقواعد وقيم ثوابت تأينها؟

مراجعة المفردات

إلكتروليت: مركب أيوني يوصل محلوله المائي التيار الكهربائي.

المفردات الجديدة

الحمض القوي

الحمض الضعيف

ثابت تأين الحمض

القاعدة القوية

القاعدة الضعيفة

ثابت تأين القاعدة

قوة الأحماض والقواعد
Strength of Acids and Bases

الفكرة الرئيسة **تتأين الأحماض والقواعد القوية في المحاليل تأينًا كليًّا، بينما تتأين الأحماض والقواعد الضعيفة في المحاليل تأينًا جزئيًّا.**

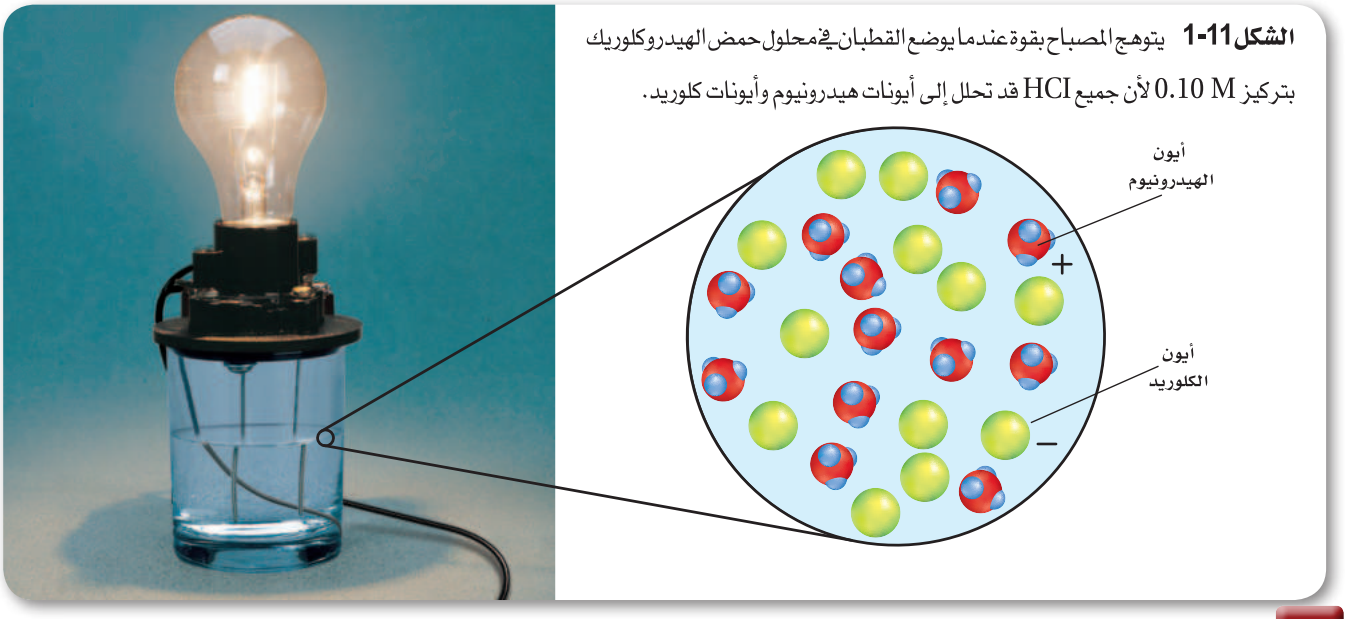
الربط مع الحياة تعتمد التمريرة الناجحة في لعبة كرة القدم على المرسل والمستقبل؛ فهي تعتمد على مدى استعداد المرسل لتمرير الكرة، ومدى استعداد المستقبل لاستقبال الكرة. وكذلك الحال في تفاعلات الأحماض والقواعد، حيث يعتمد سير التفاعل على مدى استعداد الحمض لمنح أيون الهيدروجين، ومدى استعداد القاعدة لتقبل أيون الهيدروجين.

قوة الأحماض Strength of Acids

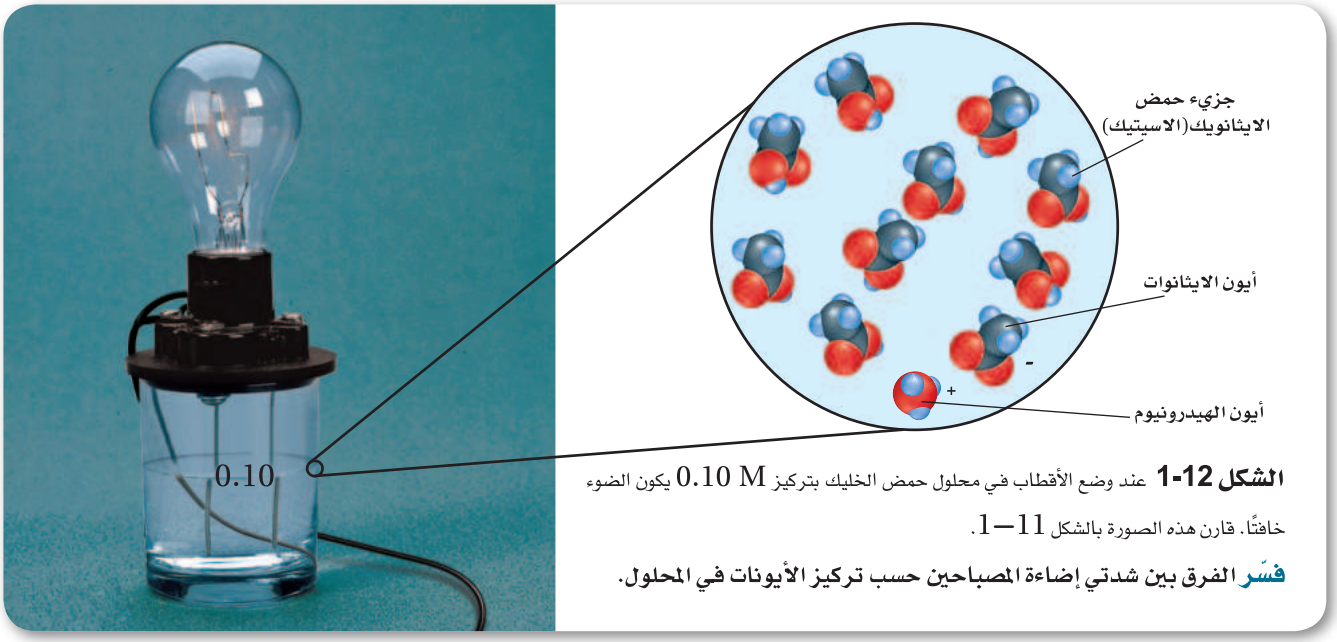
من خواص المحاليل الحمضية والقاعدية أنها توصل الكهرباء. ما المعلومات التي تستطيع معرفتها عن أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد في هذه المحاليل المائية من خلال توصيلها للكهرباء؟

افترض أنك تفحص قدرة التوصيل الكهربائي لمحلول مائي تركيزه 0.10 M من حمض الهيدروكلوريك، وآخر مماثل من حمض الإيثانويك (الخليك). يدل توهج المصباح الكهربائي في **الشكل 11–1** على أن المحلول يوصل الكهرباء. ولكن إذا قارنت توهج المصباح المتصل بمحلول HCl في **الشكل 11–1** مع توهج المصباح المتصل بمحلول $HC_2H_3O_2$ في **الشكل 12–1** فلا بد أن تلاحظ فرقًا؛ فتوصيل محلول HCl للكهرباء أفضل من توصيل محلول $HC_2H_3O_2$. فلمَ هذا الفرق مع أن تركيزي الحمضين متساويان؟

الأحماض القوية يعتمد توصيل التيار الكهربائي على عدد الأيونات في المحلول. وجزيئات HCl الموجودة في المحلول جميعها قد تأينت كليًّا مكونةً أيونات هيدرونيوم وأيونات كلوريد.



الشكل 11-1 يتوهج المصباح بقوة عندما يوضع القطبان في محلول حمض الهيدروكلوريك بتركيز 0.10 M لأن جميع HCl قد تحلل إلى أيونات هيدرونيوم وأيونات كلوريد.



الشكل 12-1 عند وضع الأقطاب في محلول حمض الخليك بتركيز 0.10 M يكون الضوء خافتًا. قارن هذه الصورة بالشكل 11–1.

فسّر الفرق بين شدتي إضاءة المصباحين حسب تركيز الأيونات في المحلول.

وتسمى الأحماض التي تتأين كليًا **أحماضًا قوية**. ولأن الأحماض القوية تنتج أكبر عدد من الأيونات لذا فهي موصلات جيدة للكهرباء.

يمكن تمثيل تأين حمض الهيدروكلوريك في الماء بالمعادلة الآتية:

$$HCl_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightarrow H_3O^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$$

ولأن الأحماض القوية تنتج العدد الأقصى من الأيونات، لذا تكون محاليلها موصلات جيدة للكهرباء.

الأحماض الضعيفة إذا كان سبب الإضاءة القوية لمصباح الجهاز الذي يحتوي على HCl هو عدد الأيونات الكبير في المحلول ـ كما في **الشكل 11–1** ـ فإن الإضاءة الخافتة لمصباح الجهاز الذي يحتوي على محلول $HC_2H_3O_2$، المبين في **الشكل 12–1**، لا بد أن يكون سببها احتواء محلول حمض الإيثانويك على عدد أقل من الأيونات. ولأن المحلولين يحتويان على التركيز المولاري نفسه لذا يمكنك استنتاج أن حمض الإيثانويك لا يتأين كليًا. ولذلك يسمى الحمض الذي يتأين جزئيًا فقط في المحلول المائي المخفف **الحمض الضعيف**. ولأن الأحماض الضعيفة تنتج أيونات أقل فإنها لا توصل الكهرباء جيدًا مثل الأحماض القوية. ويبين **الجدول 3–1** معادلات التأين لبعض الأحماض الضعيفة والأحماض القوية الشائعة.

الجدول 3-1 **معادلات التأين**

أحماض قوية		أحماض ضعيفة	
الاسم	معادلات التأين	الاسم	معادلات التأين
الهيدروكلوريك	$HCl \rightarrow H^+ + Cl^-$	الهيدروفلوريك	$HF \rightleftharpoons H^+ + F^-$
الهيدروأيوديك	$HI \rightarrow H^+ + I^-$	الإيثانويك	$HC_2H_3O_2 \rightleftharpoons H^+ + C_2H_3O_2^-$
البيركلوريك	$HClO_4 \rightarrow H^+ + ClO_4^-$	الهيدروكبريتيك	$H_2S \rightleftharpoons H^+ + HS^-$
النيتريك	$HNO_3 \rightarrow H^+ + NO_3^-$	الكربونيك	$H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^-$
الكبريتيك	$H_2SO_4 \rightarrow H^+ + HSO_4^-$	الهيبوكلوروز	$HClO \rightleftharpoons H^+ + ClO^-$

واقع الكيمياء في الحياة

سيانيد الهيدروجين

مركب مميت سيانيد الهيدروجين HCN غاز سام يوجد في عوادم المَركبات، وفي دُخان التبغ والخشب، وفي دُخان البلاستيك المحترق المحتوي على النيتروجين. وتطلق بعض الحشرات سيانيد الهيدروجين للدفاع عن نفسها. ويسمى محلول سيانيد الهيدروجين في الماء حمض الهيدروسيانيك. وتحتوي نوى بعض الفواكه –ومنها الكرز والخوخ– على سيانوهيدرين الذي يتحول إلى حمض الهيدروسيانيك في الجهاز الهضمي إذا أكلت النواة. ولكن لا يوجد حمض الهيدروسيانيك في لب هذه الثمار، لذا يمكن أكلها بأمان.

قوة الحمض ونموذج برونستد – لوري هل يستطيع نموذج برونستد – لوري تفسير سبب تأين HCl كليًّا بينما يكوِّن $HC_2H_3O_2$ القليل من الأيونات؟ تأمَّل تأيُّن أي حمض قوي، كحمض HX على سبيل المثال، وتذكّر أن الحمض الذي في جهة المواد المتفاعلة من المعادلة ينتج قاعدة مُرافقة في جهة النواتج. وبالمثل فإن القاعدة الموجودة في جهة المواد المتفاعلة تنتج حمضًا مرافقًا.

$$HX_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightarrow H_3O^+_{(aq)} + X^-_{(aq)}$$

حمض — قاعدة — حمض مرافق — قاعدة مرافقة

يمثّل HX حمضًا قويًّا وقاعدته المرافقة ضعيفة. أيْ أن HX يتأين بنسبة 100% تقريبًا؛ لأن الماء قاعدة أقوى (في التفاعل الطردي) من قاعدته المرافقة X^- (في التفاعل العكسي). أي أنه يتجه اتزان التأين كليًّا إلى اليمين؛ لأن جذب القاعدة H_2O لأيون H^+ أكبر من جذب القاعدة المرافقة X^-. فكر في هذا الأمر وكأنه معركة للقواعد، أيهما له قوة جذب أكبر لأيون الهيدروجين: H_2O أم X^-؟ الماء هو القاعدة الأقوى. عندما تكون الأحماض كلها قوية، لاحظ أن المعادلة مبينة بسهم واحد إلى اليمين.

كيف يختلف الموضع بالنسبة لأي حمض ضعيف HY؟

$$HY_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + Y^-_{(aq)}$$

حمض — قاعدة — حمض مرافق — قاعدة مرافقة

يتجه اتزان التأين للحمض الضعيف إلى يسار المعادلة؛ لأن القاعدة المرافقة Y^- لها قوة جذب أكبر لأيون الهيدروجين من القاعدة H_2O. وتعد القاعدة المرافقة Y^- (في التفاعل العكسي) أقوى من القاعدة H_2O (في التفاعل الطردي)، وتستطيع أن تستولي على أيون H^+. أما في حالة حمض الإيثانويك (الخليك) فتعد القاعدة المرافقة (في التفاعل العكسي) أقوى في جذب أيونات الهيدروجين من القاعدة H_2O (في التفاعل الطردي).

$$HC_2H_3O_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + C_2H_3O_2^-{}_{(aq)}$$

لاحظ أن المعادلة تحتوي على سهمي الاتزان.

ماذا قرأت؟ لخص أهم الاختلافات بين الأحماض القوية والأحماض الضعيفة وفقًا لمفهوم القواعد.

ثابت تأين الأحماض يساعد نموذج برونستد – لوري على تفسير قوة الأحماض إلا أنه لا يُعبِّر بطريقة كمية عن قوة الحمض أو المقارنة بين قوى الأحماض المختلفة. لذا يعد تعبير ثابت الاتزان قياسًا كميًّا لقوة الحمض.

إن الحمض الضعيف ينتج خليط اتزان من الجزيئات والأيونات في المحلول المائي. لذا يعطي ثابت الاتزان K_{eq} قياسًا كميًّا لدرجة تأين الحمض. تأمل حمض الهيدروسيانيك HCN، والذي يستعمل في الصباغة، والحفر على الفولاذ، وتليين الفولاذ.

وفيما يأتي معادلة التأين، وتعبير ثابت الاتزان لحمض الهيدروسيانيك:

$$HCN_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + CN^-_{(aq)}$$

$$K_{eq} = \frac{[H_3O^+][CN^-]}{[HCN][H_2O]}$$

يعد تركيز الماء السائل في مقام التعبير ثابتًا في المحاليل المائية المخففة، لذلك يمكن دمجه مع K_{eq} ليعطي ثابت اتزان جديدًا K_a.

$$K_{eq}\,[H_2O] = K_a = \frac{[H_3O^+][CN^-]}{[HCN]} = 6.2 \times 10^{-10}$$

يسمى K_a **ثابت تأين الحمض**، وهو قيمة تعبير الاتزان لتأين الحمض الضعيف. وتدل قيمة K_a، مثل أي ثابت اتزان آخر، على أن المواد المتفاعلة أو النواتج هي المفضلة عند الاتزان. أما الأحماض الضعيفة، فتميل تراكيز الأيونات (النواتج) في البسط إلى أن تكون صغيرة مقارنة بتركيز الجزيئات غير المتأينة (المواد المتفاعلة) في المقام. وتكون قيم K_a للأحماض الأضعف هي الأصغر؛ وذلك لاحتواء محاليلها على أقل تراكيز أيونات وأعلى تراكيز لجزيئات الحمض غير المتأينة. ويحتوي **الجدول 4-1** على قائمة لقيم K_a ومعادلات التأين لعدة أحماض ضعيفة. لاحظ أن الأحماض المتعددة البروتونات ليست قوية التأين بالضرورة؛ فلكل تأين للحمض المتعدد البروتونات قيمة K_a مختلفة.

وباعتبار قيم Ka الضعيفة للعديد من الأحماض، فيمكن استعمال ثابت pKa لمقارنة قوتها.

$$pK_a = -\log K_a$$

قيمة pK_a لحمض ما تساوي سالب لوغاريتم (قاعدة 10) لثابت التأين K_a

لاحظ أن كلما كانت قيمة pK_a صغيرة كلما كان الحمض أقوى. وهكذا يمكنك استنتاج أن الحمض الأقوى في **الجدول 4-1** هو HF .

مسائل تدريبية

11. اكتب معادلات التأين وتعابير ثابت تأين الحمض لكل مما يأتي:

a. $HClO_2$ b. HNO_2 c. HIO

12. اكتب معادلة التأين الأولى والثانية لحمض H_2SeO_3.

13. تحدٍّ إذا أعطيت المعادلة الرياضية الآتية: $K_a = \frac{[AsO_4^{3-}][H_3O^+]}{[HAsO_4^{2-}]}$ ، فاكتب المعادلة الموزونة للتفاعل.

الجدول 4-1

ثوابت التأين لبعض الأحماض الضعيفة

الحمض	معادلة التأين	K_a (298 K)	pK_a (298 K)
الهيدروكبريتيك، التأين الأول	$H_2S \rightleftharpoons H^+ + HS^-$	8.9×10^{-8}	7.05
الهيدروكبريتيك، التأين الثاني	$HS^- \rightleftharpoons H^+ + S^{2-}$	1×10^{-19}	19
الهيدروفلوريك	$HF \rightleftharpoons H^+ + F^-$	6.3×10^{-4}	3.2
الهيدروسيانيك	$HCN \rightleftharpoons H^+ + CN^-$	6.2×10^{-10}	9.2
الإيثانويك	$CH_3COOH \rightleftharpoons H^+ + CH_3COO^-$	1.8×10^{-5}	4.74
الكربونيك، التأين الأول	$H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^-$	4.5×10^{-7}	6.35
الكربونيك، التأين الثاني	$HCO_3^- \rightleftharpoons H^+ + CO_3^{2-}$	4.7×10^{-11}	10.33

قوة القواعد Strength of Bases

تطلق القواعد أيونات OH^-، ويعتمد توصيل القاعدة على مقدار ما تنتجهُ القاعدة من OH^- في المحلول المائي.

القواعد القوية القاعدة التي تتحلل كليًا منتجة أيونات فلزية وأيونات الهيدروكسيد تعرف بأنها **قاعدة قوية**. لذا فهيدروكسيدات الفلزات، ومنها هيدروكسيد الصوديوم NaOH ، هي قواعد قوية.

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

تعد بعض هيدروكسيدات الفلزات، ومنها هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$، مصدرًا ضعيفًا لأيونات OH^-؛ لأن ذوبانيتها منخفضة. لاحظ أن ثابت الذوبانية K_{sp} لهيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ صغير، مما يدل على أن كمية قليلة من OH^- توجد في المحلول المشبع.

$$Ca(OH)_{2(s)} \rightleftharpoons Ca^{2+}_{(aq)} + 2OH^-_{(aq)} \quad K_{sp} = 6.5 \times 10^{-6}$$

ومع ذلك فإن هيدروكسيد الكالسيوم وغيره من هيدروكسيدات الفلزات القليلة الذوبان تعد قواعد قوية؛ لأن كل ما يذوب من المركب يتحلل كليًا. ويبين **الجدول 1-5** معادلات تحلل بعض القواعد القوية .

القواعد الضعيفة تتأين القواعد الضعيفة جزئيًا فقط في المحاليل المائية المخففة. فمثلاً يتفاعل ميثيل أمين CH_3NH_2 مع الماء لينتج مخلوطًا متزنًا من جزيئات CH_3NH_2، وأيونات $CH_3NH_3^+$، وأيونات OH^-.

$$CH_3NH_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightarrow CH_3NH^+_{3\ (aq)} + OH^-_{(aq)}$$

قاعدة — حمض — حمض مرافق — قاعدة مرافقة

يقع هذا الاتزان أقصى اليسار؛ لأن القاعدة CH_3NH_2 ضعيفة، والقاعدة المرافقة OH^- قوية، ولأن قوة جذب أيون الهيدروكسيد لأيون الهيدروجين أقوى من جذب جزيء الميثيل أمين.

الجدول 1-5

معادلات التأين للقواعد القوية
$NaOH_{(s)} \rightarrow Na^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$
$KOH_{(s)} \rightarrow K^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$
$RbOH_{(s)} \rightarrow Rb^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$
$CsOH_{(s)} \rightarrow Cs^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$
$Ca(OH)_{2(s)} \rightarrow Ca^{2+}_{(aq)} + 2OH^-_{(aq)}$
$Ba(OH)_{2(s)} \rightarrow Ba^{2+}_{(aq)} + 2OH^-_{(aq)}$

الجدول 1-6 ثابت التأين لبعض القواعد الضعيفة

القاعدة	معادلة التأين	K_b (298 K)	pK_b (298 K)
إيثيل أمين	$C_2H_5NH_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons C_2H_5NH_3^+{}_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$	5.0×10^{-4}	3.30
ميثيل أمين	$CH_3NH_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons CH_3NH_3^+{}_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$	4.3×10^{-4}	3.67
الأمونيا	$NH_{3(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons NH_4^+{}_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$	2.5×10^{-5}	4.60
الأنيلين	$C_6H_5NH_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons C_6H_5NH_3^+{}_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$	4.3×10^{-10}	9.37

ثابت تأين القواعد تكوّن القواعد الضعيفة، مثل الأحماض الضعيفة، مخاليط اتزان من الجزيئات والأيونات في المحاليل المائية. ويعطي ثابت الاتزان قياسًا لمدى تأين القاعدة. وتبين المعادلة الآتية ثابت الاتزان لتأين الميثيل أمين في الماء:

$$K_b = \frac{[CH_3NH_3^+][OH^-]}{[CH_3NH_2]}$$

ويمكن تعريف **ثابت تأين القاعدة** K_b على أنه قيمة تعبير ثابت الاتزان لتأين القاعدة. وكلما صغرت قيمة K_b كانت القاعدة أكثر ضعفًا. ويبين **الجدول 6-1** قيم K_b ومعادلات التأين لبعض القواعد الضعيفة.

ومثل ما سبق في فقرة الأحماض، يمكن استعمال ثابت pK_b لمقارنة قوة القواعد.

$$pK_b = - \log K_b$$

قيمة pK_b لقاعدة ما تساوي سالب لوغاريتم (قاعدة 10) لثابت التأين K_b

لاحظ أن كلما كانت قيمة pK_b صغيرة كلما كانت القاعدة أقوى.

ماذا قرأت؟ استنتج ما القاعدة الأقوى في **الجدول 6-1**؟

مسائل تدريبية

14. اكتب معادلات تأين وتعابير ثابت تأين القاعدة للقواعد الآتية:

a . هكسيل أمين $C_6H_{13}NH_2$

b . بروبيل أمين $C_3H_7NH_2$

c . أيون الكربونات CO_3^{2-}

d . أيون البيكبريتيت HSO_3^-

15. تحدٍّ اكتب معادلة اتزان قاعدة يكون فيها PO_4^{3-} قاعدة في التفاعل الطردي، و OH^- قاعدة في التفاعل العكسي.

تقويم الدرس 2-1

الخلاصة

- تتأين الأحماض والقواعد القوية كليًّا في المحاليل المائية المخففة، بينما تتأين الأحماض والقواعد الضعيفة تأينًا جزئيًّا في المحاليل المائية المخففة.
- قيمة ثابت تأين الحمض أو القاعدة الضعيفة هو قياس لقوة الحمض أو القاعدة.
- تستخدم قيم pK_a و pK_b للمقارنة بين قوى الأحماض والقواعد.

16. **الفكرة الرئيسة** **صف** محتويات محاليل مائية مخففة للحمض القوي HI والحمض الضعيف HCOOH.

17. **ما العلاقة** بين قوة الحمض الضعيف وقوة قاعدته المرافقة؟

18. **حدّد** الأزواج المترافقة للحمض والقاعدة في كل معادلة مما يأتي:

a. $HCOOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons HCOO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$

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

19. **اشرح** ما الذي يمكن أن تستفيده من معرفة القيم التالية:

a. قيمة K_b للأنيلين $C_6H_5NH_2$ والتي تساوي 4.3×10^{-10}؟

b. قيمة pK_a لحمض الهيدروكلوريك والتي تساوي -7؟

20. **فسّر البيانات** استعمل البيانات في **الجدول 4-1** لوضع سبعة أحماض بالترتيب حسب زيادة توصيلها للكهرباء.

1–3

تساؤلات جوهرية

- **ما** المقصود بالرقم الهيدروجيني pH والرقم الهيدروكسيدي pOH؟
- **ما** العلاقة بين الرقم الهيدروجيني pH والرقم الهيدروكسيدي pOH وثابت التأين للماء K_w؟
- **كيف** تحسب قيمة الرقم الهيدروجيني pH والرقم الهيدروكسيدي pOH للمحاليل المائية؟

مراجعة المفردات

مبدأ لوتشاتلييه: ينص على أنه إذا وقع اضطراب على نظام في حالة اتزان فإن النظام يتجه الاتجاه الذي يقلّل من ذلك الاضطراب.

مفردات جديدة

ثابت تأين الماء K_w

الرقم الهيدوجيني pH

الرقم الهيدروكسيدي pOH

أيونات الهيدروجين والرقم الهيدروجيني
Hydrogen Ions and pH

الفكرة الرئيسة **يعبر كل من pH و pOH عن تراكيز أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد في المحاليل المائية.**

الربط مع الحياة لعلك شاهدت طفلين يلعبان على لعبة التوازن "السيسو". فعندما يرتفع أحد طرفي العارضة يهبط الطرف الآخر. وأحيانًا تتوازن العارضة في الوسط. تسلك تراكيز أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد في المحاليل المائية سلوكًا مماثلًا.

ثابت التأين للماء Ion Product Constant for Water

يحتوي الماء النقي على تراكيز متساوية لأيونات H^+ و OH^- التي تنتج عن التأين الذاتي. ويبين **الشكل 13–1** تكون أعداد متساوية من أيونات الهيدرونيوم والهيدروكسيد في عملية التأين الذاتي للماء. ويمكن تبسيط معادلة الاتزان على النحو الآتي:

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

ثابت تأين الماء K_w يشير السهم الثنائي إلى أن هذا تفاعل اتزان. لذا تذكّر أنه يجب كتابة تعبير ثابت الاتزان بوضع تراكيز النواتج في البسط وتراكيز المواد المتفاعلة في المقام. وفي هذه الحالة، جميع المواد قوتها واحد؛ لأن معاملاتها جميعًا في المعادلة الكيميائية هي 1. ولأن تركيز الماء النقي ثابت، لذا لا يظهر $[H_2O]$ في المقام.

ثابت تأين الماء K_w

حيث إن K_w هو ثابت تأين الماء، $[H^+]$ يمثل تركيز أيون الهيدروجين، و $[OH^-]$ يمثل تركيز أيون الهيدروكسيد.

$$K_w = [H^+][OH^-]$$

حاصل ضرب تراكيز أيون الهيدروجين وأيون الهيدروكسيد في المحاليل المائية المخففة يساوي K_w.

والتعبير K_w حالة خاصة لثابت الاتزان، ينطبق فقط على الماء، ويسمى **ثابت تأين الماء**، وهو قيمة تعبير ثابت الاتزان للتأين الذاتي للماء. لقد بينت التجارب أنّ $[OH^-]$ و $[H^+]$ للماء النقي عند 298 K تكون متساوية، حيث يساوي كل منها 1.0×10^{-7} M. لذا تكون قيمة K_w عند 298 K تساوي 1.0×10^{-14}

$$K_w = [H^+][OH^-] = (1.0 \times 10^{-7})(1.0 \times 10^{-7})$$
$$K_w = 1.0 \times 10^{-14}$$

الشكل 13-1 يسلك أحد جزيئات الماء في التأين الذاتي للماء سلوك حمض، ويسلك الجزيء الآخر سلوك القاعدة.

K_w ومبدأ لوتشاتلييه حاصل ضرب $[H^+]$ في $[OH^-]$ يساوي دائمًا 1.0×10^{-14} عند 298 K. وهذا يعني أنه إذا ازداد تركيز أيونات H^+ ينقص تركيز أيونات OH^-. وبالمثل فإن الزيادة في تركيز OH^- تسبب نقصانًا في تركيز أيونات H^+. فكّر في هذه التغييرات من خلال مبدأ لوتشاتلييه. إن إضافة أيونات هيدروجين إضافية إلى ماء في حالة اتزان هو اضطراب في حالة النظام. لذا تكون ردة فعل النظام بطريقة تقلل من تأثير هذا الاضطراب؛ حيث تتفاعل أيونات H^+ المضافة مع أيونات OH^- لتكون المزيد من جزيئات الماء، وهكذا يقل تركيز OH^-.

يبين **المثال 1-1** كيف تستعمل K_w لحساب تركيز H^+ أو OH^- إذا عرفت تركيز الأيون الآخر.

ماذا قرأت؟ اشرح لماذا لا يتغير K_w عند زيادة تركيز أيونات الهيدروجين؟

مثال 1-1

احسب قيم $[H^+]$ و $[OH^-]$ باستعمال K_w إذا كان تركيز أيون H^+ في كوب قهوة عند درجة حرارة 298 K يساوي 1.0×10^{-5} M. فما تركيز أيون OH^- في القهوة؟ هل تعد القهوة حمضية، أم قاعدية، أم متعادلة؟

1 تحليل المسألة

لديك تركيز أيون H^+، وتعرف أن K_w يساوي 1.0×10^{-14}. ويمكنك استعمال قانون ثابت تأين الماء لإيجاد قيمة $[OH^-]$. ولأن $[H^+]$ أكبر من 1.0×10^{-7}، لذا يمكنك أن تتوقع أن تكون قيمة $[OH^-]$ أقل من 1.0×10^{-7}

المعطيات

$[H^+] = 1.0 \times 10^{-5}$ M

$K_w = 1.0 \times 10^{-14}$

المطلوب

$[OH^-] = ?$ mol/l

2 حساب المطلوب

استعمل قانون ثابت تأين الماء.

اكتب تعبير ثابت تأين الماء.

$$K_w = [H^+][OH^-]$$

أوجد قيمة $[OH^-]$:

$$[OH^-] = \frac{K_w}{[H^+]}$$

عوّض $K_w = 1.0 \times 10^{-14}$.

$[H^+] = 1.0 \times 10^{-5}$ M.

$$[OH^-] = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.0 \times 10^{-5}} = 1.0 \times 10^{-9} \text{ mol/l}$$

بما أن قيمة $[H^+] > [OH^-]$، لذا فإن القهوة حمضية.

3 تقويم الإجابة

كما هو متوقع، تكون قيمة $[OH^-]$ أقل من 1.0×10^{-7} mol/l.

مسائل تدريبية

21. فيما يأتي قيم تراكيز H^+ و OH^- لأربعة محاليل مائية عند 298 K. احسب $[H^+]$ أو $[OH^-]$ لكل محلول، ثم حدد ما إذا كان المحلول حمضيًّا، أم قاعديًّا، أم متعادلاً.

a. $[H^+] = 1.0 \times 10^{-13}$M

b. $[OH^-] = 1.0 \times 10^{-7}$M

c. $[OH^-] = 1.0 \times 10^{-3}$M

d. $[H^+] = 4.0 \times 10^{-5}$M

22. تحدٍّ احسب عدد أيونات H^+ وعدد أيونات OH^- في 300 ml من الماء النقي عند 298 K.

الرقم الهيدروجيني pH والرقم الهيدروكسيدي pOH

تكون تراكيز H^+ غالبًا أرقامًا صغيرة يعبّر عنها بالرموز العلمية. ولصعوبة استعمال هذه الأرقام تبنّى الكيميائيون طريقة أسهل للتعبير عنها.

ما الرقم الهيدروجيني pH؟ يعبر الكيميائيون عن تركيز أيونات الهيدروجين باستعمال تدريج الرقم الهيدروجيني pH المبني على اللوغاريتمات؛ لذا فإن **الرقم الهيدروجيني pH** لمحلول ما هو سالب لوغاريتم تركيز أيون الهيدروجين.

الرقم الهيدروجيني pH

$$pH = -\log [H^+]$$

يمثّل $[H^+]$ تركيز أيون الهيدروجين

تكون قيمة pH لمحلولٍ ما تساوي سالب لوغاريتم تركيز أيون الهيدروجين

تكون قيم pH للمحاليل الحمضية عند 298 K أقل من 7؛ بينما تكون قيمها للمحاليل القاعدية أكبر من 7. وهكذا يكون المحلول الذي قيمة pH فيه تساوي 0.0 حمضًا قويًّا، بينما يكون المحلول الذي قيمة pH له تساوي 14 قاعدة قوية. وتعني الطبيعة اللوغاريتمية في هذه الحالة لتدريج pH أن تغير وحدة واحدة من pH يمثل تغيرًا مقداره 10 مرات في تركيز الأيون؛ فمحلول له pH = 3 له عشرة أضعاف تركيز المحلول الذي له pH = 4. ويبين **الشكل 1-14** تدريج pH وقيمها لبعض المواد الشائعة.

ما pOH؟ يكون من المناسب أحيانًا التعبير عن قاعدية أو قلوية محلول ما على تدريج pOH والذي يعكس صورة العلاقة بين pH و $[H^+]$. ويعرف الرقم **الهيدروكسيدي pOH** لمحلول ما بأنه سالب لوغاريتم تركيز أيون الهيدروكسيد.

الرقم الهيدروكسيدي

$$pOH = -\log [OH^-]$$

يمثل تركيز أيون الهيدروكسيد $[OH^-]$

تكون قيمة pOH لمحلول ما تساوي سالب لوغاريتم تركيز أيون الهيدروكسيد.

تكون قيم pOH عند 298 K، للمحاليل القاعدية أقل من 7، وللمحاليل المتعادلة تساوي 7؛ بينما يكون المحلول الذي تكون قيمة pOH له أعلى من 7 حمضيًّا. وكما في تدريج pH؛ يمثل تغير وحدة واحدة من pOH تغيرًا مقداره 10 مرات في تركيز OH^-. وتوجد علاقة سهلة بين pH و pOH تمكننا من حساب أي منهما إذا عُرفت قيمة الآخر.

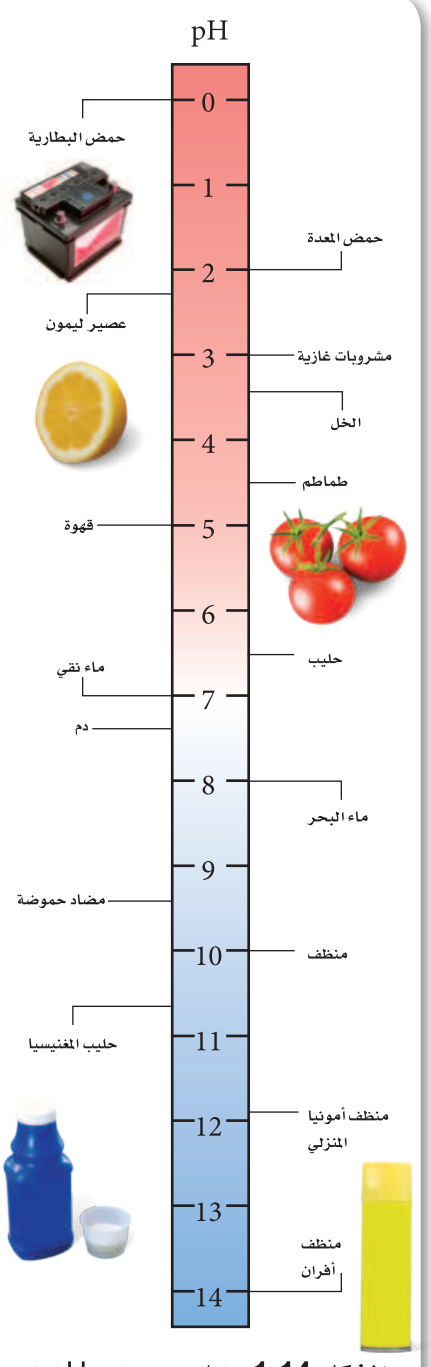
ما العلاقة بين pH و pOH؟

$$pH + pOH = 14.00$$

pH تمثل $-\log [H^+]$

pOH تمثل $-\log [OH^-]$

مجموع pH و pOH يساوي 14.00

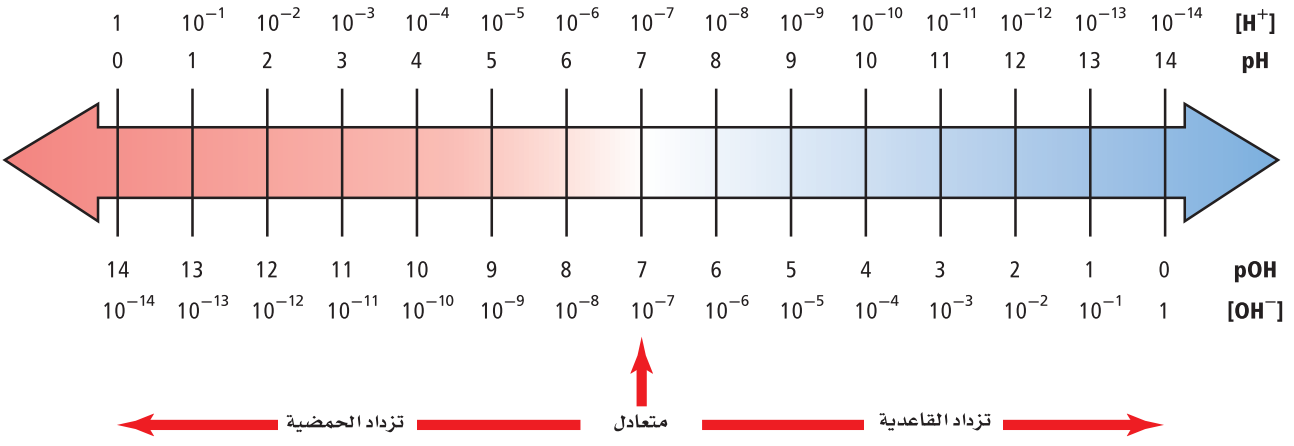


الشكل 1-14 قارن بين قيم pH لهذه المواد المألوفة.

حدّد أيهما يحتوي على أعلى تركيز لأيونات H^+: ماء البحر أو المنظف المنزلي؟

كم مرة يزيد أحدهما على الآخر؟

يوضح **الشكل 15-1** العلاقة بين pH وتركيز H^+، والعلاقة بين pOH وتركيز OH^- عند 298 K.



الشكل 15-1 ادرس هذا الشكل لزيادة معلوماتك حول pH و pOH. لاحظ أنه عند كل موقع عمودي يكون مجموع pH (فوق السهم) وpOH (تحت السهم) مساويًا 14. لاحظ أيضًا أنه عند كل موقع يكون حاصل ضرب $[H^+]$ و $[OH^-]$ مساويًا 10^{-14}.

مثال 1-2

احسب قيمة pH من $[H^+]$ ما قيمة pH لمحلول متعادل عند 298 K؟

1 تحليل المسألة

في المحلول المتعادل عند 298 K ، يكون $[H^+] = 1.0 \times 10^{-7}$ M . ويتعين عليك أن تجد $-\log [H^+]$

المعطيات

$[H^+] = 1.0 \times 10^{-7}$ M

المطلوب

pH = ?

2 حساب المطلوب

اكتب معادلة pH

$\mathbf{pH} = -\log [H^+]$

عوض $[H^+] = 1.0 \times 10^{-7}$M

$\mathbf{pH} = -\log (1.0 \times 10^{-7})$

تكون قيمة pH للمحلول المتعادل عند 298 K تساوي **7.00**

3 تقويم الإجابة

كان متوقعًا أن تكون قيمة pH تساوي 7.

مسائل تدريبية

23. احسب قيمة pH لكل من المحلولين الآتيين عند 298 K.

a. $[H^+] = 1.0 \times 10^{-2}$M **b.** $[H^+] = 3.0 \times 10^{-6}$M

24. احسب قيمة pH لكل من المحلولين الآتيين عند 298 K.

a. $[H^+] = 0.0055$ M **b.** $[H^+] = 0.000084$ M

25. تحدٍّ احسب قيمة pH لمحلول فيه تركيز $[OH^-] = 8.2 \times 10^{-6}$ M .

الكيمياء الخضراء

قضايا بيئية

الشكل 1-16 يستطيع المزارعون أن يزيدوا القيمة الغذائية للمواد النباتية ذات النوعية المتدنية - ومنها القش والتبن وغيرهما من بقايا المزروعات - بوضع تلك المواد في جو من غاز الأمونيا مدة ثلاثة أسابيع.

مثال 3-1

حساب pOH وpH من $[OH^-]$ يظهر الشكل **1-16** صورة بقرة تتغذى على قش عولج بمادة الأمونيا التي تعمل على زيادة البروتينات عند إضافتها إلى علف الحيوانات. وتستعمل الأمونيا كذلك منظفًا منزليًّا، وهو محلول مائي لغاز الأمونيا. وعادة ما يكون تركيز أيون الهيدروكسيد في المنظف $4.0 \times 10^{-3}M$. احسب pOH و pH للمنظف عند 298 K.

1 تحليل المسألة

لقد أعطيت تركيز أيون الهيدروكسيد، وعليك حساب قيم pOH و pH . قم أولاً بحساب قيمة pOH مستعملًا القانون، ثم احسب pH مستعملًا العلاقة $pH + pOH = 14.00$

المعطيات	المطلوب
$[OH^-] = 4.0 \times 10^{-3}M$	$pOH = ?$
	$pH = ?$

2 حساب المطلوب

اكتب معادلة pOH — $\mathbf{pOH} = -\log [OH^-]$

عوض $[OH^-] = 4.0 \times 10^{-3}\ M$ — $\mathbf{pOH} = -\log (4.0 \times 10^{-3})$

pOH المحلول هو **2.40**.

استعمل العلاقة بين pH و pOH لإيجاد قيمة pH

اكتب المعادلة التي تربط بين pH وpOH — $\mathbf{pH} + pOH = 14.00$

أوجد قيمة pH — $\mathbf{pH} = 14.00 - pOH$

عوض $pOH = 2.40$ — $\mathbf{pH} = 14.00 - 2.40 = \mathbf{11.60}$

قيمة **pH** للمحلول هو **11.60**

3 تقويم الإجابة

قيم pH و pOH التي تم التوصل إليهما صحيحة؛ لأن الأمونيا قاعدة، لذا فإن قيمة pOH الصغيرة وقيمة pH الكبيرة معقولتان.

مسائل تدريبية

26. احسب قيم pH و pOH للمحاليل المائية ذات التراكيز الآتية عند 298 K

a. $[OH^-] = 1.0 \times 10^{-6}M$

b. $[OH^-] = 6.5 \times 10^{-4}M$

c. $[H^+] = 3.6 \times 10^{-9}M$

d. $[H^+] = 2.5 \times 10^{-2}M$

27. احسب قيم pH و pOH للمحلولين المائيين الآتيين عند 298 K

a. $[OH^-] = 0.000033\ M$

b. $[H^+] = 0.0095\ M$

28. تحدٍّ احسب قيم pH و pOH لمحلول مائي يحتوي 1.0×10^{-3} mol من HCl مذاب في 5.0 L من المحلول.

حساب تركيز الأيونات من قيم pH قد تحتاج أحيانًا إلى حساب تركيز أيونات H^+ وOH^- من خلال معرفة قيمة pH للمحلول. **والمثال 4-1** يبين كيفية حسابها.

مثال 4-1

احسب $[H^+]$ و $[OH^-]$ من pH ما قيم $[H^+]$ و $[OH^-]$ في دم الشخص السليم الذي لديه pH = 7.40؟ على افتراض أن درجة حرارة الدم هي 298 K.

1 تحليل المسألة

لقد أعطيت قيمة pH لمحلول ما وعليك أن تحسب قيم $[H^+]$ و $[OH^-]$. يمكنك إيجاد قيمة باستعمال المعادلة التي تعرّف pH، ثم اطرح pH من 14.00 للحصول على قيمة pOH، ثم استعمل المعادلة التي تعرّف pOH لإيجاد $[OH^-]$.

المعطيات

$pH = 7.40$

المطلوب

$[H^+] = ?\ mol/l$

$[OH^-] = ?\ mol/l$

2 حساب المطلوب

لإيجاد قيمة $[H^+]$

اكتب معادلة pH

$$pH = -\log [H^+]$$

$$-pH = \log [H^+]$$

$$[H^+] = 10^{-pH}$$

عوّض بدل قيمة pH = 7.40

$$[H^+] = 10^{-7.40}$$

$$[H^+] = 4.0 \times 10^{-8} M$$

تركيز أيونات H^+ في الدم يساوي $4.0 \times 10^{-8} M$.

أوجد قيمة: $[OH^-]$.

اكتب المعادلة التي تبين العلاقة بين pH و pOH

$$pH + pOH = 14.00$$

أوجد قيمة: pOH

$$pOH = 14.00 - pH$$

عوّض pH = 7.40

$$pOH = 14.00 - 7.40 = 6.60$$

اكتب معادلة: pOH

$$pOH = -\log [OH^-]$$

اضرب طرفي المعادلة في -1

$$-pOH = \log [OH^-]$$

$$[OH^-] = 10^{-6.60}$$

$$[OH^-] = 2.5 \times 10^{-7} M$$

تركيز أيونات OH^- في الدم يساوي $2.5 \times 10^{-7} M$

3 تقويم الإجابة

وجد أن قيمة $[H^+]$ أقل من 10^{-7} وأن قيمة $[OH^-]$ أكبر من 10^{-7}، وهما إجابتان مقبولتان.

مسائل تدريبية

29. احسب $[H^+]$ و $[OH^-]$ في كل من المحاليل الآتية:

a . الحليب، pH = 6.50

b . عصير الليمون، pH = 2.37

c . حليب الماغنيسيا، pH = 10.50

d . الأمونيا المنزلية، pH = 11.90

30. تحدٍّ احسب $[H^+]$ و $[OH^-]$ في عينة من ماء البحر، حيث pOH = 5.60.

ملاحظة هامة

عندما يُكتب حرف " p " الصغير قبل أي رمز له علاقة بالأحماض والقواعد، فهو يعني سالب لوغاريتم (قاعدة 10) مثل:

$pH = -\log_{10}[H^+]$, $pK_a = -\log_{10}K_a$ ...

المولارية والرقم الهيدروجيني pH للأحماض القوية تأمل الدورقين اللذين يحويان محلولي الحمض والقاعدة في **الشكل 17-1**؛ حيث تم تحضيرهما حديثًا، وسُجلت مولارية كل منهما، وهي عدد المولات من الجزيئات أو وحدات الصيغ التي أذيبت في لتر واحد من المحلول. يحتوي أحد الدورقين على حمض قوي HCl، ويحتوي الثاني على قاعدة قوية NaOH. تذكّر أن الأحماض والقواعد القوية توجد بتركيز 100% في صورة أيونات في المحلول. وهذا يعني أن التفاعل الآتي لتأين HCl يستمر حتى اكتماله.

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

ينتج كل جزيء HCl أيون H^+ واحدًا، مما يعني أن الدورق الذي كتب عليه 0.1 M من HCl يحتوي على 0.1 mol من H^+ لكل 1 L، و0.1 mol من أيونات Cl^- لكل L. وعادة ما يكون تركيز الأحماض القوية الأحادية البروتون مساويًا تركيز أيونات H^+. لذا يمكنك أن تجد قيمة pH من خلال معرفتك لمولارية الحمض.

المولارية والرقم الهيدروجيني pH للقواعد القوية وبطريقة مماثلة، يكون محلول القاعدة القوية NaOH ذو التركيز 0.1 M الظاهر في **الشكل 17-1** متأينًا كليًّا.

$$NaOH_{(aq)} \rightarrow Na^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

تنتج كل وحدة صيغة من NaOH أيون OH^- واحد. وهكذا يكون تركيز أيونات OH^- يساوي مولارية المحلول 0.1 M.

قد تحتوي بعض القواعد القوية ومنها هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ على أيوني OH^- أو أكثر في كل وحدة صيغة. لذا يكون تركيز أيون OH^- في محلول $Ca(OH)_2$ ضعف مولارية المركب الأيوني. فمثلاً تركيز أيونات الهيدروكسيد في محلول $Ca(OH)_2$ تركيزه $7.5 \times 10^{-4}M$ هو $7.5 \times 10^{-4}M \times 2 = 1.5 \times 10^{-3}M$

إن الأحماض القوية والقواعد القوية تتأين كليًّا في المحاليل المائية المخففة، وإن الأحماض والقواعد الضعيفة تتأين جزئيًّا فقط. لذا عليك أن تستعمل قيم K_a و K_b لتحديد تراكيز أيونات H^+ و OH^- في محاليل الأحماض والقواعد الضعيفة.

ماذا قرأت؟ اشرح لماذا لا تستطيع أن تحصل على (H^+) مباشرة من مولارية محلول حمض ضعيف؟

حساب K_a من الرقم الهيدروجيني pH افترض أنك قمت بقياس قيمة pH لمحلول الحمض الضعيف HF الذي تركيزه 0.100 M فوجدته 3.20. فهل تكفي هذه المعلومات لحساب قيمة K_a للحمض HF؟

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

$$K_a = \frac{[H^+][F^-]}{[HF]}$$

يمكنك أن تحسب $[H^+]$ من خلال معرفة قيمة pH، وتذكر أنه يجب أن يكون هناك تركيز مساوٍ من أيون F^- مقابل كل mol/l من أيون H^+. وهذا يعني أنك تعرف اثنين من المتغيرات في قانون K_a. فماذا عن المتغير الثالث، $[HF]$؟ تركيز HF عند الاتزان يساوي التركيز الابتدائي للحمض (0.100 M) ناقص mol/l من HF التي تحللت، والتي تساوي $[H^+]$.

الشكل 17-1 يرشدك الملصق الموجود على دورق الحمض القوي أو القاعدة القوية عن تركيز أيونات الهيدروجين أو أيونات الهيدروكسيد في المحلول. ويعود السبب في ذلك إلى وجود الأحماض والقواعد القوية كليًّا على شكل أيونات عند إذابتها في الماء.

حدد $[H^+]$ في دورق فيه HCl و $[OH^-]$ في دورق فيه NaOH.

مثال 1-5

احسب K_a من pH يستعمل حمض (الفورميك) HCOOH لمعالجة عُصارة أشجار المطاط وتحويلها إلى مطاط طبيعي. فإذا كانت قيمة pH لمحلول حمض الميثانويك الذي تركيزه 0.100 M يساوي 2.38، فما قيمة K_a للحمض؟

1 تحليل المسألة

لديك pH محلول حمض الميثانويك، وهذا يمّكنك من حساب تركيز أيون الهيدروجين.

$$HCOOH_{(aq)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + HCOO^-_{(aq)}$$

تدل المعادلة الكيميائية الموزونة على أن تركيز $HCOO^-$ يساوي تركيز H^+.

تركيز HCOOH غير المتأين هو الفرق بين التركيز الأولي للحمض و$[H^+]$.

المعطيات

pH = 2.38

تركيز المحلول = 0.100 M

المطلوب

$K_a = ؟$

2 حساب المطلوب

اكتب معادلة pH

$$pH = -\log [H^+]$$

عوّض pH = 2.38

$$[H^+] = 10^{-pH}$$

$$[H^+] = 10^{-2.38}$$

$$[H^+] = 4.2 \times 10^{-3}M$$

$$[HCOO^-] = [H^+] = 4.2 \times 10^{-3}M$$

[HCOOH] يساوي التركيز الأولي ناقص $[H^+]$

اطرح $[H^+]$ من [HCOOH]

$$[HCOOH] = 0.100M - 4.2 \times 10^{-3}M = 0.096M$$

اكتب قانون ثابت تأين الحمض.

$$K_a = \frac{[H^+][HCOO^-]}{[HCOOH]}$$

عوض عن $[H^+] = 4.2 \times 10^{-3}M$ ، $[HCOO^-] = 4.2 \times 10^{-3}M$، $[HCOOH] = 0.096M$.

$$K_a = \frac{(4.2 \times 10^{-3})(4.2 \times 10^{-3})}{0.096} = \mathbf{1.8 \times 10^{-4}\ mol/L}$$

ثابت تأين الحمض HCOOH هو 1.8×10^{-4}

3 تقويم الإجابة

قيمة K_a معقولة لحمض ضعيف.

مسائل تدريبية

31. احسب K_a للحمضين الآتيين مستعملًا المعطيات:

a . محلول H_3AsO_4 تركيزه 0.220 M و pH = 1.50 **b** . محلول $HClO_2$ تركيزه 0.0400 M و pH = 1.80

32. احسب Ka و pKa للأحماض الآتية مستعملا المعطيات. حدّد الحمض الأضعف بينها.

a . محلول حمض البنزويك C_6H_5COOH الذي تركيزه 0.00330 M و pOH = 10.70

b . محلول حمض السيانيك HCNO الذي تركيزه 0.100 M و pOH = 11.00

c . محلول حمض البيوتانويك C_3H_7COOH الذي تركيزه 0.15 M و pOH = 11.18

33. تحدٍّ احسب K_a لمحلول حمض مجهول HX الذي تركيزه 0.0091 M، وله pOH يساوي 11.32، مستعملًا الجدول 1-4 لتحديد نوع الحمض.

الشكل 18-1 يمكن الحصول على قيمة تقريبية لدرجة pH للمحلول بوضع قطعة من ورق تباع الشمس الأحمر بالمحلول، ومقارنة لونها بمجموعة من الألوان المعيارية، كما هو مبين في الصورة a. أما مقياس الحموضة الرقمي الموضح في الصورة b فيستعمل هنا لقياس درجة حموضة ماء المطر؛ إذ يعطي قياسًا أدق من استعمال ورق تباع الشمس.

قياس الرقم الهيدروجيني pH يعد ورق تبّاع الشمس الذي استعملته في النشاط الاستهلالي مثالًا على نوع من أوراق كاشف الحموضة؛ فكل هذه الأوراق معالجة بمادة أو أكثر تسمى الكواشف؛ حيث يتغير لونها اعتمادًا على تركيز أيونات الهيدروجين في المحلول. ويعد الفينولفثالين الذي استعملته في النشاط الاستهلالي أيضًا نوعًا من الكواشف؛ فعند غمس ورقة كاشف pH في محلول حمضي أو قاعدي يتغير لونها، ثم نقوم بمقارنة اللون الجديد للورقة بألوان كاشف pH المعياري الموجود على ورقة مدرّجة، كما هو مبين في **الشكل 18-1**. ويعطي مقياس pH الرقمي الموضح في **الشكل 18-1** قيمة الرقم الهيدروجين بصورة أكثر دقة؛ فعندما توضع الأقطاب في المحلول يعطي المقياس قراءة مباشرة.

تقويم الدرس 1-3

الخلاصة

- يساوي ثابت تأين الماء K_w، حاصل ضرب تركيز أيون الهيدروجين، وتركيز أيون الهيدروكسيد.
- قيمة pH للمحلول هي سالب log تركيز أيون الهيدروجين، بينما قيمة pOH هي سالب log تركيز أيون الهيدروكسيد. $pH + pOH = 14$
- تكون قيم pH و pOH في المحلول المتعادل 7 وذلك لأن تركيزي أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد فيه متساويان.

34. الفكرة الرئيسة اشرح لماذا تكون قيمة pH للمحلول الحمضي دائمًا أصغر من قيمة pOH للمحلول نفسه؟

35. صف كيف يمكنك تحديد قيمة pH لمحلول ما إذا علمت قيمة pOH للمحلول نفسه؟

36. اشرح معنى K_w في المحاليل المائية.

37. اشرح مستعملًا مبدأ لوتشاتلييه ما يحدث لـ $[H^+]$ في محلول حمض الإيثانويك الذي تركيزه 0.10M عند إضافة قطرة من محلول NaOH.

38. اكتب قائمة بالمعلومات الضرورية لحساب قيمة Ka لحمض ضعيف.

39. احسب إذا علمت أن قيمة pH لحبة طماطم تساوي 4.50 تقريبًا، فما $[H^+]$ و $[OH^-]$ فيها؟

40. حدد قيمة pH لمحلول يحتوي على 1.0×10^{-9} mol من أيونات OH^- لكل L.

41. احسب قيمة pH في المحاليل الآتية:

a. 1.0 M HI

b. محلول HNO_3 الذي تركيزه 0.050M

c. محلول KOH الذي تركيزه 1.0 M

d. محلول $Mg(OH)_2$ الذي تركيزه 2.4×10^{-5}M

42. تفسير الرسوم ارجع إلى **الشكل 15-1** للإجابة عن السؤالين الآتيين: ماذا يحدث لكل من $[H^+]$ و $[OH^-]$ و pH و pOH عندما يصبح المحلول المتعادل أكثر حمضية؟ وماذا يحدث عندما يصبح أكثر قاعدية؟

1–4

تساؤلات جوهرية

- **كيف** تكتب معادلات كيميائية لتفاعلات التعادل؟
- **كيف** تستعمل تفاعلات التعادل في معايرة الأحماض والقواعد ؟
- **ما** المقصود بالمحاليل المنظمة ؟

مراجعة المفردات

الحسابات الكيميائية : دراسة العلاقات الكميّة بين كميات المواد المتفاعلة المستهلكة والنواتج المتكونة في التفاعل الكيميائي؛ بالاعتماد على قانون حفظ الكتلة.

المفردات الجديدة

تفاعل التعادل

المعايرة

المحلول القياسي

نقطة التكافؤ

كاشف الحمض والقاعدة

نقطة النهاية

ميّه الأملاح

المحلول المنظم

سعة المحلول المنظم

تفاعلات التعادل Neutralization Reactions

الفكرة الرئيسة **يتفاعل الحمض مع القاعدة في تفاعل التعادل لينتجا ملحًا وماء.**

الربط مع الحياة عندما يقدّم فريقان متناظران حُجَجًا مقنعة تجد نفسك متحيرًا بين الرأيين، لذا يكون رأيك محايدًا أو متعادلًا، فلا تفضل وجهة نظر على أخرى. وكذلك يكون المحلول متعادلاً عندما تتساوى أعداد أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد في المحلول.

التفاعلات بين الأحماض والقواعد
Reactions Between Acids and Bases

هل أحسست يومًا بسوء هضم أو حرقة في المعدة؟ هل تناولت أحد مضادات الحموضة كما في **الشكل 19–1** لتخفف من حالة عدم الارتياح تلك؟ ما نوع التفاعل الذي يحدث عندما يلامس هيدروكسيد الماغنيسيوم $Mg(OH)_2$ –وهو المركب النشط في حليب الماغنيسيا– محلول حمض الهيدروكلوريك H^+ و Cl^- الذي تنتجه المعدة؟

عندما يتفاعل $Mg(OH)_2$ مع حمض HCl يحدث تفاعل تعادل. و**تفاعل التعادل** تفاعل محلول حمض مع محلول قاعدة لإنتاج ملح وماء.

كتابة معادلات التعادل في التفاعل بين هيدروكسيد الماغنيسيوم وحمض الهيدروكلوريك يحل الماغنيسيوم محل الهيدروجين في HCl.

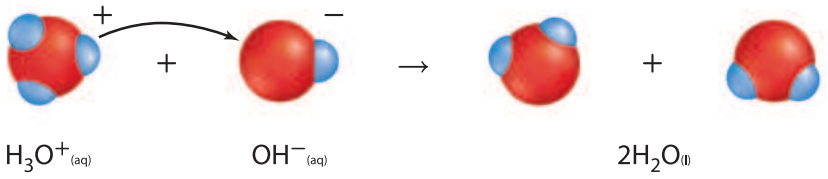
$$Mg(OH)_{2(aq)} + 2HCl_{(aq)} \rightarrow MgCl_{2(aq)} + 2H_2O_{(l)}$$

قاعدة + حمض → ملح + ماء

لاحظ أن الأيون الموجب من القاعدة Mg^{2+} يتحد بالأيون السالب من الحمض Cl^- في الملح $MgCl_2$، وعند كتابة معادلات التعادل عليك أن تعرف ما إذا كانت جميع المواد المتفاعلة والنواتج في المحلول تكون في صورة جزيئات أو وحدات صيغ. تفحص مثلاً معادلة الصيغ والمعادلة الأيونية الكاملة للتفاعل بين حمض الهيدروكلوريك وهيدروكسيد الصوديوم الآتية:

$$HCl_{(aq)} + NaOH_{(aq)} \rightarrow NaCl_{(aq)} + H_2O_{(l)}$$

الشكل 19-1 يمكن لأي جرعة من أي من هذه المواد المضادة للحموضة أن تخفف من أعراض سوء الهضم الحمضي؛ وذلك بتفاعلها مع المحلول الحمضي في المعدة ومعادلته.



الشكل 1-20 ينقل أيون الهيدرونيوم أيون الهيدروجين إلى أيون الهيدروكسيد. وعندما يخسر H_3O^+ أيون هيدروجين يصبح جزيء ماء. وعندما يكسب OH^- أيون هيدروجين يصبح أيضًا جزيء ماء.

لأن HCl حمض قوي، و NaOH قاعدة قوية، و NaCl ملح قابل للذوبان، لذا تكون المركبات الثلاثة في صورة أيونات في المحلول المائي.

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

تظهر أيونات الصوديوم وأيونات الكلوريد على جانبي المعادلة، لذا تسمى أيونات مشاهدة؛ أي لا تدخل في التفاعل، ويمكن حذفها للحصول على المعادلة الأيونية الكلية لمعادلة حمض قوي مع قاعدة قوية.

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

لاحظ تفاعل التعادل في **الشكل 20-1**.

ماذا قرأت؟ بيّن أن المعادلة الظاهرة في **الشكل 20-1** تمثل معادلة تعادل لأي حمض قوي مع أي قاعدة قوية؛ وذلك بكتابة معادلة أيونية كاملة، ثم معادلة أيونية صافية لتعادل HNO_3 مع KOH.

معايرة الأحماض والقواعد تتشابه عملية الحسابات الكيميائية لحساب الكميات في تفاعل التعادل بين حمض وقاعدة مع أي تفاعل آخر يحدث في محلول. ففي تفاعل مضاد الحموضة الآتي نجد أن $1mol\ Mg(OH)_2$ يعادل $2\ mol\ HCl$.

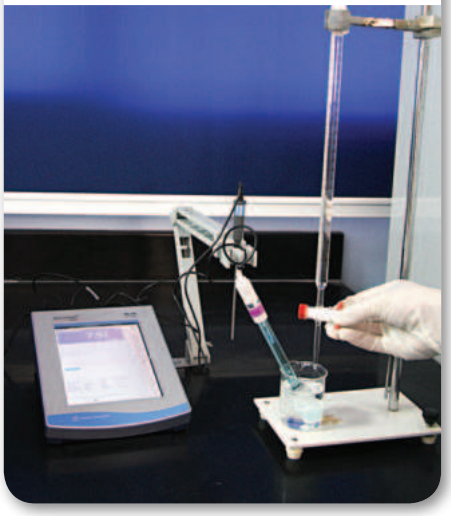
$$Mg(OH)_{2(aq)} + 2HCl_{(aq)} \rightarrow MgCl_{2(aq)} + 2H_2O_{(l)}$$

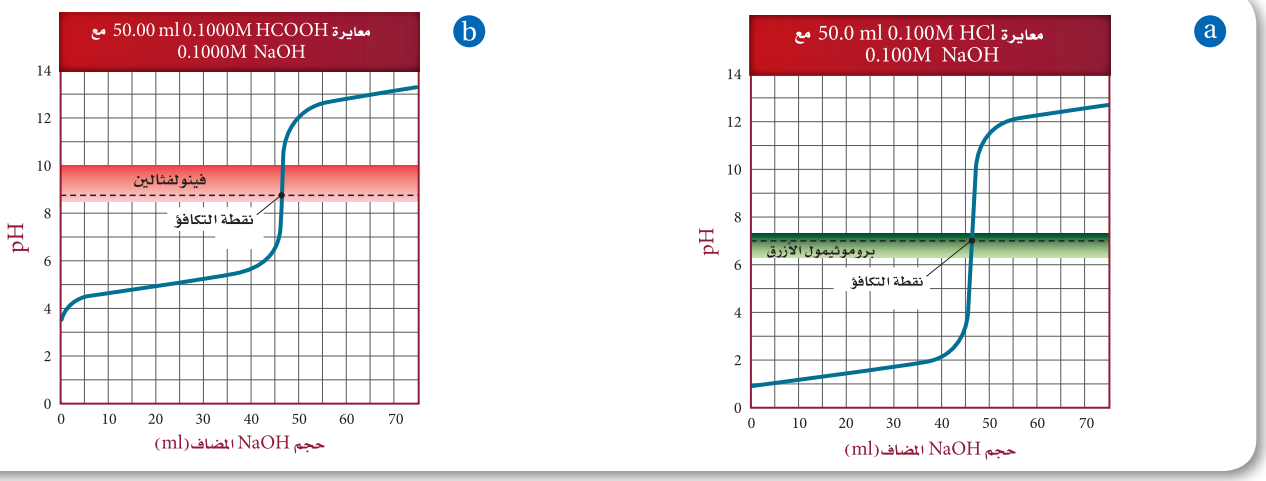
وتبين الحسابات الكيميائية أساس طريقة المعايرة، التي تستعمل لتحديد تراكيز المحاليل الحمضية والقاعدية. **فالمعايرة** طريقة لتحديد تركيز محلول ما، وذلك بتفاعل حجم معلوم منه مع محلول تركيزه معلوم. فإذا أردت إيجاد تركيز محلول حمضي فستعايره مع محلول قاعدة تركيزها معلوم. كما يمكنك معايرة قاعدة تركيزها غير معلوم مع حمض تركيزه معلوم. كيف تتم معايرة حمض وقاعدة؟ يبين **الشكل 21-1** نوعًا من المعدات المستخدمة في عملية المعايرة. ويستعمل في هذه الطريقة مقياس pH لمراقبة التغيّر في قيم pH في أثناء سير عملية المعايرة.

المختبر الافتراضي

استخدم برنامج المحاكاة "كروكودايل" لتصميم تجارب معايرة بين محاليل قاعدية وأخرى حمضية. قارن بين المنحنيات الرقمية التي رسمها البرنامج ودوّن الاختلافات بينها.

الشكل 21-1 عند معايرة حمض مع قاعدة يستعمل مقياس pH لقياس درجة pH للمحلول الحمضي في الكأس، في حين تتم إضافة محلول قاعدي معلوم التركيز من السّحاحة.





خطوات المعايرة كيف تتم معايرة حمض وقاعدة؟

1. يوضع حجم معين من المحلول الحمضي أو القاعدي مجهول التركيز في كأس زجاجية. ثم تغمس أقطاب جهاز pH في هذا المحلول، وتقرأ قيمتها الابتدائية للمحلول، وتسجل.
2. تُملأ السحاحة بمحلول المعايرة المعلوم تركيزه. يسمى هذا المحلول **المحلول القياسي**.
3. تضاف أحجام معلومة من المحلول المعياري ببطء إلى المحلول الموجود في الكأس وتخلط معه. ثم تقرأ قيمة pH وتسجل بعد كل إضافة. تستمر هذه العملية إلى أن يصل التفاعل إلى **نقطة التكافؤ**، وهي النقطة التي يتساوى عندها عدد مولات H^+ من الحمض مع عدد مولات OH^- من القاعدة.

يبين **الشكل 22-1a** كيف تتغير قيمة pH للمحلول في أثناء معايرة 50.0 ml HCl الذي تركيزه 0.100 M، وهو حمض قوي، مع القاعدة القوية NaOH ذات التركيز 0.100 M، حيث كانت قيمة pH الأولية لـ HCl تساوي 1.00. وفي أثناء إضافة NaOH يتعادل الحمض، وتزداد قيمة pH المحلول تدريجيًّا. إلاّ أنه عندما تُستهلك أيونات H^+ جميعها تزداد قيمة pH على نحو كبير عند إضافة حجم صغير جدًّا من NaOH. وتحدث هذه الزيادة الحادة في قيمة pH عند نقطة تكافؤ المعايرة. إن إضافة المزيد من NaOH بعد نقطة التكافؤ ينجم عنه زيادة تدريجية مرة أخرى في pH.

لعلك تعتقد أنه يجب أن تكون نقطة التكافؤ في عمليات المعايرة جميعها عندما تكون قيمة pH تساوي 7؛ لأنه عند هذه النقطة تتساوى تراكيز أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد، فيصبح المحلول متعادلاً. ولكن هذا غير صحيح، فبعض المعايرات لها نقاط تكافؤ عند قيم pH أقل من 7، وبعضها له نقاط تكافؤ أكبر من 7. وتحدث هذه الاختلافات لأن هناك تفاعلات بين الأملاح التي تكونت والماء، كما ستتعلم ذلك لاحقًا.

يبين **الشكل 22-1b** أن نقطة التكافؤ في معايرة حمض الميثانويك ـ وهو حمض ضعيف ـ بهيدروكسيد الصوديوم ـ وهي قاعدة قوية ـ تقع قيم pH بين 8 و 9.

التحقق من الرسم البياني **حدد** اختلافين بين الرسمين البيانيين في **الشكل 22-1**.

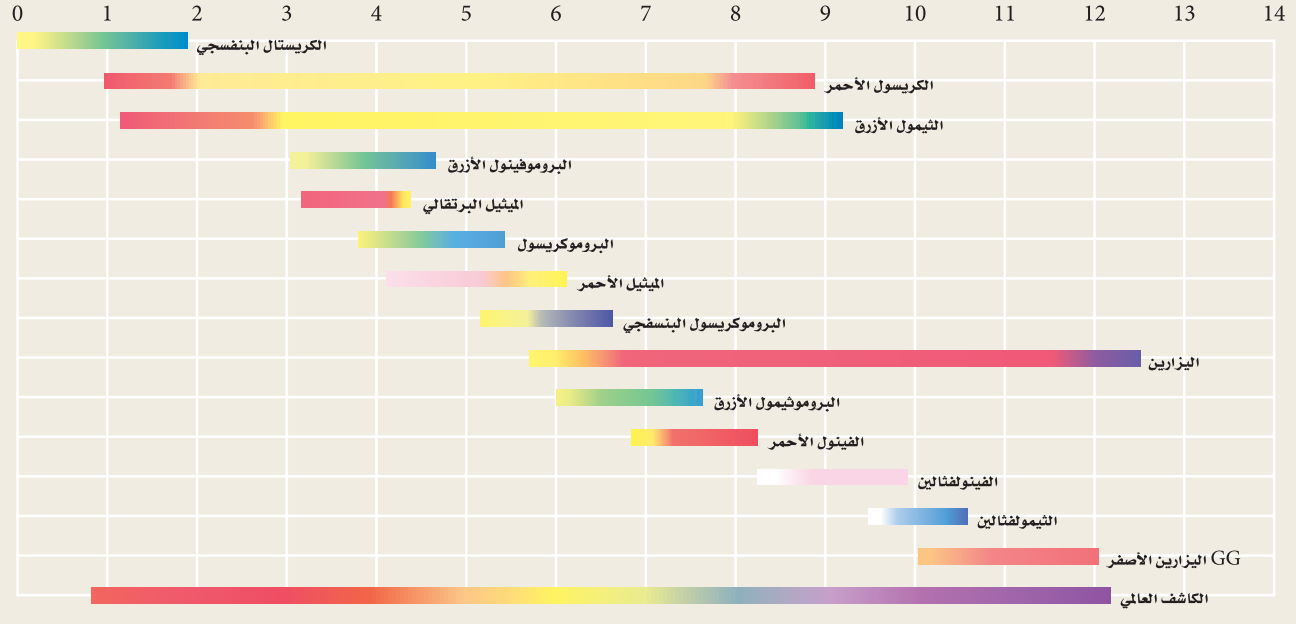
الشكل 22-1 يدل الارتفاع الحاد في قيمة pH للمحلول الحمضي عند معايرة حمض قوي بقاعدة قوية ـ كما هو مبين في الشكل **a** ـ على أن جميع أيونات H^+ في الحمض قد تمت معادلتها بواسطة أيونات OH^- من القاعدة. وتسمى النقطة التي ينثني عندها المنحنى عند تقاطعه مع الخط المنقط نقطةَ التكافؤ للمعايرة؛ حيث يغير الكاشف بروموثيمول الأزرق لونه عند هذه النقطة. أما في الشكل b فتتم معايرة حمض ضعيف HCOOH بقاعدة قوية NaOH ولا تظهر نقطة التكافؤ عند pH = 7، فيغير الكاشف فينولفثالين لونه عند نقطة التكافؤ الموضحة في الشكل.

قارن بين نقطتي التكافؤ في الرسمين.

الشكل 1-23 يصبح لون الشاي الأحمر فاتحًا عند إضافة عصير الليمون إليه؛ لأنه يحتوي مادة كيميائية تعد من الكواشف. ومعظم الكواشف جزيئات كبيرة تعمل بوصفها أحماضًا ضعيفة. ويعود السبب في تغير ألوان الكواشف إلى اختلافات يسيرة في أنماط الروابط عندما يتأين جزيء الكاشف أو لا يتأين.

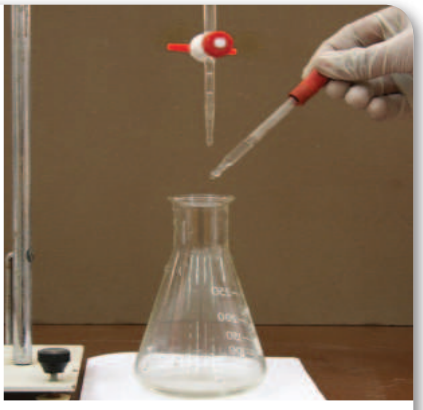
كواشف الأحماض والقواعد غالبًا ما يستعمل الكيميائيون أصباغًا كيميائية بدلاً من مقياس pH لتحري نقطة التكافؤ عند معايرة حمض وقاعدة. وتسمى الأصباغ الكيميائية التي تتأثر ألوانها بالمحاليل الحمضية والقاعدية **كواشف الأحماض والقواعد**. وهناك العديد من المواد الطبيعية التي تعمل عمل الكواشف. فإذا أضفت عصير الليمون إلى الشاي فسوف تلاحظ أن اللون الأحمر للشاي أصبح فاتحًا، كما في **الشكل 23-1**؛ إذ يحتوي الشاي على مواد تسمى بوليفينولات polyphenlos، تحتوي على ذرات متأينة جزئيًّا من الهيدروجين، لذا فهي أحماض ضعيفة. وعند إضافة الحمض الموجود في عصير الليمون إلى كوب شاي يقل تأين الحمض في الشاي حسب مبدأ لوتشاتلييه، فيصبح لون البوليفينولات غير المتأينة أكثر وضوحًا، ويظهر **الشكل 24-1** العديد من الكواشف التي يستعملها الكيميائيون. إن أزرق بروموثيمول كاشف مناسب عند معايرة حمض قوي بقاعدة قوية، أما الفينولفثالين فيغير لونه عند نقطة التكافؤ عند معايرة حمض ضعيف بقاعدة قوية، كما هو مبين في **الشكل 22-1**.

الشكل 1-24 إن عملية اختيار الكاشف الصحيح مهمة جدًّا؛ إذ يجب أن يغير الكاشف لونه عند نقطة التكافؤ التي لا تكون دائمًا عند pH = 7.



تكون نقطة نهاية المعايرة عندما يصبح اللون ورديًا فاتحًا. تبين القراءة الدقيقة للسحاحة أن 18.28 ml NaOH الذي تركيزه 0.1000 M قد تمت إضافته.

يضاف المحلول القياسي ببطء إلى محلول الحمض. ويتحول الفينولفثالين إلى اللون الوردي، ولكن يختفي اللون عند تحريك المحلول إلى أن يصل نقطة النهاية.



تحتوي السحاحة على المحلول القياسي 0.1 M NaOH، ويحتوي الدورق المخروطي على 25.00 ml من محلول HCOOH مع قطرات من كاشف الفينولفثالين.

الكواشف ونقطة نهاية المعايرة تعد العديد من الكواشف المستعملة في المعايرة أحماضًا ضعيفة، لكل منها قيمة pH خاصة بها أو مدى pH يتغير اللون عنده. وتسمى النقطة التي يتغير لون الكاشف عندها **نقطة نهاية** المعايرة. لذا من المهم اختيار كاشف للمعايرة يغير لونه عند نقطة تكافؤ المعايرة الصحيحة. تذكر أن دور الكاشف أن يبين لك بدقة – عن طريق تغير لونه – أنه قد تمت إضافة كمية كافية من المحلول القياسي لتعادل المحلول المجهول. يصف **الشكل 25-1** طريقة معايرة محلول مجهول التركيز من حمض الميثانويك HCOOH مع محلول NaOH الذي تركيزه 0.1000 M.

الشكل 25-1 المعايرة طريقة دقيقة تحتاج إلى تدريب وممارسة. تعمل الورقة البيضاء الموضوعة تحت الدورق على توفير خلفية مناسبة تساعد على رؤية التغير في لون الكاشف.

استراتيجية حل المسائل

حساب المولارية

تعد المعادلة الموزونة لتفاعلات المعايرة المفتاح الرئيسي لحساب المولارية المجهولة. فمثلاً تتم معايرة حمض الكبريتيك بهيدروكسيد الصوديوم حسب المعادلة الآتية:

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

1. احسب عدد مولات NaOH في المحلول القياسي من بيانات المعايرة:

M_B : مولارية القاعدة

V_B : حجم القاعدة.

$M_B V_B = (mol/l)(L) = mol\ NaOH$ في المحلول القياسي

2. تستطيع أن تعرف من المعادلة أن نسبة مولات NaOH إلى H_2SO_4 هي 2:1 أي أنه يتطلب 2 mol NaOH لتعادل 1 mol H_2SO_4

$$mol\ H_2SO_4 = mol\ NaOH \times \frac{1\ mol\ H_2SO_4}{2\ mol\ NaOH}$$

3. M_A تمثل مولارية الحمض، بينما تمثل V_A حجم الحمض L.

$$M_A = \frac{mol\ H_2SO_4}{V_A}$$

طبق هذه الاستراتيجية عند دراستك المثال 1-6 في الصفحة الآتية.

مثال 6-1

حساب من بيانات المعايرة نحتاج إلى محلول قياسي حجمه 18.28 ml من NaOH، وتركيزه 0.1000 M للتعادل مع 25.00 ml من محلول حمض الميثانويك HCOOH. احسب مولارية محلول حمض الميثانويك؟

1 تحليل المسألة

لديك مولارية محلول NaOH وحجمه، ولديك كذلك حجم محلول حمض الميثانويك HCOOH.
حجم القاعدة المستعملة يساوي أربعة أخماس حجم الحمض تقريبًا. إذن تكون مولارية الحمض أقل من 0.1 M.

المعطيات

$V_A = 25.00\ ml$ HCOOH
$V_B = 18.28\ ml$ NaOH
$M_B = 0.1000 M$

المطلوب

$M_A = ?\ mol/l$

2 حساب المطلوب

اكتب المعادلة الكيميائية الموزونة لتفاعل التعادل.

$$HCOOH_{(aq)} + NaOH_{(aq)} \rightarrow HCOONa_{(aq)} + H_2O_{(l)}$$

اكتب النسبة المولية للحمض والقاعدة.

1 mol NaOH تعادل 1 mol HCOOH

حول حجم القاعدة من ml إلى L.

$$V_B = 18.28\ ml \times \frac{1\ L}{1000\ ml} = 0.01828\ L$$

لحساب عدد مولات NaOH

طبق العلاقة بين مولات القاعدة، ومولارية القاعدة، وحجم القاعدة.

$$Mol\ NaOH = M_B V_B$$

عوّض $M_B = 0.1000\ M$ و $V_B = 0.01828\ L$

$$Mol\ NaOH = (0.1000\ mol/l)(0.01828\ L)$$
$$= 1.828 \times 10^{-3}\ mol\ NaOH$$

لحساب مولات HCOOH

طبق العلاقة المولية بين NaOH و HCOOH

$$1.828 \times 10^{-3}\ mol\ NaOH \times \frac{1\ mol\ HCOOH}{1\ mol\ NaOH}$$
$$= 1.828 \times 10^{-3}\ mol\ HCOOH$$

لحساب مولارية HCOOH

استعمل العلاقة بين مولات الحمض، ومولية الحمض، وحجم الحمض.

$$1.828 \times 10^{-3}\ mol\ HCOOH = M_A V_A$$

أوجد قيمة M_A.

$$M_A = \frac{1.828 \times 10^{-3}\ mol\ HCOOH}{V_A}$$

حول حجم الحمض من ml إلى L

$$V_A = 25.00\ ml \times \frac{1\ L}{1000\ ml} = 0.02500\ L\ HCOOH$$

عوّض عن قيمة $V_A = 0.02500\ L$.

$$M_A = \frac{1.828 \times 10^{-3}\ mol\ HCOOH}{0.02500\ L\ HCOOH} = \mathbf{7.312 \times 10^{-2}\ mol/l}$$

3 تقويم الإجابة

تتفق الإجابة مع التوقع بأن تكون مولارية HCOOH أقل من 0.1 M، كما أن الوحدة مناسبة.

مسائل تدريبية

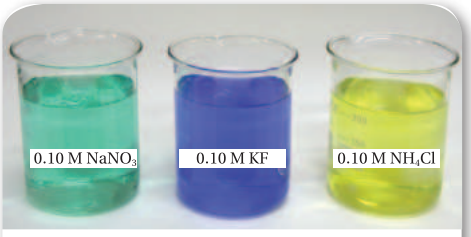
43. ما مولارية محلول حمض النيتريك إذا تطلب 43.33 ml KOH تركيزه 0.1000 M لمعادلة 20.00 ml من محلول حمضي؟

44. ما تركيز محلول الأمونيا المستعمل في مواد التنظيف المنزلي إذا تطلب 49.90 ml HCl وتركيزه 0.5900 M لمعادلة 25.00 ml من هذا المحلول؟

45. تحدٍّ كم ml من NaOH تركيزه 0.500 M يمكن أن يتعادل مع 25.00 ml من H_3PO4 تركيزه 0.100 M؟

تميّه الأملاح Salt Hydrolysis

أضيفت بضع قطرات من محلول كاشف البروموثيمول الأزرق ـ كما في **الشكل 26-1** إلى محاليل مائية من أملاح كلوريد الأمونيوم NH_4Cl ونترات الصوديوم $NaNO_3$، وفلوريد البوتاسيوم KF تركيزها 0.10 M. وكما تلاحظ فقد غيّر محلول نترات الصوديوم لون الكاشف إلى اللون الأخضر، وهذا يعني أن المحلول متعادل. ويشير اللون الأزرق في محلول KF إلى أن المحلول قاعدي، بينما يدل اللون الأصفر لمحلول كلوريد الأمونيوم على أن المحلول حمضي. لماذا تكون بعض محاليل الأملاح متعادلة، وبعضها قاعديًّا وبعضها الآخر حمضيًّا؟ يتفاعل الكثير من الأملاح مع الماء في عملية تعرف باسم **تميّه الأملاح**، حيث تستقبل الأيونات السالبة من الملح المتأين في أثناء هذه العملية أيونات الهيدروجين من الماء، أو أن تمنح الأيونات الموجبة من الملح المتفكك أيونات الهيدروجين للماء.



الشكل 26-1 يعطي كاشف البروموثيمول الأزرق نتائج مدهشة عند إضافته إلى ثلاثة محاليل من الأملاح الأيونية. فمحلول NH_4Cl حمضي، ومحلول $NaNO_3$ متعادل، بينما محلول KF قاعدي. ويُعزى التفسير إلى قوى الأحماض والقواعد التي تكوّنت منها هذه الأملاح.

الأملاح التي تنتج محاليل قاعدية ينتج ملح فلوريد البوتاسيوم عن قاعدة قوية KOH وحمض ضعيف HF، ثم يتحلل هذا الملح إلى أيونات بوتاسيوم وأيونات فلوريد: $KF_{(s)} \rightarrow K^+_{(aq)} + F^-_{(aq)}$

لا تتفاعل أيونات K^+ مع الماء، ويعد أيون F^- قاعدة ضعيفة حسب برونستد – لوري. لذا توجد بعض أيونات الفلوريد في حالة اتزان مع الماء، كما في التفاعل الآتي: $F^-_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons HF_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$

وهذا يعني أن المواد الناتجة تتكون من جزيئات فلوريد الهيدروجين وأيونات OH^- مما يجعل المحلول قاعديًّا.

الأملاح التي تنتج محاليل حمضية ينتج ملح NH_4Cl عن قاعدة ضعيفة NH_3 وحمض قوي HCl، وعند إذابته في الماء يتفكك الملح لينتج أيونات الأمونيوم وأيونات الكلوريد، كما في التفاعل الآتي: $NH_4Cl_{(s)} \rightarrow NH_4^+{}_{(aq)} + Cl^-{}_{(aq)}$

لا تتفاعل أيونات Cl^- مع الماء، ولكن أيون NH_4^+ حمض ضعيف حسب برونستد – لوري. لذا تتفاعل أيونات الأمونيوم مع جزيئات الماء منتجة حالة الاتزان الآتية: $NH_4^+{}_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons NH_{3(aq)} + H_3O^+{}_{(aq)}$

ونتيجة لذلك تنتج جزيئات أمونيا وأيونات هيدرونيوم، مما يجعل المحلول حمضيًّا.

الأملاح التي تنتج محاليل متعادلة ينتج ملح نترات الصوديوم $NaNO_3$ عن حمض قوي HNO_3 وقاعدة قوية NaOH. لذلك قد يحدث تميّه للملح بسيط جدًّا، وقد لا يحدث تميّه أبدًا؛ لأن Na^+ و NO_3^- لا يتفاعلان مع الماء، لذا يكون محلول نترات الصوديوم متعادلاً.

مسائل تدريبية

46. اكتب معادلات لتفاعلات تميّه الأملاح التي تحدث عند إذابة الأملاح الآتية في الماء، وصنّف كلًّا منها إلى حمضي، أو قاعدي، أو متعادل:

a. نترات الأمونيوم **b.** كبريتات البوتاسيوم **c.** إيثانوات الروبيديوم **d.** كربونات الكالسيوم

47. تحدٍّ اكتب معادلة التفاعل الذي يحدث عند معايرة هيدروكسيد الأمونيوم NH_4OH مع بروميد الهيدروجين HBr. هل تكون قيمة pH عند نقطة التكافؤ أكبر أو أقل من 7؟

الشكل 27-1 لكي تكون البيئة صحيّة لقناديل البحر، يجب أن تبقى قيمة pH لماء أحواض الأحياء المائية بين 8.1 و 8.4.

المحاليل المنظمة Buffered Solutions

من المهم جدًّا لقناديل البحر المبينة في **الشكل 27-1** أن تبقى قيم pH لمياه أحواض الأحياء المائية ضمن مدى ضيق. وكذلك الأمر لجسم الإنسان؛ فمن المهم أيضًا بقاء قيمة pH ثابتة، حيث يجب أن يبقى pH الدم ضمن مدى 7.1 إلى 7.7. وفي العصارة المعدية يجب أن يبقى pH بين 1.6 و 1.8 ليساعد على هضم أنواع معينة من الطعام. ويحافظ الجسم على pH ضمن حدود معينة عن طريق إنتاج محاليل منظمة.

ما المحلول المنظم؟ **المحاليل المنظمة** محاليل تقاوم التغيرات في قيم pH عند إضافة كميات محددة من الأحماض أو القواعد. فمثلاً عند إضافة 0.01 mol من HCl إلى 1L من الماء النقي ينخفض pH من 7.0 إلى 2.0. وكذلك فإن إضافة 0.01 mol من NaOH إلى 1 L من الماء النقي ترفع قيم pH من 7.0 إلى 12.0. ولكن عند إضافة الكمية نفسها من HCl أو NaOH إلى 1 L من محلول منظم قد يتغير pH بما لا يزيد على 0.1 وحدة.

كيف تعمل المحاليل المنظمة؟ المحلول المنظم خليط من حمض ضعيف مع قاعدته المرافقة، أو قاعدة ضعيفة مع حمضها المرافق؛ حيث يعمل خليط الجزيئات والأيونات في المحلول المنظم على مقاومة تغيرات pH عن طريق التفاعل مع أي أيونات هيدروجين، أو أيونات هيدروكسيد تضاف إلى المحلول المنظم.

افترض مثلًا أن محلولاً منظمًا يحتوي على تراكيز 0.1 M من حمض الهيدروفلوريك HF وفلوريد الصوديوم NaF، حيث يعطي NaF أيونات F^- بتركيز 0.1 M والتي تعد القاعدة المرافقة لحمض HF، لذا يتحقق الاتزان الآتي: $HF_{(aq)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + F^-_{(aq)}$

إضافة حمض عند إضافة حمض إلى هذا المحلول المنظم فإن الاتزان يندفع إلى اليسار حسب مبدأ لوتشاتلييه؛ لأن أيونات H^+ المضافة من الحمض تكون ضغطًا على الاتزان. وللتقليل من أثر هذا الضغط تتفاعل أيونات H^+ مع F^- لتكوين المزيد من جزيئات HF.

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

وبهذا يصل النظام إلى حالة الاتزان من جديد مع وجود كمية أكبر من HF غير المتفكك. ومع ذلك فإن pH المحلول قد تغير قليلاً فقط؛ لأن اتجاه الاتزان إلى اليسار استهلك معظم أيونات H^+ التي أضيفت.

مهن في الكيمياء

عامل المشتل الوظيفة الرئيسة لعامل المشتل هي الاهتمام بتكاثر النباتات ونموها. ويشمل هذا زراعتها وتقليمها ونقلها وبيع جميع أنواع المواد التي تتعلق بالنباتات. لذا يجب أن يعرف عامل المشتل المغذيات التي يحتاج إليها النبات للنمو الأفضل وظروف التربة، ومنها الحمضية التي تعزز نمو كل نوع من النباتات.

إضافة قاعدة عند إضافة قاعدة إلى المحلول المنظم المكون من حمض الهيدروفلوريك وأيونات الفلوريد تتفاعل أيونات OH^- المضافة مع أيونات H^+ لتكون H_2O، وهذا يقلل من تركيز أيونات H^+، فيتجه الاتزان إلى اليمين للتعويض عن أيونات H^+.

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

مع أن اتجاه التفاعل إلى اليمين يقلل كمية HF وينتج المزيد من F^-، إلا أن pH يبقى ثابتًا تقريبًا؛ لأن تركيز أيون H^+ لم يتغير كثيرًا. إن قدرة المحلول المنظم على مقاومة تغير pH يتم تجاوزها في حالة إضافة كمية كبيرة من الحمض أو القاعدة. تسمى كمية الحمض أو القاعدة التي يستطيع المحلول المنظم أن يستوعبها دون تغير مهم في pH **سعة المحلول المنظم**. وكلما زادت تراكيز الجزيئات والأيونات المنظمة في المحلول زادت سعة المحلول المنظم.

اختيار المحلول المنظم يكون المحلول المنظم أكثر فاعلية عندما تتساوى تراكيز زوج الحمض والقاعدة المرافقة أو تكون متساوية تقريبًا. تأمل النظام المنظم المكون من $H_2PO_4^-$ و HPO_4^{2-} المكون من خلط كميتين موليتين متساويتين من NaH_2PO_4 و Na_2HPO_4.

$$H_2PO_4^- \rightleftharpoons H^+ + HPO_4^{2-}$$

ما قيمة pH لهذا المحلول؟ تعبير ثابت تأين الحمض يعطي الإجابة.

$$K_a = 6.2 \times 10^{-8} = \frac{[H^+][HPO_4^{2-}]}{[H_2PO_4^-]}$$

ولأن المحلول مكون من كميتين موليتين متساويتين من NaH_2PO_4 و Na_2HPO_4، فإن $[H_2PO^{4-}] = [HPO_4^{2-}]$.

لذا فإن التركيزين يختزلان في تعبير ثابت تأين الحمض.

$$6.2 \times 10^{-8} = \frac{[H^+][HPO_4^{2-}]}{[H_2PO_4^-]} = [H^+]$$

$$pH = -\log [H^+] = -\log (6.2 \times 10^{-8}) = 7.21$$

وهكذا، عندما توجد كميات متكافئة موليًا من المكوّنات في نظام $H_2PO_4^-$ / HPO_4^{2-} المنظم يستطيع النظام أن يحافظ على pH قريب من 7.21. لاحظ أن $pH = -\log K_a$. يحتوي **الجدول 7-1** على أمثلة من محاليل منظمة عديدة، مع pH عندما يكون كل منها أكثر فاعلية.

المفردات

الاستعمال العلمي والاستعمال الشائع

منظم Buffer

الاستعمال العلمي: محلول يقاوم تغيرات pH عند إضافة كميات محدودة من حمض أو قاعدة.

قرر الكيميائي استعمال محلول منظم (Buffer) يتكون من كميتين موليتين متساويتين من حمض الميثانويك (الفورميك) وميثانوات (فورمات) الصوديوم.

الاستعمال الشائع: شيء يعمل حاجزًا واقيًا.

عمل الجدار البحري العالي مصدًّا (Buffer) لحماية المنازل المبنيّة على الشاطئ من العواصف البحرية.

الجدول 7-1 المحاليل المنظمه والأزواج المترافقة

معادلات تأين المحاليل المنظمة	الأزواج المترافقة من الأحماض والقواعد في المحاليل المنظمة	قيمة pH
$HF_{(aq)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + F^-_{(aq)}$	HF/F^-	3.20
$CH_3COOH_{(aq)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + CH_3COO^-_{(aq)}$	CH_3COOH/CH_3COO^-	4.76
$H_2CO_{3(aq)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + HCO_3^-{}_{(aq)}$	H_2CO_3/HCO_3^-	6.35
$H_2PO_4^-{}_{(aq)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + HPO_4^{2-}{}_{(aq)}$	$H_2PO_4^-/HPO_4^{2-}$	7.21
$NH_{3(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons NH_4^+{}_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$	NH_4^+/NH_3	9.4
$C_2H_5NH_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons C_2H_5NH_3^+{}_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$	$C_2H_5NH_3^+/C_2H_5NH_2$	10.70

مختبر حل المشكلات

تطبيق الإيضاحات العلمية

كيف يحافظ الدم على قيمة pH ثابتة؟ يحتوي دم الإنسان على ثلاثة أنواع من الخلايا. الخلايا الحمراء التي تنقل الأكسجين إلى أجزاء الجسم كافة، والخلايا البيضاء التي تحارب العدوى، والصفائح الدموية التي تساعد على التجلط عند حدوث نزف. لذا تضعف الوظائف الحساسة لهذه الخلايا إذا لم يحافظ الدم على pH ضمن مدى ضيق بين 7.1 و 7.7 وفوق هذا المستوى تفقد البروتينات في الجسم تراكيبها ومقدرتها على أداء عملها. ولحسن الحظ فإن هناك عدة محاليل منظمة تحافظ على التوازن الضروري للأحماض والقواعد. وأهم هذه المحاليل محلول حمض الكربونيك والكربونات الهيدروجينية H_2CO_3/HCO_3^-.

$$CO_{2(g)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_2CO_{3(aq)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + HCO_3^-{}_{(aq)}$$

عندما تدخل الأحماض والقواعد مجرى الدم نتيجة النشاط العادي تعدل أنظمة المحاليل المنظمة في الدم نفسها، حتى تحافظ بفاعلية على قيمة pH مناسبة.

التحليل

سيتغير موضع اتزان H_2CO_3/HCO_3^- حسب مبدأ لوتشاتلييه اعتمادًا على معدل الأيض في الجسم وعوامل أخرى. وبالإضافة إلى ذلك تستطيع الرئتان أن تغيّرا سرعة طرد CO_2 من الجسم عن طريق التنفس، وتستطيع الكليتان أن تغيرا السرعة عن طريق إزالة أيونات HCO_3^-.

التفكير الناقد

1. **حدد** كم مرة يزيد $[H^+]$ إذا تغير pH الدم من 7.4 إلى 7.1.
2. **اقترح** سببًا يفسّر لماذا تعد نسبة 20:1 من HCO_3^- إلى CO_2 في الدم مناسبة للحفاظ على pH مناسب؟
3. **توقع** ما الوضع الذي يرتفع فيه pH الدم أو ينخفض؟ وفي أي اتجاه يميل اتزان H_2CO_3/HCO_3^- في كل من الحالات الآتية؟
   - **a.** شخص لديه حالة فيروسية شديدة في المعدة يتقيأ عدة مرات في فترة 24 ساعة.
   - **b.** شخص يأخذ كمية كبيرة من $NaHCO_3$ لوقاية حرقة فم المعدة.

تقويم الدرس 1-4

الخلاصة

- يتفاعل حمض وقاعدة لتكوين ملح وماء في تفاعل التعادل.
- تمثل المعادلة الأيونية الكلية الآتية تعادل حمض قوي وقاعدة قوية:

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

- المعايرة عملية يستعمل فيها تفاعل التعادل بين حمض وقاعدة لتحديد تركيز المحلول.
- تحتوي المحاليل المنظمة على مخاليط من جزيئات وأيونات تقاوم التغيرات في pH.

48. **الفكرة الرئيسة** **فسّر** لماذا تكون المعادلة الأيونية الصافية لتفاعل تعادل أي حمض قوي مع أي قاعدة قوية دائمًا هي المعادلة نفسها؟
49. **اشرح** الفرق بين نقطة تكافؤ ونقطة نهاية المعايرة.
50. **قارن** بين نتائج تجربتين: الأولى إضافة كمية صغيرة من قاعدة إلى محلول غير منظم له pH= 7. والثانية عند إضافة الكمية نفسها من القاعدة إلى محلول منظم له pH = 7.
51. **احسب** مولارية محلول حمض الهيدروبروميك HBr إذا تطلب 30.35 ml من NaOH تركيزه 0.1000 M لمعايرة 25.00 ml من الحمض حتى نقطة التكافؤ.
52. **فسّر** ما المواد التي يمكن استعمالها لعمل محلول منظم له pH = 9.4؟ وما نسبتها؟ استعمل **الجدول 7-1**.
53. **صمم تجربة** صف كيف تصمم معايرة وتجريها باستعمال HNO_3 تركيزه 0.250 M لتحديد مولارية محلول هيدروكسيد السيزيوم.

الكيمياء من واقع الحياة*

تفاعلات الأحماض والقواعد وعملية الخبز

هل رأيت فيما مضى تشبيهًا لثورة بركان باستعمال الخل وصودا الخبز؟ لقد نتجت فقاعات ثاني أكسيد الكربون CO_2 عن تفاعل التحلل الذي حدث بسرعة بعد تفاعل الخل $HC_2H_3O_2$، وهو حمض، وصودا الخبز $NaHCO_3$، وهي قاعدة، كما هو مبين أدناه.

تفاعل الحمض والقاعدة

$$HC_2H_3O_{2(aq)} + NaHCO_{3(aq)} \rightarrow NaC_2H_3O_{2(aq)} + H_2CO_{3(aq)}$$

التفكك

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

إن إطلاق ثاني أكسيد الكربون نتيجة للتفاعل الكيميائي بين حمض وقاعدة ـ كما في **الشكل 1** ـ هو جزء من السبب في انتفاخ الخبز والمعجنات. ومن المكوّنات التي تؤدي إلى انتفاخ العجين عند خبزه عامل التخمير. والعاملان الكيميائيان الرئيسيان للتخمير هما صودا الخبز ومسحوق الخبز.

صودا الخبز Baking Soda كربونات الصوديوم الهيدروجينية، وتسمى أيضًا بيكربونات الصوديوم، وهو الاسم الكيميائي لصودا الخبز؛ حيث تتفاعل صودا الخبز عند استعمالها في الطبخ مع سوائل معتدلة الحمضية، فتتكون فقاعات ثاني أكسيد الكربون. وتشمل السوائل المعتدلة الحمضية الخل والعسل ودبس السكر وعصير الحمضيات ومخيض اللبن والعديد غيرها.

الشكل 1 يكوّن ثاني أكسيد الكربون الفقاعات عندما تضاف صودا الخبز – وهي قاعدة – إلى الخل، وهو حمض.

الشكل 2 تحبس عملية الخبز الفقاعات المتكونة في أثناء التفاعل بين حمض وقاعدة، فتنتج كعكة خفيفة مليئة بالهواء.

يجب أن تخلط صودا الخبز بمكوّنات أخرى صلبة، وتضاف في النهاية إلى مخلوط العجين حتى يكون انطلاق ثاني أكسيد الكربون منتظمًا في كل أنحاء العجين، ويحدث تفاعل الحمض والقاعدة هذا بسرعة. إذا كانت صودا الخبز هي عامل التخمير الوحيد في الوصفة، فإنه يجب خبز العجين بسرعة وفورًا قبل أن تتمكن الفقاعات من الأختفاء. وتؤدي عملية الخبز إلى تمدد الفقاعات فتنتفخ الكعكة. وعندما يتصلب العجين تحتجز الفقاعات، كما في **الشكل 2**.

مسحوق الخبز Baking Powder إذا لم تتضمن الوصفة سائلاً حمضيًّا يستعمل مسحوق الخبز عوضًا عن ذلك. ومعظم مسحوق الخبز خليط من صودا الخبز وحمضين جافين.

وأحد هذين الحمضين يتفاعل مع الصودا عندما يذوب في العجين، ويتفاعل الثاني مع الصودا عند التسخين. ومثل صودا الخبز يخلط مسحوق الخبز بالمكونات الأخرى الجافة، ويضاف في النهاية إلى العجين. ولكن العجائن التي يستعمل فيها مسحوق الخبز ليس من الضروري أن تخبز فورًا.

تحتوي العجائن التي يستعمل فيها سوائل حمضية معتدلة على مسحوق الخبز وصودا الخبز معًا، حيث يستطيع الحمض الزائد أن يعطل عمل مسحوق الخبز. ويعد مسحوق الخبز مصدرًا موثوقًا لثاني أكسيد الكربون، وتساعد صودا الخبز على معادلة الحمض.

الكتابة في الكيمياء

حلّل إذا كانت وصفة تتطلب استعمال الطحين والملح والسكر ورقائق النخالة والحليب والبيض والسمن أو الزيت النباتي، فهل تستعمل صودا الخبز أو مسحوق الخبز؟ فسّر إجابتك.

* للاطلاع فقط.

مختبر الكيمياء

معايرة القاعدة

الخلفية النظرية المعايرة إجراء يمكن بواسطته تحديد مولارية القاعدة.

سؤال كيف يمكنك تحديد مولارية محلول قاعدة؟

المواد والأدوات اللازمة

سحاحة سعتها 50 ml — هيدروكسيد الصوديوم NaOH

محلول فينولفثالين — ميزان حساس

قارورة غسيل — حامل حلقة

فثالات البوتاسيوم الهيدروجينية $KHC_8H_4O_4$

حامل سحاحة — دورق مخروطي سعته 250 ml

كأس زجاجية سعتها 250 ml — دورق قياس سعته 500 ml

ماء مقطر — ملعقة

إجراءات السلامة

تحذير: يولد إذابة NaOH في الماء حرارة، كما أن الفينولفثالين قابل للاشتعال، لذا أبعده عن اللهب.

خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. ضع 4 g NaOH تقريبًا في الدورق القياسي الذي سعته 500 ml. ثم أذبها في كمية كافية من الماء، ثم أكمل حجم المحلول ليصبح 400 ml تقريبًا. ثم أغلق الدورق بالسدادة.
3. استعمل زجاجة الوزن لأخذ كتلة مقدارها 0.40 g تقريبًا من فثالات البوتاسيوم الهيدروجينية $KHC_8H_4O_4$، الذي كتلته المولية = 204.32 g /mol) في دورق مخروطي سعته 250 ml. ثم سجل هذه الكتلة.
4. استعمل قارورة الغسل لغسل الجزء الداخلي من الدورق، وأضف 50 ml تقريبًا من الماء، وقطرتين من محلول كاشف الفينولفثالين.
5. املأ السحاحة بمحلول NaOH، على أن يكون مستوى السائل عند علامة الصفر أو تحتها. للتخلص من أي هواء قد يكون عالقًا في السحاحة مرّر كمية صغيرة من القاعدة إلى وعاء المهملات. خذ قراءة السحاحة حتى أقرب 0.02 ml، وسجل هذه القراءة الأولية.
6. ضع قطعة ورق بيضاء على قاعدة حامل الحلقة. وحرك الدورق حركة دورانية في أثناء صب محلول NaOH ببطء من السحاحة إلى الدورق.

بيانات المعايرة	
	المحاولة 1
كتلة زجاجة الوزن + الحمض	
كتلة زجاجة الوزن	
كتلة الحمض الصلب	
مولات الحمض	
مولات القاعدة المطلوبة	
القراءة النهائية للسحاحة	
القراءة الأولية للسحاحة	
حجم القاعدة المستعمل (ml)	
مولارية القاعدة	

7. عندما يبقى اللون الوردي فترة أطول بعد التحريك الدوراني للدورق أضف القاعدة قطرة بعد قطرة.
8. تكون نقطة النهاية عندما يتغير لون الحمض إلى اللون الوردي بعد إضافة قطرة قاعدة واحدة ويبقى ثابتًا.
9. أعد ملء السحاحة، واغسل الدورق بالماء. ثم أعد المعايرة حتى تحصل على قيم مولارية متقاربة لثلاث محاولات.
10. **التنظيف والتخلص من النفايات** تخلص من المحاليل المتعادلة في المصرف مع كمية وافرة من الماء.

حلّل واستنتج

1. **فسّر البيانات** في كل معايرة، احسب عدد مولات الحمض المستعمل بقسمة كتلة العينة على الكتلة المولية للحمض.
2. **استنتج** كم مولًا من القاعدة يتطلب التفاعل مع مولات الحمض؟
3. **احسب** حوّل حجم القاعدة إلى لترات.
4. **احسب** مولارية القاعدة بقسمة عدد مولات القاعدة على حجم القاعدة باللتر.
5. **تحليل الخطأ** هل اتفقت حساباتك للمولارية؟ فسّر أي اختلافات.

الإستقصاء

صمم تجربة احسب تركيز محلول حمض الإيثانويك (الخل) دون استعمال الكاشف.

الفصل 1 ملخص الدراسة

الفكرة العامة يمكن تعريف الأحماض والقواعد باستعمال مفردات، منها أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد أو أزواج الإلكترونات.

1-1 مقدمة في الأحماض والقواعد

الفكرة الرئيسة تساعد النماذج المختلفة على وصف سلوك الأحماض والقواعد.

المفردات

- المحلول الحمضي
- المحلول القاعدي
- نموذج أرهينيوس
- نموذج برونستد – لوري
- الحمض المرافق
- القاعدة المرافقة
- الأزواج المترافقة
- مواد مترددة (أمفوتيرية)
- نموذج لويس

المفاهيم الرئيسة

- تحدّد تراكيز أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد إذا كان المحلول المائي حمضيًّا، أو قاعديًّا، أو متعادلاً؟
- يجب أن يحتوي حمض أرهينيوس على ذرة هيدروجين قابلة للتأين، ويجب أن تحتوي قاعدة أرهينيوس على مجموعة هيدروكسيد قابلة للتأين.
- حمض برونستد – لوري مادة مانحة لأيون هيدروجين، في حين أن قاعدة برونستد– لوري مادة مستقبلة لأيون هيدروجين.
- يستقبل حمض لويس زوجًا من الإلكترونات، وتمنح قاعدة لويس زوجًا من الإلكترونات.

1-2 قوة الأحماض والقواعد

الفكرة الرئيسة تتأين الأحماض والقواعد القوية في المحاليل تأينًا تامًّا، بينما تتأين الأحماض والقواعد الضعيفة في المحاليل تأينًا جزئيًّا.

المفردات

- الحمض القوي
- الحمض الضعيف
- ثابت تأين الحمض
- القاعدة القوية
- القاعدة الضعيفة
- ثابت تأين القاعدة

المفاهيم الرئيسة

- تتأين الأحماض والقواعد القوية كليًّا في المحاليل المائية المخففة، في حين تتأين الأحماض والقواعد الضعيفة جزئيًّا في المحاليل المائية المخففة.
- تعد قيمة ثابت تأين الحمض أو القاعدة الضعيفة قياسًا لقوة الحمض أو القاعدة.
- تستخدم قيم pKa و pKb للمقارنة بين قوى الأحماض والقواعد.

1-3 أيونات الهيدروجين والرقم الهيدروجيني

الفكرة الرئيسة يعبر كل من pH و pOH عن تركيز أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد في المحاليل المائية.

المفردات

- ثابت تأين الماء K_w
- الرقم الهيدروجيني pH
- الرقم الهيدروكسيدي pOH

المفاهيم الرئيسة

- ثابت تأين الماء، K_w ، يساوي حاصل ضرب تركيز أيون H^+ في تركيز أيون OH^-.

$$K_w = [OH^-]\ [H^+]$$

- pH المحلول هو سالب لوغاريتم تركيز أيون الهيدروجين. pOH هو سالب لوغاريتم تركيز أيون الهيدروكسيد.

ومجموع pH و pOH يساوي 14.

$$pH = -\log [H^+]$$

$$pOH = -\log [OH^-]$$

$$pH + pOH = 14.00$$

- قيمة pH للمحلول المتعادل تساوي 7.0، وقيمة pOH في المحلول نفسه تساوي 7.0؛ لأن تركيز أيونات الهيدروجين يساوي تركيز أيونات الهيدروكسيد.

1-4 تفاعلات التعادل

الفكرة الرئيسة يتفاعل الحمض مع القاعدة في تفاعل التعادل لينتجا ملحًا وماء.

المفردات

- تفاعل التعادل
- الملح
- المعايرة
- المحلول القياسي
- نقطة التكافؤ
- كاشف أحماض وقواعد
- نقطة النهاية
- مميّه الأملاح
- المحلول المنظم
- سعة المحلول المنظم

المفاهيم الرئيسة

- يتفاعل حمض وقاعدة في تفاعل التعادل لتكوين ملح وماء.
- المعادلة الأيونية الكلية لمعادلة حمض قوي مع قاعدة قوية هي

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

- المعايرة عملية يستعمل فيها تفاعل التعادل بين حمض وقاعدة لتحديد تركيز محلول.
- المحاليل المنظمة تحتوي على مخاليط من جزيئات وأيونات تقاوم التغيرات في pH.

1-1

إتقان المفاهيم

54. قارن بين المحاليل الحمضية والمتعادلة والقاعدية من حيث تركيز الأيونات.

55. اكتب معادلة كيميائية موزونة تمثل التأين الذاتي للماء.

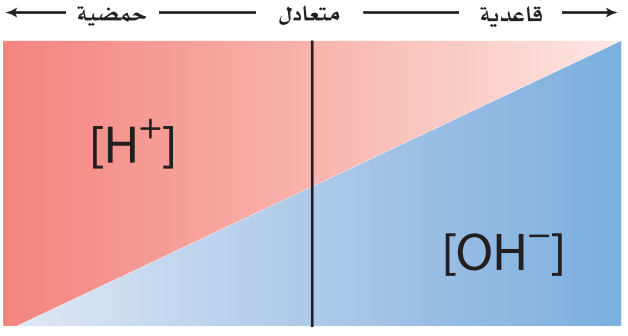
56. صنّف كلًّا مما يأتي إلى حمض أرهينيوس أو قاعدة أرهينيوس:

a. H_2S **c.** $Mg(OH)_2$

b. $RbOH$ **d.** H_3PO_4

57. علم الأرض تتكون فقاعات غاز عندما يضيف عالم الأرض بضع قطرات من HCl إلى قطعة من صخر. فماذا قد يستنتج العالم عن طبيعة الغاز والصخر؟

58. اشرح ما تعنيه المساحتان المظللتان عن اليمين من الخط العمودي الغامق في **الشكل 28-1**.



الشكل 28-1

59. اشرح الفرق بين الحمض الأحادي البروتون، والحمض الثنائي البروتون، والحمض الثلاثي البروتونات، وأعط مثالاً على كل منها.

60. لماذا يمكن استعمال H^+ و H_3O^+ بالتبادل في المعادلات الكيميائية؟

61. استعمل الرموز (< أو > أو =) للتعبير عن العلاقة بين تركيز أيونات H^+ وأيونات OH^- في المحاليل الحمضية والمتعادلة والقاعدية.

62. اشرح كيف يختلف تعريف حمض لويس عن تعريف حمض برونستد – لوري.

إتقان حل المسائل

63. اكتب معادلة كيميائية موزونة لكل مما يأتي:

a. تحلل هيدروكسيد الماغنيسيوم الصلب عند وضعه في الماء.

b. تفاعل فلز الماغنيسيوم مع حمض الهيدروبروميك.

c. تأين حمض البروبانويك CH_3CH_2COOH في الماء.

d. التأين الثاني لحمض الكبريتيك في الماء

1-2

إتقان المفاهيم

64. اشرح الفرق بين حمض قوي وحمض ضعيف.

65. اشرح لماذا تستعمل أسهم الاتزان في معادلات تأين بعض الأحماض؟

الشكل 29-1

66. أيّ الكأسين في **الشكل 29-1** قد تحتوي على محلول حمض الهيبوكلوروز بتركيز 0.1 M؟ وضح إجابتك.

67. كيف تقارن بين قوتي حمضين ضعيفين في المختبر؟ وكيف تقوم بذلك من خلال معلومات تحصل عليها من جدول أو كتيب؟

68. حدد الأزواج المترافقة في تفاعل H_3PO_4 مع الماء.

إتقان حل المسائل

69. منظفات الأمونيا اكتب المعادلة الكيميائية وتعبير K_b لتأين الأمونيا في الماء. وكيف يتخذ محلول الأمونيا منظفًا آمنًا للنوافذ، مع أنه قاعدي؟

70. مطهّر حمض الهيبوكلوروز مطهر صناعي. اكتب المعادلة الكيميائية وتعبير K_a لتأين حمض الهيبوكلوروز في الماء.

71. اكتب المعادلة الكيميائية وتعبير K_b لتأين الأنيلين في الماء. الأنيلين قاعدة ضعيفة صيغتها $C_6H_5NH_2$.

72. تتفاعل القاعدة الضعيفة، ZaH_2 ، مع الماء لتعطي محلولاً تركيز أيون OH^- فيه يساوي 2.68×10^{-4} mol /l، والمعادلة الكيميائية للتفاعل هي:

$$ZaH_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons ZaH_3{}^+{}_{(aq)} + OH^-{}_{(aq)}$$

إذا كان $[ZaH_2]$ عند الاتزان 0.0997 mol /l ، فما قيمة K_b لـ ZaH_2؟

73. اختر حمضًا قويًّا، واشرح كيف تحضّر محلولاً مخففًا منه؟ ثم اختر حمضًا ضعيفًا، واشرح كيف تحضّر محلولاً مركزًا منه؟

1-3

إتقان المفاهيم

74. ما العلاقة بين pOH وتركيز أيون OH^- في محلول؟

75. قيمة pH للمحلول A = 2.0 ، وللمحلول B = 5.0. أي المحلولين أكثر حمضية بناءً على تركيزي أيون H^+ في المحلولين، وكم مرة تزيد الحمضية؟

76. إذا تناقص تركيز أيونات H^+ في محلول مائي، فماذا يجب أن يحدث لتركيز أيونات OH^- ؟ ولماذا؟

77. استعمل مبدأ لوتشاتلييه لتوضيح ما يحدث للاتزان $H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$ عند إضافة بضع قطرات من HCl إلى ماء نقي.

78. الأحماض والقواعد الشائعة استعمل البيانات الموجودة في **الجدول 8–6** للإجابة عن الأسئلة الآتية:

جدول 8 – 1 قيم pH

المادة	pH
محلول الأمونيا المستعمل في المنزل	11.3
عصير الليمون	2.3
مضاد الحموضة	9.4
الدم	7.4
المشروبات الغازية	3.0

a. أي مادة أكثر قاعدية؟

b. أي مادة أقرب إلى التعادل؟

c. أي مادة فيها تركيز $[H^+] = 4.0 \times 10^{-10}$ M؟

d. أي مادة لها pOH = 11.0؟

e. كم مرة تزيد قاعدية (تركيز أيونات الهيدروكسيد $[OH^-]$) مضاد الحموضة على قاعدية الدم؟

إتقان حل المسائل

79. ما $[OH^-]$ في محلول مائي عند 298 K حيث $[H^+] = 5.40 \text{ M} \times 10^{-3}$؟

80. ما قيمة pH و pOH للمحلول المذكور في سؤال 79؟

81. لديك محلولان: 0.10 M HCl و 10. 0 M HF ، أيهما يكون تركيز أيونات H^+ فيه أعلى؟ احسب pH لكل من المحلولين إذا علمت أن $[H^+] = 7.9 \times 10^{-3}$ M في محلول HF.

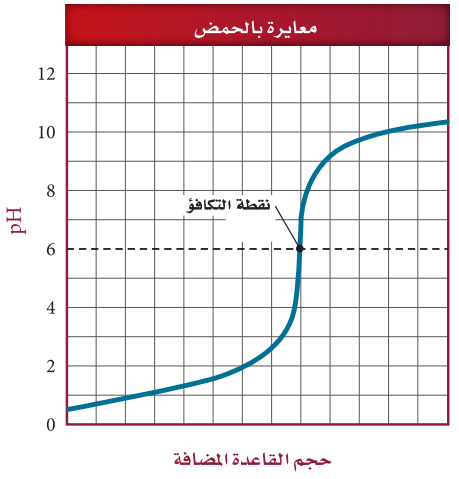
82. منظف الفلزات يستعمل حمض الكروميك منظفًا صناعيًّا للفلزات. احسب قيمة K_a للتأين الثاني لحمض الكروميك H_2CrO_4 إذا كان لديك محلول تركيزه 0.040 M من كرومات الصوديوم الهيدروجينية قيمة pH لها تساوي 3.946؟

1-4

إتقان المفاهيم

83. ما الحمض والقاعدة اللذان يجب أن يتفاعلا لينتجا محلولاً مائيًّا من يوديد الصوديوم؟

84. ما كواشف الأحماض والقواعد المبينة في **الشكل 24-1**، والتي من المناسب استعمالها في تفاعل التعادل المبين منحنى معايرته في **الشكل 30-1**؟ ولماذا؟



الشكل 30-1

85. متى يكون استعمال pH أفضل من الكاشف لتحديد نقطة النهاية لمعايرة حمض وقاعدة؟

86. ماذا يحدث عند إضافة حمض إلى محلول المنظم HF / F^-؟

87. عند إضافة الميثيل الأحمر إلى محلول مائي ينتج لون وردي. وعند إضافة الميثيل البرتقالي إلى المحلول نفسه ينتج لون أصفر. ما مدى pH تقريبًا للمحلول؟ استعمل **الشكل 24-1**.

88. أعط الاسم والصيغة الجزيئية للحمض والقاعدة اللذين أنتجا كلًّا من الأملاح الآتية:

a. NaCl b. $KHCO_3$ c. NH_4NO_2 d. CaS

إتقان حل المسائل

89. اكتب معادلات كيميائية ومعادلات أيونية كليّة لتميُّه كل من الملحين الآتيين في الماء.

a. كربونات الصوديوم b. بروميد الأمونيوم

90. تنقية الهواء يستعمل هيدروكسيد الليثيوم لتنقية الهواء بإزالة ثاني أكسيد الكربون. تمت معايرة عينة من محلول هيدروكسيد الليثيوم حجمها 25.00 ml بمحلول حمض الهيدروكلوريك تركيزه 0.3340 M فتطلب 15.22 ml من الحمض. ما مولارية محلول LiOH؟

91. أضيف 74.30 ml من محلول NaOH الذي تركيزه 0.43885 M لمعايرة 45.78 ml من حمض الكبريتيك حتى نقطة النهاية. ما مولارية محلول H_2SO_4؟

مراجعة عامة

92. اكتب معادلة تفاعل التأين، وتعبير ثابت تأين القاعدة، للإيثيل أمين $C_2H_5NH_2$ في الماء.

93. كم ml من محلول HCl الذي تركيزه 0.225 M نحتاج لمعايرة 6.00 g من KOH؟

94. ما pH لمحلول تركيزه 0.200 M من حمض الهيبوبروموز HBrO؟ $K_a = 2.8 \times 10^{-9}$

95. أي مما يأتي أحماض متعددة البروتونات؟ اكتب معادلات تأين متتالية للأحماض المتعددة البروتونات في الماء.

a. H_3BO_3 c. HNO_3

b. CH_3COOH d. H_2SeO_3

96. اكتب معادلتين كيميائيتين موزونتين لتأين حمض الكربونيك في الماء، وحدد زوج الحمض والقاعدة المرافقين في كل معادلة.

97. تكرير السكر يستعمل هيدروكسيد الإسترانشيوم في تكرير سكر الشمندر. ويمكن إذابة 4.1 g فقط من هيدروكسيد الإسترانشيوم في 1 L من الماء عند 273 K. فإذا كانت ذوبانية هيدروكسيد الإسترانشيوم منخفضة إلى هذه الدرجة فاشرح لماذا يمكن اعتباره قاعدة قلوية قوية.

98. ما تراكيز أيونات OH^- في محاليل لها قيم pH الآتية 3.00 و6.00 و 9.00 و 12.00 عند 298 K؟ وما قيم pOH لها؟

99. جهاز pH في **الشكل 31-1** مغموس في محلول حمض أحادي البروتون، HA، تركيزه 0.200 M عند 303 K. ما قيمة K_a للحمض عند 303 K؟

الشكل 31-1

100. اكتب المعادلة الكيميائية للتفاعل الذي يحدث عند إضافة قاعدة إلى المحلول المنظم HPO_4^{2-} / $H_2PO_4^-$.

التفكير الناقد

101. **انقد** العبارة الآتية: " يجب اعتبار المادة التي تحتوي صيغتها الكيميائية مجموعة الهيدروكسيل قاعدة".

102. **حلّل واستنتج** هل يمكن أن يصنّف المحلول حمضًا حسب برونستد – لوري ولا يصنف حمضًا حسب قاعدة أرهينيوس؟ وهل يمكن أن يكون حمضًا حسب نموذج برونستد – لوري وليس حمضًا حسب قاعدة أرهينيوس؟ هل يمكن ألا يصنّف حمض لويس بوصفه حمض أرهينيوس أو برونستد – لوري؟ اشرح ذلك مع ذكر أمثلة.

103. **طبّق المفاهيم** استعمل ثابت تأين الماء عند 298K لتفسير لماذا ينبغي للمحلول الذي قيمة pH له تساوي 3.0 أن تكون قيمة pOH له = 11.0.

104. **حدّد** أحماض وقواعد لويس في التفاعلات الآتية:

a. $H^+ + OH^- \rightleftharpoons H_2O$

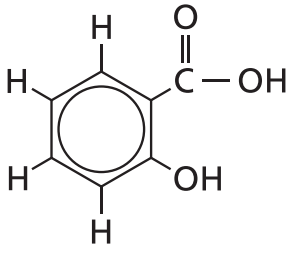
b. $Cl^- + BCl_3 \rightleftharpoons BCl_4^-$

c. $SO_3 + H_2O \rightleftharpoons H_2SO_4$

105. **تفسير الرسوم العلمية** ارسم منحنى الرقم الهيدروجيني pH مقابل الحجم الناتج عن معايرة حمض ثنائي البروتونات بمحلول NaOH تركيزه 0.10 M.

106. **السبب والنتيجة** وضح كيف يعمل المحلول المنظم باستعمال النظام المنظم $C_2H_5NH_3^+$ / $C_2H_5NH_2$؟ وبيّن باستعمال المعادلات كيف يتأثر نظام (القاعدة الضعيفة/ الحمض المرافق) عند إضافة كميات صغيرة من الأحماض والقواعد إلى محلول هذا النظام؟

107. **توقع** يستعمل حمض السالِيسليك، المبين في **الشكل 32-1**، في تحضير الأسبرين. بناءً على معرفتك بالهيدروجين القابل للتأين في جزيء حمض الخليك CH_3COOH، توقع أي ذرات الهيدروجين في حمض السالِيسليك قد تكون قابلة للتأين؟



الشكل 32-1

108. **طبّق المفاهيم** تتغير قيمة K_w كغيرها من ثوابت الاتزان حسب درجة الحرارة. K_w يساوي 2.92×10^{-15} عند 10°C، و 1.00×10^{-14} عند 25°C و 2.92×10^{-14} عند 40°C. في ضوء هذه المعلومات احسب قيم pH للماء النقي عند درجات الحرارة الثلاث، وقارن بينها. هل يصح القول إن pH للماء النقي دائمًا 7.0؟ اشرح إجابتك.

مسألة تحدٍّ

109. لديك 20.0 ml من محلول حمض ضعيف، HX، و $K_a = 2.14 \times 10^{-6}$. وقد وجد أن pH للمحلول يساوي 3.800. ما كمية الماء المقطر التي يجب إضافتها إلى المحلول لرفع pH إلى 4.000؟

تقويم إضافي

الكتابة في الكيمياء

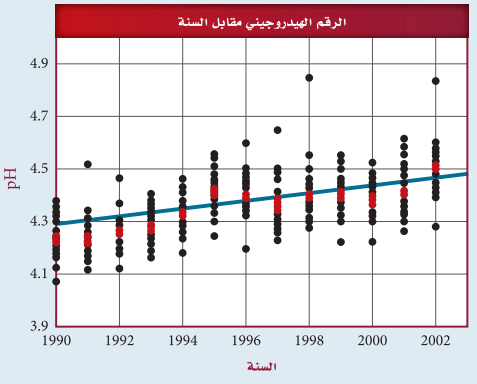
110. نماذج الأحماض والقواعد تخيل أنك الكيميائي برونستد، وأن العام 1923م، وقد قمت بصياغة نظرية جديدة عن الأحماض والقواعد. اكتب رسالة إلى العالم السويدي أرهينيوس، تناقش فيها الفروق بين نظريتك ونظريته، وتشير فيها إلى مزايا نظريتك.

111. الأحماض الأمينية هناك عشرون حمضًا أمينيًّا تتحد لتكوين البروتينات في الأجهزة الحية. اكتب بحثًا عن التراكيب وقيم Ka لخمسة أحماض أمينية وقوّمها. قارن بين قوى هذه الأحماض وقوى الأحماض في **الجدول 4-1**.

أسئلة المستندات

ماء المطر يبين **الشكل 33-1** قياسات pH في عدد من مناطق المراقبة في إحدى الدول. وتمثل البقعة الوردية متوسط القياسات التي أخذت في جميع المناطق في وقت معين.

ادرس الرسم البياني جيدًا، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه.



الشكل 33-1

112. كيف يتغير متوسط pH للسنوات 1990م إلى 2002م؟

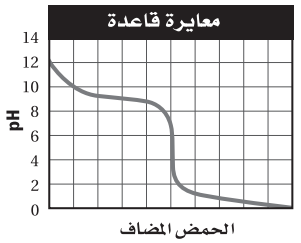
113. احسب $[H^+]$ لأدنى وأعلى pH مسجلة على الرسم البياني. وكم مرة تزيد حمضية ماء المطر الأكثر حمضية على حمضية ماء المطر الأقل حمضية؟

114. ما قيمة pH في عام 2002م؟ وما مقدار التغير في متوسط pH بين عامي 1990م و2002م؟

اختبار تراكمي مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

استعن بالرسم البياني أدناه للإجابة عن السؤالين 1 و 2 .



1. ما قيمة pH عند نقطة التكافؤ لهذه المعايرة؟

a. 10
b. 9
c. 5
d. 1

2. ما الكاشف الأكثر فاعلية لتحري نقطة النهاية لهذه المعايرة؟

a. الميثيل البرتقالي الذي مداه 3.2 – 4.4
b. فينولفثالين الذي مداه 8.2 – 10
c. البروموكريسول الأخضر الذي مداه 3.8 – 5.4
d. الثيمول الأزرق الذي مداه 8.0 – 9.6

3. بروميد الهيدروجين HBr حمض قوي ومادة أكالة شديدة. ما pOH لمحلول HBr الذي تركيزه 0.0375 M ؟

a. 12.574
b. 12.270
c. 1.733
d. 1.433

4. ينتج التنفس الخلوي 38 mol تقريبًا من ATP مقابل كل مول يستهلك من الجلوكوز:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 38ATP$$

إذا كان كل 1 mol من ATP ينتج 30.5 kJ من الطاقة، فما كمية الطاقة التي يمكن الحصول عليها من قطعة حلوى تحتوي على 130.0 g من الجلوكوز؟

a. 27.4 kJ
b. 836 kJ
c. 1159 kJ
d. 3970 kJ

استعن بالجدول أدناه للإجابة عن الاسئلة من 5 إلى 7.

ثوابت التأين وبيانات pH لبعض الأحماض العضوية الضعيفة

الحمض	pH محلول تركيزه 1.000 M	K_a
HA	1.87	1.78×10^{-4}
HB	؟	3.55×10^{-3}
HX	2.43	؟
HD	1.09	7.08×10^{-3}
HR	2.01	9.77×10^{-5}

5. أي حمض أقوى؟

a. HA
b. HB
c. HD
d. HR

6. ما ثابت تأين حمض HX؟

a. 1.4×10^{-5}
b. 2.43×10^{0}
c. 3.72×10^{-3}
d. 7.3×10^{4}

7. ما قيمة pH لمحلول حمض HB الذي تركيزه 0.40 M؟

a. 2.06
b. 1.22
c. 2.45
d. 1.42

8. ماذا نعني بقولنا: إن قيمة K_{eq} أكثر من 1؟

a. هناك مواد متفاعلة أكثر من النواتج عند الاتزان.
b. هناك نواتج أكثر من المواد المتفاعلة عند الاتزان.
c. سرعة التفاعل الطردي عالية عند الاتزان.
d. سرعة التفاعل العكسي عالية عند الاتزان.

أسئلة الإجابات القصيرة

9. الأحماض والقواعد الشائعة استعمل البيانات في الجدول للإجابة عن الأسئلة الآتية:

قيم poH	
المادة	POH
محلول الأمونيا المستعمل في المنزل	2.7
عصير الليمون	11.7
مضاد الحموضة	4.6
الدم	6.6
المشروبات الغازية	1.1

a. أي مادة أكثر قاعدية؟

b. أي مادة أقرب إلى التعادل؟

c. أي مادة فيها تركيز $[H^+] = 4.0 \times 10^{-10}\ M$؟

d. أي مادة لها $pH = 3$؟

e. كم مرة تزيد قاعدية مضاد الحموضة على قاعدية الدم؟

أسئلة الإجابات المفتوحة

10. أضيف 5.00 ml من HCl تركيزه 6.00 M إلى 95.00 ml من الماء النقي، وأصبح الحجم النهائي للمحلول 100 ml. ما قيمة pH للمحلول؟

11. محلول مائي منظم بحمض البنزويك C_6H_5COOH وبنزوات الصوديوم C_6H_5COONa، تركيز كل منهما 0.0500 M. فإذا كان K_a لحمض البنزويك يساوي 6.4×10^{-5}، فما قيمة pH للمحلول؟

الفصل 2

الهيدروكربونات Hydrocarbons

الفكرة العامة تختلف الهيدروكربونات، وهي مركبات عضوية، باختلاف أنواع الروابط فيها.

2-1 مقدمة إلى الهيدروكربونات

الفكرة الرئيسة الهيدروكربونات مركبات عضوية تحتوي على عنصر الكربون، وتعد مصدرًا للطاقة والمواد الخام.

2-2 الألكانات

الفكرة الرئيسة الألكانات هيدروكربونات تحتوي فقط على روابط أحادية.

2-3 الألكينات والألكاينات

الفكرة الرئيسة الألكينات مركبات هيدروكربونية تحتوي على الأقل على رابطة ثنائية واحدة، وأما الألكاينات فهي مركبات هيدروكربونية تحتوي على رابطة ثلاثية واحدة على الأقل.

2-4 متشكلات الهيدروكربونات

الفكرة الرئيسة لبعض الهيدروكربونات الصيغة الجزيئية نفسها، لكنها تختلف في صيغها البنائية.

2-5 الهيدروكربونات الأروماتية

الفكرة الرئيسة تتصف الهيدروكربونات الأروماتية بدرجة عالية من الثبات، بسبب بنائها الحلقي حيث تتشارك الإلكترونات في عدد من الذرات.

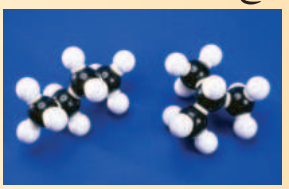
حقائق كيميائية

- المصدر الرئيس للهيدروكربونات هو النفط.
- يتم ضخ حوالي 75 مليون برميل نفط يوميًّا من جوف الأرض.
- تستعمل الهيدروكربونات في الوقود، كما تعد خامات لكثير من المنتجات، ومنها اللدائن (البلاستيك)، والألياف الصناعية، والمذيبات، والمواد الكيميائية الصناعية.

نشاط استهلالي

كيف يمكنك نمذجة الهيدروكربونات البسيطة؟

تتكون الهيدروكربونات من ذرات كربون وهيدروجين. وتحتوي ذرة الكربون على أربعة إلكترونات تكافؤ، لذا فإنها تستطيع أن تكوّن أربع روابط تساهمية.



خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. استعمل **مجموعات النماذج الجزيئية** (الكرات والعصي) لعمل نموذج بنائي من ذرتي كربون مرتبطتين برابطة أحادية، على أن تمثّل كل ذرة كربون بكرة فيها أربعة ثقوب، وكل ذرة هيدروجين بكرة فيها ثقب واحد.
3. صل ذرة هيدروجين في كل ثقب من الثقوب الشاغرة على الكرات التي تمثل ذرات الكربون، على أن يبلغ مجموع روابط كل ذرة كربون أربعًا.
4. كرّر الخطوتين 3 و 2 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. **أعدّ** جدولاً وأدرج فيه عدد ذرات الكربون والهيدروجين في كل نموذج بنائي.
2. **صف** كل نموذج بنائي بكتابة صيغته الجزيئية.
3. **حلّل** النمط الذي تتغير فيه نسبة اتحاد عدد ذرات الكربون إلى عدد ذرات الهيدروجين في كل صيغة جزيئية، ثم ضع صيغة عامّة للهيدروكربونات ذات الروابط الأحادية.

استقصاء كيف تتأثر الصيغة الجزيئية عندما ترتبط ذرات الكربون بروابط ثنائية أو ثلاثية؟

بعد الانتهاء من دراسة هذا الفصل يتوقع من الطالب أن يكون قادرًا على:

- توضيح المفاهيم المتعلقة بالمركب العضوي والكيمياء العضوية والهيدروكربونات المشبعة وغير المشبعة والنماذج المستعملة لتمثيلها.
- إدراك أهمية المركبات العضوية في الحياة اليومية والصناعة.
- الربط بين اسم الألكانات والألكينات والألكايانات وصيغها البنائية وفق نظام الأيوباك (IUPAC).
- شرح الخواص الفيزيائية والكيميائية للألكانات والألكينات والألكايانات.
- التمييز بين الفئتين الرئيسيتين للمتشكلات البنائية والفراغية.
- الربط بين اسم المركبات الأروماتية وصيغها البنائية وفق نظام الأيوباك (IUPAC).
- مقارنة بين خواص الهيدروكربونات الأروماتية والأليفاتية.
- تفسير البيانات المستقاة من الاستقصاءات باستخدام الحسابات والرسومات والنماذج وتكنولوجيا الحاسوب.

الكيمياء عبر المواقع الإلكترونية

لمراجعة محتوى هذا الفصل ونشاطاته ارجع إلى الموقع: www.moe.gov.bh

2–1

تساؤلات جوهرية

- ما المقصود بالهيدروكربون؟
- كيف نفرق بين الهيدروكربونات المشبعة وغير المشبعة؟
- ما هو مصدر الهيدروكربونات؟

مراجعة المفردات

مخلوق حي دقيق مخلوق حي صغير جدًّا لا يمكن رؤيته دون استعمال الميكروسكوب، ومن ذلك البكتيريا والأوليات.

المفردات الجديدة

المركبات العضوية

الهيدروكربونات

الهيدروكربونات المشبعة

الهيدروكربونات غير المشبعة

التقطير التجزيئي

التكسير الحراري

مقدمة إلى الهيدروكربونات
Introduction to Hydrocarbons

الفكرة الرئيسة **الهيدروكربونات مركبات عضوية تحتوي على عنصر الكربون وتعد مصدرًا للطاقة والمواد الخام.**

الربط مع الحياة عندما تركب سيّارة أو حافلة فإنك تستعمل الهيدروكربونات؛ فالجازولين والديزل اللذان يستعملان وقودًا للسيارات والشاحنات والحافلات من الهيدروكربونات.

المركبات العضوية Organic Compounds

عرف الكيميائيون في بداية القرن التاسع عشر أن المخلوقات الحية، ومنها النباتات والحيوانات كما في **الشكل 1–2**، تُنتج قدْرًا هائلاً ومتنوعًا من مركبات الكربون. وأشار الكيميائيون إلى هذه المركبات بالمركبات العضوية؛ لأنها ناتجة عن كائنات حية (عضوية).

عندما قبلت نظرية دالتون في بداية القرن التاسع عشر بدأ الكيميائيون يفهمون حقيقة أن المركبات ـ ومنها تلك المُصنّعة من المخلوقات الحية ـ تتألف من ذرات مرتبة ومرتبطة معًا بتراكيب محدّدة. وقد تمكنوا أيضًا من تصنيع الكثير من المواد الجديدة والمفيدة. وقد كان فريدريك فوهلر Friedrich Wöhler (1800 – 1882 م) عالم الكيمياء الألماني أول من قام بتحضير مركب عضوي في المختبر.

الكيمياء العضوية يطلق مصطلح **مركب عضوي** اليوم على المركبات التي تحتوي على الكربون ما عدا أكاسيد الكربون، والكربيدات والكربونات؛ حيث تعد مركبات غير عضوية. وبسبب وجود الكثير من المركبات العضوية خُصص فرع كامل من فروع الكيمياء ـ سُمِّي الكيمياء العضوية ـ لدراسة هذه المركبات. تذكر أن الكربون عنصر يقع في المجموعة 14 من الجدول الدوري، كما في **الشكل 2–2**. ويظهر من التوزيع الإلكتروني

الشكل 1-2 خلق الله تعالى أجسام المخلوقات الحية من مجموعة مختلفة من المركبات العضوية، ووهب لها القدرة أن تنتجها أيضًا.

حدّد مركبين عضويين درستهما سابقًا.

للكربون $1s^2\ 2s^2\ 2p^2$ أنه يشارك دائمًا بإلكتروناته، ويكوّن أربع روابط تساهمية. في المركبات العضوية تتحد ذرات الكربون مع ذرات الهيدروجين، أو ذرات عناصر أخرى تقع قريبة من الكربون في الجدول الدوري، وخصوصًا النيتروجين والأكسجين والكبريت والفوسفور والهالوجينات.

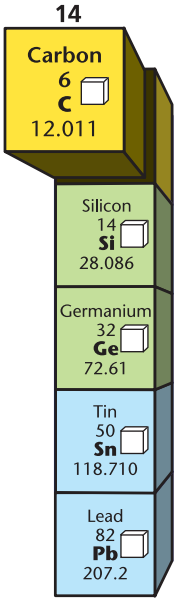
تتحد ذرات الكربون أيضًا مع ذرات كربون أخرى، وتكوّن سلاسل تتراوح أطوالها بين ذرتين إلى آلاف الذرات من الكربون. ولأن الكربون يكوّن أيضًا أربع روابط فإنه يكوّن مركبات في صورة تراكيب معقدة، وسلاسل متفرعة، وتراكيب حلقية أيضًا. وعلى الرغم من احتمالات الربط هذه فقد تعرّف الكيميائيون ملايين المركبات العضوية المختلفة، وما زالوا يتعرّفون ويحضّرون المزيد منها كل يوم.

ماذا قرأت؟ **فسّر** لماذا يكوّن الكربون الكثير من المركبات؟

الهيدروكربونات Hydrocarbons

تُعد **الهيدروكربونات** التي تحتوي على عنصري الكربون والهيدروجين فقط أبسط المركبات العضوية. تُرى، ما عدد المركبات المختلفة التي يمكن تكوينها من هذين العنصرين؟ قد تظن أن عددًا قليلاً محتملاً يمكن تكوّنه، لكن هناك آلاف الهيدروكربونات المعروفة والتي تتكون من عنصري الكربون والهيدروجين فقط. ويعد الميثان CH_4 أبسط جزيء هيدروكربوني يتكون من ذرة كربون واحدة متحدة بأربع ذرات هيدروجين، وهو المكوِّن الرئيسي للغاز الطبيعي، ومن أجود أنواع الوقود، كما يبين **الشكل 3-2**.

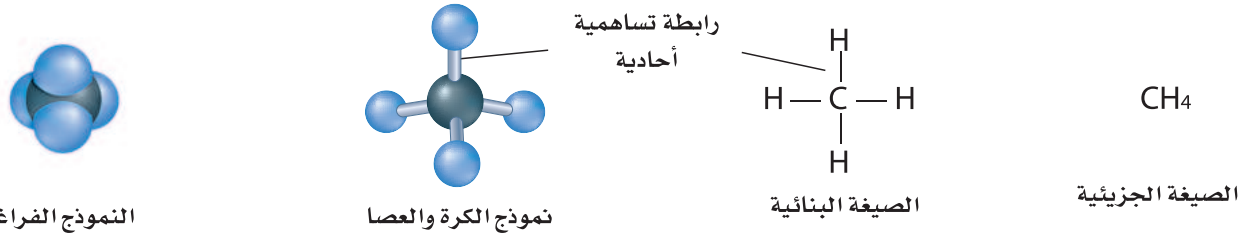
ماذا قرأت؟ **اذكر** استعمالين للميثان أو للغاز الطبيعي في بيتك أو مجتمعك.



الشكل 2-2 يقع الكربون في المجموعة 14 من الجدول الدوري، ويستطيع أن يرتبط مع أربعة عناصر أخرى لتكوين الآلاف من المركبات المختلفة.

الشكل 3-2 الميثان أبسط هيدروكربون، ويوجد في الغاز الطبيعي.

حدد بالإضافة إلى الهيدروجين، العناصرَ الأخرى التي تتّحد بسهولة مع الكربون.



الشكل 2-4 يستعمل الكيميائيون أربعة نماذج مختلفة لتمثيل جزيء الميثان.

النمـاذج والهيدروكربونـات يمثل الكيميائيون جزيئات المركبـات العضوية بطرائق مختلفة. ويبين **الشكل 4–2** أربع طرائق مختلفة لتمثيل جزيء الميثان، حيث تمثّل الرابطة التسـاهمية بخط واحد مسـتقيم يرمز إلى تشارُك إلكترونين. ويسـتعمل الكيميائيون في معظـم الأحيان النموذج الذي يوضح المعلومات المـراد إلقاء الضوء عليها. فلا تعطي الصيـغ الجزيئيـة أي معلومات عن الشـكل الهندسي للجزيء كما في **الشـكل 4–2**، في حـين تُظهر الصيغة البنائية الترتيب العام للذرات في الجزيء، ولكن لا تعطي الشـكل الهندسي (الثلاثي الأبعاد) الدقيق. ويَظهر الشكل الهندسي للجزيء بوضوح في نموذج الكرة والعصا. ولكن النموذج الفراغي يُعطي صورة أكثر واقعية عن الكيفية التي يبدو بها الجزيء لو أمكن رؤيته. 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 تسـاهمية أحادية، بل أيضًا بروابط تساهمية ثنائية وثلاثية، كما في **الشكل 5–2**. حيث تشترك الذرات بزوجين من الإلكترونات في الرابطة الثنائية وبثلاثة أزواج في الرابطة الثلاثية. وقبـل أن يتمكـن الكيميائيـون في القـرن التاسـع عـشر من فهـم الروابـط والتركيب الكيميائـي للمواد العضويـة قاموا بإجراء اختبارات عـلى الهيدروكربونات الناتجة عن تسـخين الدهـون الحيوانية والزيوت النباتيـة، وصنّفوا هـذه الهيدروكربونات بناءً على اختبـار كيميائي يُخلط فيه الهيدروكربون بالبروم، ثـم يُقاس مقدار البروم الذي تفاعل مـع الهيدروكربـون. فقـد تتفاعل بعـض الهيدروكربونات مـع كمية قليلة مـن البروم، وبعضهـا مـع كميـة أكبر، وقـد لا يتفاعل بعضهـا مع أي كميـة من البروم. لـذا أطلق الكيميائيـون على الهيدروكربونات التي تفاعلت مع البروم اسـم الهيدروكربونات غير المشـبعة متأثّرين بمفهوم أن المحلول المائي غير المشبع قادر على إذابة المزيد من المذاب. أما الهيدروكربونات التي لم تتفاعل مع البروم فسُمّيت بالهيدروكربونات المشبعة.

يسـتطيع الكيميائيون اليوم تفسـير نتائـج الاختبارات التي تعود إلى مئة وسـبعين عامًا مضـت. حيث تحتـوي الهيدروكربونات التـي تفاعلت مع البروم على روابط تسـاهمية ثنائيـة أو ثلاثية. أمـا الهيدروكربونات التي لم تتفاعل مع الـبروم فقد احتوت فقط على روابط تسـاهمية أحادية. واليوم يُعرف الهيدروكربون الـذي يحتوي على روابط أحادية فقط **بالهيدروكربون المشبع**. أما الذي يحتوي على رابطة ثنائية أو ثلاثية واحدة على الأقل فيُعرف **بالهيدروكربون غير المشبع**.

ماذا قرأت؟ فسِّر ما أصل مصطلحي الهيدروكربونات المشبعة وغير المشبعة؟

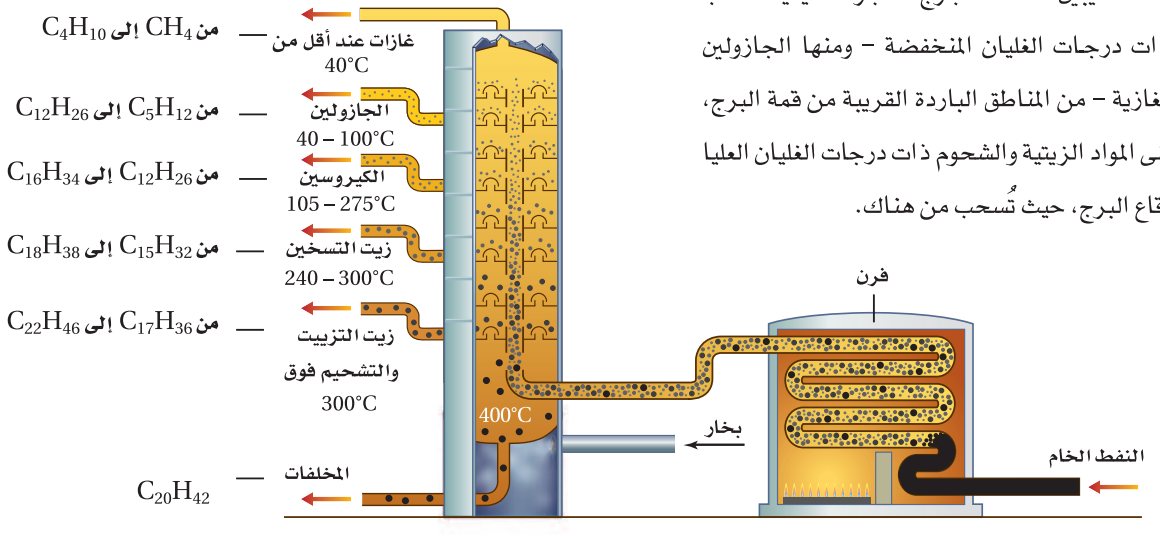
الشكل 5-2 تستطيع ذرة الكربون أن ترتبط مع ذرة كربون أخرى برابطة ثنائية أو ثلاثية. وتُوضّح أشكال لويس والصيغ البنائية الآتية طريقتين من طرائق الإشارة إلى الروابط الثنائية والثلاثية.

تكرير الهيدروكربونات Refining Hydrocarbons

ينتـجُ اليومَ الكثيرُ من الهيدروكربونات من الوقود الأحفوري المُسـمّى النفط (البترول). وقد تكوَّن النفـط من بقايا المخلوقات الحية الدقيقة التي عاشـت في المحيطات منذ ملايين السـنين. ومع مرور الزمن كوّنت بقايا هذه المخلوقات في قاع المحيط طبقات سـميكة من ترسـبات شـبه طينية، تحوّلت بفعـل الحرارة المنبعثة من باطن الأرض والضغط الهائل من الرواسـب الكثيرة إلى صخر زيتي وغاز طبيعـي. وينفـذ النفط من خلال أنـواع معينة من صخور ذات مسـامات، ويتجمع في أعماق القشرة الأرضيـة في صورة بِرَك. وعادة ما يوجد الغاز الطبيعي مصاحبًا للترسـبات النفطية، حيث يتكونان معًا في الوقت نفسه وبالطريقة نفسها. 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 الطبيعـي ـ خليطًا مُعقّدًا يحتوي على أكثر من ألـف مركّـب من المركبات المختلفة. لذا فإن النفط قليلاً ما يُسـتعمل في صورتـه الخام، فهو أكثر فائدة للإنسـان عندمـا يفصل إلى مكوّنات أو أجزاء أبسـط. ويحـدث هذا الفصل من خـلال عملية **التقطير التجزيئـي**، التـي تتضمن تبخـير النفط عند درجـة الغليان، ثم تجمع المشـتقات أو المكونـات المختلفة في أثنـاء تكثفهـا عند درجات حرارة متباينة. ويجـري التقطير التجزيئي في أبراج للتجزئة شـبيهة بما في **الشكل 6-2**.

ويتم التحكم في درجة الحرارة داخل برج التجزئة، فتكون قريبة من 400°C في أسـفل البرج، وهو المـكان الذي يغـلي فيه النفط، وتنخفـض تدريجيًّا في اتجـاه أعلى البرج. وعمومًـا 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 6-2**.



الشكل 6-2 يبين مخطط برج التجزئة 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 العليا 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.

الكيمياء الخضراء

قضايا بيئية

الشكل 2-7 تقوم أبراج التقطير التجزيئي بفصل كميات كبيرة من النفط إلى مكونات(مشتقات) قابلة للاستعمال. فآلاف المنتجات التي نستعملها 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؟

يبين **الشكل 6-2** أسماء المشتقات أو المكونات الأساسية التي تُفصل عن النفط مصحوبة بدرجة غليانها، والمدى الذي يتراوح فيه حجم الهيدروكربون واستعمالاته الشائعة. وقد يكون بعض هذه المشتقات أو المكونات مألوفًا لديك؛ حيث إنك تستعملها يوميًّا، إلا أن أبراج التقطير التجزيئي المبينة في **الشكل 7-2** لا تُنتج المكونات بالنسب التي نحتاج إليها. فعلى سبيل المثال، نادرًا ما يُنتج التقطير الكمية المرغوب فيها من الجازولين، ولكنه يُنتج 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، وأُطلق 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 والأفلام والألياف الصناعية.

ماذا قرأت؟ صف العملية التي يحدث فيها 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 6-2**، يُعد الجازولين خليطًا من الهيدروكربونات، وليس مادة نقية؛ إذ تتكون معظم جزيئات الهيدروكربونات في الجازولين التي تحتوي على روابط تساهمية أحادية من 5 إلى 12 ذرة كربون. وعلى الرغم من ذلك فإن الجازولين المستعمل اليوم في السيارات يختلف عمّا استُعمل في المركبات في بدايات القرن العشرين. فاليوم يجرى تعديل الجازولين المشتق 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 من الضروري جدًّا أن يحدث اشتعال خليط الجازولين والهواء في أسطوانة محرك المركبات 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 بخبط.

مهن في الكيمياء

فنّي التنقيب عن النفط يستعمل 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.

الشكل 8-2 تستعمل أرقام الأوكتان لإعطاء قيم منع الخبط (antiknock) في الوقود. فالرقم الأوكتاني لجازولين السيارات المتوسط الدرجة يساوي 89، ورقم الأوكتان لوقود الطائرات يساوي 100. أما وقود سيارات السباق فرقمه الأوكتاني يساوي 110.

أُنشئ نظام تصنيف الأوكتان للجازولين في أواخر العشرينيات، مما أدى إلى إدراج تصنيف الأوكتان على مضخات الجازولين كما في **الشكل 8-2**. فللجازولين المتوسط الدرجة تصنيف أوكتان يقارب 89، بينما للجازولين الممتاز قيمة أعلى تصل إلى 91 أو أكثر. وتُحدد كثير من العوامل الرقم الأوكتاني الذي تحتاج إليه السيارة، فمنها ضغط المكبس على خليط الوقود والهواء، ودفع السيارة أيضًا. وفي مملكة البحرين تم تصنيف الأوكتان على مضخات الجازولين إلى 91 و 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 استُعمل منذ أكثر من 5000 سنة. وفي القرن التاسع عشر عندما دخل العالم عصر الآلات ازداد عدد سكانه ازداد الطلب على منتجات النفط وبخاصّة الكيروسين لاستعماله 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 فترة من الزمن، ولكن حين اكتشف توماس أديسون Thomas Edison المصباح الكهربائي عام 1882م خشي المستثمرون من القضاء على هذه الصناعة. غير أن اختراع السيارات في العقد الأخير من القرن التاسع عشر أنعش هذه الصناعة كثيرًا.

استخدم التكنولوجيا

فائدة النانوتكنولوجيا في مجال البتروكيميائيات... ابحث في الانترنت عن أهم الإضافات خلال مختلف مراحل تطوير تصنيع وقود المركبات وذلك في سبيل الرفع من الكفاءة والحفاظ على البيئة.

تقويم الدرس 2-1

الخلاصة

- تحتوي المركّبات العضوية على الكربون؛ إذ يمكنه تكوين سلاسل مستقيمة وأخرى متفرعة.
- الهيدروكربونات مواد عضوية تتألف من الكربون والهيدروجين.
- المصدران الرئيسيان 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، ووضّح ما يدرسه عالم الكيمياء العضوية.
3. **حدّد** المعلومات التي تركِّز 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. **فسر البيانات** اعتمادًا على **الشكل 6-2**. ما تأثير أعداد ذرات الكربون في الهيدروكربونات – في لزوجة أي مكوّن نفطي عندما يُبرَّد إلى درجة حرارة الغرفة؟

2–2

تساؤلات جوهرية

- كيف نربط بين اسم الألكان وصيغته الكيميائية؟
- ما هي خواص الألكانات؟

مراجعة المفردات

الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية أيوباك (IUPAC) منظمة دولية تساعد على التواصل بين الكيميائيين من خلال وضع قواعد ومعايير لبعض المجالات مثل التسمية الكيميائية، والمصطلحات، والطرائق القياسية.

المفردات الجديدة

الألكانات

السلسلة المتماثلة

السلسلة الرئيسة

المجموعات البديلة

الهيدروكربونات الحلقية

الألكانات الحلقية

الألكانات Alkanes

الفكرة الرئيسة **الألكانات مركبات هيدروكربونية تحتوي فقط على روابط أحادية.**

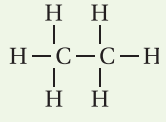
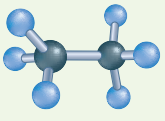
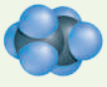
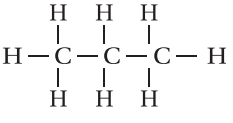
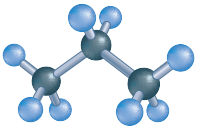
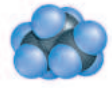
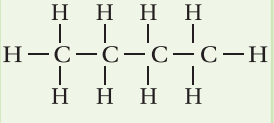
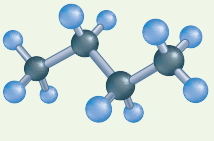
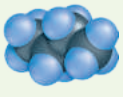
الربط مع الحياة لعلك استعملت لهب بنزن أو شواية غاز. إذا فعلت ذلك فإنك قد استعملت ألكانًا. فالغاز الطبيعي والبروبان هما الغازان الأكثر استعمالًا، وكلاهما ألكان.

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 البيولوجية. وتحتوي **الألكانات**، وهي هيدروكربونات، على روابط أحادية فقط بين الذرات، كما في النماذج البنائية للميثان. ويبين **الجدول 1–2** 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 1–2**.

الجدول 1-2 الألكانات

الصيغة الجزيئية	الصيغة البنائية	نموذج الكرة والعصا	النموذج الفراغي
الإيثان C_2H_6			
البروبان C_3H_8			
البيوتان C_4H_{10}			

يُباع البروبان ـ والمعروف أيضًا بغاز (البروبان المُسال) Liquified Propan (LP) ـ في صورة وقود للطبخ والتسخين. ويستعمل البيوتان في القدّاحات الصغيرة، وفي بعض المشاعل، كما يستعمل أيضًا في تصنيع المطاط الصناعي.

تسمية الألكانات ذات السلاسل المستقيمة لعلك لاحظت أن أسماء الألكانات تنتهي بالمقطع "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 كالبنتاغون ذي الأوجه الخمسة، والأوكتان يحتوي على ثمانية ذرات كربون مثل الأخطبوط (octopus) ذي المجَسَّات الثمانية. أما مركبات الميثان، والإيثان، والبروبان، والبيوتان فقد سُميت قبل معرفة تركيب الألكانات، لذا فإن المقاطع الأولى من أسمائها ليست مشتقة من بادئة رقمية. ويُظهر **الجدول 2-2** أسماء الألكانات العشرة الأولى وصيغها. لاحظ أن المقطع الأول الذي تحته خط يمثل عدد ذرات الكربون في الجزيء.

ويبين **الجدول 2-2** أن الصيغ البنائية قد كُتبت بطريقة مختلفة عمّا هي عليه في **الجدول 1-2**. وتُسمى هذه الصيغ بالصيغ البنائية المكثفة، حيث توفر الحيز لكونها لا تظهر تفرع ذرات الهيدروجين من ذرات الكربون.

وتستطيع ملاحظة أن $-CH_2-$ هي الوحدة المتكررة في السلسلة الكربونية. فعلى سبيل المثال يزيد البنتان على البيوتان بوحدة $-CH_2-$ واحدة.

الجدول 2-2 أسماء الألكانات العشرة الأولى ذات السلاسل المستقيمة

الاسم	الصيغة الجزيئية	الصيغة البنائية المكثفة
ميثان methane	CH_4	CH_4
إيثان ethane	C_2H_6	CH_3CH_3
بروبان propane	C_3H_8	$CH_3CH_2CH_3$
بيوتان butane	C_4H_{10}	$CH_3CH_2CH_2CH_3$
بنتان pentane	C_5H_{12}	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_3$
هكسان hexane	C_6H_{14}	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$
هبتان heptane	C_7H_{16}	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$
أوكتان octane	C_8H_{18}	$CH_3(CH_2)_6CH_3$
نونان nonane	C_9H_{20}	$CH_3(CH_2)_7CH_3$
ديكان decane	$C_{10}H_{22}$	$CH_3(CH_2)_8CH_3$

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 علاقة رقمية ثابتة بين أعداد الذرات. ففي الألكانات يمكن كتابة الصيغة العامة التي تربط 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

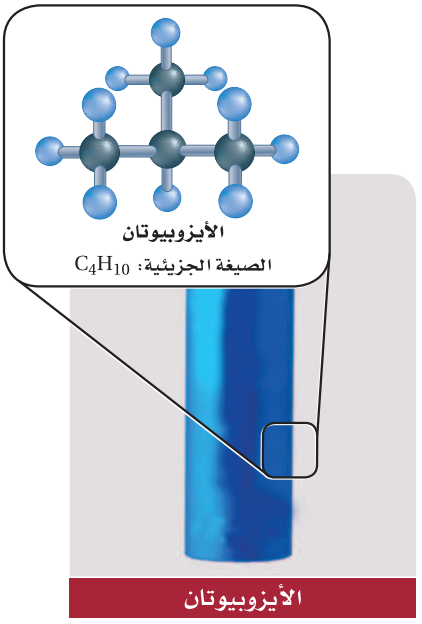
Branched–Chain Alkanes

تُسمّى الألكانات التي ناقشناها حتى الآن الألكانات ذات السلاسل المستقيمة؛ لأن ذرات الكربون فيها ترتبط معًا بخط واحد. والآن انظر إلى الصيغتين البنائيتين في **الشكل 9–2**، فإذا عددت ذرات الكربون والهيدروجين فستكتشف أن كلتا الصيغتين لها الصيغة الجزيئية نفسها C_4H_{10}، فهل تمثل الصيغتان البنائيتان في **الشكل 9–2** المادة نفسها؟

فإذا اعتقدت أن الصيغتين البنائيتين تمثّلان مادتين مختلفتين فأنت على صواب. إذ تمثل الصيغة البنائية العليا البيوتان، في حين تمثل الصيغة البنائية السفلى ألكانًا متفرّعًا يعرف بالأيزوبيوتان، وهي مادة لها خواص 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.

يستعمل الأيزوبيوتان بوصفه مادة آمنة بيئيًّا في التبريد، كما يدخل في تكوين منتجات مماثلة لجل الحلاقة، كما في **الشكل 9–2**. كما أن كلًّا من البيوتان والأيزوبيوتان يستعمل في صورة مادة خام في عمليات تصنيع الكثير من المواد الكيميائية.

ماذا قرأت؟ صف الفرق بين الصيغة البنائية لكل من البيوتان والأيزوبيوتان.



الشكل 9-2 يستعمل البيوتان وقودًا في الولّاعات، أما الأيزوبيوتان فيستعمل في منتجات مثل جل الحلاقة.

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. ويُنسب اسم المجموعة البديلة المشتقة من الألكان، والتي تتفرع من السلسلة الرئيسة إلى اسم الألكان ذي السلسلة المستقيمة 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 3-2** بعض مجموعات الألكيل.

تسمية الألكانات ذات السلاسل المتفرعة استعمل الكيميائيون القواعد النظامية الآتية المتفق عليها من الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية أيوباك IUPAC في تسمية مركبات الكيمياء العضوية.

الخطوة 1. حدد عدد ذرات الكربون في أطول سلسلة متصلة، مستعملًا اسم الألكان غير المتفرع 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

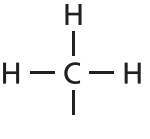
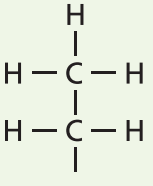
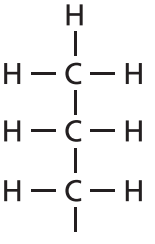
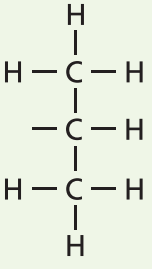
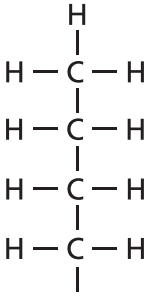
المفردات الأكاديمية

البديل (Substitute)

هو الشخص أو الشيء الذي يحل مَحلَّ غيره.

مثال: يُتخذ الحرير الصناعي بديلاً عن الحرير الطبيعي.

الجدول 3-2 **مجموعات الألكيل**

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					

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 فاستعمل بادئة (ثنائي ، ثلاثي، رباعي ، وهكذا...) قبل اسم المجموعة للدلالة على عدد المرات التي تظهر فيها، واستعمل رقم ذرة الكربون التي تتصل بها المجموعة للدلالة على موقعها.

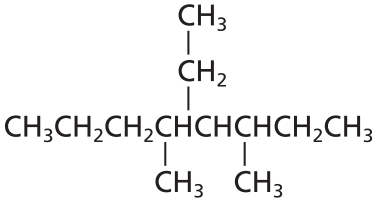
الخطوة 5. عندما تتصل مجموعات ألكيل مختلفة على السلسلة الرئيسة نفسها ضع أسماءها بالترتيب الهجائي باللغة الأنجليزية. ولا تُؤخذ البادئات (ثنائي، ثلاثي، وهكذا) في الحسبان عند تحديد الترتيب الهجائي.

الخطوة 6. اكتب الاسم كاملاً، مُستعملًا الشرطات لفصل الأرقام عن الكلمات، والفواصل للفصل بين الأرقام. ولا تترك فراغًا بين اسم المجموعة واسم السلسلة الرئيسة.

مثال 1-2

تسمية الألكانات ذات السلسلة المتفرعة

سمِّ الألكان المبيَّن في الشكل المجاور.



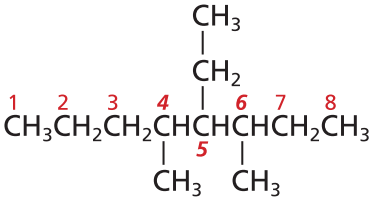
1 تحليل المسألة

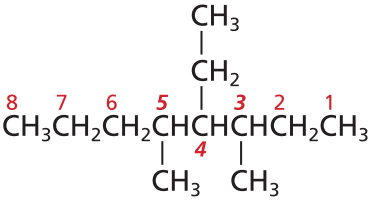
أعطيت الصيغة البنائية. اتبع قواعد نظام التسمية الأيوباك IUPAC لتحديد اسم السلسلة الرئيسة وأسماء التفرعات ومواقعها في الشكل المعطى.

2 حساب المطلوب

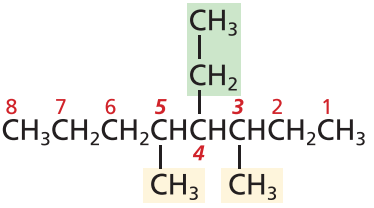
الخطوة 1. ***حدّد عدد ذرات الكربون في أطول سلسلة متصلة.*** يُمكن توجيه السلاسل في الصيغ البنائية بطرائق عديدة؛ لذا عليك الانتباه خلال البحث عن أطول سلسلة كربونية. وفي هذه الحالة يكون الوضع سهلاً؛ حيث إن أطول سلسلة تحتوي على ثماني ذرات كربون، لذا فإن الاسم الرئيسي هو ***أوكتان***.

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 استعمالها في الاسم.





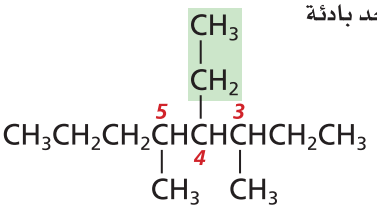
الخطوة 3. ***عيّن مجموعات الألكيل المتفرعة عن السلسلة الرئيسة وسمّها.*** هناك مجموعة ميثيل– على كل من الموقعين 3 و 5، ومجموعة إيثيل على الموقع 4.



الخطوة 4. ***إذا تكررت مجموعة الألكيل نفسها أكثر من مرة بوصفها فرعًا على السلسلة الرئيسة فاستعمل 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 واستعملها. وسوف تضاف في هذا المثال البادئة "ثنائي" إلى الاسم ميثيل؛ لأن هناك مجموعتي ميثيل. ولا يتطلب ذلك إضافة أي بادئة إلى مجموعة الإيثيل الوحيدة. بيّن الآن موقع كل مجموعة باستعمال الرقم المناسب.

مجموعة إيثيل واحدة: لا يوجد بادئة

الموقع والاسم: 4 – إيثيل



السلسلة الرئيسة: أوكتان

مجموعتا ميثيل: استعمل ثنائي ميثيل

الموقع والاسم: 5،3– ثنائي ميثيل

الخطوة 5. ***عندما تتصل مجموعات ألكيل مختلفة بالسلسلة الرئيسة ضع أسماءها حسب الترتيب الهجائي،*** وضع أسماء تفرعات الألكيل حسب الترتيب الهجائي اللاتيني مع تجاهل البادئات؛ حيث يضع الترتيب الهجائي الاسم إيثيل قبل ثنائي ميثيل (Eقبل M).

الخطوة 6. ***اكتب الاسم كاملاً، واستعمل الشرطات لفصل الأرقام عن الكلمات والفواصل للفصل بين الأرقام،*** واكتب اسم الشكل (البناء) مستعملًا الشرطات والفواصل حسب الحاجة. ويتعين كتابة الاسم على النحو الآتي:

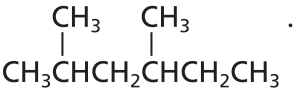
4– إيثيل– 5،3 – ثنائي ميثيل أوكتان.

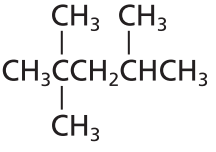
3 تقويم الإجابة

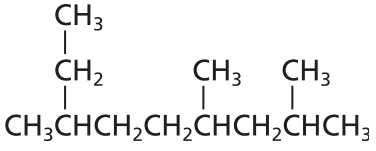
تم إيجاد وترقيم أطول سلسلة كربونية متصلة بصورة صحيحة، وتَمَّ تعيين جميع التفرعات بالبادئات، وأسماء مجموعات الألكيل الصحيحة. والترتيب الهجائي وعلامات الترقيم صحيحان.

مسائل تدريبية

8. استعمل قواعد نظام التسمية الأيوباك IUPAC لتسمية المركبات الآتية:

.a 

.b 

.c 

9. تحدٍّ ارسم صيغ الألكانات ذات السلاسل المتفرعة الآتية:

a. 3،2 – ثنائي ميثيل–5– بروبيل ديكان

b. 3، 4، 5 – ثلاثي إيثيل أوكتان

الألكانات الحلقية Cycloalkanes

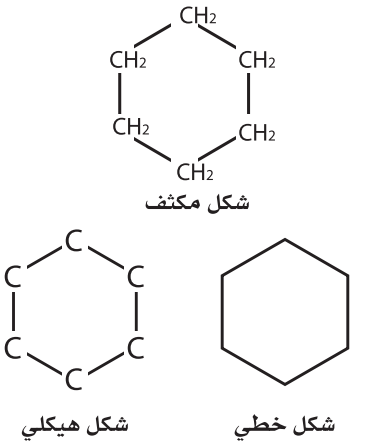
تُعد قدرة ذرة الكربون على تكوين تراكيب بنائية حلقية من أسباب وجود هذا التنوع في المركبات العضوية. ويُسمى المركب العضوي الذي يحتوي على حلقة هيدروكربونية **الهيدروكربون الحلقي**. وتُستعمل البادئة حلقي (cyclo) مع اسم الهيدروكربون للإشارة إلى احتواء الهيدروكربون على بناء حلقي. لذا فإن الهيدروكربونات الحلقية المحتوية على روابط أحادية فقط تُسمى **الألكانات الحلقية** (Cycloalkanes). 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، ويستعمل الهكسان الحلقي المستخرج من البترول في مُزيلات الدهان وطلاء الأظفار، 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 يكون رابطة كربون- كربون عوضًا عن رابطة كربون-هيدروجين.

ماذا قرأت؟ **قوّم** إذا وجدت البادئة (حلقي) في اسم الألكان فما الذي ستعرفه عن هذا الألكان؟

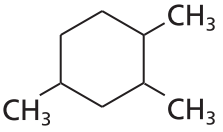
تُمثَّل الهيدروكربونات الحلقية، كما في **الشكل 10-2** الهكسان الحلقي بأشكال مكثفة وهيكلية وخطية عديدة؛ وتُظهر الأشكال الخطية الروابط بين ذرات الكربون فقط، وتُفسر الزوايا في الشكل على أنها مواقع ذرات الكربون. أما بالنسبة لذرات الهيدروجين فيفترض أنها تحتل بقية مواقع الربط إلاّ إذا وُجدت التفرعات (المجموعات 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 (IUPAC) المستعملة 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 مع المجموعة 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 عندئذ للترقيم. ويُوضح المثال الآتي عملية تسمية الألكانات الحلقية.

الشكل 10-2 يمكن تمثيل التركيب البنائي للهكسان الحلقي بطرائق عدة .



تسمية الألكانات الحلقية



سمّ الألكان الحلقي المجاور.

1 تحليل المسألة

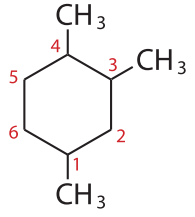
أعطيت الصيغة البنائية. عليك اتباع قواعد نظام الأيوباك لتحديد الشكل الحلقي الرئيسي ومواقع التفرعات للشكل المعطى.

2 حساب المطلوب

الخطوة 1. حدّد عدد ذرات الكربون في الحلقة، واستعمل اسم الهيدروكربون الحلقي الرئيسي. حيث تتألف الحلقة في هذه الحالة من ست ذرات كربون. لذا فإن الاسم الرئيسي هو هكسان حلقي.

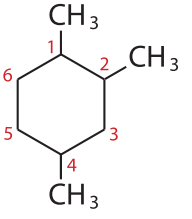
الخطوة 2. رقِّم الحلقة ابتداءً من أحد تفرّعات ($-CH_3$)، وجِد الترقيم الذي يعطي أقل مجموعة أرقامًا ممكنة للتفرعات. وفيما يلي طريقتان لترقيم الحلقة، هما:

A



1,3,4

B



1,2,4

يضع الترقيم بدءًا من ذرة الكربون 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 تُستعمل في الاسم.

الخطوة 3. سمِّ التفرعات، علمًا بأن التفرعات 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 باستعمال اسم الألكان الحلقي الرئيسي، مستعملًا الفواصل للفصل بين الأرقام، والشرطات للفصل بين الأرقام والكلمات. واكتب الاسم على النحو الآتي:

1، 2، 4 – ثلاثي ميثيل هكسان حلقي.

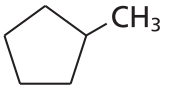
3 تقويم الإجابة

يُرقّم الشكل الحلقي الرئيسي على أن يعطي التفرعات أقل مجموعة أرقام ممكنة. وتشير البادئة (ثلاثي) إلى وجود ثلاث ذرات كربون. ولأن التفرعات كلها هي مجموعات ميثيل لذا لا ضرورة للترتيب الهجائي.

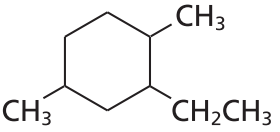
مسائل تدريبية

10. استعمل قواعد نظام الأيوباك IUPAC لتسمية الصيغ البنائية الآتية:

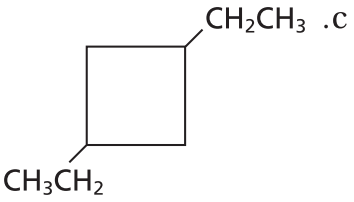
a.



b.



c.



11. تحدٍّ ارسم الصيغ البنائية للألكانات الحلقية الآتية:

a. 1- إيثيل- 3- بروبيل بنتان حلقي.

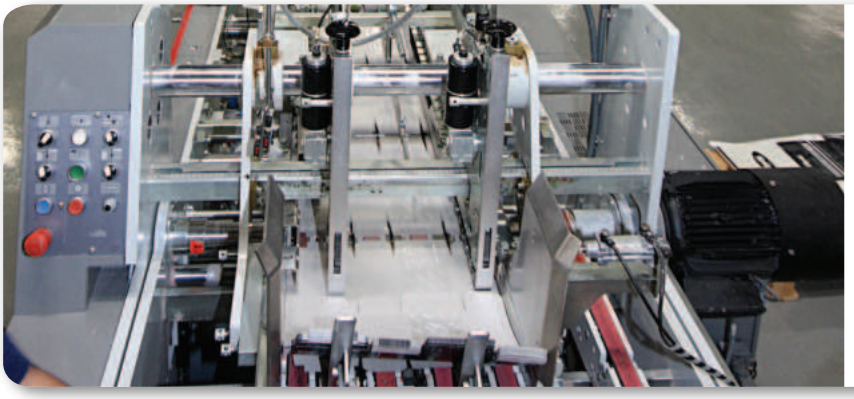
b. 1،2،2،4 – رباعي ميثيل هكسان حلقي.

خواص الألكانات Properties of Alkanes

من المعروف أن بناء الجزيء يؤثر في خواصه. 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 روابط هيدروجينية معًا. لذا فإن درجات الغليان والانصهار للماء أعلى كثيرًا من سائر المواد المشابهة له في الكتلة الجزيئية وفي الحجم.

ترى، ما خواص 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 11-2**.

الخواص الفيزيائية للألكانات كيف تُقارَن خواص المركب القطبي بخواص المركب غير القطبي؟ ارجع إلى **الجدول 4-2**، 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 لكل من الميثان والماء ترى دليلاً على أن الجزيئات تختلف اختلافًا واضحًا و جوهريًّا.



الشكل 11-2 الكثير من المذيبات-التي تُتخذ مادة مرقّقة في الدهانات، والطلاء، والمواد الشمعية، وأحبار آلات النسخ، والمواد اللاصقة وأحبار الطابعات تحتوي على الألكانات والألكانات الحلقية.

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 في ضوء 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 4-2 مقارنة الخواص 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

الخواص الكيميائية للألكانات إن الخاصية الكيميائية الرئيسة للألكانات هي ضعف نشاطها الكيميائي؛ فالكثير 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.

تقويم الدرس 2-2

الخلاصة

- تحتوي الألكانات على روابط أحادية فقط بين ذرات الكربون.
- تعد الصيغ البنائية أفضل تمثيل للألكانات والمركبات العضوية الأخرى. ويمكن تسمية هذه المركبات باستعمال 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 باستعمال قواعد نظام IUPAC.

a. $CH_3CHCH_2CH_2CH_3$ (CH₃ على الكربون الثاني)

b. CH_3CCH_3 (CH₃ على الكربون الثاني، CH₃ إضافية على الكربون الثاني)

c. حلقة سداسية: CH₃ على الكربون 1، CH₃ على الكربون 3، CH_2CH_3 على الكربون 4

14. **صف** الخواص العامة للألكانات.

15. **ارسم** الصيغة البنائية لكل مما يأتي:

a. 4،3– ثنائي ميثيل هبتان

b. 4–أيزوبروبيل– 3– ميثيل ديكان

c. 1– إيثيل–4– ميثيل هكسان حلقي

d. 2،1– ثنائي ميثيل بروبان حلقي

16. **تفسير الصيغ الكيميائية** 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؟

2–3

تساؤلات جوهرية

- ما أهم الاختلافات بين خواص الألكانات وخواص الألكينات والألكاينات؟
- كيف تصف الصيغ البنائية للألكينات والألكاينات؟
- كيف تربط بين اسم الألكين أو الألكاين وتركيبه البنائي؟

مراجعة المفردات

الهرمون مادة كيميائية تنتج في جزء من الكائن الحي وتُنقل إلى جزء آخر، وتؤدي إلى تغير فسيولوجي فيه.

المفردات الجديدة

الألكينات

الألكاينات

الألكينات و الألكاينات
Alkenes and Alkynes

الفكرة الرئيسة **الألكينات مركبات هيدروكربونية تحتوي على الأقل على رابطة ثنائية واحدة. أما الألكاينات فهي مركبات هيدروكربونية تحتوي على رابطة ثلاثية واحدة على الأقل.**

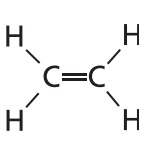
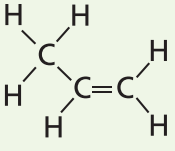
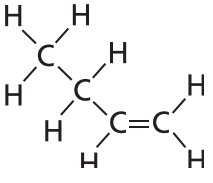
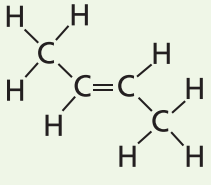
الربط مع الحياة تُنتج النباتات الإيثين في صورة هرمون نُضج طبيعي. وعادةً ما تُقطَف الفواكه والخضراوات قبل تمام نضجها، فتُعرَّض للإيثين حتى تنضج.

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 **الألكينات**. ولأن الألكين يجب أن يحتوي على رابطة ثنائية بين ذرات الكربون، لذا لا يوجد ألكين بذرة كربون واحدة. ولهذا 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 علاقة رقمية ثابتة بين أعداد الذرات. فإذا درست الصيغ البنائية للمواد في **الجدول 5–2** 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 5-2 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 تكون أسماؤها بتغيير المقطع الأخير (ان) للألكان المناظر إلى المقطع (ين). ويُسمى الألكان الذي تكون 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 تجاريان 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 2-12a**. ويتم هذا بترقيم ذرات الكربون في السلسلة الرئيسة ابتداءً من طرف السلسلة الذي يعطي أصغر رقم لأول ذرة كربون في الرابطة الثنائية. ثم يُستعمل 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 بالطريقة نفسها تقريبًا التي تُسمى بها الألكانات الحلقية، على أن تكون ذرة الكربون رقم 1 هي إحدى ذرّتي الكربون المرتبطتين بالرابطة الثنائية. **الشكل 2-12b**، لاحظ الترقيم في المركب. إن اسم هذا المركب هو 3،1- ثنائي ميثيل بنتين حلقي.

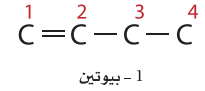
ماذا قرأت؟ استنتج لماذا يعد من الضروري تعيين موقع الرابطة الثنائية في اسم الألكين؟

تسمية الألكينات ذات السلاسل المتفرعة اتبع عند تسميتها قواعد نظام الأيوباك المستعملة 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 يحدِّد موقع الرابطة الثنائية – وليس التفرعات – كيفية ترقيم السلسلة. لاحظ وجود سلسلتين من 4 – ذرات كربون في الجزيء المُبين في **الشكل 2-13a**، إلا أن السلسلة المحتوية على الرابطة الثنائية استعملت وحدها أساسًا للتسمية. إن هذا الألكين المتفرِّع هو 2- ميثيل بيوتين.

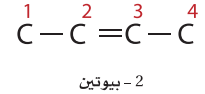
تحتوي بعض الهيدروكربونات غير المشبعة على أكثر من رابطة ثنائية أو ثلاثية. ويظهر عدد الروابط الثنائية في جزيئات من هذا النوع باستعمال البادئة (داي، تراي، تيترا، ...) أو (ثنائي، ثلاثي، ... وهكذا) قبل المقطع (ين). وتُرقّم مواقع الروابط على أن تُنتج أصغر مجموعة من الأرقام. أي نظام ترقيم ستستعمل في المثال في **الشكل 2-13b**؟ ستستعمل البادئة (هبتا)؛ لأن الجزيء يحتوي على سلسلة كربونية سُباعية. ولأنها تحتوي على رابطتين ثنائيتين فإنك تستعمل البادئة (ثنائي) قبل المقطع (ين)، تُعطي الاسم هبتاداين. وبإضافة الرقمين 2 و4 لتعيين مواقع الروابط الثنائية يصبح الاسم 4،2- هبتاداين.

الشكل 2-12 عند تسمية أيّ من الألكينات ذات السلاسل المتفرعة أو المستقيمة يجب ترقيمها باستعمال قواعد نظام الأيوباك IUPAC.

a. **ألكينات ذات سلاسل مستقيمة (غير متفرعة).**

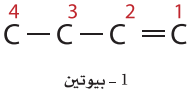


1 - بيوتين



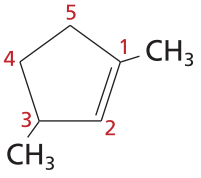
2 - بيوتين

3 - بيوتين



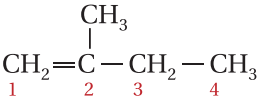
1 - بيوتين

b. **ألكينات حلقية**



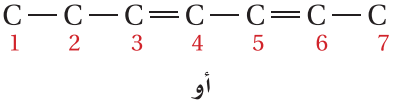
3،1- ثنائي ميثيل بنتين حلقي

الشكل 2-13 تُرقم مواقع الروابط الثنائية في الألكينات بطريقة تعطي أصغر مجموعة من الأرقام. وينطبق هذا على الألكينات المستقيمة والمتفرعة.

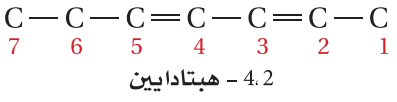


2- ميثيل بيوتين

a. رابطة ثنائية واحدة



أو



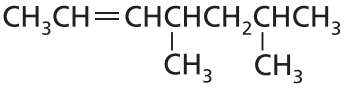
4،2 - هبتاداين

b. رابطتان ثنائيتان

مثال 3-2

تسمية الألكينات المتفرِّعة

سمِّ الألكين المبيّن في الشكل المجاور.

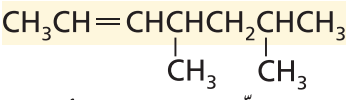


1 تحليل المسألة

لقد أُعطيت ألكينًا ذا سلسلة متفرِّعة تحتوي على رابطة ثنائية واحدة ومجموعتي ألكيل. اتبع قواعد نظام الأيوباك IUPAC لتسمية المركب العضوي.

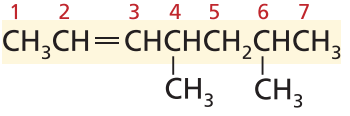
2 حساب المطلوب

الخطوة 1. تحتوي أطول سلسلة كربونية متصلة توجد فيها الرابطة الثنائية على سبع ذرات كربون. ويسمى الألكان ذو ذرات الكربون السبع "هبتان"، ولكن يتغيّر الاسم إلى هبتين بسبب وجود الرابطة الثنائية.



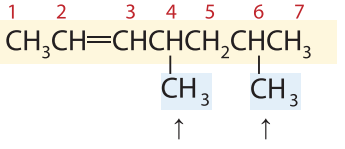
السلسلة الرئيسة هبتين

الخطوة 2. رقّم السلسلة على أن تعطي أصغر رقم للرابطة الثنائية.



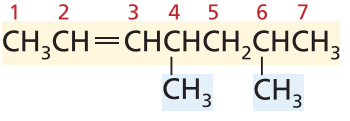
السلسلة الرئيسة 2- هبتين

الخطوة 3. سمِّ كل تفرع.



كلتا المجموعتين البديلتين مجموعتا ميثيل

الخطوة 4. حدّد عدد كل تفرع، وعين البادئة الصحيحة لتمثيل هذا العدد، ثمَّ أدخل أرقام المواقع لتحصل على البادئة كاملةً.



السلسلة الرئيسة 2 – هبتين

مجموعتا ميثيل على المواقع 4 و 6

البادئة هي 4،6- ثنائي ميثيل

الخطوة 5. ليس هناك حاجة إلى كتابة أسماء التفرعات بالترتيب الهجائي؛ لأنها متماثلة. لذا أدخل البادئة الكاملة إلى اسم سلسلة الألكين الرئيسة، واستعمل الفواصل بين الأرقام، والشرطات بين الأرقام والكلمات، ثم اكتب الاسم:

4،6- ثنائي ميثيل-2-هبتين.

3 تقويم الإجابة

تحتوي أطول سلسلة كربونية على الرابطة الثنائية، وموقع الرابطة الثنائية له أصغر رقم ممكن. واستعملت البادئات الصحيحة وأسماء مجموعات الألكيل لتعيين التفرعات.

مسائل تدريبية

17. استعمل قواعد نظام الأيوباك IUPAC لتسمية الصيغ البنائية الآتية:

a. $CH_3CH=CHCHCH_3$ (CH_3 على $CHCH_3$)

b. $CH_3CHCH_2CH=CHCCH_3$ (CH_3 على CH_2، وCH_3 على CCH_3)

18. تحدٍّ ارسم الصيغة البنائية للجزيء 3،1- بنتادايين.

خواص الألكينات واستعمالاتها

الألكينات، مثل الألكانات، مواد غير قطبية، لذا فإن ذوبانيتها قليلة في الماء، وتكون درجات انصهارها وغليانها منخفضة. لكن الألكينات أكثر نشاطًا من الألكانات؛ حيث تزيد الرابطة التساهمية الثنائية من الكثافة الإلكترونية بين ذرتي الكربون، مهيئةً بذلك موقعًا جيدًا للنشاط الكيميائي، وهذا يجعل المواد المتفاعلة قادرة على سحب إلكترونات الرابطة الثنائية.

ينتج العديد من الألكينات بصورة طبيعية في الكائنات الحية. فالإيثين، على سبيل المثال، هرمون تُنتجه النباتات على نحو طبيعي، وهو المسؤول عن عملية انضاج الفواكه، ويؤدي دورًا في عملية تساقط أوراق الأشجار استعدادًا لفصل الشتاء. تنضج الفواكه الظاهرة في **الشكل 14-2** وغيرها من المنتجات التي تُباع في محلات البقالة صناعيًّا عند تعريضها للإيثين. والإيثين من المواد الأولية المستعملة في تصنيع مادة بولي إيثيلين البلاستيكية المستعملة في صناعة الكثير من المنتجات، ومنها الحقائب البلاستيكية والحبال وعلب الحليب. وهناك ألكينات أخرى مسؤولة عن روائح الليمون الأصفر، والليمون الأخضر، وأشجار الصنوبر.

الشكل 14-2 استعمال الإيثين في إنضاج الثمر يسمح للمزارعين بجني الفواكه والخضراوات قبل أن تنضج.

فسّر لماذا يعدّ هذا نافعًا ومناسبًا للمزارعين؟

الألكاينات Alkynes

تُسمى الهيدروكربونات غير المشبعة التي تحتوي على رابطة ثلاثية واحدة أو أكثر بين ذرات الكربون **الألكاينات**. وتشترك في الرابطة الثلاثية ثلاثة أزواج من الإلكترونات. ويعد الإيثاين C_2H_2 أبسط الألكاينات وأكثرها استعمالاً، وهو معروف على نطاق واسع باسمه التجاري الشائع، الأستيلين. تفحّص نماذج الإيثاين في **الشكل 15-2**.

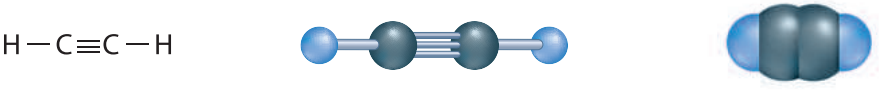
تسمية الألكاينات تُسمى الألكاينات المستقيمة والمتفرعة بطريقة مماثلة للألكينات. والفرق الوحيد هو أن اسم السلسلة الرئيسة ينتهي بـ(اين) بدلاً من (ين). كما يظهر في أمثلة **الجدول 6-2**. وتكون الألكاينات المحتوية على رابطة ثلاثية واحدة سلسلةً متماثلة لها الصيغة العامة $C_n H_{2n-2}$.

ماذا قرأت؟ استنتج، اعتمادًا على طبيعة روابط الإيثاين، لماذا يتفاعل بسرعة عالية مع الأكسجين؟

المختبر الافتراضي

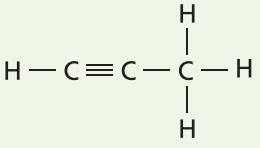
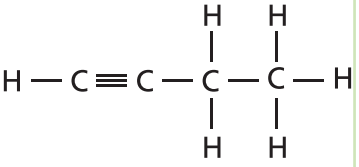
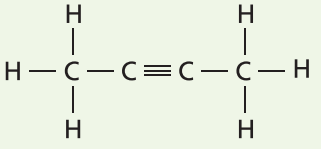
استخدم برنامج المحاكاة الرقمي لتربط بين اسم الهيدروكربون وتركيبه البنائي.

الشكل 15-2 تُمثّل هذه النماذج الصيغ البنائية الثلاث للإيثاين.



نماذج الإيثاين (الأستيلين)

الجدول 6-2 الألكاينات

الاسم	الصيغة الجزيئية	الصيغة البنائية	الصيغة البنائية المكثفة
إيثاين	C_2H_2	H — C ≡ C — H	CH ≡ CH
بروباين	C_3H_4		$CH \equiv CCH_3$
1 – بيوتاين	C_4H_6		$CH \equiv CCH_2CH_3$
2– بيوتاين	C_4H_6		$CH_3C \equiv CCH_3$

المختبر الصغير

تحضير الإيثاين وملاحظة خواصه

لماذا يستعمل الإيثاين (الأستيلين) في ورش اللِّحام؟

خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. استعمل **رباط مطاط** لتثبيت **قطعة شظية خشبية** في 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 اخلطهما جيدًا.
4. استعمل الملقط لالتقاط قطعة من كربيد الكالسيوم CaC_2 بحجم حبة البازلاء.

تحذير: لا تلمس مادة CaC_2. لأنها مادة كاوية وحارقة؛ فإذا لامس بخارها جلدك فاغسله بالماء فورًا. وضع قطعة CaC_2 في المحلول الموجود في الكأس.

5. استعمل عود ثقاب لإشعال الشظية الخشبية، وأنت تمسك بالمسطرة من الطرف المقابل. وقرّب الشظية الخشبية المشتعلة حالاً من الفقاعات الناتجة عن التفاعل الحاصل في الكأس. ثم أطفئ قطعة الخشب بعد ملاحظة التفاعل.
6. استعمل ساق التحريك الزجاجي لطرد بعض فقاعات 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 باستعمال 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. ما المادة الثانية؟ اكتب معادلة كيميائية موزونة لهذا التفاعل.

خواص الألكاينات واستعمالاتها للألكاينات خواص 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 تكون 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.

إن الإيثاين– المعروف بالأستيلين–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 الأستيلين عادةً لأغراض اللحام، كما في **الشكل 16-2**. ولأن الرابطة الثلاثية تجعل الألكاينات أكثر نشاطًا فإن الألكاينات البسيطة كالإيثاين تُتخذ موادّ أولية في صناعة البلاستيك وغيرها من المواد الكيميائية العضوية المستعملة في الصناعة.

الشكل 16-2 يتفاعل الإيثاين، أو الأستيلين، مع الأكسجين وفق معادلة التفاعل الكيميائي:

$$2C_2H_2 + 5O_2 \rightarrow 4CO_2 + 2H_2O$$

وتنتج كمية كافية من الحرارة للحم المعادن.

تقويم الدرس 2-3

الخلاصة

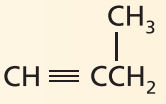
- الألكينات والألكاينات هيدروكربونات تحوي على الأقل رابطة ثنائية أو ثلاثية واحدة، على الترتيب.
- تُعد الألكينات والألكاينات مركبات غير قطبية ذات نشاط كيميائي أعلى من الألكانات.

19. الفكرة الرئيسة **صف** كيف تختلف الصيغ البنائية للألكينات والألكاينات عن الصيغة البنائية للألكانات؟

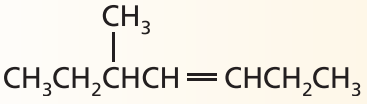
20. حدّد كيف تختلف الخواص الكيميائية للألكينات والألكاينات عمّا تتصف به الألكانات؟

21. سمِّ الصيغ البنائية أدناه مستعملًا قواعد نظام الأيوباك IUPAC.

a.



b.



22. ارسم الصيغة البنائية لكل من:

4-ميثيل-1،3- بنتاداين

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؟

تساؤلات جوهرية

- ما هي الطرق المختلفة التي تمكّن من ارتباط مجموعة من ذرات الكربون والهيدروجين؟
- كيف تميز بين أنواع المتشكلات؟

مراجعة المفردات

الموجات الكهرومغناطيسية

موجات مستعرضة تحمل الطاقة خلال الفراغ.

المفردات الجديدة

المتشكلات

المتشكلات البنائية

المتشكلات الفراغية

المتشكلات الهندسية

متشكلات الهيدروكربونات
Hydrocarbon Isomers

الفكرة الرئيسة **لبعض الهيدروكربونات الصيغة الجزيئية نفسها، لكنها تختلف في صيغها البنائية.**

الربط مع الحياة لعلك قابلت يومًا توأمين متماثلين. للتوأمين المتماثلين التكوين الجيني نفسه، ومع ذلك فهما فردان مستقلان، لكل منهما شخصيته. والمتشكّلات شبيهة بالتوائم؛ فلها الصيغة الجزيئية نفسها، ولكنها تختلف في شكلها البنائي وخواصها.

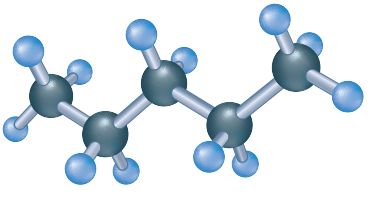
المتشكلات البنائية Structural Isomers

تفحص نماذج الألكانات الثلاثة في **الشكل 17–2** 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 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). و**المتشكلات** 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 رئيسيتان من المتشكلات. ويُبين **الشكل 17–2** مركبات تعدّ أمثلة على **المتشكلات البنائية**. وللمتشكلات البنائية الصيغة الجزيئية نفسها، إلا أن مواقع الذرات فيها تختلف. وعلى الرغم من اشتراك المتشكلات البنائية في الصيغة الجزيئية نفسها إلا أنها تختلف في خواصها الكيميائية والفيزيائية. وتدعم هذه الملاحظة أحد أهم مبادئ الكيمياء الذي ينص على أن "بناء المادة يحدد خواصها". كيف يرتبط نمط تغير درجات غليان متشكلات C_5H_{12} مع صيغها البنائية؟

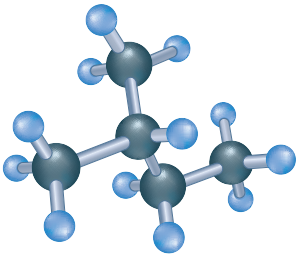
كلما زاد عدد ذرات الكربون في الهيدروكربون ازداد عدد المتشكلات البنائية المحتملة. فعلى سبيل المثال، هناك 9 ألكانات ذات الصيغة الجزيئية C_7H_{16}. وهناك أكثر من 300,000 متشكل بنائي يحمل الصيغة الجزيئية $C_{20}H_{42}$.

الشكل 17-2 إن هذه المركبات المشتركة في الصيغة الجزيئية متشكلات بنائية. لاحظ الاختلاف في درجات غليانها.



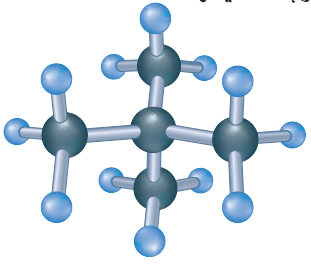
بنتان

درجة الغليان = 36°C



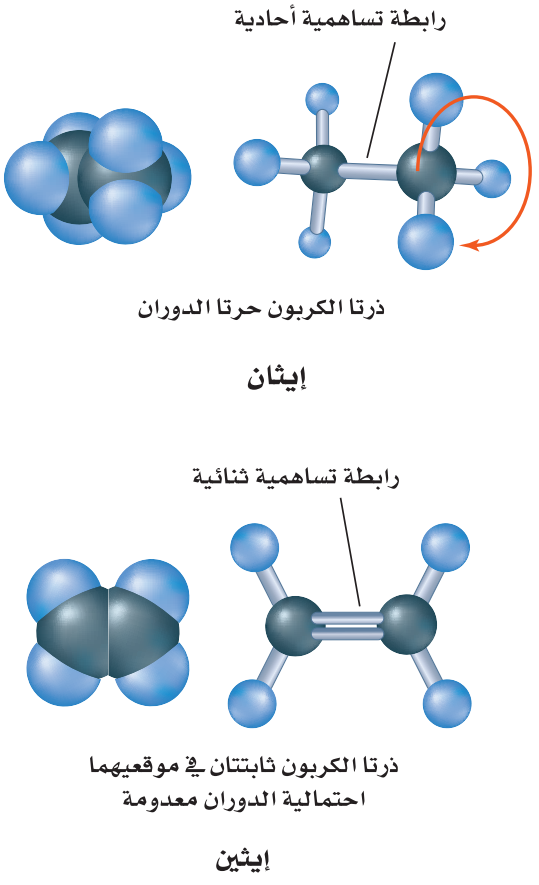
2- ميثيل بيوتان

درجة الغليان = 28°C



2،2- ثنائي ميثيل بروبان

درجة الغليان = 9°C



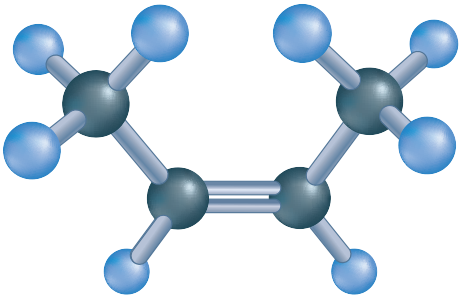
الشكل 18-2 تكون ذرتا الكربون المرتبطتان برابطة تساهمية أحادية في الإيثان حُرَّتي الدوران حول الرابطة، في حين تقاوم ذرتا الكربون المرتبطتان برابطة تساهمية ثنائية في الإيثين عملية الدوران.

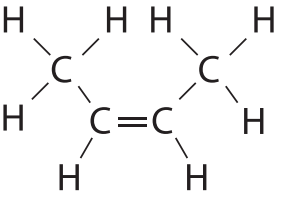
فسِّر كيف يؤثر اختلاف القدرة على الدوران في الذرات أو مجموعات الذرات المرتبطة مع ذرات الكربون في الروابط الأحادية والروابط الثنائية؟

المتشكلات الفراغية Stereoisomers

تختلف الفئة الثانية من المتشكلات في طريقة ارتباطها؛ **فالمتشكلات الفراغية** متشكلات ترتبط فيها الذرات بالترتيب نفسه، ولكنها تختلف في ترتيبها الفراغي (الاتجاهات في الفراغ). وهناك نوعان من هذه المتشكلات الفراغية: أحدهما في الألكينات، التي تحتوي على روابط ثنائية، حيث تكون ذرتا الكربون المرتبطتان برابطة أحادية قادرتين على الدوران بسهولة إحداهما حول الأخرى. إلا أنه في حال وجود رابطة تساهمية ثنائية لا يسمح للذرات بالدوران، ويجعلها ثابتة في مكانها، كما في **الشكل 18-2**.

قارن بين الصيغتين البنائيتين المحتملتين لـ 2- بيوتين في **الشكل 19-2**. 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.

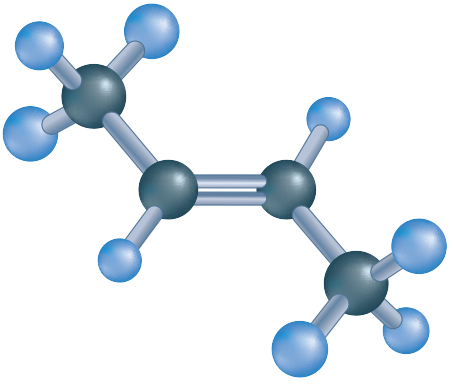


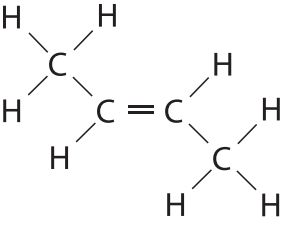


سيس -2-بيوتين C_4H_8

درجة الانصهار = -139°C

درجة الغليان = 3.7°C





ترانس-2-بيوتين C_4H_8

درجة الانصهار = -106°C

درجة الغليان = 0.8°C

الشكل 19-2 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.

فكّر:

هل يُمكن الحديث عن متشكلات هندسية في مركب البروبين؟

وتُسمى المتشكلات الناتجة عن اختلاف ترتيب المجموعات واتجاهها حول الرابطة الثنائية **المتشكلات الهندسية**. لاحظ أن اختلاف الترتيب الهندسي يؤثر في خواص المتشكلات الفيزيائية، ومنها درجات الانصهار والغليان. وتختلف المتشكلات الهندسية أيضًا في بعض خواصها 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؟

تقويم الدرس 2-4

الخلاصة

- 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 تركيبها الفراغي (الاتجاهات في الفراغ).

25. **الفكرة الرئيسة** **ارسم** المتشكلات البنائية المحتملة للألكان ذي الصيغة الجزيئية C_6H_{14} جميعها، على أن تظهر فقط سلاسل الكربون.

26. **فسر** الفرق بين المتشكلات البنائية والمتشكلات الفراغية.

27. **ارسم** أشكال كل من سيس-3-هكسين وترانس-3-هكسين.

28. **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.

2–5

تساؤلات جوهرية

- ما المقصود بالهيدروكربونات الأروماتية؟

مراجعة المفردات

الأفلاك المهجنة أفلاك ذرية متكافئة تتكون خلال الترابط عن طريق إعادة ترتيب إلكترونات التكافؤ.

المفردات الجديدة

المركبات الأروماتية

المركبات الأليفاتية

الهيدروكربونات الأروماتية
Aromatic Hydrocarbons

الفكرة الرئيسة **تتصف الهيدروكربونات الأروماتية بدرجة عالية من الثبات بسبب بنائها الحلقي، حيث تتشارك الإلكترونات في عدد من الذرات.**

الربط مع الحياة ما الشيء المشترك بين الأنسجة ذات الألوان الزاهية والزيوت العطرية المستعملة في العطور؟ كل منهما يحتوي على هيدروكربونات أروماتية.

الصيغة البنائية للبنزين The Structure of Benzene

إن الأصباغ الطبيعية، ومنها تلك الموجودة في الأنسجة الظاهرة في **الشكل 24–2** ، والزيوت العطرية، تحتوي على صيغ بنائية ذات حلقة كربون سداسية. وقد عرفت هذه المركبات واستعملت 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 كليهما معًا. واقترحوا الكثير من الأشكال المختلفة، أحدها الشكل أدناه الذي اقترح عام 1860م.

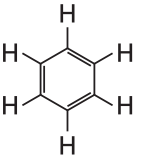
$$CH_2 = C = CH - CH = C = CH_2$$

الشكل 24-2 استعملت الأصباغ لإنتاج الأنسجة ذات الألوان الزاهية على مر العصور.

فسّر ما الشيء المشترك بين الأصباغ الطبيعية والزيوت العطرية المستعملة في العطور؟

وعلى الرغم من أن الصيغة الجزيئية لهذا الشكل 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 هذا الشكل غير صحيح.

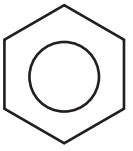
حُلم كيكولي في عام 1865م اقترح الكيميائي الألماني فريدريك أوجست كيكولي Friedrich August Kekule (1829–1896م) شكلاً بنائيًّا مختلفًا للبنزين– وهو شكل سداسي يتكون من ذرات الكربون تتناوب فيه الروابط الأحادية والثنائية. فكيف تُقارَنُ الصيغة الجزيئية لهذا الشكل بالصيغة الجزيئية للبنزين؟

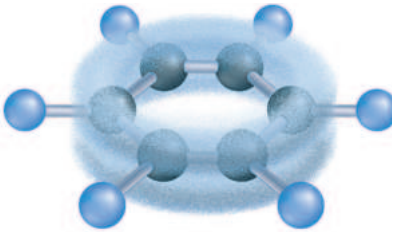


ادّعى كيكولي أنه رأى شكل البنزين في المنام عندما غلبه النعاس أمام الموقد في مدينة "جنت"، ببلجيكا، إذ قال إنه حلم بـ"أوروبوروس، Ouroboros"، وهو شعار مصري قديم تظهر فيه أفعى تفترس ذيلها، مما جعله يفكر في الشكل الحلقي. ويفسر الشكل السداسي المُسطح الذي اقترحه كيكولي بعض خواص البنزين، ولكنه لا يفسر ضعف نشاطه الكيميائي.

نموذج البنزين الحديث أكدت الأبحاث منذ اقتراح كيكولي أن الشكل البنائي للبنزين هو الشكل السداسي فعلاً. وعلى الرغم من ذلك لم يُفسر ضعف النشاط الكيميائي للبنزين حتى 1930م، عندما اقترح لينوس باولينج Linus Pauling نظرية الأفلاك 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 تكُون أزواج الإلكترونات غير متمركزة (متحركة) delocalized، مما يعني أنها تشترك في جميع ذرات الكربون الست في الحلقة.

والشكل **25–2** 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.





الشكل 25-2 تتوزع إلكترونات البنزين المرتبطة 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، البنزين مركب أروماتي.

الاستعمال الشائع: لها رائحة قوية.

هذا العطر أروماتي قوي.

طرائق تحضير البنزين يبين الجدول 7-2 طرق تحضير البنزين.

الجدول 7-2 **طرائق تحضير البنزين**

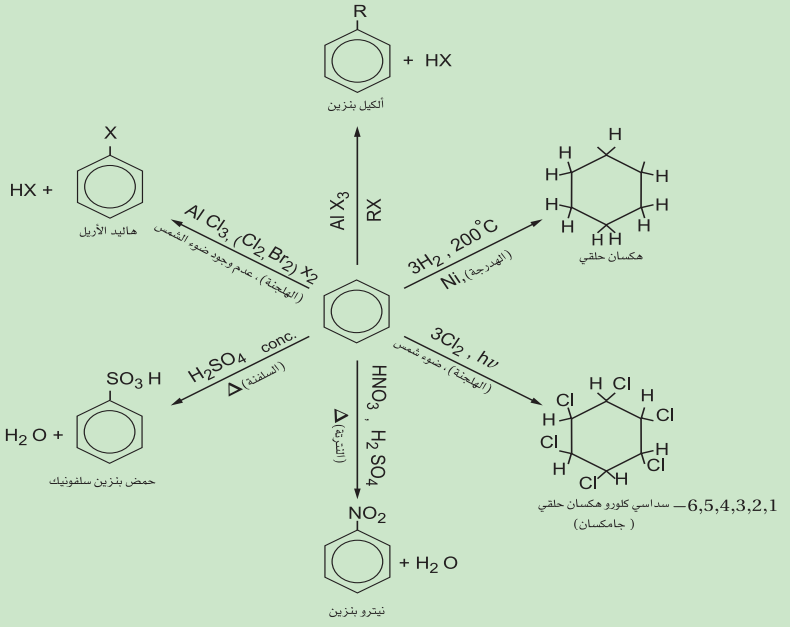
1. $CH_3\,CH_2\,CH_2\,CH_2\,CH_2\,CH_3 \xrightarrow[\Delta]{pt}$ بنزين $+ 4H_2$
هكسان

2. $3C_2H_2 \xrightarrow[\Delta]{Ni}$ بنزين
إيثاين (أستيلين)

3. هيدروكسي بنزين (فينول) $\xrightarrow[\Delta]{Zn}$ بنزين $+ ZnO$

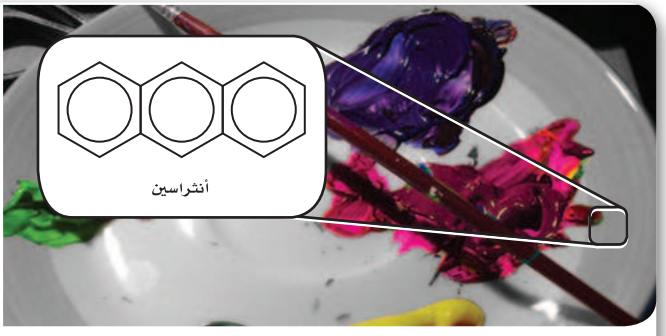
4. بنزوات الصوديوم $+ NaOH \xrightarrow[\Delta]{CaO}$ $+ Na_2CO_3$

خواص البنزين البنزين سائل شفاف لا يمتزج بالماء له رائحة مميزة، ويغلي عند 80°C ويشتعل مصحوبًا بدخان أسود نتيجة احتوائه على نسبة كبيرة من الكربون. ونتيجة لوجود الرنين (عدم تمركز الروابط باي) لا يؤدي البنزين تفاعلات الإضافة كما في المركبات غير المشبعة، ولكن عند الظروف غير العادية تحدث تفاعلات الإضافة التي يبينها **الشكل 26-2**.

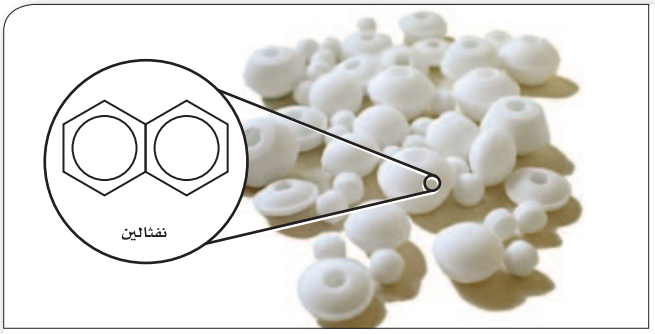


الشكل 26-2 بعض تفاعلات البنزين مع مواد أخرى تحت ظروف مختلفة.

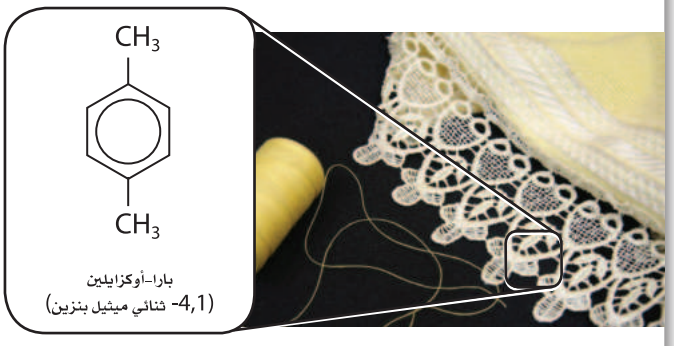
* اطلاع حر.



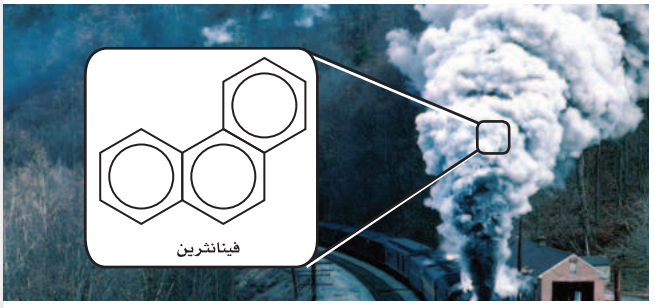
يستعمل الأنثراسين في إنتاج الأصباغ والدهان.



يستعمل النفثالين في عمل الأصباغ وطرد العث.



يستعمل الأوكزايلين في عمل ألياف البوليستر والأنسجة.



يكثر الفينانثرين في الجو بسبب الاحتراق غير الكامل للهيدروكربونات.

المركبات الأروماتية Aromatic Compounds

تُسمّى المركّبات العضوية التي تحتوي في بنائها حلقات بنزين **المركّبات الأروماتية**. استعمل 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 من المركبات الأروماتية. وكلمة أليفاتي (aliphatic) يونانية الأصل، تعني الدُّهن. وذلك أن الكيميائيين القدامى حصلوا على المركبات الأليفاتية بتسخين دهون الحيوانات وشحومها. ما بعض الأمثلة على الدهون الحيوانية التي قد تحتوي على مركبات أليفاتية؟

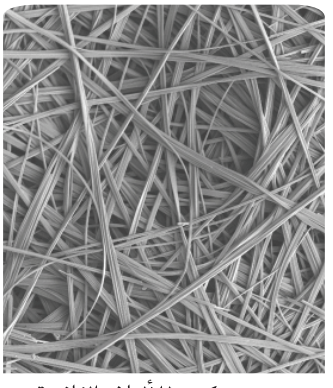
ماذا قرأت؟ استنتج لماذا استمرّ الكيميائيون في استعمال مصطلحي المركبات الأروماتية والمركبات الأليفاتية إلى الآن؟

تظهر أشكال بعض المركبات الأروماتية في **الشكل 27-2**. لاحظ أن الشكل البنائي للنفثالين يبدو 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.

الشكل 27-2 توجد الهيدروكربونات الأروماتية في البيئة بسبب الاحتراق غير الكامل للهيدروكربونات وتستعمل في صناعة الكثير من المنتجات.

الكيمياء الخضراء

قضايا بيئية



صورة مكبرة للألياف النانوية

النانوتكنولوجيا في خدمة قضايا البيئة: المجمدات الفائقة (supergelators)

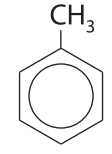
تعتبر التقنيات الحالية لتنظيف التسربات النفطية في البحار ذات كفاءة محدودة جدا، وقد تتسبب في مزيد من التلوث أو الإضرار بالبيئة.

في عام 2016 قام علماء في سنغافورة بتطوير منتج أطلقوا عليه اسم "المجمدات الفائقة". تتكوّن هذه المادة من جزيئات عضوية التي، عند رشها على الانسكابات الزيتية، تتكدس على نفسها لتشكل أليافًا نانوية رفيعة. تتجمع الألياف النانوية معًا لتكوين ألياف نانوية أكثر سمكًا، والتي بدورها تشكل شبكة شبيهة بالهلام تحبس الزيت. يمكن بعد ذلك إخراج الزيت من الماء باستخدام مصفاة.

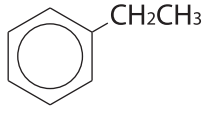
وقد أكد العلماء أن هذه المادة تمتاز بخصائص مرغوبة كونها رخيصة الثمن، سرعتها فائقة في التفاعل، سهلة الاستخدام وغير ضارة بالصحة والبيئة البحرية. كما أن الزيوت المستخرجة يعاد استخدامها بعد عملية التقطير التجزيئي.

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 (الطولوين toluene)، من مجموعة ميثيل مرتبطة مع حلقة البنزين بدلاً من ذرة هيدروجين واحدة. وعندما ترى شيئًا مرتبطًا مع حلقة البنزين تذكّر أن ذرة الهيدروجين لم تعد هناك.

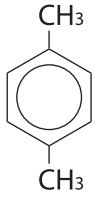
وتسمى مركبات البنزين ذات المجموعات البديلة بطريقة الألكانات الحلقية نفسها. فعلى سبيل المثال، يحتوي إيثيل بنزين على مجموعة إيثيل، المكوّنة من ذرتي كربون متصلة بالحلقة، ويحتوي 1،4- ثنائي ميثيل بنزين المعروف أيضًا بـ (بارا-إكزايلين)، para – xylene على مجموعتي ميثيل متصلتين بالموقعين 1 و 4.



ميثيل بنزين
(طولوين)



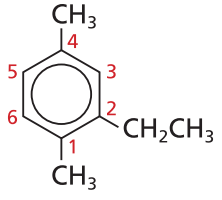
إيثيل بنزين



4،1-ثنائي ميثيل بنزين
(بارا –إكزايلين)

وتُرقَّم حلقات البنزين المتفرعة تمامًا مثل الألكانات الحلقية المتفرعة بطريقة تعطي أصغر أرقام ممكنة لمواقع التفرعات، كما في **الشكل 28-2**. إن ترقيم الحلقة ـ كما هو مبين ـ يعطي الأرقام 1، 2، و4 لمواقع التفرعات. ولأن كلمة إيثيل تأتي قبل ميثيل في الترتيب الهجائي، لذا فإنها تكتب أولاً على الصورة: 2-إيثيل-4،1- ثنائي ميثيل بنزين.

ماذا قرأت؟ فسّر ماذا تعني الدائرة داخل الحلقة السداسية الظاهرة في الشكل 28-2؟

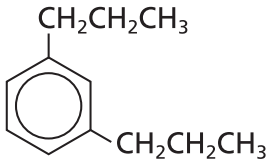


2 - إيثيل - 4،1 - ثنائي ميثيل بنزين

الشكل 28-2 تسمى حلقات البنزين ذات التفرعات بطريقة تسمية الألكانات الحلقية نفسها.

مثال 4-2

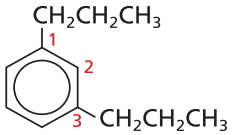
تسمية المركّبات الأروماتية سمِّ المركّب الأروماتي المجاور وفقًا لنظام الأيوباك IUPAC.

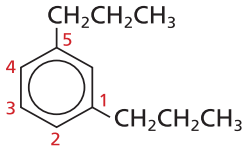


1 تحليل المسألة

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 استعمالها لترقيم الهيدروكربون هي 1 و 3.

الخطوة 2. حدّد أسماء التفرعات. إذا تكرر التفرع نفسه أكثر من مرة فأضف البادئة الدالة على عدد التفرعات الموجودة.

الخطوة 3. جمّع الاسم، ورتب التفرعات هجائيًّا، مستعملًا الفواصل بين الأرقام، والشرطات بين الأرقام والكلمات، ثم اكتب الاسم على الصورة:

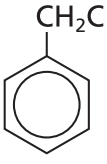
3،1- ثنائي بروبيل بنزين.

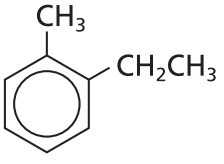
3 تقويم الإجابة

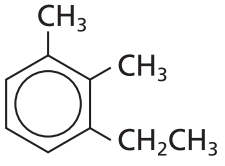
رُقّمت حلقة البنزين لتعطي التفرعات أصغر مجموعة ممكنة من الأرقام، وحُدّدت أسماء التفرعات على نحوٍ صحيح.

مسائل تدريبية

29. سمّ الصيغ البنائية الآتية:

a. 

b. 

c. 

30. تحدٍّ ارسم الصيغة البنائية للمركب 4،1- ثنائي ميثيل بنزين.

تقويم الدرس 2-5

الخلاصة

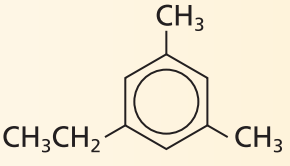
- تحتوي الهيدروكربونات الأروماتية على حلقات بنزين بوصفها جزءًا من شكلها البنائي.
- تتوزع الإلكترونات في الهيدروكربونات الأروماتية على الحلقة كاملة بالتساوي.

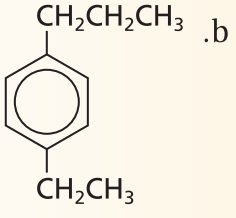
31. الفكرة الرئيسة **فسر** الشكل البنائي للبنزين، وكيف يجعله عالي الاستقرار أو الثبات؟

32. فسر كيف تختلف الهيدروكربونات الأروماتية عن الهيدروكربونات الأليفاتية؟

33. صف خواص البنزين التي جعلت الكيميائيين ينفون احتمالية كونه ألكينًا ذا روابط ثنائية متعددة.

34. سمِّ الصيغ البنائية الآتية:

a. 

b. 

35. اكتب طريقتين للحصول على البنزين.

36. اكتب المعادلة الكيميائية التي توضح كيفية الحصول على الجامكسان من البنزين.

تحويل المخلفات العضوية إلى طاقة Pooch to Power

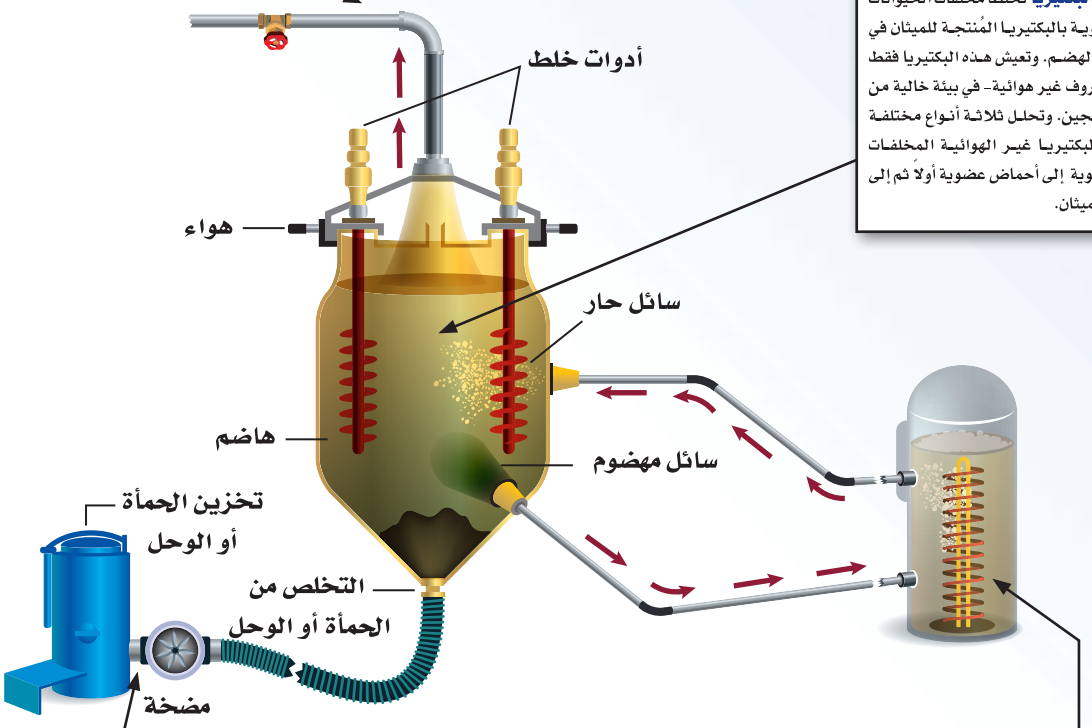
كيف يعمل جهاز هضم الميثان؟

How a Methane Digester Works?

يأمل المتخصصون أن يساهم مربّو الحيوانات الأليفة في تقديم المخلفات العضوية لحيواناتهم لمشروع تجريبي يحوّل المواد العضوية إلى طاقة مفيدة؛ إذ يحول جهاز هضم الميثان المخلفات العضوية إلى غاز حيوي، وهو خليط من الميثان وثاني أكسيد الكربون، وحرق الميثان يزوّد بالطاقة اللازمة.

4 **الغاز** يُجمع الغاز ويضغط، فإما أن يُستعمل فورًا أو يُخزَن. ويمكن استعمال غاز الميثان لتدفئة المنازل أو توليد الكهرباء.

1 **البكتيريا** تُخلط مخلفات الحيوانات العضوية بالبكتيريا المُنتجة للميثان في جهاز الهضم. وتعيش هذه البكتيريا فقط في ظروف غير هوائية- في بيئة خالية من الأكسجين. وتحلل ثلاثة أنواع مختلفة من البكتيريا غير الهوائية المخلفات العضوية إلى أحماض عضوية أولاً ثم إلى غاز الميثان.



2 **درجة الحرارة** تؤثر درجة الحرارة في إنتاج الميثان، كما هو الحال في أي تفاعل كيميائي. ومن ذلك البكتيريا في أجسامنا. إن البكتيريا في الجهاز أعلاه تكون أكثر فاعلية بين 35 °C و 37 °C. ويساعد جهاز التدفئة الخارجي، بالإضافة إلى العزل الحراري حول حجرة الهضم، على إبقاء درجة الحرارة ثابتة وضمن الحدود المثالية.

3 **الحَمْأة** لا تستطيع البكتيريا تحويل المخلفات العضوية للحيوانات بنسبة 100% إلى ميثان. فالمادة المتبقية غير القابلة للهضم المسماة بالحمأة أو الفضلات تكون غنية بالسماد النباتي، ويمكن خلطها مع التربة.

الكتابة في الكيمياء

ابحث اعمل كتيبًا تبين فيه كيفية إنتاج الغاز من المخلفات العضوية.

* للاطلاع فقط

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، في 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

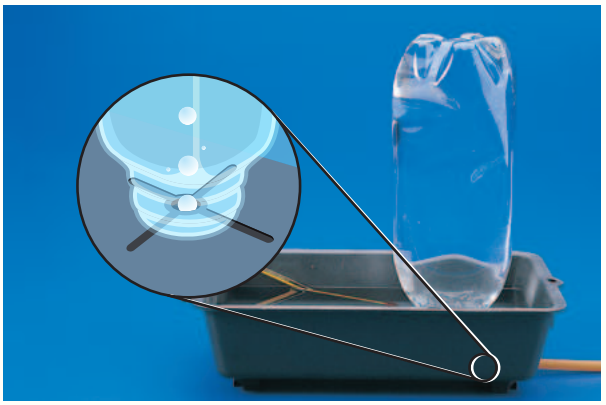
- بارومتر
- مقياس حرارة (ثيرمومتر)
- زجاجة مشروبات غازية سعتها 1L، وأخرى سعتها 2L وغطاء.
- أنابيب مطاطية
- زجاجة جمع الغازات تحت السوائل.
- مخبار مدرج سعته 100 ml
- ميزان (0.01g)
- مناديل ورقية

إجراءات السلامة

تحذير: الكحولات مادة قابلة للاشتعال، احفظ السوائل والأبخرة بعيدًا 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 إخراج 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. أغلق 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 حسب الإرشادات.

حلل واستنتج

1. **أوجد** قيمة كثافة الهواء تحت 1atm 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، والإيثان، 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 2 ملخص الدراسة

الفكرة العامة تختلف الهيدروكربونات، وهي مركبات عضوية، باختلاف أنواع الروابط فيها.

2-1 مقدمة في الهيدروكربونات

الفكرة الرئيسة الهيدروكربونات مركبات عضوية تحتوي على عنصر الكربون وتعد مصدرًا للطاقة والمواد الخام.

المفردات

- المركبات العضوية
- الهيدروكربونات
- الهيدروكربونات المشبعة
- الهيدروكربونات غير المشبعة
- التقطير التجزيئي
- التكسير الحراري

المفاهيم الرئيسة

- تحتوي المركبات العضوية على الكربون؛ حيث يستطيع تكوين سلاسل مستقيمة (غير متفرعة) وأخرى متفرعة.
- الهيدروكربونات مواد عضوية تتألف من الكربون والهيدروجين.
- المصدران الرئيسيان للهيدروكربونات هما النفط والغاز الطبيعي.
- يمكن فصل النفط إلى مكوناته عن طريق عملية التقطير التجزيئي.

2-2 الألكانات

الفكرة الرئيسة الألكانات مركبات هيدروكربونية تحتوي فقط على روابط أحادية.

المفردات

- الألكانات
- السلسلة المتماثلة
- السلسلة الرئيسة
- المجموعات البديلة
- الهيدروكربونات الحلقية
- الألكانات الحلقية

المفاهيم الرئيسة

- تحتوي الألكانات على روابط أحادية فقط بين ذرات الكربون.
- تعد الصيغ البنائية أفضل تمثيل للألكانات والمركبات العضوية الأخرى. ويمكن تسمية هذه المركبات باستعمال قواعد نظامية حُدِّدت من الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية (أيوباك IUPAC).
- تسمى الألكانات المحتوية على حلقات هيدروكربونية بالألكانات الحلقية.

2-3 الألكينات والألكاينات

الفكرة الرئيسة الألكينات مركبات هيدروكربونية تحتوي على الأقل على رابطة ثنائية واحدة، وأما الألكاينات فهي مركبات هيدروكربونية تحتوي على رابطة ثلاثية واحدة على الأقل.

المفردات

- الألكينات
- الألكاينات

المفاهيم الرئيسة

- الألكينات والألكاينات مركبات هيدروكربونية 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 خواص أخرى مشابهة لخواص الألكانات.

2-4 متشكلات الهيدروكربونات

الفكرة الرئيسة لبعض الهيدروكربونات الصيغة الجزيئية نفسها، لكنها تختلف في صيغها البنائية.

المفردات

- المتشكلات
- المتشكلات البنائية
- المتشكلات الفراغية
- المتشكلات الهندسية

المفاهيم الرئيسة

- المتشكلات مركبان أو أكثر لها الصيغة الجزيئية نفسها، ولكنها تختلف في أشكالها البنائية.
- تختلف المتشكلات البنائية في الترتيب الذي ترتبط به الذرات بعضها مع بعض (مواقع الذرات).
- ترتبط الذرات جميعها في المتشكلات الفراغية بالترتيب نفسه (المواقع)، ولكنها تختلف في ترتيبها الفراغي (الاتجاهات في الفراغ).

2-5 الهيدروكربونات الأروماتية

الفكرة الرئيسة تتصف الهيدروكربونات الأروماتية بدرجة عالية من الثبات، بسبب بنائها الحلقي حيث تتشارك الإلكترونات في عدد من الذرات.

المفردات

- المركبات الأروماتية
- المركبات الأليفاتية

المفاهيم الرئيسة

- تحتوي الهيدروكربونات الأروماتية على حلقات بنزين بوصفها جزءًا من صيغها البنائية.
- تتوزع الإلكترونات في الهيدروكربونات الأروماتية على الحلقة كاملة بالتساوي.

2-1

إتقان المفاهيم

37. **الكيمياء العضوية** لماذا أدى اكتشاف فوهلر إلى تطوير الكيمياء العضوية؟

38. ما الخاصية الرئيسة للمركب العضوي؟

39. ما خاصية الكربون المسؤولة عن التنوع الهائل في المركبات العضوية؟

40. سمّ مصدرين طبيعيين للهيدروكربونات.

41. فسر الخواص الفيزيائية لمركبات النفط التي تستعمل لفصلها في أثناء عملية التقطير التجزيئي.

42. فسّر الفرق بين الهيدروكربونات المشبعة وغير المشبعة.

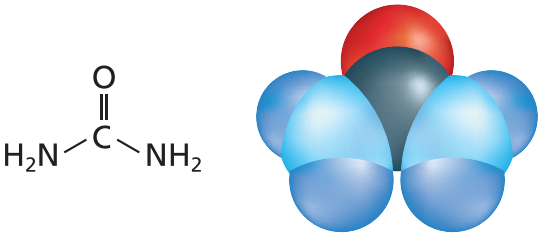
إتقان حل المسائل

43. ما عدد الإلكترونات المشتركة بين ذرتي الكربون في كل من روابط الكربون الآتية؟

a. رابطة أحادية
b. رابطة ثنائية
c. رابطة ثلاثية

44. يبين **الشكل 2-28** نموذجين لليوريا، وهو جزيء حضّره فريدريك فوهلر لأول مرة عام 1828م.

a. حدّد نوع كل من النموذجين.
b. هل اليوريا مركب عضوي أم غير عضوي؟ فسر إجابتك.



الشكل 2-28

45. تُمثَّل الجزيئات باستعمال الصيغ الجزيئية، والصيغ البنائية، ونموذج الكرة والعصا، والنموذج الفراغي. ما مزايا ومساوئ كل نموذج؟

2-2

إتقان المفاهيم

46. صف خواص السلاسل المُتماثلة للهيدروكربونات.

47. **الوقود** سمِّ ثلاثة ألكانات تُتخذ وقودًا، ثم اذكر استعمالًا آخر لكل منها.

48. ارسم الصيغة البنائية لكل مما يأتي:

a. الإيثان
b. الهكسان
c. البروبان
d. الهبتان

49. اكتب الصيغ البنائية المكثفة لكل من الألكانات في السؤال السابق.

50. ارسم الصيغة البنائية لمجموعة الألكيل المقابلة لكل من الألكانات الآتية، واكتب اسمها:

a. الميثان
b. البيوتان
c. الأوكتان

51. كيف يختلف بناء الألكان الحلقي عن بناء الألكانات المستقيمة أو المتفرعة؟

إتقان حل المسائل

52. ارسم الصيغ البنائية للمركبات الآتية:

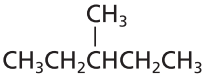
a. هبتان
b. 2- ميثيل هكسان
c. 3،2- ثنائي ميثيل بنتان
d. 2،2-ثنائي ميثيل بروبان

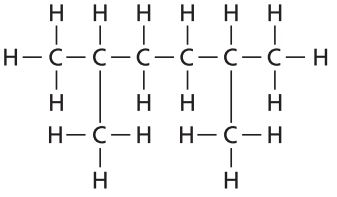
53. ارسم الصيغ البنائية المكثفة للمركبات الآتية:

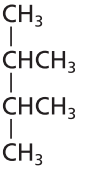
a. 2،1- ثنائي ميثيل بروبان حلقي
b. 1،1- ثنائي إيثيل-2-ميثيل بنتان حلقي

54. سمِّ المركب المُمَثل بكل من الصيغ البنائية الآتية وفقًا لنظام IUPAC:

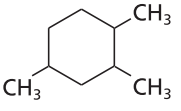
a. $CH_3CH_2CH_2CH_2CH_3$

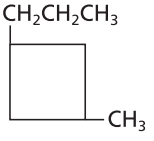
b. 

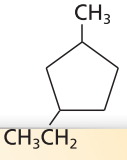
c. 

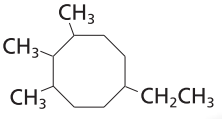
d. 

55. سمّ المركبات المُمَثَّلة بكل من الصيغ البنائية الآتية:

a. 

c. 

b. 

d. 

2-3

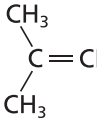
إتقان المفاهيم

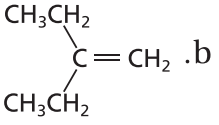
56. فسّر كيف تختلف الألكينات عن الألكانات، وكيف تختلف الألكاينات عن كلٍّ من الألكينات والألكانات؟

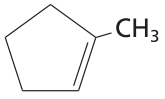
57. يُبنى اسم الهيدروكربون على أساس اسم السلسلة الرئيسة. فسِّر كيف تختلف طريقة تحديد السلسلة الرئيسة عند تسمية الألكينات عنها عند تسمية الألكانات؟

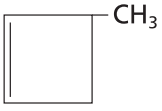
إتقان حل المسائل

58. سمّ المركبات المُمَثَّلة بالصيغ البنائية المكثفة الآتية:

a. 

b. 

c. 

d. 

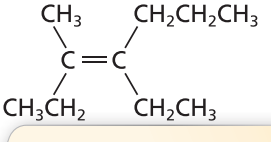
59. ارسم صيغًا بنائية مكثفة للمركبات الآتية:

a. 4،1- ثنائي إيثيل هكسين حلقي

b. 4،2- ثنائي ميثيل-1-أوكتين

c. 2،2-ثنائي ميثيل-3-هكساين

60. سمِّ المركب المُمَثل بالصيغة البنائية الآتية:



2-4

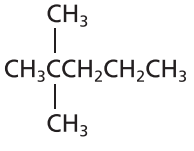
إتقان المفاهيم

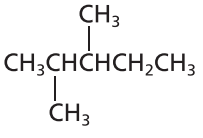
61. فيم تتشابه المتشكلات، وفيم تختلف؟

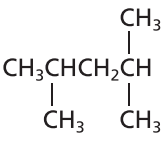
62. صف الاختلاف بين متشكلات سيس و ترانس من حيث الترتيب الهندسي.

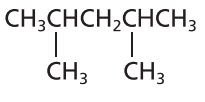
إتقان حل المسائل

63. عيّن زوج المتشكلات البنائية في مجموعة الصيغ البنائية المكثفة الآتية:

a. 

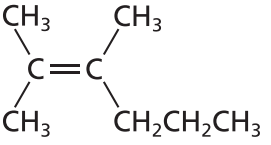
c. 

b. 

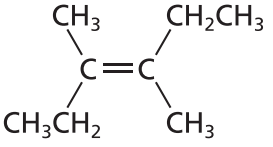
d. 

64. عيّن زوج المتشكلات الهندسية من بين الصيغ الآتية، مبينًا سبب اختيارك، ثم فسّر علاقة الصيغة الثالثة بالصيغتين a، و b:

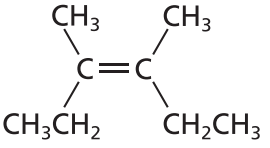
a.



b.



c.



65. ارسم صيغًا بنائية مكثفة لأربعة متشكلات مختلفة تحمل الصيغة الجزيئية C_4H_8.

66. ارسم متشكلين سيس وترانس للجزيء المُمَثل بالصيغة المكثفة الآتية، وميّز بينهما:

$$CH_3CH=CHCH_2CH_3$$

2-5

إتقان المفاهيم

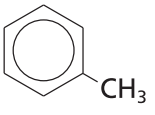
67. ما الخاصية البنائية التي تشترك فيها الهيدروكربونات الأروماتية جميعها؟

إتقان حل المسائل

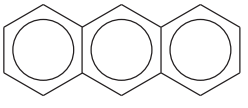
68. ارسم الصيغة البنائية لـ 2،1- ثنائي ميثيل بنزين.

69. سمِّ المركبات المُمَثلة بالصيغ البنائية الآتية:

a.



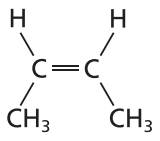
b.



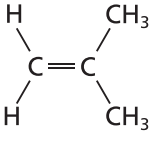
مراجعة عامة

70. هل تمثّل الصيغتان البنائيتان الآتيتان الجزيء نفسه؟ فسّر إجابتك.

a.



b.



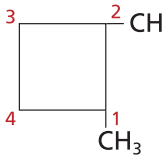
71. ما عدد ذرات الهيدروجين في جزيء ألكان يحتوي على تسع ذرات كربون؟ وما عددها في ألكين يحتوي على تسع ذرات كربون ورابطة ثنائية واحدة؟

72. إذا كانت الصيغة العامة للألكانات هي C_nH_{2n+2}، فحدد الصيغة العامة للألكانات الحلقية.

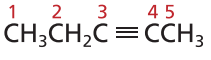
73. هل يُعد البنتان الحلقي متشكلًا للبنتان؟ فسِّر إجابتك.

74. حدّد ما إذا كان كل من الصيغ الآتية يُظهِر الترقيم الصحيح. فإذا لم يكن كذلك فأعد رسم الصيغ بالترقيم الصحيح:

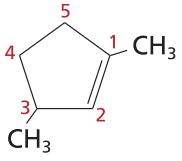
a.



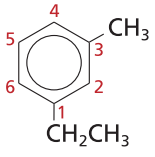
b.



c.



d.



75. أيهما تتوقع أن يكون له خواص فيزيائية متشابهة، زوج من المتشكلات البنائية أم زوج من المتشكلات الفراغية؟ فسِّر استنتاجك.

76. فسِّر لماذا نحتاج إلى الأرقام في أسماء الأيوباك للعديد من الألكينات والألكاينات المستقيمة، في حين أننا لسنا بحاجة إلى كتابتها في أسماء الألكانات المستقيمة؟

77. يُسمّى المركّب المحتوي على رابطتين ثنائيتين بالدايين، والصيغة أدناه تمثل المركب 4،1-بنتادايين. استعن بمعرفتك بأسماء الأيوباك على رسم شكل 3،1- بنتادايين.

$$H_2C=CH-CH_2-CH=CH_2$$

التفكير الناقد

78. حدِّد اثنين من الأسماء الآتية لا يمكن أن يكونا صحيحين، وارسم أشكال صيغها البنائية:

a. 2-إيثيل-2- بيوتين

b. 1،4- ثنائي ميثيل هكسين حلقي

c. 1،5- ثنائي ميثيل بنزين

79. تفسير التصورات العلمية ارسم بناء كيكولي للبنزين، وفسّر لماذا لا يمثّل الشكل الفعلي؟

80. فسر استعمل **الجدول 8-2** لكتابة عبارة تفسر العلاقة بين عدد ذرات الكربون ودرجة غليان الألكانات.

81. الرسم البياني ارسم بيانيًّا المعطيات في **الجدول 8-2**. وتوقع درجات الغليان والانصهار للألكانين المحتويين على 11 و 12 ذرة كربون، ثم ابحث عن القيم الحقيقية وقارنها بتوقعاتك.

الجدول 8-2 بيانات عن ألكانات مختارة

الاسم	درجة الانصهار (°C)	درجة الغليان (°C)
CH_4	- 182	- 162
C_2H_6	- 183	-89
C_3H_8	- 188	-42
C_4H_{10}	-138	-0.5
C_5H_{12}	-130	36
C_6H_{14}	-95	69
C_7H_{16}	-91	98
C_8H_{18}	-57	126
C_9H_{20}	-54	151
$C_{10}H_{22}$	-29	174

تقويم إضافي

الكتابة في الكيمياء

82. الجازولين كان المركب "رباعي إيثيل الرصاص" لسنوات كثيرة مكونًا أساسيًّا في الجازولين لمنع الفرقعة. ابحث عن شكل هذا المركب وتاريخ تطويره واستعماله والأسباب الكامنة وراء توقف استعماله. وهل ما زال يتخذ مادة تُضاف إلى البنزين في أماكن من العالم؟

83. العطور يتكون المِسك المستعمل في العطور من الكثير من المركبات التي تشمل ألكانات حلقية كبيرة. ابحث عن مصادر مركبات المِسك الطبيعي والصناعي في هذه المنتجات، واكتب تقريرًا موجزًا حولها.

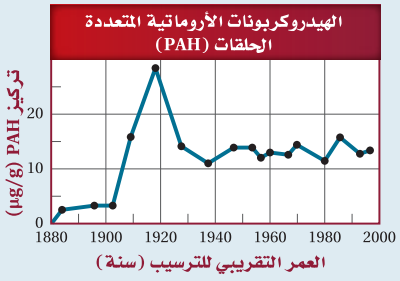
أسئلة المستندات

الهيدروكربونات الأروماتية المتعددة الحلقات

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 تأريخ الأجزاء المركزية منها باستعمال نوى مشعة لمعرفة متى ترسّب كل جزء.

الشكل 29-2 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 29-2

84. قارن بين معدلات تراكيز PAH قبل 1905م وبعد 1925م.

85. تنتج بعض النباتات والحيوانات مركبات PAH بكميات قليلة. أما معظمها فيأتي 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 تراكمي مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

1. أيّ مما يأتي لا يؤثر في معدل سرعة التفاعل؟

a. العوامل المساعدة (المحفزات)

b. مساحة سطح المتفاعلات

c. تركيز المتفاعلات

d. نشاط النواتج الكيميائي

2. 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. 0.014 mol /kg

c. 0.025 mol /kg

d. 0.00017 mol /kg

استعمل الجدول أدناه للإجابة عن الأسئلة من 3 إلى 5.

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

3. ما نوع الهيدروكربون الذي يتحول إلى غاز عند أقل درجة حرارة؟

a. ألكان

b. ألكين

c. ألكاين

d. أروماتي

4. 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}

5. ماذا تتوقع أن تكون درجة انصهار النونان؟

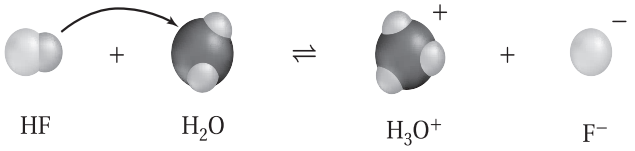
a. أعلى ممّا للأوكتان.

b. أقل ممّا للهبتان.

c. أعلى ممّا للديكان.

d. أقل ممّا للهكسان.

استعمل الرسم التوضيحي المبين أدناه للإجابة عن السؤال 6.



6. أي مادة في التفاعل الطردي هي حمض برونستد–لوري؟

a. HF

b. H_2O

c. H_3O^+

d. F^-

7. أي العبارات الآتية لا تصف ما يحدث عندما يغلي السائل؟

a. ترتفع درجة حرارة النظام.

b. يمتص النظام الطاقة.

c. يتساوى الضغط البخاري للسائل مع الضغط الجوي.

d. يدخل السائل في الحالة الغازية.

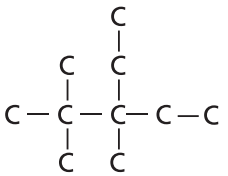
8. ما اسم المركب ذي الصيغة الهيكلية البنائية المبينة أدناه؟

a. 2، 2، 3 – ثلاثي ميثيل – 3 – إيثيل بنتان

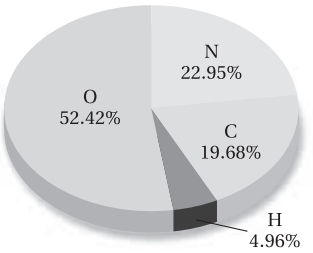
b. 3 – إيثيل – 3، 4، 4–ثلاثي ميثيل بنتان

c. 2 – بيوتيل – 2 – إيثيل بيوتان.

d. 3 – إيثيل – 2، 2، 3 – ثلاثي ميثيل بنتان.



استعمل الرسم التوضيحي أدناه للإجابة عن السؤالين 9 و 10.



9. ما صيغة هذا المركب؟

a. $C_2H_{20}N_4O_2$

b. $C_8H_2N_9O_{11}$

c. $C_{1.6}H_5N_{1.6}O_{3.3}$

d. CH_3NO_2

10. كم جرامًا من النيتروجين يوجد في 475g من هذا المركب؟

a. 33.9 g

b. 52.8 g

c. 67.9 g

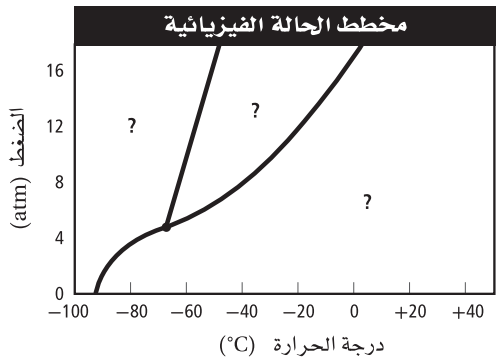
d. 109 g

أسئلة الإجابات القصيرة

11. التقطير رتب المركبات المدرجة في الجدول حسب الترتيب الذي تنفصل به خلال تقطيرها من الخليط.

درجات غليان الألكانات	
المركب	درجة الغليان °C
الهكسان	68.7
الميثان	– 261.7
الأوكتان	125.7
البيوتان	– 0.5
البروبان	– 42.1

استعمل الرسم البياني المبين أدناه للإجابة عن الاسئلة من 12 الى 14



12. ما حالة المادة الواقعة عند درجة حرارة 80 °C – وضغط 10 atm؟

13. ما درجة الحرارة والضغط عندما تكون المادة عند نقطتها الثلاثية؟

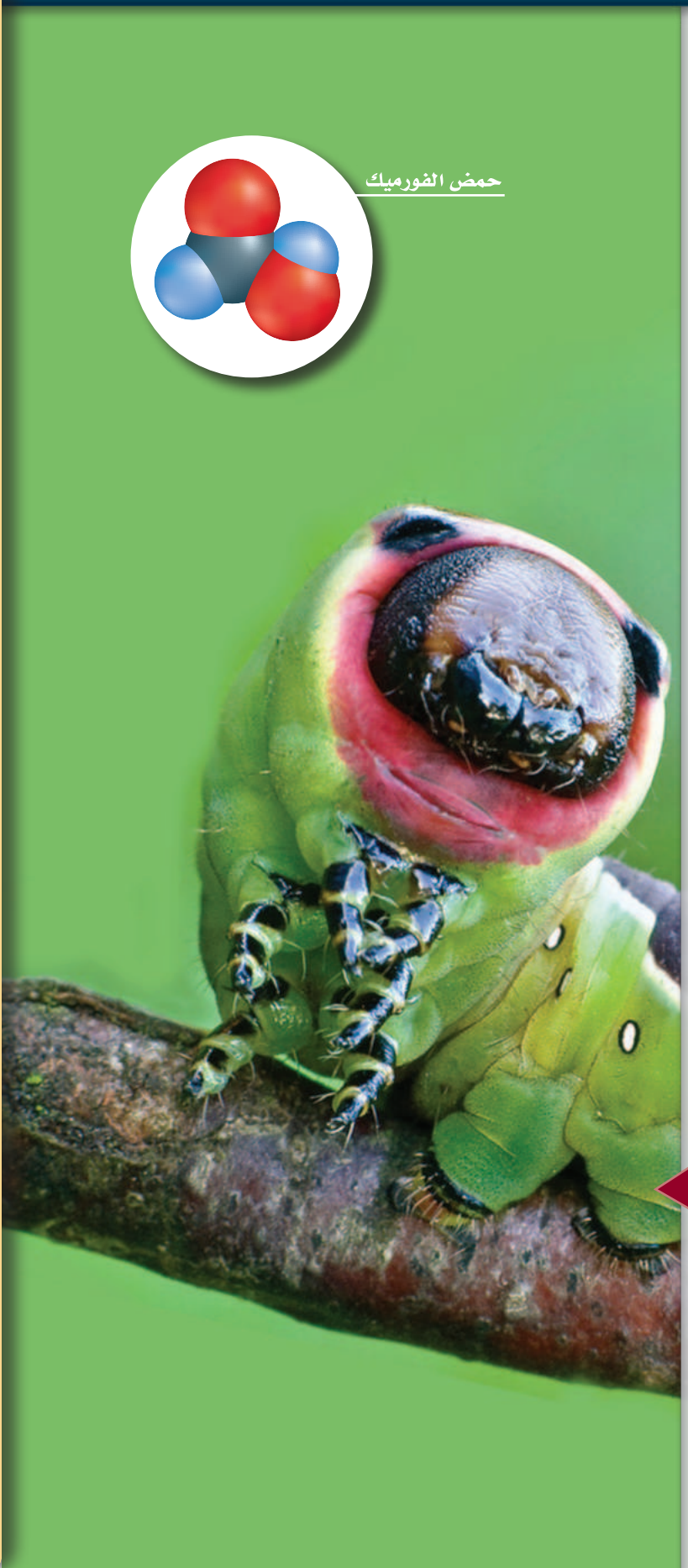
14. صف التغيرات التي تحدث في الترتيب البنائي عند زيادة الضغط من 8 atm إلى 16 atm، مع بقاء درجة الحرارة ثابتة عند 0 °C.

أسئلة الإجابات المفتوحة

15. فسّر السبب لماذا تكون الألكانات، مثل الهكسان والهكسان الحلقي، فعّالة في إذابة الشحم أو المواد الدهنية، على عكس الماء؟

الفصل 3

مشتقات المركبات الهيدروكربونية وتفاعلاتها
Substituted Hydrocarbons and Their Reactions



حمض الفورميك

الفكرة العامة يؤدي استبدال ذرات الهيدروجين في المركبات الهيدروكربونية بمجموعات وظيفية مختلفة إلى تكوين مركبات عضوية متنوعة.

3-1 هاليدات الألكيل وهاليدات الأريل

الفكرة الرئيسة يمكن أن تحل ذرة الهالوجين محل ذرة الهيدروجين في بعض المركبات الهيدروكربونية.

3-2 الكحولات، والإيثرات، والأمينات

الفكرة الرئيسة الأكسجين والنيتروجين من أكثر الذرات شيوعًا في المجموعات الوظيفية العضوية.

3-3 مركبات الكربونيل

الفكرة الرئيسة تحتوي مركبات الكربونيل على ذرة أكسجين ترتبط برابطة ثنائية مع الكربون في المجموعة الوظيفية.

3-4 تفاعلات أخرى للمركبات العضوية

الفكرة الرئيسة تصنيف التفاعلات الكيميائية للمركبات العضوية يجعل توقع نواتج هذه التفاعلات أكثر سهولة.

3-5 البوليمرات

الفكرة الرئيسة البوليمرات الصناعية مركبات عضوية كبيرة تتكون من تكرار وحدات مرتبطة معًا عن طريق تفاعلات الإضافة أو التكاثف.

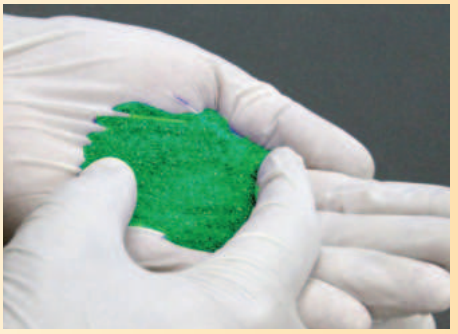
حقائق كيميائية

- تفرز يرقة فراشة العث Larva نافورة من حمض الفورميك عندما تتعرض لتهديد.
- تحتوي قرون استشعار الفراشة البالغة على مستقبلات كيميائية للكشف عن المركبات العضوية.

نشاط استهلالي

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 الروابط العرضية بين السلاسل الجزيئية على لزوجة المحلول.

استقصاء ما النسبة بين محلولي رابع بورات الصوديوم وكحول البولي فينيل؟ ما الذي تحصل عليه لو تغيرت هذه النسبة؟

بعد الانتهاء من دراسة هذا الفصل يتوقع من الطالب أن يكون قادرًا على:

- تصميم نماذج لمركبات عضوية حسب مجموعتها الوظيفية.
- التعرف على المجموعة الوظيفية وإعطاء أمثلة عليها.
- الربط بين الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمركب وصيغته البنائية.
- الربط بين اسم المركب وصيغته البنائية وفق نظام الأيوباك (IUPAC).
- وصف تفاعلات الاستبدال وأهميتها في الصناعات الكيميائية.
- التوقع بنواتج الأنواع المألوفة من التفاعلات العضوية.
- تصميم نماذج لمركبات عضوية حسب مجموعتها الوظيفية.
- التعرف على المجموعة الوظيفية وإعطاء أمثلة عليها.
- التمييز بين الأنواع المختلفة لتفاعلات المركبات العضوية.
- التمييز بين المركبات في ضوء التفاعلات المميزة لها.
- تصميم تجارب وبناء نماذج تتعلق بالمركبات العضوية وتفاعلاتها.
- توضيح المفاهيم المتعلقة بتصنيف تفاعلات البلمرة وتكوين البوليمرات.

الكيمياء عبر المواقع الإلكترونية

لمراجعة محتوى هذا الفصل ونشاطاته ارجع إلى الموقع: www.moe.gov.bh

3–1

تساؤلات جوهرية

- كيف نتعرّف على المجموعة الوظيفية في المركبات العضوية؟
- كيف تتغير خصائص الهيدروكربون عند استبدال ذرة الهيدروجين بذرة هالوجين؟

مراجعة المفردات

المركب الأليفاتي: مركب هيدروكربوني غير عطري، مثل الألكان، والألكين، والألكاين.

المفردات الجديدة

المجموعة الوظيفية

هاليدات الألكيل

هاليدات الأريل

البلاستيك

هاليدات الألكيل وهاليدات الأريل
Alkyl Halides and Aryl Halides

الفكرة الرئيسة **يمكن أن تحل ذرة الهالوجين محل ذرة الهيدروجين في بعض المركبات الهيدروكربونية.**

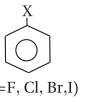
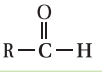
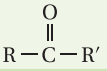
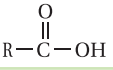
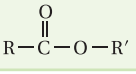
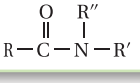
الربط مع الحياة إذا كنت تلعب ضمن فريق، فأي اللاعبين يمكن تغييرهم في أثناء اللعب؟ يمكن على سبيل المثال تغيير اللاعب الذي يشعر بالإرهاق. نلاحظ أن خواص الفريق قد تغيرت بعد عملية الاستبدال.

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.

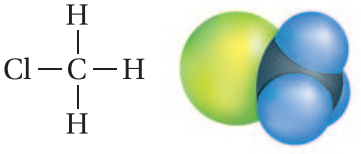
وتوجد ذرات هذه العناصر في المواد العضوية بوصفها جزءًا من المجموعات الوظيفية. **والمجموعة الوظيفية** في المركبات العضوية هي ذرة أو مجموعة من الذرات تتفاعل دائمًا بالطريقة نفسها. وعند إضافة المجموعات الوظيفية للمركبات الهيدروكربونية ينتج دائمًا مواد لها خواص فيزيائية وكيميائية مختلفة عن المركبات الهيدروكربونية الأصلية. المواد الظاهرة في **الشكل 1–3** – صناعية كانت أم طبيعية – جميعها تحتوي على مجموعات وظيفية تكسبها خواص فريدة تميزها، ومنها الرائحة مثلاً. ويبين **الجدول 1–3** 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 كلًّا 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 التي تحتويها، حتى لو لم تكن تعلمتها سابقًا.

الشكل 1-3 جميع هذه المواد تحتوي على الأقل على نوع واحد من المجموعات الوظيفية التي ستقوم بدراستها في هذا الفصل. فعلى سبيل المثال يكون للفواكه والأزهار رائحة زكية تميزها، ويعزى هذا إلى وجود جزيئات الإستر في هذه المواد.

الجدول 1-3	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؛ إذا حلت ذرة هالوجين محل أي ذرة هيدروجين من الألكان ينتج هاليد الألكيل. و**هاليدات الألكيل** مركبات عضوية تحتوي على ذرة هالوجين 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 2-3**.



كلوروميثان

الشكل 2-3 الكلوروميثان هو هاليد ألكيل ويُستعمل في صناعة المواد اللاصقة والمعروفة تجاريًّا بالسيليكون لتثبيت الأبواب والنوافذ.

هاليدات الأريل مركبات عضوية تتكون من هالوجين مرتبط مع حلقة البنزين أو مجموعة أروماتية أخرى. وتكتب الصيغة البنائية لهاليدات الأريل أولا برسم المركب الأروماتي، ثم استبدال ذرات الهيدروجين بذرات الهالوجين بشكل محدد، كما في **الشكل 3a-3**.

الربط مع **علوم الأرض** تستعمل هاليدات الألكيل على نطاق واسع في المبردات وأنظمة التكييف على شكل كلوروفلوروكربونات CFCs. وقد بقيت كذلك حتى أواخر الثمانينيات 1980 s. ومن المعروف أن CFC s يؤثر في طبقة الأوزون. وقد استبدل الهيدروفلوروكربون CFC s بـ (HFCs) ، حيث تحتوي فقط على ذرات الهيدروجين والفلور المرتبطة مع الكربون. ومن أكثر مركبات HFCs شيوعًا 2،1،1،1 – ثلاثي فلوروإيثان.

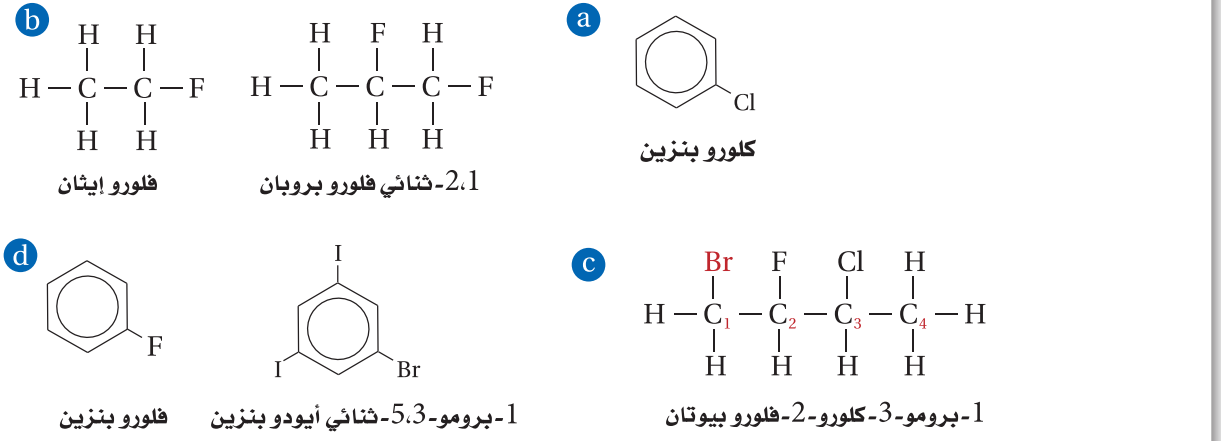
تسمية هاليدات الألكيل تسمى المركبات العضوية التي تحتوي على مجموعات وظيفية وفق طريقة IUPAC اعتمادًا على السلسلة الرئيسة للألكان. أما هاليدات الألكيل فيدل المقطع الأول على اسم الهالوجين مع إضافة حرف (و) في نهاية الاسم. لذا يكون المقطع الأول للفلور هو فلورو، والكلور هو كلورو، والبروم هو بروموـ واليود هو أيودو، كما هو مبين في **الشكل 3b-3**.

في حالة وجود أكثر من ذرة هالوجين في الجزيء نفسه ترتب أسماء الذرات أبجديًا. ويجب ترقيم السلسلة بحيث يعطى أقل رقم لموقع الذرة المرتبطة بذرة الهالوجين حسب الترتيب الهجائي باللغة الأنجليزية. لاحظ كيفية تسمية هاليدات الألكيل في **الشكل 3c-3**. وبالطريقة نفسها ترقم حلقة البنزين في هاليدات الأريل لإعطاء أقل رقم لكل موقع حسب الترتيب الهجائي، بحيث يكون أقل رقم للذرة التي تأتي أولًا، كما في **الشكل 3d-3**.

الكيمياء الخضراء

قضايا بيئية

كوّن بحثا استقصائيا حول هاليدات الألكيل وهاليدات الأريل وتأثيرها في البيئة.



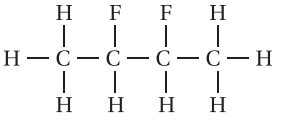
الشكل 3-3 تحتوي الجزيئات العضوية على مجموعات وظيفية، تسمى اعتمادًا على تركيب سلسلة الألكان، ووفق النظام الدوري للكيمياء البحتة والتطبيقية (IUPAC).

ماذا قرأت؟ **استنتج** لماذا يتم وضع أقل قيمة رقمية عند تسمية هاليد الأريل بدلاً من استعمال الترقيم العشوائي؟

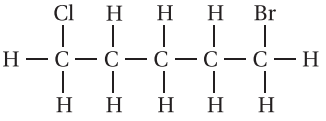
مسائل تدريبية

سم هاليد الألكيل أو الأريل التي لها الصيغ البنائية الآتية:

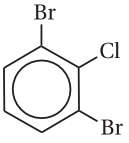
.1



.2



.3



خواص هاليدات الألكيل واستعمالاتها يبين **الجدول 2-3** 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 الكلور، والبروم، واليود. 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 بزدياد حجم ذرة الهالوجين.

ماذا قرأت؟ **اشرح** العلاقة بين عدد الإلكترونات في الهالوجين ودرجة الغليان.

الجدول 2-3 **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)

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 4-3** تطبيقات رباعي فلورو بولي إيثين (PTFE)؛ إذ يتم تصنيع هذا النوع من **البلاستيك** من غاز رابع فلورو إيثين. البلاستيك بوليمر يمكن تسخينه وتشكيله عندما يكون لينًا. وهناك بلاستيك آخر شائع يسمى الفينيل وهو كلوريد البولي فينيل (PVC) والذي 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؟

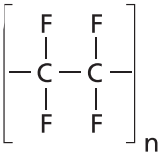
استخدم التكنولوجيا

النفط في البحرين ..

أول بئر بترول في الخليج العربي اكتشفت في البحرين أسفل جبل الدخان بتاريخ 16 أكتوبر 1931.

ابحث في الانترنت عن أهم مراحل التطور التي شهدتها الأنشطة البترولية في البحرين منذ اكتشاف النفط وحتى الآن.

الشكل 3-4 النانوتكنولوجيا – استبدال على مستوى الذرات: بولي رباعي فلورو إيثين (PTFE) مكون من مئات الوحدات. ويوفر PTFE سطحًا غير لاصق لكثير من أدوات المطبخ، ومن ذلك أدوات الخبز.



تقويم الدرس 3-1

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. 1 – برومو – 4- كلورو بنزين

6. **عرّف** المجموعة الوظيفية، وسم المجموعة الوظيفية في كل من الصيغ البنائية الآتية، ثم سمّ 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.

3–2

تساؤلات جوهرية

- كيف نتعرّف على المجموعة الوظيفية التي تميز الكحولات والإيثرات والأمينات؟
- كيف ترسم الصيغة البنائية لكل من الكحول والإيثر والأمين؟
- ما أهم خواص واستعمالات الكحولات والإيثرات والأمينات؟
- ما المقصود بتفاعلات الاستبدال؟

مراجعة المفردات

السوائل المتمازجة تصف سائلين يذوب كل منهما في الآخر..

المفردات الجديدة

مجموعة الهيدروكسيل

الكحولات

الإيثرات

الأمينات

تفاعلات الاستبدال

الهلجنة

الكحولات والإيثرات والأمينات
Alcohols, Ethers, and Amines

الفكرة الرئيسة **الأكسجين والنيتروجين هما أكثر الذرات في المجموعات الوظيفية للمركبات 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؟

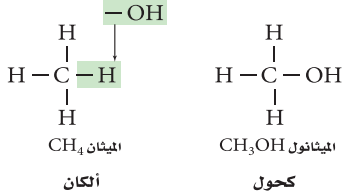
الكحولات Alcohols

كثير من المركبات العضوية تحتوي على ذرة أكسجين ترتبط مع ذرة كربون. ولأن ذرة الأكسجين تحتوي في مدارها الأخير على 6 إلكترونات، فإنه 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. والرابطة بين مجموعة الأكسجين- والهيدروجين وذرة الكربون رابطة تساهمية، وتسمى **مجموعة الهيدروكسيل** (OH–). وتسمى المركبات العضوية الناتجة عن حلول مجموعة هيدروكسيل محل ذرة هيدروجين **الكحولات**. ويبين الجدول **3–3a** الصيغة العامة للكحولات ROH. كما يوضح أيضا العلاقة بين الألكانات البسيطة، مثل الميثان، وأبسط الكحولات وهو الميثانول.

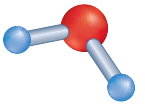
ويعد الإيثانول وثاني أكسيد الكربون نواتج عملية تخمر السكر كالموجود في العنب، وعجين الخبز، حيث يوجد في المنتجات الطبية بسبب فاعليته بوصفه مطهرًا. كما يستعمل لتعقيم الجلد قبل إعطاء الحقن، ويمكن إضافته إلى البنزين، كما يعد مادة أولية مهمة لتحضير مركبات عضوية أخرى أكثر تعقيدًا.

يبين **الشكل 5–3** 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.

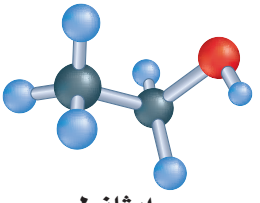
الجدول 3-3a

الكحولات	
الصيغة العامة	أبسط الكحولات وأبسط الألكانات
ROH R تمثل سلسلة أو حلقة الكربون المرتبطة مع المجموعة الوظيفية.	 CH_4 الميثان — ألكان CH_3OH الميثانول — كحول

الشكل 3-5 الزاوية بين رابطتي الأكسجين التساهمية لها القياس نفسه تقريبا في جزيئي الماء والإيثانول.

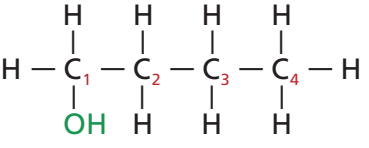


ماء

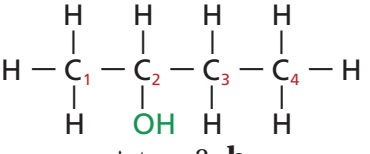


إيثانول

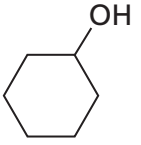
الشكل 3-6 تعتمد تسمية الكحولات على أسماء الألكانات المقابلة لها.



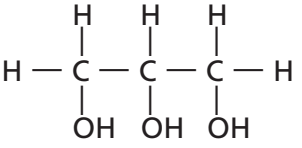
a. 1- بيوتانول



b. 2- بيوتانول



c. هكسانول حلقي



d. 1،2،3- ثلاثي هيدروكسيل البروبان (الجليسرول)

(1،2،3- بروبان ترايول)

ويستطيع الكحول أن يمتزج تماما مع الماء بسبب قطبيته ووجود الرابطة الهيدروجينية. وفي الحقيقة يصبح من الصعب فصل الكحول عن الماء بشكل كامل بعد مزجهما. ولذلك تستعمل عملية التقطير لفصل الكحول عن الماء، وعلى الرغم من ذلك يبقى حوالي 5% من الماء في مزيج الإيثانول – والماء بعد نهاية هذه العملية تمامًا، وبسبب قطبية مجموعة الهيدروكسيل في الكحول فإنه يعد مذيبًا جيدًا للمواد العضوية القطبية. فعلى سبيل المثال، يعد الميثانول أبسط الكحولات، وهو شائع الاستعمال في الصناعة بوصفه مذيبًا في بعض الدهانات، كما يستعمل 2- بيوتانول في بعض الأصباغ والورنيش.

لاحظ أن اسم الكحولات يعتمد على اسم الألكانات 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. تعتمد تسمية الكحولات أساسًا على عدد ذرات الكربون في الألكان، وتعتمد قواعد التسمية العالمية الأيوباك IUPAC على السلسلة أو الحلقة الأصلية أولا، ثم إضافة المقطع (ول) إلى نهاية اسم الألكان ليمثل مجموعة الهيدروكسيل. وفي الكحولات التي تتكون من ثلاث ذرات كربون أو أكثر هناك أكثر من موقع لمجموعة الهيدروكسيل. لذلك يجب الإشارة إلى الموقع برقم يضاف إلى الاسم في البداية، كما هو مبين في **الشكل 3-6a**، و **الشكل 3-6b**.

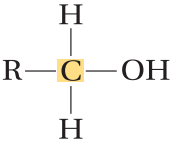
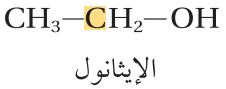
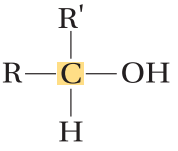
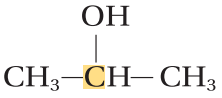
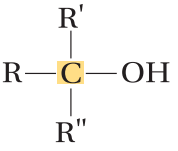
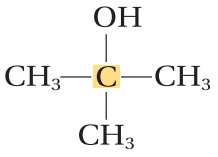
ماذا قرأت؟ فسّر لماذا لا تكون الأسماء 3- بيوتانول، و4- بيوتانول أسماء صحيحة للمواد؟

والآن انظر إلى **الشكل 3-6c** تتكون حلقة المركب من 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 هنا ليس ضروريًا لأن جميع ذرات الكربون في الحلقة متكافئة. لذا يسمى هذا المركب هكسانول 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 الهيدروكسيل قبل الاسم، ثم يضاف اسم الألكان والمقطع (ول) في نهاية الاسم.

يبين **الشكل 3-6d** جزيء 1،2،3 – ثلاثي هيدروكسيل البروبان أو 1،2،3 بروبان ترايول واسمه الشائع الجليسرول. وهو كحول يحتوي على أكثر من مجموعة هيدروكسيل. والجليسرول يستعمل غالبًا مانعًا لتجمد الوقود في الطائرات.

ماذا قرأت؟ فسّر لماذا لم يتم ترقيم سلسلة ذرات الكربون عند تسمية المركب في **الشكل 3-6c** ؟

الجدول 3-3-b	أقسام الكحولات	
نوع الكحول	الصيغة العامة	أمثلة لأبسط الكحولات
أوّلي		 الإيثانول
ثانوي		 2- بروبانول (ايزوبروبانول)
ثالثي		 2- ميثيل 2-بروبانول (البيوتانول الثالثي)

أقسام الكحولات:

تنقسم الكحولات البسيطة (أحادية الهيدروكسيل) إلى ثلاثة أقسام: كحول أوّلي أو ثانوي أو ثالثيّ. وهو تقسيم يعتمد على عدد مجموعات الألكيل (R–) التي ترتبط بذرة الكربون الوظيفية، وهي الذرة التي تحمل مجموعة الهيدروكسيل (OH–). الجدول **3–3–b** يوضح الصيغ العامة وأبسط أمثلة عن الأنواع الثلاثة للكحولات: فإذا ارتبطت ذرة الكربون الوظيفية (المظللة باللون الأصفر) بمجموعة ألكيل واحدة، سمّي الكحول بالأوّلي، ويسمّى بالثانوي إذا ارتبطت الكربون الوظيفية بمجموعتي ألكيل. أمّا إذا ارتبطت بثلاث مجموعات ألكيل فيسمّى الكحول بالثالثي. الميثانول هو أبسط كحول أوليّ وتلاحظ أن ذرة هيدروجين حلت محل المجموعة R.

ماذا قرأت؟ **وضّح** مع التفسير ما نوع كل من 1-بيوتانول و2- بيوتانول وهكسانول حلقي.

الإيثرات Ethers

الإيثرات مجموعة أخرى من المركبات العضوية يرتبط فيها الأكسجين مع الكربون. **والإيثرات** مركبات عضوية تحتوي 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 التشابه بين الميثانول وثنائي ميثيل إيثر، كما هو مبين في **الجدول 4-3**.

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، استعمل المصطلح إيثر ليدل على المواد العضوية التي لها سلسلتان من الهيدروكربونات المرتبطة مع ذرة أكسجين واحدة.

المفردات

المفردات الأكاديمية

الرابطة (Bond)

للاتصال، والربط، والضم.

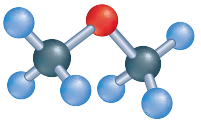
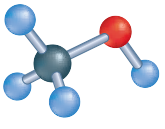
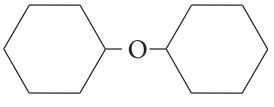
ترتبط ذرة الأكسجين ذرتين من الكربون لتكون الإيثر.

ولعدم وجود ذرات هيدروجين مرتبطة مع ذرة الأكسجين في الإيثرات، لا تكوّن جزيئاتها روابط هيدروجينية بعضها مع بعض. ولذلك فالإيثرات عمومًا شديدة التطاير، ودرجة غليانها منخفضة مقارنة بالكحولات التي لها نفس الحجم والكتلة. كما أن الإيثرات قليلة الذوبان في الماء مقارنة بالكحولات لعدم وجود روابط هيدروجينية بين جزيئاتها. ومع ذلك يمكن لذرة الأكسجين أن تعمل بمثابة مستقبل لذرات الهيدروجين من جزيئات الماء.

ماذا قرأت؟ استنتج لماذا لا يفضل استعمال ثنائي الإيثيل إيثر مادةً مخدرة؟

لتسمية الإيثرات التي لها سلسلتان متطابقتان من الألكيل ترتبط مع الأكسجين، يذكر اسم الألكيل أولا، ثم يضاف كلمة إيثر. ويبين **الجدول 4-3** أيضًا التراكيب والأسماء لمركبين متماثلين من الإيثرات، هما ثنائي بروبيل إيثر، وثنائي هكسيل حلقي إيثر. أما إذا كانت مجموعات الألكيل مختلفة فعندها ترتب هجائيًّا، ثم يتبع الاسم بكلمة إيثر. ويحتوي **الجدول 4-3** كذلك على مثالين من الإيثرات، إيثيل بيوتيل إيثر، وإيثيل ميثيل إيثر.

الجدول 4-3

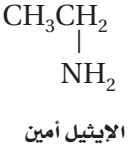
الإيثرات	
الصيغة العامة	ثنائي الميثيل إيثر والميثانول
ROR' حيث تمثل R و R′ سلسلة أو حلقة مرتبطة مع المجموعة الوظيفية	 ثنائي ميثيل إيثر درجة الغليان = −25°C  ميثانول درجة الغليان = 65°C
أمثلة على الإيثرات	
$CH_3CH_2CH_2-O-CH_2CH_2CH_3$ ثنائي بروبيل إيثر $CH_3CH_2-O-CH_3$ إيثيل ميثيل إيثر	 ثنائي هكسيل حلقي إيثر $CH_3CH_2-O-CH_2CH_2CH_2CH_3$ إيثيل بيوتيل إيثر

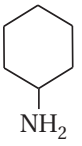
الجدول 5-3 — **الأمينات**

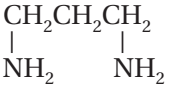
الصيغة العامة	أقسام الأمينات		
RNH_2 حيث تمثل R سلسلة كربون أو حلقة مرتبطة مع مجموعة وظيفية (يمكن استبدال ذرتي الهيدروجين بسلسلتي كربون R)	$R-NH_2$ $NH_2-CH_2-CH_2-CH_3$ 1- بروبان أمين (أمين أولي)	$R-NH-R$ $CH_3-CH_2-NH-CH_3$ N- ميثيل إيثان أمين (إيثيل ميثيل أمين) (أمين ثانوي)	$R-\underset{\displaystyle R}{\overset{\displaystyle R}{\underset{\displaystyle |}{\overset{\displaystyle |}{N}}}}-R$ $CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{\displaystyle |}{N}}-CH_3$ $CH_3-CH-CH_2-CH_3$ N،N- ثنائي ميثيل -2- بيوتان أمين (2- بيوتيل ثنائي ميثيل أمين) (أمين ثالثي)

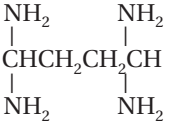
أمثلة على الأمينات

الأنيلين
(أمينو بنزين)


الإيثيل أمين
(أمينو إيثان)


هكسيل أمين حلقي
(أمينو هكسان حلقي)


3،1-ثنائي امينو بروبان


4،4،1،1-، رباعي امينو بيوتان

الأمينات Amines

تحتوي **الأمينات** على ذرات نيتروجين مرتبطة مع ذرات الكربون في سلاسل أليفاتية أو حلقات أروماتية، ولها الصيغة العامة RNH_2.

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 كما هو مبين في **الجدول 5-3**.

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 5-3**. وفي التسمية المعتمدة وفق "الأيوباك" للأمينات البسيطة، يتم تغيير اسم الألكان في السلسلة الأطول إلى "ألكان أمين" ثمّ يحدَّد موقع مجموعة الأمين: مثل "1- بروبان أمين". وفي حال الأمينات الثانوية أو الثالثية، فيُشار إلى موقع مجموعة الألكيل R- بحرف "N" قبل اسم الألكيل كما هو موضح في **الجدول 5-3**. 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 مهمًّا 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 للكائنات الميتة، والكائنات المتحللة. وغالبًا ما تستعمل الكلاب البوليسية المدربة لتحديد مكان الرفات البشرية باستعمال هذه الروائح المميزة بعد الكوارث، مثل التسونامي والأعاصير، والزلازل، كما أنها تستعمل في تحقيقات الطب الجنائي.

ماذا قرأت؟ **وضّح** مع التفسير نوع الأمينات الأحادية المذكورة في **الجدول 5-3**.

تفاعلات الاستبدال Substitution Reactions

من أين يأتي التنوع الهائل للمركبات العضوية؟ يعد البترول المصدر الأول لجميع المركبات العضوية الصناعية. يوضح **الشكل 7-3** 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 6-3**. 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 6-3** أحد الأمثلة على عملية الهلجنة؛ إذ يتم استبدال ذرة هيدروجين بذرة كلور في مركب الإيثان. ويبين **الشكل 8-3** نوعًا آخر من الهيدروكربونات المهلجنة يسمى الهالوثان (2- بروموـ 2 – كلوروـ 1،1،1 – ثلاثي فلورو إيثان)، والذي استعمل أول مرة في التخدير في خمسينيات القرن العشرين.

ويبين **الجدول 6-3** 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 7-3 عمال حقول النفط يقومون بالتنقيب عن البترول. و يمكن استخراج ما يزيد على 100 ألف برميل يوميًّا من بئر النفط الواحد.

اشرح العلاقة بين النفط والمركبات العضوية الصناعية.

الجدول 6-3 تفاعلات الاستبدال

تفاعلات الاستبدال العامة لتكوين هاليدات الألكيل $R{-}CH_3 + X_2 \rightarrow R{-}CH_2X + HX$ حيث X فلور، أو كلور، أو بروم	مثال على تفاعلات الاستبدال (الهلجنة) $C_2H_6 + Cl_2 \rightarrow C_2H_5Cl + HCl$ إيثان كلورو إيثان
تفاعلات تكوين الكحولات $R{-}X + OH^- \rightarrow R{-}OH + X^-$ كحول هاليد الألكيل	مثال على تفاعلات تكوين الكحولات $CH_3CH_2Cl + OH^- \rightarrow CH_3CH_2OH + Cl^-$ إيثانول كلوروإيثان
تفاعلات تكوين الأمينات $R{-}X + NH_3 \rightarrow R{-}NH_2 + HX$ أمين هاليد الألكيل	مثال على تفاعلات تكوين الأمينات $CH_3(CH_2)_6CH_2Br + NH_3 \rightarrow CH_3(CH_2)_6CH_2NH_2 + HBr$ أوكتيل أمين 1-بروموأوكتان

الشكل 3-8 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 6-3** المعادلة العامة لتفاعل هاليد ألكيل مع محلول قاعدي ومثالاً 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 6-3**.

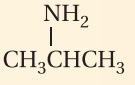
تقويم الدرس 3-2

الخلاصة

- تتكون الكحولات، والإيثرات، والأمينات عندما تحل مجموعة وظيفية معينة محل ذرة هيدروجين في المركبات الهيدروكربونية.
- لأن الكحولات تكون روابط هيدروجينية بسهولة فإن درجة 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

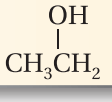
b. 3،1 - ثنائي هيدروكسيل بنتان حلقي

c. ثنائي بروبيل إيثر

d. 2،1 - بروبان ثنائي أمين

11. ناقش الخواص الفيزيائية للكحولات، والإيثرات، والأمينات، ثم أعط استعمالاً واحدًا لكلٍ منها.

12. حلل - اعتمادًا على الصيغة البنائية أدناه - أي المركبين أكثر ذوبانية في الماء؟ فسّر إجابتك.



CH_3-O-CH_3

3–3

تساؤلات جوهرية

- ما هي الصيغ التي تحدّد مختلف مركبات الكربونيل؟
- ما 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

تفاعلات التكاثف

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 بمذاق الفاكهة الحقيقية. تحتوي الكثير من الفواكه الطبيعية – ومنها الفراولة – على الكثير من المركبات العضوية التي يعطي وجودها نكهة الفواكه المميزة. وتوجد مجموعة الكربونيل في أنواع كثيرة من النكهات الصناعية الشائعة.

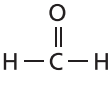
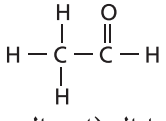
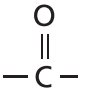
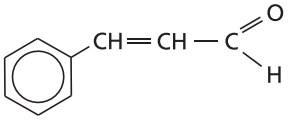
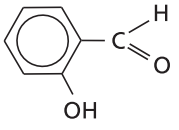
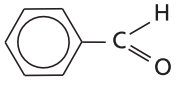
المركبات العضوية التي تحتوي على مجموعة الكربونيل
Organic Compounds Containing the Carbonyl Group

يسمى الترتيب الذي ترتبط فيه ذرة الأكسجين برابطة ثنائية مع ذرة كربون **مجموعة الكربونيل**. وهذه المجموعة هي المجموعة الوظيفية في المركبات العضوية المعروفة باسم الألدهيدات والكيتونات.

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 مجموعة الأريل أو ذرة الهيدروجين، كما هو مبين في **الجدول 7–3**.

تسمى الألدهيدات بإضافة اللاحقة (ال) إلى نهاية اسم الألكان الذي له عدد ذرات الكربون نفسه. وهكذا يحتوي المركب ميثانال، كما هو مبين في **الجدول 7–3**، 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 7-3

الألدهيدات	
الصيغة العامة	أمثلة على الألدهيدات
RCHO حيث R تمثل مجموعة ألكيل أو مجموعة أريل أو ذرة هيدروجين	 ميثانال (فورمالدهيد)
	 إيثانال (اسيتالدهيد)
 مجموعة الكربونيل	 سيناماldهيد
	 ساليسالدهيد
	 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 غلياتها 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 9-3**. 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. يعد كل من بنزالدهيد والساليسالدهيد، الموضح تركيبهما في **الجدول 7-3** نوعين من المركبات التي تعطي اللوز نكهته الطبيعية. أما رائحة ونكهة القرفة – وهي نوع من التوابل التي تستخرج من لحاء شجرة استوائية – فيمكن إنتاجها بكميات كبيرة بواسطة السيناماldehيد الموضح تركيبه في **الجدول 7-3**.

الشكل 9-3 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.

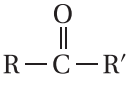
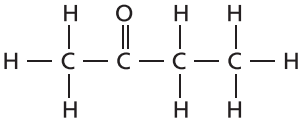
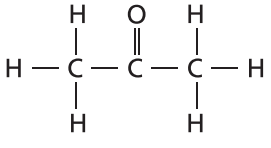
ماذا قرأت؟ **حدد** اثنين من استعمالات الألدهيدات.

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 ولها الصيغة العامة الموضحة في **الجدول 8-3**. 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 8-3** أيضًا.

يتم 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 8-3**.

تشترك 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 تكون روابط هيدروجينية مع جزيئات الماء. ولذلك فالكيتونات قابلة للذوبان في الماء إلى حد ما، باستثناء الأسيتون الذي يذوب بشكل جيد في الماء في درجة حرارة الغرفة.

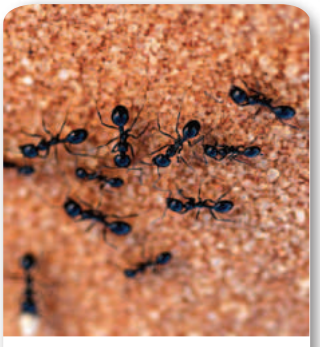
الجدول 8-3

الكيتونات	
الصيغة العامة	أمثلة على الكيتونات
 حيث تمثل R و R′ سلاسل أو حلقات كربون مرتبطة مع مجموعات وظيفية	 2- بيوتانون (إيثيل ميثيل 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 9-3**. ويبين المخطط في **الجدول 9-3** حمضًا مألوفا، ألا وهو حمض الإيثانويك، وهو الحمض الموجود في الخل. وعلى الرغم من أن الكثير من الأحماض الكربوكسيلية لها أسماء شائعة، إلا أن الاسم حسب طريقة التسمية الدولية يتكون من إضافة المقطع (ويك) إلى نهاية اسم الألكان وإضافة كلمة حمض في بداية الاسم. فمثلًا اسم حمض الأسيتيك حسب الطريقة الدولية هو حمض الإيثانويك.

غالبًا ما تكتب مجموعة الكربوكسيل على 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 9-3**. واسمه حسب 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 10-3**.



الشكل 10-3 يدافع النمل اللاسع عن نفسه بإفراز سم يحتوي على حمض الفورميك.

حدد اسمًا آخر لحمض الفورميك.

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. يتأين حمض الإيثانويك كالآتي:

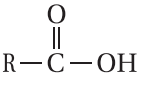
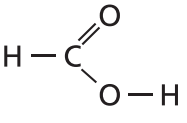
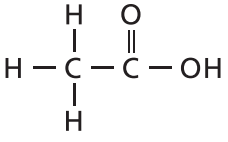
$$CH_3COOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons CH_3COO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$$

تتأين الأحماض الكربوكسيلية في المحاليل المائية لأن ذرتي الأكسجين ذات كهروسالبية عالية وتجذب الإلكترونات بعيدًا عن ذرة الهيدروجين في 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.

لبعض 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؟

الجدول 9-3

الأحماض الكربوكسيلية		
الصيغة العامة	أمثلة على الأحماض الكربوكسيلية	
		
R تمثل سلسة أو حلقة من الكربون أو ذرة هيدروجين	حمض الميثانويك (حمض الفورميك)	حمض الإيثانويك (حمض الأسيتيك)

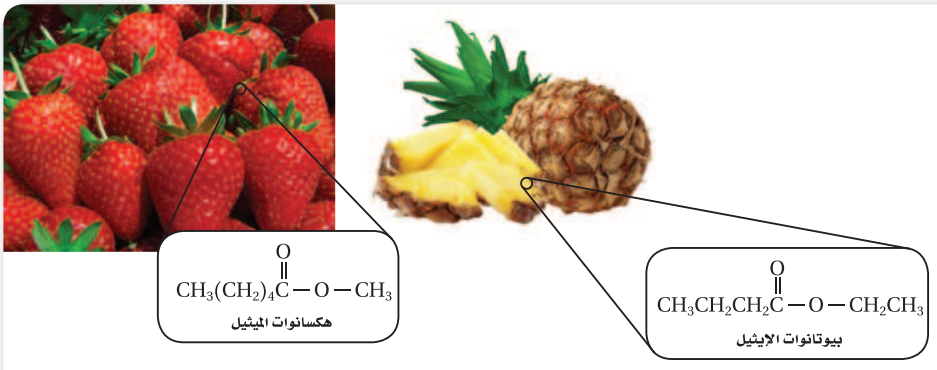
الجدول 10-3	الإسترات
الصيغة العامة	مثال على الإستر
$R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O-R'$ مجموعة إستر	مجموعة بروبيل — مجموعة إيثانوات $CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O-CH_2CH_2CH_3$ مجموعة إستر إيثانوات (أسيتات) البروبيل

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. واثنين من أكثر الفئات شيوعًا هما الإستر والأميدات.

الإسترات مركبات عضوية تحتوي على مجموعة كربوكسيل حلت فيها مجموعة ألكيل محل ذرة الهيدروجين الموجودة في مجموعة الهيدروكسيل، كما في الترتيب المبين في **الجدول 10-3**. يتم تسمية الإسترات بكتابة اسم الحمض الكربوكسيلي واستعمال المقطع (وات) بدل المقطع (ويك) متبوعًا بالألكيل، كما هو موضح في المثال المبين في **الجدول 10-3**. لاحظ كيف أن اسم البروبيل اشتق 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 11-3**. 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 11-3 تعد الإسترات مصدر روائح وطعم الكثير من الفواكه؛ إذ يعزى طعم الفراولة إلى هكسانوات الميثيل، وطعم الأناناس لمركب بيوتانوات الإيثيل. ويعزى مصدر الروائح الطبيعية إلى خليط من الإسترات والألدهيدات والكحولات.

المختبر الصغير

تحضير الإستر

كيف تُميز الإستر؟

خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. حضر حمامًا مائيًّا ساخنًا باضافة 150ml من ماء الصنبور إلى كأس مدرجة سعتها 250ml، وضع الكأس على سخان كهربائي، واضبط حرارته عند الوسط.
3. استعمل الميزان وورقة لوزن 1.5g من حمض السلسليك. ضع حمض السلسليك 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 الحروق، 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 حامل الأنابيب لنقل أنبوب الاختبار من الحمام المائي إلى حامل الأنابيب لاستخدامه لاحقًا.
5. ضع كرات قطنية في طبق بتري حتى المنتصف. أفرغ محتويات أنبوب الاختبار فوق الكرات القطنية في طبق بتري. سجل 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 مركبات عضوية تنتج عن استبدال مجموعة هيدروكسيل OH – في الحمض الكربوكسيلي بذرة نيتروجين مرتبطة مع ذرات أخرى. ويوضح **الجدول 11-3** الصيغة العامة للأميدات.

تسمى الأميدات بكتابة اسم الألكان ثم إضافة المقطع أميد في نهاية الاسم. لذا يكون اسم الأميد الظاهر في **الجدول 11-3** هو إيثان أميد، ولكنه يعرف بالاسم الشائع أسيتاميد، المشتق من الاسم الشائع لحمض الإيثانويك.

ماذا قرأت؟ **سمّ** ثلاثة أنواع من الطعام الذي يحتوي على حمض الأسيتيك (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 لتركيب الأسيتامينوفين الظاهر في **الجدول 11-3**، ستلاحظ أن مجموعة الأميد (–NH–) تربط مجموعة كربونيل مع مجموعة أروماتية.

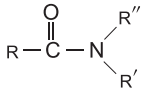
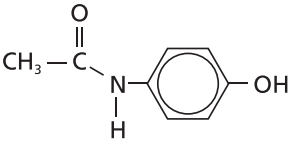
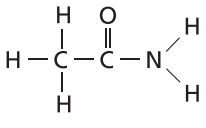
ويسمى أحد الأميدات المهمة كاراميد NH_2CONH_2، والاسم الأكثر شيوعًا هو اليوريا. واليوريا هي آخر نواتج عملية هضم البروتينات في الثدييات. وتوجد في الدم، والمرارة الصفراء، والحليب، وعرق الثدييات. عند تحطم البروتينات تنتقل منها مجموعات الأمين NH_2–، ثم تتحول إلى أمونيا NH_3، وهي مادة سامة للجسم، ويقوم الكبد بتحويلها إلى مادة اليوريا غير السامة. ويتم التخلص من اليوريا في الدم بواسطة الكلى وخروجها مع البول.

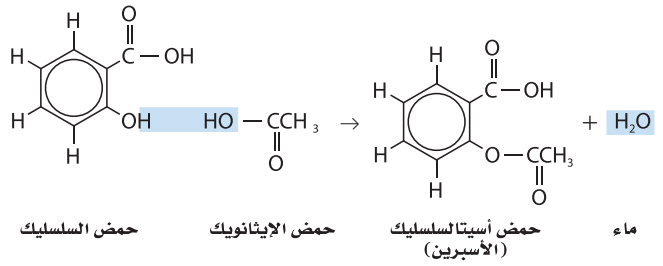
وبسبب احتواء اليوريا على نسبة عالية من النيتروجين وسهولة تحولها إلى أمونيا في التربة فإنها تستعمل في صناعة الأسمدة الزراعية. كما تستعمل اليوريا غذاء للماشية والأغنام؛ إذ تقوم هذه الحيوانات باستعمال اليوريا لإنتاج البروتينات في أجسامها.

ماذا قرأت؟ **حدّد** أحد الأميدات الموجودة في جسم الإنسان.

الجدول 11-3

الأميدات

الصيغة العامة	أمثلة على أحماض الأميدات	
 مجموعة الأميد R– مجموعة ألكيل أو أريل أو هيدروجين	 (أسيتامينوفين)	 الإيثان أميد (أسيتاميد)



الشكل 12-3 لتحضير الأسبرين يتحد جزءان عضويان من خلال تفاعل التكاثف لتكوين جزيء أكبر.

تفاعلات التكاثف 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 12-3**. ويعرف هذا النوع من التفاعل بتفاعل التكاثف.

في **تفاعل التكاثف** يتم ارتباط اثنين من جزيئات صغيرة لمركبات عضوية لتكوين جزيء آخر أكثر تعقيدًا. يرافق هذه العملية فقدان جزيء صغير مثل الماء. وينتج هذا الجزيء عادة من كلا الجزيئين المتحدين. وتعد تفاعلات التكاثف تفاعلات حذف بحيث تتكون رابطة بين ذرتين لم تكونا مرتبطتين سابقًا.

ومن أكثر تفاعلات التكاثف شيوعًا تلك التي تتضمن الجمع بين الحمض الكربوكسيلي مع جزيئات لمركبات عضوية أخرى. والطريقة الشائعة لتحضير الإستر تتم بواسطة تفاعلات التكاثف بين الأحماض الكربوكسيلية والكحول. ويمكن تمثيل هذا التفاعل بالمعادلة الكيميائية العامة الآتية:

$$RCOOH + R'OH \rightarrow RCOOR' + H_2O$$

المختبر الافتراضي

استخدم أحد برامج المحاكاة مثل "كروكودايل" لتصميم تجربة تكوين الأستر والتي تعتبر من التجارب البطيئة. تابع سير التفاعل بقياس كمية الحمض الكربوكسيلي المتبقية.

تقويم الدرس 3-3

الخلاصة

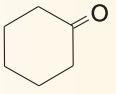
- مركبات الكربونيل مركبات عضوية تحتوي على مجموعة C=O.
- هناك خمسة أنواع مهمة من المركبات العضوية تحتوي على مركبات الكربونيل، هي الألدهيدات، والكيتونات، والأحماض الكربوكسيلية، والإسترات، والأميدات.

13. الفكرة الرئيسة صنف كل مركب من مركبات الكربونيل الآتية إلى واحد من أنواع المواد العضوية التي درستها في هذا البند.

a. $CH_3CH_2-O-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-CH_3$

b. $CH_3CH_2CH_2\overset{O}{\overset{\|}{C}}-NH_2$

c.



d. $CH_3CH_2CH_2\overset{O}{\overset{\|}{C}}H$

14. صف نواتج تفاعل التكاثف 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 مجموعات كربوكسيل ذات خواص حمضية عندما تذوب في الماء، بينما لا تكون مركبات أخرى مشابهة لها في التركيب مثل الألدهيد الخواص نفسها؟

3–4

تساؤلات جوهرية

- **كيف** تصنف تفاعلات المركبات العضوية إلى أحد الأنواع الخمسة الآتية: الاستبدال، أو الإضافة، أو الحذف، أو الأكسدة، أوالاختزال، أو التكاثف؟
- **لماذا** تستعمل الصيغ البنائية لكتابة معادلات تفاعلات المركبات العضوية؟
- **كيف** يمكن توقع نواتج تفاعلات المركبات العضوية استنادا لنوع التفاعل؟

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 أخرى للمركبات العضوية

Other Reactions of Organic Compounds

الفكرة الرئيسة **تصنيف تفاعلات المركبات العضوية يجعل توقع نواتج التفاعلات أكثر سهولة.**

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 بواسطتها 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 13–3**. بالإضافة إلى تفاعلات الاستبدال والتكاثف هناك أنواع أخرى من التفاعلات العضوية، هما الحذف والإضافة والأكسدة والاختزال.

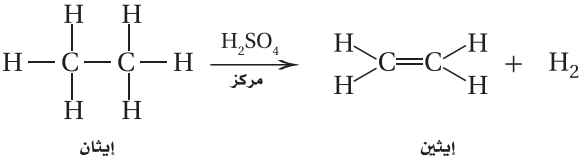
تفاعلات الحذف هناك طريقة واحدة لتغير الألكان إلى مادة أكثر نشاطًا في التفاعلات الكيميائية، ألا وهي تكوين رابطة تساهمية ثنائية بين ذرتين من الكربون لتكوين الألكين. وتسمى عملية تكوين الألكين من الألكان **تفاعلات الحذف**، وهي التفاعلات التي يتم فيها حذف ذرتين من الذرات المرتبطة مع ذرتي كربون متجاورتين؛ حيث يتم إضافة رابطة ثنائية بين ذرتي الكربون. وغالبًا ما تكوّن الذرات التي تحذف جزيئات مستقرة، مثل H_2O، أو HCl، أو H_2.

ماذا قرأت؟ **عرّف** تفاعلات الحذف مستعملًا كلماتك الخاصة.

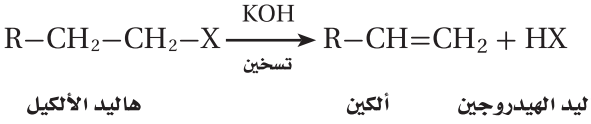
الشكل 13-3 الكثير من المنتجات الاستهلاكية – ومنها الأواني البلاستيكية والألياف المستعملة في صناعة الحبال والملابس، والزيوت والشموع التي تستعمل في مستحضرات التجميل – مصنوعة من البترول والغاز الطبيعي.

الشكل 14-3 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 أنه من السهل إعطاؤه ألوانًا متعددة، إضافة إلى قدرته على تحمل الاستعمال المتكرر.

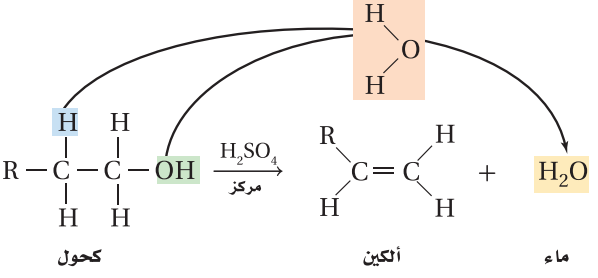
يحضر الإيثين، وهو المادة الأولية المستعملة في صناعة أدوات وأرضيات الملاعب، كما هو مبين في **الشكل 14-3**، وتسمى التفاعلات التي يصاحبها حذف ذرتي هيدروجين من الإيثان **تفاعلات حذف الهيدروجين**. لاحظ أن ذرتي الهيدروجين قد كونت غاز الهيدروجين.



ويمكن أن يدخل هاليد الألكيل في تفاعل حذف لإنتاج الألكين وهاليد الهيدروجين، كما هو مبين لاحقًا.



وتستطيع الكحولات أيضًا الدخول 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.



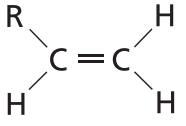
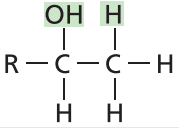
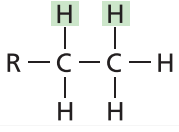
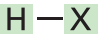
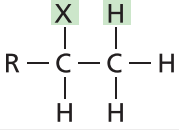
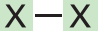
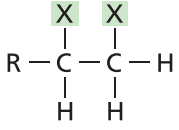
ويمكن كتابة معادلة هذا التفاعل عمومًا على النحو الآتي:

تفاعلات الإضافة نوع آخر من تفاعلات المركبات العضوية، وهي تعد تفاعلات عكسية لتفاعلات الحذف. تحدث **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 تفاعلات الإضافة 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 12-3**. بحيث تتفق الإضافة مع قاعدة ماركوفينكوف Markovinokove، والتي تتلخص بأن إضافة HOH أو HX إلى ألكين أو ألكاين فإن ذرة الهيدروجين ترتبط بذرة الكربون المرتبطة برابطة ثنائية أو ثلاثية، والتي ترتبط مع هيدروجين أكثر. تعد **تفاعلات إضافة الماء**، المبينة في **الجدول 12-3**، تفاعلات إضافة، يتم فيها إضافة ذرة الهيدروجين ومجموعة الهيدروكسيل من جزيء الماء إلى الرابطة الثنائية أو الثلاثية. وتبين المعادلة العامة المبينة في **الجدول 12-3** أن تفاعلات إضافة الماء عكس تفاعلات حذف الماء.

وتسمى تفاعلات إضافة الهيدروجين إلى ذرات الكربون التي تكوّن الرابطة الثنائية أو الثلاثية **تفاعلات الهدرجة**. يتفاعل جزيء واحد من H_2 مع الرابطة الثنائية بشكل كامل، وعندما يضاف H_2 إلى الرابطة الثنائية في الألكينات يتحول الألكين إلى ألكان.

ماذا قرأت؟ **حدد** التفاعل العكسي لتفاعل الهدرجة؟

الجدول 12-3 **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. وتعمل المحفزّات السطحية- مثل مسحوق البلاتينيوم أو البالاديوم- على ادمصاص جزيئات المواد المتفاعلة، وتهيئ الفرصة للالكترونات للإرتباط مع ذرات أخرى. وتفاعلات الهدرجة شائعة الاستعمال في تحويل السوائل الدهنية غير المشبعة الموجودة في الزيوت النباتية -مثل الصويا والذرة والفول السوداني- إلى دهون مشبعة وصلبة عند درجة حرارة الغرفة؛ حيث تستعمل الدهون المهدرجة بعد ذلك في تصنيع السمن. وتدخل الألكاينات أيضا في تفاعلات الهدرجة لإنتاج الألكينات أو الألكانات. ويجب إضافة جزيء واحد من H_2 إلى كل رابطة ثلاثية لتحويل الألكاين إلى ألكين، كما يأتي:

$$R-C\equiv C-H + H_2 \rightarrow R-CH=CH_2$$

يتحول 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 نكهتها 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 على 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، إفترض أنك تريد تحويل الميثان الموجود في الغاز الطبيعي، إلى ميثانول، وهو مذيب صناعي عام ومادة أولية لصنع الفورمالدهيد والميثيل إستر. ويتم تحويل الميثان إلى ميثانول، كما في المعادلة المبينة في **الجدول 13–3**، 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 فهي عملية اكتساب الإلكترونات، وتختزل المادة عندما تفقد الأكسجين أو تكسب الهيدروجين. لذلك، حدثت أكسدة للميثان لأنه كسب 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.

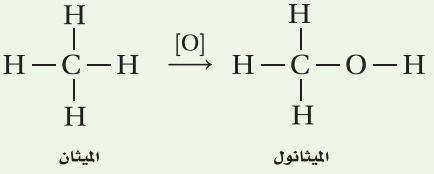
إن أكسدة الميثانول المبين في **الجدول 13–3** يعد الخطوة الأولى من مجموعة خطوات لتحضير الألدهيد، كما في **الجدول 13–3**. وللتوضيح تم حذف العوامل المؤكسدة. ويعد تحضير الألدهيد بهذه الطريقة من المهام غير السهلة لأن الأكسدة قد تستمر ويتحول الألدهيد إلى حمض كربوكسيلي. ويحدث ذلك مع الكحولات الأوّلية مثل الميثانول.

ماذا قرأت؟ حدد استعمل **الجدول 13–3** لتحديد ناتجين محتملين عند استمرار أكسدة 1– بروبانول.

الجدول 13-3

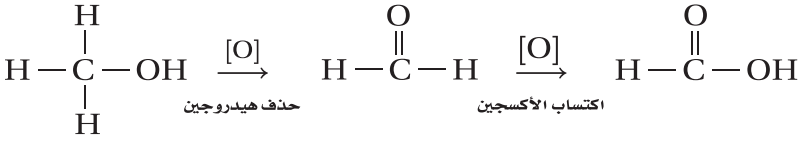
تفاعلات الأكسدة والاختزال

تحويل الألكانات إلى كحولات



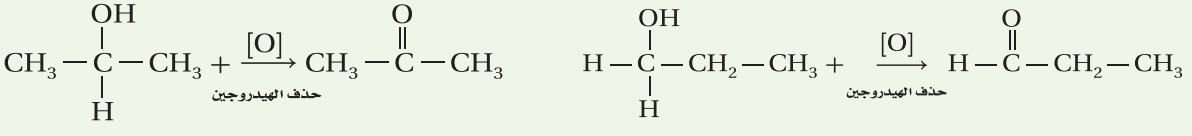
الميثان — الميثانول

الحصول على الألدهيدات والأحماض الكربوكسيلية من الكحولات الأوّلية



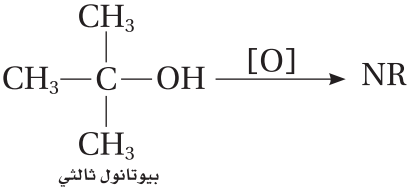
الميثانول — الميثانال — حمض الميثانويك

الحصول على الكيتونات والألدهيدات من متشكلين من الكحولات



2- بروبانول (ثانوي) — 2- بروبانون — 1- بروبانول (أولي) — البروبانال

لا تتأكسد الكحولات الثالثية



بيوتانول ثالثي

ومع ذلك، لاتتأكسد جميع الكحولات إلى ألدهيدات، ومن ثم إلى أحماض كربوكسيلية. ولفهم السبب، قارن بين أكسدة 1- بروبانول و 2 - بروبانول في **الجدول 13-3**. لاحظ أن أكسدة الكحول الثانوي مثل 2 - بروبانول تنتج الكيتون، وليس الألدهيد. والكيتون لا يتأكسد بسهولة إلى حمض كربوكسيلي، في حين يتأكسد البروبانال (الناتج عن أكسدة 1- بروبانول) بسهولة لتكوين حمض البروبانويك، في حين يتكون 2 - بروبانون من أكسدة 2 - بروبانول وهو لا يتفاعل لينتج الحمض الكربوكسيلي. وبسبب غياب الهيدروجين المرتبط بذرة الكربون الوظيفية، فإن الكحولات الثالثية لا تتأكسد.

لاحظ أن جزيء الماء يتكون مع كل عملية أكسدة للكحولات الأولية والثانوية.

ماذا قرأت؟ **اكتب** معادلة تكون حمض البروبانويك مستعملًا صيغًا جزيئية تشبه تلك الموجودة في **الجدول 13-3**.

ما أهمية تفاعلات الأكسدة والاختزال؟ لقد عرفت أن تفاعلات الأكسدة والاختزال لديها القدرة على أن تغيّر مجموعة وظيفية إلى أخرى. تساعد هذه الخاصية الكيميائيين على استعمال تفاعلات الأكسدة والاختزال، إضافة إلى تفاعلات الاستبدال والإضافة لتحضير مجموعة هائلة ومتنوعة من المنتجات النافعة. وتعتمد أنظمة الكائنات الحية جميعها على الطاقة الناتجة عن تفاعلات الأكسدة. وتعد تفاعلات الاحتراق من أكثر تفاعلات الأكسدة والاختزال إثارة؛ 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 كمصدر رئيسي للطاقة كما في **الشكل 15-3**.

توقع نواتج التفاعلات العضوية
Predicting Products of Organic Reactions

يمكن استعمال المعادلات العامة التي تمثل تفاعلات المواد العضوية - الاستبدال، والحذف، والإضافة، والأكسدة والاختزال، والتكاثف 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.

واقع الكيمياء في الحياة

الهيدروكربونات العطرية المتعددة الحلقات

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)

الجزيئات البيولوجية يرمز للهيدروكربونات 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.

الكيمياء الخضراء

قضايا بيئية

الشكل 15-3 يعتمد الناس في جميع أنحاء العالم على أكسدة الهيدروكربونات للتنقل ونقل المنتجات.

تُعد هذه العملية من أكبر عوامل تلوّث الهواء على سطح الكرة الأرضية.

فكّر: كيف يمكن الحد من هذا التلوث؟

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 أولا 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.

$$CH_3CH_2CH_2CH_2OH \rightarrow CH_3CH_2CH=CH_2 + H_2O$$

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 كما يأتي:

$$R-CH=CH-R' + HX \rightarrow R-CHX-CH_2-R'$$

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

تقويم الدرس 3-4

الخلاصة

- يمكن تصنيف معظم تفاعلات المركبات العضوية ضمن واحد من خمسة أنواع: الاستبدال، والتكاثف، والحذف، والإضافة، والأكسدة والاختزال، والتكاثف.
- يمكن معرفة المركبات العضوية المتفاعلة من توقع نواتج التفاعل.

17. الفكرة الرئيسة صنف كل تفاعل إلى استبدال، أو تكاثف، أو إضافة، أو حذف.

a. $CH_3CH=CHCH_2CH_3 + H_2 \rightarrow CH_3CH_2-CH_2CH_2CH_3$

b. $CH_3CH_2CH_2\underset{\underset{OH}{|}}{CH}CH_3 \xrightarrow[\text{تسخين}]{KOH} CH_3CH_2CH=CHCH_3 +$

18. حدد نوع التفاعل العضوي الذي يحقق أفضل ناتج لكل عملية تحويل مما يأتي:

a. هاليد ألكيل ← ألكين
b. ألكين ← كحول
c. كحول + حمض كربوكسيلي ← إستر
d. ألكين ← هاليد ألكيل
e. كحول ← كيتون

19. أكمل كل معادلة مما يلي عن طريق كتابة الصيغة البنائية للنواتج الأكثر احتمالًا.

a. $CH_3CH=CHCH_2CH_3 + H_2 \longrightarrow$

b. $CH_3CH_2\underset{\underset{Cl}{|}}{CH}CH_2CH_3 + OH^- \longrightarrow$

c. $CH_3CH_2CH_2OH + [O] \longrightarrow$

20. توقع النواتج فسّر لماذا يؤدي إضافة الماء إلى 1 - بيوتين إلى تكون نوعين من النواتج، بينما إضافة الماء إلى 2 - بيوتين تكوّن نوعًا واحدًا من النواتج؟

تساؤلات جوهرية

- **كيف** تميز بين البوليمر والمونومر من خلال رسم الصيغة البنائية؟
- **ما** الفرق بين البلمرة بالتكاثف والبلمرة بالإضافة؟
- **كيف** 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 بالتكاثف

البوليمرات Polymers

الفكرة الرئيسة **البوليمرات الصناعية هي مركبات عضوية كبيرة تتكون من وحدات متكررة ترتبط معًا عن طريق تفاعلات الإضافة أو التكاثف.**

الربط مع الحياة فكر 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 أن جميعها تتكون من بوليمرات.

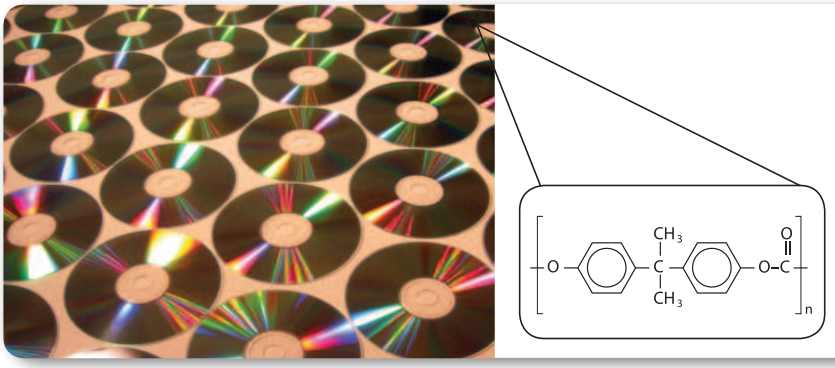
عصر البوليمرات The Age of Polymers

تحتوي الأقراص المضغوطة، كما هو موضح في **الشكل 16–3** على بولي كربونات، وهي مصنوعة من جزيئات طويلة جدًّا مع مجموعات من الذرات ذات نمط تكراري منتظم. هذا الجزيء مثال على البوليمرات الصناعية.

البوليمرات جزيئات كبيرة تتكون من العديد من الوحدات البنائية المتكررة. في **الشكل 16–3** 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 تتراوح بين أقل من 10,000 amu وأكثر 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.

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 يدعى الباكالايت. وبسبب مقاومته للحرارة، فهو ما زال 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 16-3 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 تصنع منها البوليمرات.

فعند صناعة البوليمرات 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 أثنان أو أكثر من المونومرات معًا بتسلسل متناوب. وتسمى التفاعلات التي ترتبط فيها المونومرات معًا تفاعلات البلمرة. وتسمى مجموعة الذرات المتكررة الناتجة من ترابط المونومرات وحدة بناء البوليمر.

وتتكون وحدة بناء البوليمر من اثنين أو أكثر من المونومرات المختلفة أو المتشابهة والتي تحتوي المكونات نفسها. ويبين **الشكل 17-3** ألعاب الأطفال غير القابلة للكسر التي تصنع من البولي إيثيلين المنخفض الكثافة (LDPE)، والذي يحضر بواسطة بلمرة الإيثين تحت الضغط. كما يعدالإيثين أيضا مادة أولية لتحضير وإنتاج البولي إيثيلين رباعي فثالات (PETE)، وهو المادة المستعملة في صناعة الزجاجات البلاستيكية. ويمكن تصنيعه بصورة ألياف تسمى ألياف البوليستر.

ويبين **الشكل 18-3** الخط الزمني لأحداث بارزة أدت إلى عصر البوليمرات وتسليط الضوء على تطور صناعة البوليمرات. وعلى الرغم من أن أول بوليمر تمت صناعته في عام 1909 م، إلا أن صناعة البوليمرات لم تزدهر إلا بعد الحرب العالمية الثانية.

الشكل 17-3 البولي إيثيلين مادة غير سامة وغير قابلة للكسر، لذا يدخل هذا البوليمر في صناعة ألعاب الأطفال.

مهن في الكيمياء

كيميائيو البوليمرات هل تبدو فكرة تطوير وتحسين البوليمرات فكرة جديدة وملهمة وتشكل تحديًا بالنسبة لك؟ يطور كيميائيو البوليمرات أنواعًا جديدة، كما يطورون استعمالات أو عمليات تصنيع جديدة للطرائق القديمة.

الشكل 18-3 عصر البوليمرات يعمل العلماء لفهم بنية وخواص المركبات العضوية لتطوير المنتجات التي تؤثر في حياة الناس في كل مكان. وقد ساعدت مساهماتهم في الدخول إلى عصر البوليمرات.

1865م تم تحديد تركيب البنزين الذي أصبح الأساس في إنتاج المركبات الأروماتية.

1909م أول بلاستيك صنع من البوليمرات الصناعية، الباكالايت وقد تم تطوير صناعته.

1890 **1860** **1830**

1899م انتشر الأسبرين على نطاق واسع من قبل الأطباء بوصفه مادة مسكنة للألم، وأصبح أكثر الأدوية مبيعًا على مستوى العالم.

1879م تم اكتشاف السكرين بطريقة الصدفة في أثناء عمل الكيميائيين في تقطير الفحم.

1840م بدأ الأطباء باستعمال الإيثر بوصفه مادة مخدرة في العمليات الجراحية.

$$nHOOC-(CH_2)_4-COOH + nH_2N-(CH_2)_6-NH_2 \rightarrow \left[C(=O)-(CH_2)_4-C(=O)-NH-(CH_2)_6-NH\right]_n + nH_2O$$

حمض الأديبيك — 6،1–ثنائي أمينوهكسان — النايلون 66

الشكل 19-3 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 عن تفاعل بلمرة الإضافة البولي إيثيلين؛ 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 14–3** مع تركيب البولي إيثيلين. وهذا يعني أن تركيب كل منهما مكافئ للبولي إيثيلين حيث ترتبط ذرات أو مجموعات من الذرات بالسلسلة لتحل محل ذرات الهيدروجين. وتنتج هذه البوليمرات جميعها من عملية البلمرة بالإضافة.

البلمرة بالتكاثف تحدث **البلمرة بالتكاثف** عندما تحتوي المونومرات على اثنتين من المجموعات الوظيفية على الأقل تتحد مع بعضها، ويصاحب ذلك خسارة جزيء صغير غالبًا ما يكون الماء. وقد حضر النايلون أول مرة في عام 1931م، ثم أصبح مادة شعبية؛ لأنه يمتاز بالقوة ويمكن سحبه على شكل خيوط تشبه الحرير. ونايلون 66 هو اسم أحد أنواع النايلون المصنع. ويتكون أحد المونومرات من سلسلة في نهايتها ذرة كربون يرتبط معها مجموعات كربوكسيل، كما هو مبين في **الشكل 19–3**. أما المونومر الآخر فهو سلسلة تحتوي على مجموعات الأمين في كلتا النهايتين. تخضع هذه المونومرات لبلمرة التكاثف؛ حيث تكون مجموعات أميد ترتبط مع وحدات فرعية من البوليمر، كما يشير المربع المظلل في **الشكل 19–3**. لاحظ أنه يتم تكوين جزيء واحد من الماء مقابل كل أميد جديد يتكوَّن.

المفردات

أصل الكلمة

البلاستيك الحراري (Thermoplastic)

جاءت كلمة (ثيرمو) من الكلمة اليونانية therme التي تعني الحرارة، وجاءت كلمة بلاستيك من الكلمة اليونانية plastikos وتعني قالبًا أو نموذجًا، أو يتكون

1939-1945م استعمل النايلون خلال الحرب العالمية الثانية في صناعة المظلات والخيام، وكذلك دخل في صناعة الملابس.

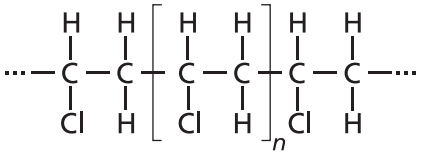
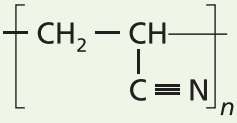
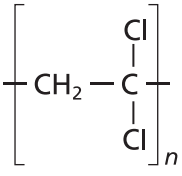
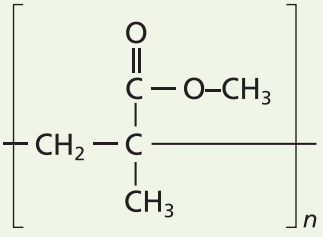
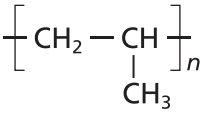
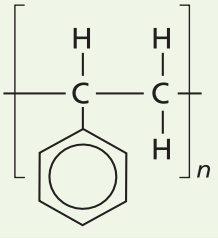
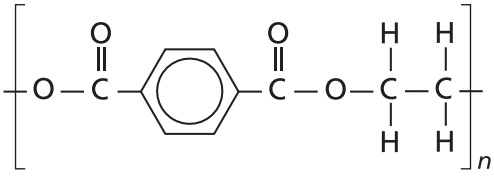
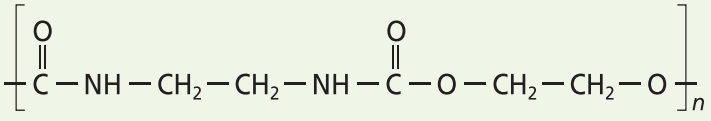
1946م تتضمن المنتجات مع الطلاء غير اللاصق (PTFE) الخطافات والتروس وتجهيزات المطبخ، وقد انتشرت بشكل تجاري.

1959م تم إنتاج الألياف اللدنة والألياف المرنة صناعيًّا.

1988م تم إصدار أوراق نقدية لأول مرة في العالم مصنوعةٌ من البوليمرات، صادرة عن بنك أستراليا عام 1966م. وقد استعمل جميع الأستراليين هذه العملة البلاستيكية.

2006م طور الباحثون ورقًا رقيقًا جدًّا يقاوم الإشعاع وهو بوليمر الكريستال – السائل المستعمل في الدوائر الكهربائية مما جعلها مفيدة في تطبيقات الفضاء.

2010 — 1980 — 1950

الجدول 14-3	البوليمرات الشائعة	
البوليمر	الاستعمالات	الوحدة البنائية المتكررة
بولي فينيل كلوريد (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 المشروبات الغازية، الإطارات، والملابس، وأواني الطعام 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، ويعود سبب آخر إلى أن المواد الأولية المستعملة في تحضيرها غير مكلفة. ولكن يبقى 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 20-3**؛ فهو غير قابل للتآكل، ولا يحتاج إلى إعادة طلاء.

خواص البوليمرات ويعود السبب الآخر لزيادة الطلب على البوليمرات وانتشارها الواسع إلى سهولة تشكيلها بأشكال مختلفة، أو سحبها على شكل ألياف رقيقة. علمًا 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.

وكما هو الحال مع المواد جميعها، فإن للبوليمرات خواص تعود مباشرة إلى تركيبها الجزيئي. فبولي إيثيلين مثلًا عبارة عن سلسلة طويلة من الألكان. لذلك، يكون ملمسه شمعي، ولا يذوب في الماء، وغير نشط كيميائيًّا، ورديء التوصيل للكهرباء. وقد جعلته هذه الخواص مثاليًّا لاستعماله في أوعية حفظ الطعام، وتغليف أسلاك الكهرباء.

الشكل 20-3 يصنع الخشب البلاستيكي من البلاستيك المعاد تدويره، مثل عبوات العصير، والحليب، وغيرها من نفايات البولي إيثيلين.

استخدم التكنولوجيا

البلاستيك الحيويّ... عالميا، يُصنع سنويّا قرابة 300 بليون كيلوجراما من البلاستيك أغلبها من البترول وهو مصدر أحفوريّ لا يعوّض. خلال السنوات الأخيرة تم إكتشاف مادة بلاستيكية صديقة للبيئة أُطلق عليها اسم "البلاستيك الحيويّ Bioplastic". ولكي يكون كذلك، لا بدّ أن يتميّز هذا البلاستيك بخاصيّتين: الأولى أن يكون من مصدر نباتيّ حيويّ Biomass وهي من الكتل المتجدّدة، والثانية أن يكون قابلا للتحلل البيولوجيّ Biodegradable. والتحلل البيولوجيّ هو عملية كيميائية، تتحوّل خلالها المادة طبيعيّا إلى مواد نافعة للبيئة مثل الماء وثاني أكسيد الكربون. ويُعتبر البلاستيك الحالي والمتأتي من البترول غير قابل للتحلل، لذلك فهو مضرّ بالبيئة.

نبات يستخدم في صناعة البلاستيك

الشكل 21-3 تساعد الرموز الموجودة على المواد البلاستيكية في 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 أن يعاد 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. ومما لا شك فيه أن وجود رموز موحدة لصناعة البلاستيك، كما في **الشكل 21-3**، يوفر الوسائل السريعة لإعادة تدوير وفرز المواد البلاستيكية.

تقويم الدرس 3-5

الخلاصة

- البوليمرات جزيئات ضخمة تتكون من ارتباط جزيئات صغيرة تدعى المونومرات.
- تحضر البوليمرات من خلال تفاعلات الإضافة أو التكاثف.
- 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. التكاثف.

a. $CH_2=CHCl$

b. $NH_2-CH_2CH_2-C(=O)-OH$

22. سَم تفاعل البلمرة الآتي: إضافة أو تكاثفًا. فسِّر إجابتك.

$$CH_2=CH(C\equiv N) \rightarrow [CH_2-CH(C\equiv N)]_n$$

23. حدد 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. توقع الخواص الفيزيائية للبوليمر الذي يصنع من المونومر الآتي: تناول خاصية الذوبان في الماء، والتوصيل الكهربائي، والملمس، والنشاط الكيميائي.

$$CH_2=CH(CH_3)$$

الكيمياء في الحياة اليومية*

الثوم Garlic

هل تعلم أن نكهات 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 الكائنات 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.

الإحساس بالألم والحرارة Sensing temperature and pain

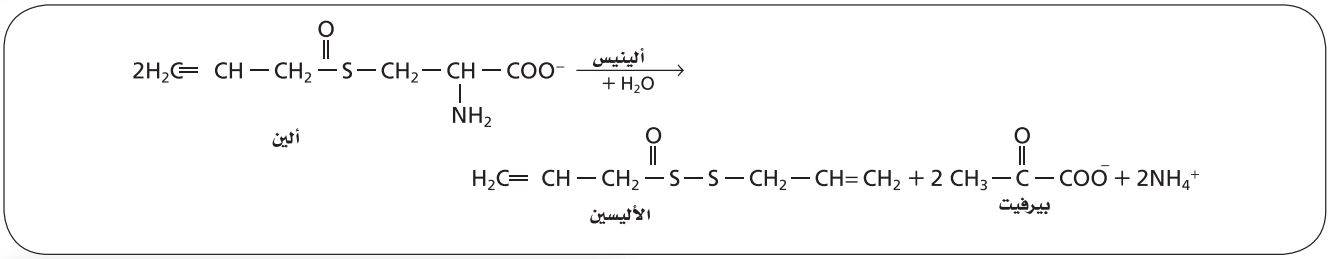
يتم الإحساس بدرجة الحرارة والألم عن طريق الخلايا العصبية الموجودة في الجلد، بما في ذلك الجلد الموجود داخل فمك. وتحتوي هذه الخلايا العصبية على جزيئات تكشف عن درجة حرارة سطحها، والتي تسمى قنوات الاستقبال الناقلة (TRP) للأيون. وتتأثر قنوات الاستقبال (TRP) المختلفة باختلاف مدى درجة الحرارة. فعلى سبيل المثال، 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.

الشكل 1 يحتوي الثوم الطازج على مادة كيميائية تسبب الألم كوسيلة دفاع ضد الأعداء..

ينشط الأليسين أيضًا 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

من المثير للاهتمام أن نعرف لماذا يسبب تذوق الثوم الخام الألم إلا أن فهم كيفية قيام الأليسين بالتسبب بالإحساس 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.

* للاطلاع فقط

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 ماصة 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

ثيرمومتر غير زئبقي	إيثانول(95%)
ساعة وقف	2– بروبانول (99%)
مناديل ورقية ناعمة	سلك ربط أو مطاطة
منشفة قماش	قطعة من الورق المقوى
ماصة (عدد 5)	لاستعمالها كمروحة
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 الوقف وقراءة حرارة الثيرمومتر، على أن يقوم شخص آخر بوضع كميات قليلة من السوائل بواسطة الماصة ليتم اختبارها.
7. وعندما يصبح الشخصان جاهزين، تضاف كمية كافية من السائل على القطعة الناعمة حتى تصبح مشبعة. وفي الوقت نفسه يقوم الشخص الآخر ببدء تشغيل ساعة الوقف، وقراءة درجة الحرارة، وتسجيلها في جدول البيانات.
8. حرك الهواء حول قطعة المناديل الناعمة التي تغلف مستودع ثيرمومتر مستعملًا قطعة من الكرتون المقوى. بعد مرور دقيقة واحدة اقرأ وسجل درجة الحرارة النهائية في جدول البيانات. تخلص من قطعة المناديل وجفف مستودع الثيرمومتر.
9. أعد الخطوات من 5 وحتى 8 لكل من الكحولات الثلاث: 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.

حلل واستنتج

1. **الملاحظة والاستنتاج** ماذا يمكنك أن تستنتج حول العلاقة بين انتقال الحرارة والتغيرات في درجة 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–، 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 يوجد اختلافات بين البيانات التي حصلت عليها وبيانات الطلبة الآخرين.
5. **تحليل الخطأ** حدد مصادر الأخطاء التي من الممكن أن تظهر في الإجراءات التي قمت بها.

الاستقصاء

تصميم تجربة اقترح طريقة لجعل هذه التجربة أكثر دقة وضبطًا من الناحية الكمية. صمم تجربة مستعملًا طريقتك الجديدة.

الفكرة العامة يؤدي استبدال ذرات الهيدروجين في الهيدروكربونات بمجموعات وظيفية مختلفة إلى تكوين مجموعة من المركبات العضوية المتنوعة.

3-1 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

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.

3-2 الكحولات، والإيثرات، والأمينات

الفكرة الرئيسة الأكسجين والنيتروجين من أكثر الذرات شيوعًا في المجموعات الوظيفية العضوية.

المفردات

- مجموعة الهيدروكسيل
- الكحولات
- الإيثرات
- الأمينات
- تفاعلات الاستبدال
- الهلجنة

المفاهيم الرئيسة

- تتكون الكحولات، والإيثرات، والأمينات عندما تستبدل ذرة هيدروجين في المركبات الهيدروكربونية بمجموعة وظيفية معينة.
- لأن الكحولات تكون روابط هيدروجينية بسهولة فإن درجة غليانها تكون كبيرة وتذوب بسهولة في الماء مقارنة بالمركبات الأخرى.

3-3 مركبات الكربونيل

الفكرة الرئيسة تحتوي مركبات الكربونيل على ذرة أكسجين ترتبط برابطة ثنائية مع الكربون في المجموعة الوظيفية.

المفردات

- مجموعة الكربونيل
- الألدهيدات
- الكيتونات
- الأحماض الكربوكسيلية
- مجموعة الكربوكسيل
- الإسترات
- الأميدات
- تفاعلات التكاثف

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.

3-4 تفاعلات أخرى للمركبات العضوية

الفكرة الرئيسة تصنيف التفاعلات الكيميائية للمركبات العضوية يجعل توقع نواتج هذه التفاعلات أكثر سهولة.

المفردات

- تفاعلات الحذف
- تفاعلات حذف الهيدروجين
- تفاعلات حذف الماء
- تفاعلات الإضافة
- تفاعلات إضافة الماء
- تفاعلات الهدرجة

المفاهيم الرئيسة

- يمكن تصنيف معظم تفاعلات المركبات العضوية ضمن واحد من خمسة أنواع: الاستبدال، والحذف، والإضافة، والأكسدة والاختزال، والتكاثف.
- تمكن معرفة المركبات العضوية المتفاعلة من توقع نواتج التفاعل.

3-5 البوليمرات

الفكرة الرئيسة البوليمرات الصناعية مركبات عضوية كبيرة تتكون من تكرار وحدات مرتبطة معًا عن طريق تفاعلات الإضافة أو التكاثف.

المفردات

- البوليمرات
- المونومرات
- تفاعلات البلمرة
- البلمرة بالإضافة
- البلمرة بالتكاثف

المفاهيم الرئيسة

- البوليمرات مركبات ضخمة تتكون من ارتباط جزيئات صغيرة تسمى المونومرات.
- تحضر البوليمرات من خلال تفاعلات الإضافة أو التكاثف.
- يمكن استعمال المجموعات الوظيفية في البوليمرات لتوقع خواص البوليمر.

3-1

إتقان المفاهيم

25. ما المجموعة الوظيفية؟

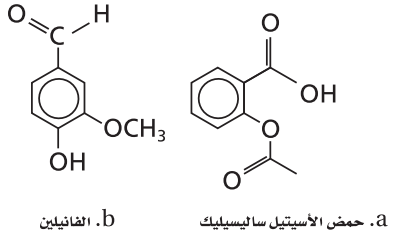
26. صف وقارن الصيغ البنائية لهاليدات الألكيل وهاليدات الأريل.

27. ما المواد المتفاعلة التي ستستعملها لتحويل الميثان إلى بروموميثان؟

28. فسر لماذا تزداد درجات غليان هاليدات الألكيل بالتدريج عند الاتجاه إلى الأسفل في مجموعة الهالوجينات في الجدول الدوري؟

إتقان حل المسائل

29. ضع دائرة حول المجموعات الوظيفية في الصيغ البنائية المبينة في **الشكل 22-3**، ثم اذكر اسم كل منها.



a. حمض الأسيتيل ساليسيليك b. الفانيلين

الشكل 22-3

30. 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

31. ارسم الصيغة البنائية للمركب: 1- برومو -2- كلوروبروبان.

32. ارسم المتشكلات البنائية المحتملة جميعها لهاليد الألكيل ذو الصيغة الجزيئية $C_5H_{10}Br_2$، ثم سم كلًّا منها.

33. 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

3-2

إتقان المفاهيم

34. سم الأمينات التي تمثلها الصيغ الآتية:

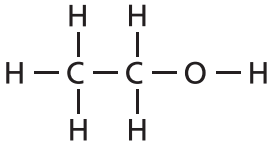
a. $CH_3(CH_2)_3CH_2NH_2$

b. $CH_3(CH_2)_5CH_2NH_2$

c. $CH_3(CH_2)_2CH(NH_2)CH_3$

d. $CH_3(CH_2)_8CH_2NH_2$

35. كيف يمكن تغيير الخواص الفيزيائية والكيميائية للمركب المبين في **الشكل 23-3**؟ ما اسم هذا المركب؟



الشكل 23-3

36. تطبيقات عملية سم كحولًا، أو أمينًا، 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 الكتلة المولية لهما متساوية؟

38. فسّر لماذا تكون درجة غليان الإيثانول أعلى كثيرًا من الأمينو إيثان رغم أن الكتلة المولية لهما متساوية تقريبًا؟

إتقان حل المسائل

39. سم 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، وحدّد نوع الكحول والأمين:

a. 2،1 – بيوتادايول
b. 2- أمينوهكسان
c. ثنائي آيزوبروبيل إيثر
d. 2- ميثيل -1 – بيوتانول
e. بيوتيل بنتيل إيثر
f. بيوتيل حلقي ميثيل إيثر
g. 3،1- ثنائي أمينو بيوتان
h. بنتانول حلقي

3-3

إتقان المفاهيم

41. ارسم الصيغة العامة لكل نوع من أنواع 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؟

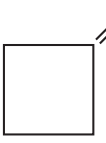
إتقان حل المسائل

44. ارسم الصيغ البنائية لمركبات الكربونيل الآتية:

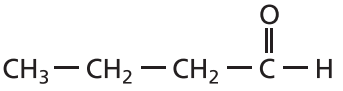
a. 2،2- ثنائي كلورو- 3 – بنتانون
b. 4- ميثيل بنتانال
c. هكسانوات الأيزوبروبيل
d. أوكتانوأميد
e. 3- فلورو- 2 – ميثيل حمض البيوتانويك
f. بنتانال
g. ميثانوات الهكسيل

45. سم المركبات الكربونيلية الآتية:

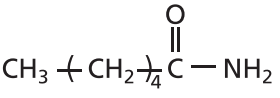
a.



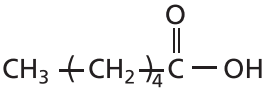
b.



c.



d.



3-4

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 تكاثف.

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 التكاثف بين الإيثانول وحمض البروبانويك.

3-5

إتقان المفاهيم

53. اشرح الفرق بين عمليتي البلمرة بالإضافة والبلمرة بالتكاثف.

إتقان حل المسائل

54. تصنيع البوليمر ما المونومرات التي يلزم أن تتفاعل لإنتاج كل من البوليمرات الآتية؟

a. بولي إيثيلين

b. بولي ايثيلين ثلاثي فثالات

c. بولي رباعي فلوروإيثيلين

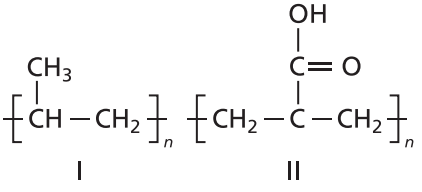
55. سم البوليمرات الناتجة من المونومرات الآتية:

a. CH_3Cl

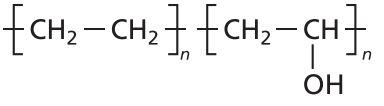
b. $CH_2{=}CCl_2$

56. اختر البوليمر في كل من الأزواج الآتية الذي تتوقع أن تكون ذوبانية أكبر في الماء.

a.



b.



57. ادرس الصيغ البنائية للبوليمرات الواردة في **الجدول 14-3**، ثم قرر هل تنتج هذه البوليمرات عن عملية بلمرة الإضافة أو بلمرة التكاثف.

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. 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

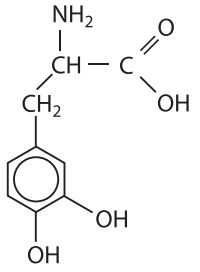
c. كلوريد الهيدروجين **d.** الفلور

التفكير الناقد

64. التقويم ذوبانية حمض الإيثانويك (حمض الأسيتيك) عالية في الماء، وأحيانا تكون الأحماض الكربوكسيلية في الحالة الطبيعية على شكل سلسلة طويلة، مثل حمض البالمتيك $(CH_3(CH_2)_{14}COOH)$ غير ذائبة في الماء. فسّر ذلك.

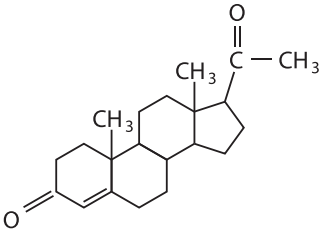
65. تفسير الرسوم العلمية اعمل قائمة بجميع المجموعات الوظيفية الظاهرة في المركبات العضوية الآتية:

a.



ليفادوبا

b.

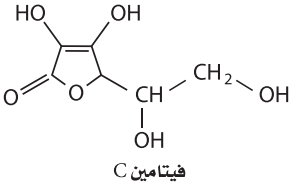


بروجيستيرون

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 24-3**.



فيتامين C

الشكل 24-3

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 البنتين مع Cl_2.

b. ارسم الصيغ البنائية الممكنة جميعها للمواد الناتجة عن تفاعل الهلجنة الثنائي الذي يتضمن تفاعل البنتين مع Cl_2.

الجدول 15-3 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 15-3** 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، أوجد العلاقة بين ذوبانية الكحول في الماء وحجم الكحول.

c. قدّم تفسيرًا للعلاقة التي توصلت إليها في الجزء b.

تقويم إضافي

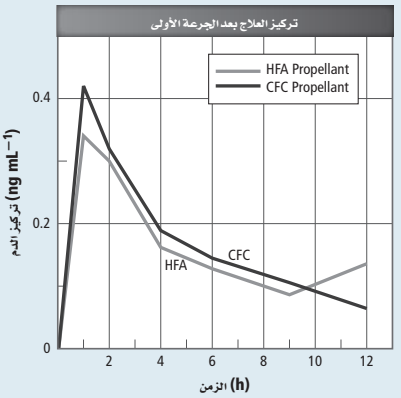
الكتابة في الكيمياء

71. نظرة تاريخية اكتب قصة قصيرة حول حياتك لو كنت تعيش في القرن الثامن قبل تطوير البوليمرات الصناعية.

أسئلة المستندات

مواد الصيدلية تحتوي العديد من الأدوية المستعملة لعلاج الربو مركبات الكلوروفلوروكربون. ومع ذلك نادى بروتوكول مونتريال بفرض حظر على استعمال هذه المركبات عام 2008م واستبدال مركبات الهيدرو فلوروألكان بها. وقد وجد أن اثنين من مركبات الهيدرو فلوروألكان (HFAs) غير فعّاله في دفع أدوية الربو إلى الرئتين، كما يتوجب خفض جرعة الدواء إلى النصف عند استعمال الهيدرو فلوروألكان.

يبين **الشكل 25-3** تركيز العلاج بعد استعمال بخة واحدة من مركب بيكلوميثازون باستعمال بخاخات CFC وأخرى باستعمال بخاخات HFA.



الشكل 25-3

72. بعد استعمال جرعة واحدة من علاج بيكلوميثازون beclomethasone، أي البخاخات أدت إلى تركيز أعلى للعلاج في الدم: HFA أو CFC؟

73. متى يصل تركيز العلاج إلى الذروة؟

74. 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؟

$$CH_3CH_2CH_2Br + NH_3 \rightarrow ?$$

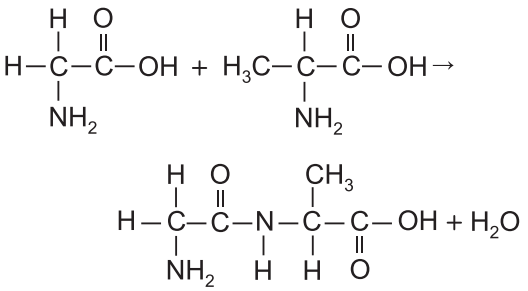
a. $CH_3CH_2CH_2NH_2Br + H_2$

b. $CH_3CH_2CH_2NH_3 + Br_2$

c. $CH_3CH_2CH_2NH_2 + HBr$

d. $CH_3CH_2CH_3 + NH_2Br$

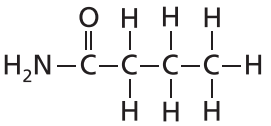
2. ما نوع التفاعل الآتي؟



a. استبدال **c.** إضافة

b. تكاثف **d.** حذف

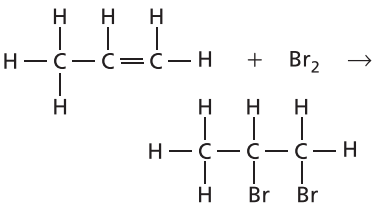
3. ما نوع المركب الذي يمثله الجزيء الآتي؟



a. أمين **c.** إستر

b. أميد **d.** إيثر

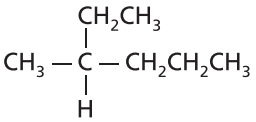
4. ما نوع التفاعل المبين أدناه؟



a. تكاثف **c.** بلمرة

b. حذف الماء **d.** هلجنة

استعمل الشكل أدناه 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

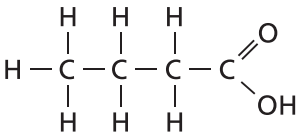
6. أي المشتقات الهيدروكربونية له الصيغة العامة R–OH؟

a. الكحول **c.** الكيتون

b. الأمين **d.** الحمض الكربوكسيلي

أسئلة الإجابات القصيرة

استعمل الشكل أدناه للإجابة عن السؤالين 7 و 8.

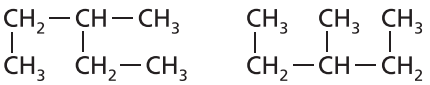


7. ما المجموعة الوظيفية الظاهرة في هذا المركب؟

8. ما اسم هذا المركب؟

أسئلة الإجابات المفتوحة

استعمل الشكل أدناه للإجابة عن السؤال رقم 9.



9. كل من الصيغتين البنائيتين أعلاه لهما نفس الصيغة الجزيئية C_6H_{14}. هل يمكن اعتبار كل منهما متشكلاً للآخر؟ فسّر إجابتك.

الفصل 4 المركبات العضوية الحيوية
The Chemistry of Life

الفكرة العامة تقوم المركبات العضوية الحيوية: البروتينات والكربوهيدرات والليبيدات بالنشاطات الضرورية للخلايا الحية.

4-1 البروتينات

الفكرة الرئيسة تؤدي البروتينات وظائف أساسية تشمل تنظيم التفاعلات الكيميائية، والدعم البنائي، ونقل المواد، وتقلصات العضلات.

4-2 الكربوهيدرات

الفكرة الرئيسة تزود الكربوهيدرات الكائنات الحية بالطاقة والمواد البنائية.

4-3 الليبيدات

الفكرة الرئيسة تكوّن الليبيدات الأغشية الخلوية، وتختزن الطاقة، وتنظم العمليات الخلوية.

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.

نشاط استهلالي

كيف تختبر وجود السكريات البسيطة؟

تـزود العديد من مصـادر الغـذاء المختلفة الجسـم بالطاقة التي يستعملها باستمرار. وتُختزن هـذه الطاقة في روابـط جزيئات تدعى 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 **رقاقة غليان** إلى أنبوب الاختبار.

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؟

بعد الانتهاء من دراسة هذا الفصل يتوقع من الطالب أن يكون قادرًا على:

- التمييز بين الوحدات البنائية الأساسية لبعض المركبات الحيوية (البروتينات والكربوهيدرات والليبيدات).
- توضيح أهمية المركبات الحيوية في التفاعلات داخل أجسام الكائنات الحية.
- تصميم تجارب بسيطة تتعلق بخصائص المركبات العضوية الحيوية والتمييز بينها.
- تفسير البيانات المستقاة من الاستقصاءات باستخدام الحسابات والرسومات والنماذج وتكنولوجيا الحاسوب.

الكيمياء عبر المواقع الإلكترونية

لمراجعة محتوى هذا الفصل ونشاطاته ارجع إلى الموقع: www.moe.gov.bh

4–1

تساؤلات جوهرية

- كيف يمكن وصف تراكيب الأحماض الأمينية والبروتينات؟
- ما دور البروتينات في الخلايا؟

مراجعة المفردات

البوليمرات مركبات كبيرة تتكون من وحدات متكررة عديدة تسمى المونومرات.

المفردات الجديدة

البروتينات

الأحماض الأمينية

الرابطة الببتيدية

الببتيد

تغيير الخواص الطبيعية الأصلية

الإنزيم

المادة الخاضعة لفعل الإنزيم

الموضع النشط

البروتينات Proteins

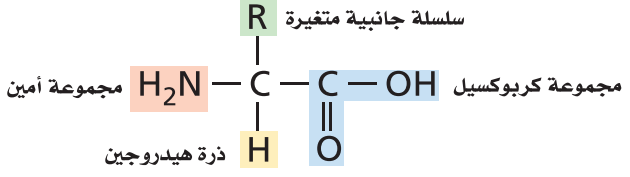
الفكرة الرئيسة **تؤدِّي البروتينات وظائف أساسية تشمل تنظيم التفاعلات الكيميائية، والدعم البنائي، ونقل المواد، وتقلصات العضلات.**

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 مرتبة عشوائيًّا. ويجب أن يكون البروتين مطويًّا في تركيب معين ثلاثي الأبعاد حتى يعمل بشكل صحيح. تتكون جميع الكائنات الحية؛ ومنها ماعز الجبل والنباتات المبينة في **الشكل 1–4**، من البروتينات.

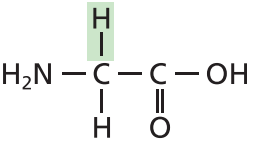
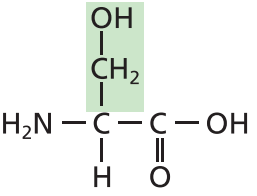
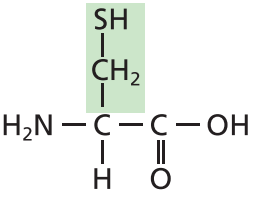
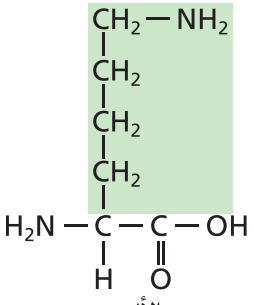
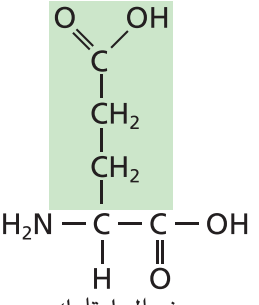
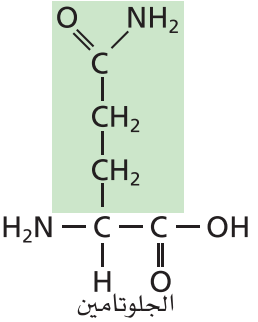
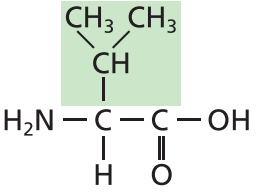
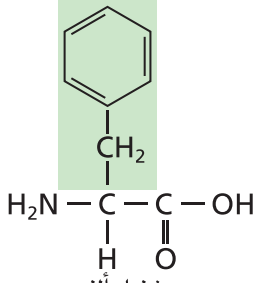
الأحماض الأمينية توجد مجموعات وظيفية كثيرة ومختلفة من الأحماض الأمينية في المركبات العضوية. والأحماض الأمينية، كما يدل اسمها، جزيئات عضوية توجد فيها مجموعة الأمين ومجموعة الكربوكسيل الحمضية. والشكل الآتي يبين التركيب العام للحمض الأميني:



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 1-4 تحتوي جميع الكائنات الحية على البروتينات. فشعر الماعز وحوافره وعضلاته جميعها تتكون من بروتينات بنائية، كما هو الحال بالنسبة لجذور النباتات وأوراقها.

الجدول 4-1 أمثلة على الأحماض الأمينية

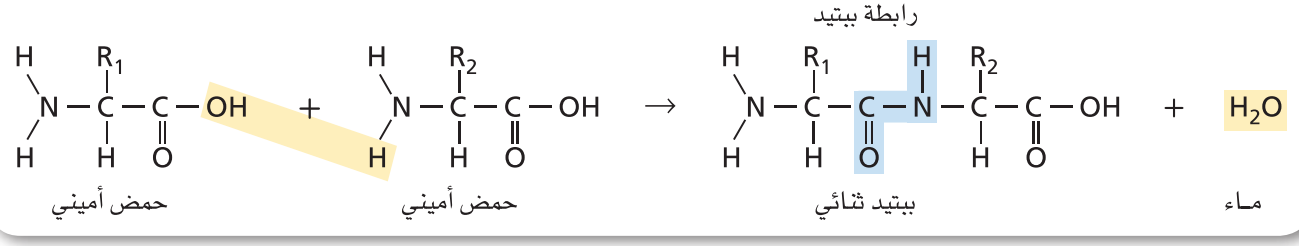
 الجلايسين	 السيرين	 السيستين	 الأليسين
 حمض الجلوتامك	 الجلوتامين	 الفالين	 فينيل ألنين

ادرس السلاسل الجانبية المختلفة للأحماض الأمينية المبينة في **الجدول 1–4**، 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.

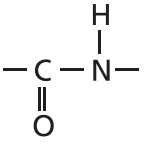
الرابطة الببتيدية توفر مجموعات الأمين والكربوكسيل مواضع ربط مناسبة لربط الأحماض الأمينية معًا. ولأن الحمض الأميني هو في الوقت نفسه أمين وحمض كربوكسيلي، لذا يستطيع حمضان أمينيان أن يتحدا لتكوين أميد، وينطلق ماء في هذه العملية. هذا التفاعل هو تفاعل تكاثف. وكما يبين **الشكل 2–4**، فإن مجموعة الكربوكسيل لأحد الحمضين الأمينيين تتحد بمجموعة الأمين في الحمض الثاني لتكوين مجموعة الأميد الوظيفية.

ماذا قرأت؟ اشرح كيف تتكون مجموعة الأميد الوظيفية.

الشكل 2-4 ترتبط مجموعة الأمين لأحد الحمضين الأمينيين بمجموعة الكربوكسيل لحمض أميني آخر لتكوين ببتيد ثنائي وماء. وتدعى المجموعة العضوية الوظيفة التي تتكون رابطة ببتيد.



يطلق المختصون في الكيمياء الحيوية على رابطة الأميد المبينة في **الشكل 3-4**، والتي تجمع حمضين أمينيين اسم **الرابطة الببتيدية**. كما يطلق على السلسلة المكونة من حمضين أمينيين أو أكثر مرتبطة معًا بروابط ببتيدية **الببتيد**. ويسمى الجزيء المكون من حمضين أمينيين مرتبطين معًا برابطة ببتيدية بثنائي الببتيد. ويبين **الشكل 4a-4** تركيب ثنائي ببتيد مكونًا من الحمضين الأمينيين الجلايسين (Gly) وفينيل ألنين (Phe). في حين يبين **الشكل 4b-4** ثنائي ببتيد آخر مختلفًا مكوَّنًا أيضًا من الجلايسين وفينيل ألنين. 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.



رابطة ببتيدية

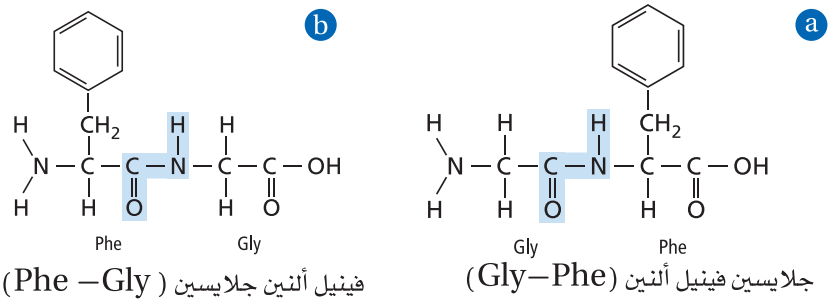
الشكل 3-4 تجمع الرابطة الببتيدية حمضين أمينيين لتكوين ثنائي الببتيد.

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 5-4** 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 أن هناك عددًا محدودًا 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 أي من 20 حمضًا أمينيًّا محتملاً. أما بالنسبة للببتيد الذي يحتوي 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} احتمالاً من ترتيبات الأحماض الأمينية! ولأن خلايا الإنسان تصنع ما بين 80,000 و 100,000 بروتين مختلف، لذا فإنه يمكنك أن ترى أن هذا عبارة عن جزء صغير فقط من مجموع عدد البروتينات المحتملة.

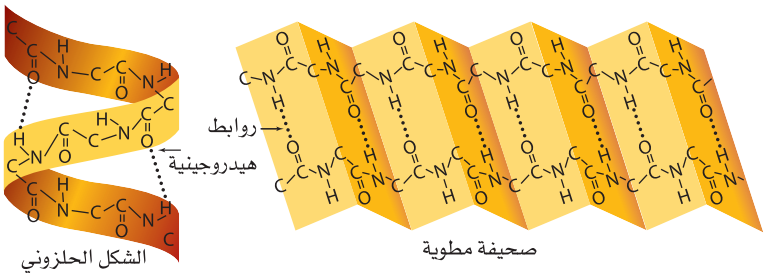
ماذا قرأت؟ **احسب** عدد التتابعات المحتملة لسلسلة ببتيد تتكون من أربعة أحماض أمينية.



جلايسين فينيل ألنين (Gly—Phe) فينيل ألنين جلايسين (Phe —Gly)

الشكل 4-4 يمكن أن يتحد الجلايسين (Gly) مع الفينيل ألنين (Phe) بطريقتين.

اشرح لماذا يعد هذان التركيبان مادتين مختلفتين؟



الشكل 5-4 يتضمن طي سلاسل الببتيد بصورة 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 حبل الهاتف. وقد تنثني بعض الأجزاء الأخرى إلى الأمام وإلى الخلف بصورة متكررة مكوّنة تركيبًا على هيئة صحيفة مطوية عدة طيات. وقد تنثني سلسلة العديد 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 5-4** 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، فتغيرُّ **الخواص الطبيعية الأصلية** للبروتين، وهي العملية التي تشوه تركيب البروتين الطبيعي الثلاثي الأبعاد وتمزقه أو تتلفه.

يؤدي الطبخ عادة إلى تغير الخواص الطبيعية للبروتينات في الأغذية. فعند سلق بيضة تصبح صلبة لأن زلال البيضة الغني بالبروتين يصبح صلبًا نتيجة تغير الخواص الطبيعية للبروتين. ولما كانت البروتينات تعمل بصورة صحيحة فقط عندما تكون مطوية، لذا فإنها تصبح غير فعالة بصورة عامة إذا حصل لها تحويل في خواصها الطبيعية.

وظائف البروتينات المتعددة
The Many Functions of Proteins

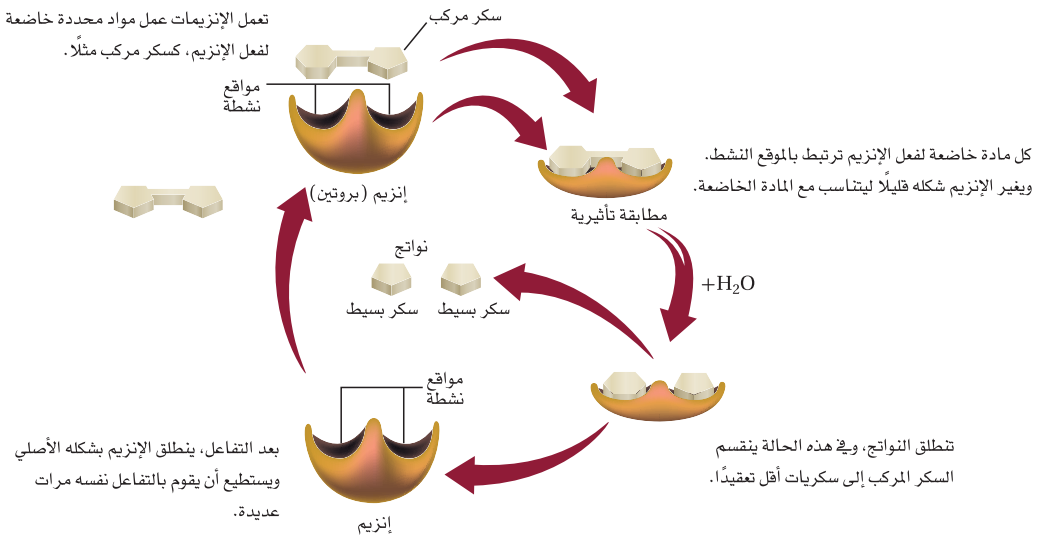
تؤدي البروتينات أدوارًا كثيرة في الخلايا الحية. فهي تقوم بتسريع التفاعلات الكيميائية، ونقل المواد، وتنظيم العمليات الخلوية، والدعم البنائي للخلايا، والاتصالات داخل الخلايا وفيما بينها، وتسريع حركة الخلايا، وتعمل عمل المصدر للطاقة عند شحّ المصادر الأخرى.

تسريع التفاعلات يعمل العدد الأكبر من البروتينات في معظم الكائنات الحية عمل الإنزيمات والعوامل المحفزة للتفاعلات الكثيرة التي تحدث في الخلايا الحية. يعد **الإنزيم** عاملًا محفزًا حيويًا، حيث يعمل على تسريع التفاعل الكيميائي دون أن يُستهلك في هذا التفاعل. ويؤدي عادة إلى تخفيض طاقة تنشيط التفاعل عن طريق تثبيت الحالة الانتقالية.

واقع الكيمياء في الحياة

الإنزيمات

البابايين أحد أمثلة الإنزيمات التي قد تكون استعملتها هو البابايين، وهو موجود في البابايا، والأناناس، ومصادر نباتية أخرى. يعمل 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 6-4 تخفض الإنزيمات طاقة التنشيط اللازمة لحدوث التفاعل وتغير السرعة التي يحدث بها التفاعل دون أن تتغير هي نفسها في التفاعل.

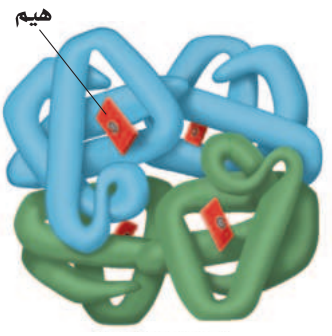
كيف تعمل الإنزيمات؟ إن مصطلح **مادة خاضعة لفعل الإنزيم** يشير إلى مادة متفاعلة في تفاعل يعمل فيه الإنزيم عمل عامل محفز، كما في **الشكل 6-4**. وترتبط المواد الخاضعة لفعل الإنزيم بمواضع معينة على جزيئات الإنزيم، وهي عادة عبارة عن جيوب أو شقوق. وتسمى النقطة التي ترتبط بها المواد الخاضعة لفعل الإنزيم **الموضع النشط** للإنزيم. وبعدما ترتبط المادة الخاضعة بالموضع 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 الموضع 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 بالموضع النشط، ولن يتفاعل.

يسمى 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 النواتج.

ماذا قرأت؟ صف بكلماتك الخاصة كيف يعمل الإنزيم.

بروتينات النقل تنقل بعض البروتينات جسيمات أصغر منها في أرجاء الجسم. ويبين **الشكل 7-4** 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 7-4 الهيموجلوبين هو بروتين كروي فيه أربع سلاسل متعددة الببتيد، يحتوي كل منها على مجموعة حديد تسمى هيم يرتبط معها الأكسجين.



الشكل 8-4 يتكون شعر الإنسان من بروتين ليفي يسمى الكيراتين.

الدعم البنائي تقتصر الوظيفة الوحيدة لبعض البروتينات على تكوين تراكيب حيوية للكائنات الحية، وتعرف هذه الجزيئات باسم البروتينات البنائية. والبروتين البنائي الأكثر توافرًا في معظم الحيوانات هو الكولاجين، وهو جزء من الجلد والأوتار والأربطة والعظام. وأما البروتينات البنائية الأخرى فتشمل الريش والفرو والصوف والحوافر والأظفار والشرنقات، والشعر، كما في **الشكل 8-4**.

الاتصالات 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 إلى خلايا 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.

المرأة ونوبل للكيمياء

تمكنت كارولين بيرتوزي من تحسين أداء الكيمياء النقرية باستخدام تقنية "التفاعلات المتعامدة الحيوية ". فأثناء دراستها لمواد كربوهيدراتية في نوع من الخلايا التي تدخل في تركيب الأغشية الخلوية، نجحت في تطوير إنزيمات تحل محل النحاس السام في تفاعل "azide-alkyne cycloaddition"، ما مكّنها من استخدام ذلك التفاعل في الخلايا الحية. والآن تُستخدم هذه التفاعلات على نطاق واسع في تطوير الأدوية ورسم خرائط الحمض النووي وابتكار مواد جديدة مصنعة، وتحسين استهداف الخلايا السرطانية بعقاقير يجري حاليًا اختبارها سريريًا.

كارولين بيرتوزي - أحد الفائزين الثلاثة بجائزة نوبل للكيمياء 2022

تقويم الدرس 4-1

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 الرئيسية** صف ثلاثة بروتينات، وحدّد وظائفها.
2. **قارن** بين بناء الأحماض الأمينية، وثنائي الببتيد، وعديد الببتيد، والبروتين. وأيها لديه أكبر كتلة جزيئية؟ وأيها لديه 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؟ وكيف 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 1-4** يمكن تصنيفه في كل فئة من الأزواج الآتية:

a. غير قطبي مقابل قطبي **b.** أروماتي مقابل أليفاتي **c.** حمضي مقابل قاعدي

تساؤلات جوهرية

- كيف تصف تراكيب السكريات الأحادية، والثنائية، وعديدة التسكر؟
- ما وظائف الكربوهيدرات في الكائنات 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 الكائنات الحية بالطاقة والمواد البنائية.**

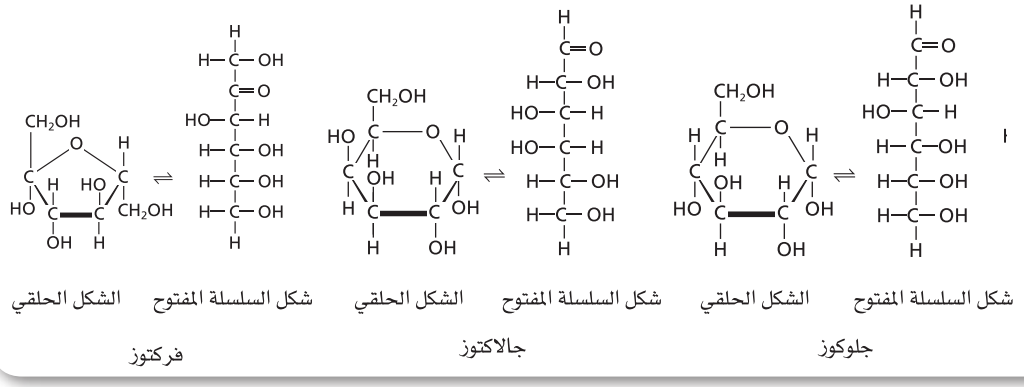
الربط مع الحياة هناك تركيز كبير من وسائل الإعلام على الكربوهيدرات. فقد أصبح النظام الغذائي القليل الكربوهيدرات طريقة مفضلة للتحكم في الوزن، إلا أن الكربوهيدرات مصدر مهم لطاقة الجسم.

أنواع الكربوهيدرات Kinds of Carbohydrates

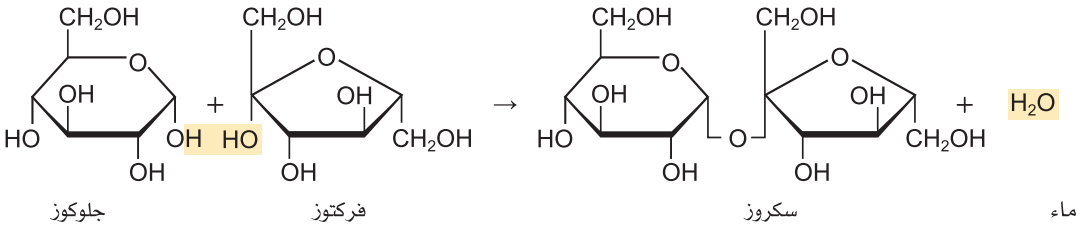
يعطي تحليل كلمة كربوهيدرات لمحة عن تركيب هذه المجموعة من الجزيئات. لقد أدت الملاحظات القديمة –التي بينت أن الصيغة الكيميائية العامة لهذه المركبات هي $C_n(H_2O)_n$، والتي تبدو وكأنها هيدرات الكربون– إلى تسميتها كربوهيدرات. ومع أن العلماء الآن يعرفون أنه لا توجد جزيئات ماء كاملة مرتبطة مع الكربوهيدرات إلا أن الاسم بقي دون تغيير.

الوظيفة الرئيسية للكربوهيدرات في الكائن 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 خمسًا أو ست ذرات كربون. ويبين **الشكل 9–4** 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 ألدهيدات أو كيتونات، وذلك حسب موقع مجموعة الكربونيل. كما أن تعدد المجموعات القطبية يجعل السكريات الأحادية قابلة للذوبان في الماء، ويعطيها درجات انصهار عالية.



الشكل 9-4 الجلوكوز، والجلاكتوز، والفركتوز سكريات أحادية. وتكون في المحاليل المائية في حالة اتزان بين الشكل الحلقي وشكل السلسلة المفتوح.



الشكل 10-4 عندما يتحد الجلوكوز والفركتوز يتكون السكر الثنائي السكروز. لاحظ أن الماء هو أيضًا ناتج تفاعل هذا التكاثف. وتذكّر أن كل تركيب حلقي يتكون من ذرات كربون غير ظاهرة في الشكل حتى لا يبدو معقدًا.

الجلوكوز سكر سداسي الكربون، وله تركيب ألدهيد. يوجد الجلوكوز بتركيز عال في الدم؛ لأنه يعمل بوصفه مصدرًا رئيسيًا 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. تجعل هذه العلاقة من الجلوكوز والجلاكتوز متشكلين هندسيين. فالفركتوز، والذي يعرف أيضًا بسكر الفاكهة لأنه الكربوهيدرات الرئيسي في معظم الفواكه، هو سكر أحادي يتكون من ست ذرات كربون له تركيب كيتون. كما أن الفركتوز متشكل بنائي للجلوكوز.

عندما تكون السكريات الأحادية في محلول مائي فإنها توجد على الصورة الحلقية وتركيب السلسلة المفتوحة، ولكنها تغير شكلها باستمرار وبسرعة. والتراكيب الحلقية هي الأكثر استقرارًا، وهي الشكل السائد للسكريات الأحادية في حالة الاتزان. تلاحظ في **الشكل 9-4** أن مجموعات الكربونيل توجد فقط في تركيب السلسلة المفتوحة. وفي التركيب الحلقي تتحول مجموعات الكربونيل إلى مجموعات هيدروكسيل.

السكريات الثنائية إن السكريات الثنائية تستطيع أن ترتبط معًا عن طريق تفاعل التكاثف الذي يطلق الماء، كما هو الحال في الأحماض الأمينية. وعندما يرتبط سكّران أحاديان معًا يتكون **سكر ثنائي**، كما في **الشكل 10-4**. ويطلق على الرابطة الجديدة المتكوّنة الرابطة الإيثرية C-O-C.

والسكروز هو أحد السكريات الثنائية، ويعرف أيضًا بسكر المائدة؛ لأنه يستعمل بشكل رئيسي 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. ترتبط الوحدات الأساسية في عديدة التسكر بروابط من نوع الروابط نفسها التي تجمع سكرين أحاديين لتكوين سكر ثنائي. أما الجلايكوجين، المبين في **الشكل 11-4**، فهو من السكريات عديدة التسكر، ويتألف من وحدات جلوكوز تختزن الطاقة، ويوجد غالبًا في الكبد وعضلات الإنسان وحيوانات أخرى. كما أنه يوجد في بعض أنواع الكائنات المجهرية، ومنها البكتيريا والفطريات.

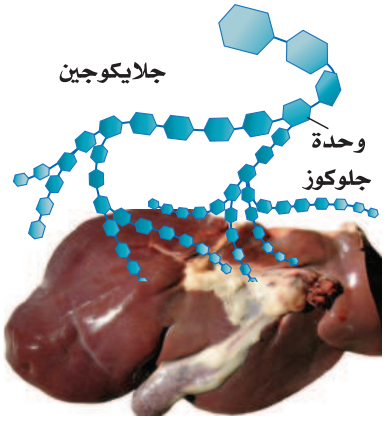
ماذا قرأت؟ **قارن** بين السكريات الأحادية والثنائية وعديدة التسكر.

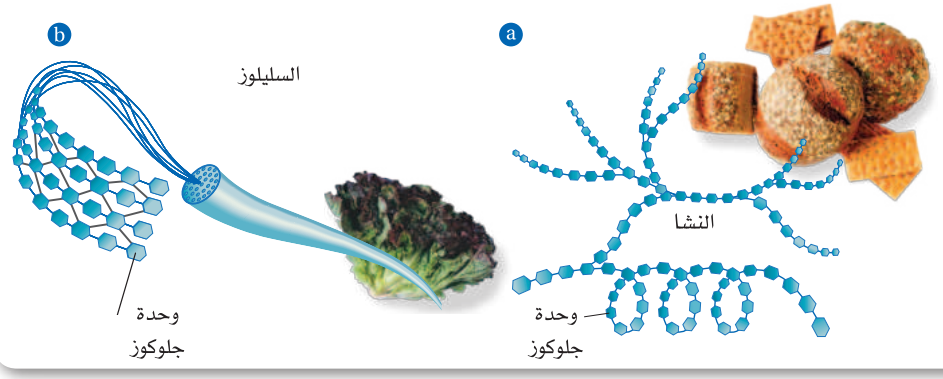
المفردات

أصل الكلمة

عديدة التسكر (Polysaccharide) اشتق هذا الاسم من الكلمة اليونانية Polys، والتي تعني "متعدد"، والكلمة السنسكريتية القديمة Sakkara، والتي تعني "سكر".

الشكل 11-4 يعد الجلايكوجين الموجود في عضلات وكبد الحيوانات من السكريات عديدة التسكر؛ حيث يتكون من وحدات من الجلوكوز.





الشكل 12-4 النشا والسليلوز نوعان مهمان من السكريات العديدة التسكر
a. النشا لديه تركيب متفرع أو غير متفرع.
b. السليلوز لديه تركيب غير متفرع يشبه السياج ذا السلاسل المتقاطعة.

يبين **الشكل 12-4** نوعين آخرين مهمين من السكريات العديدة التسكر، هما النشا والسليلوز. ويتكون كل منهما أيضًا من وحدات أساسية من الجلوكوز. ولكن هذا هو التشابه الوحيد بين السكريات العديدة التسكر الثلاثية، كما أن خواصها ووظائفها تكون مختلفة. 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.

ويتكون كل من الجلايكوجين والنشا والسليلوز من وحدات الجلوكوز، ولكن خواصها مختلفة؛ وذلك لأن الروابط التي تربط الوحدات الأساسية معًا تتجه اتجاهات مختلفة في الفراغ. ونظرًا لهذا 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.

تقويم الدرس 4-2

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.

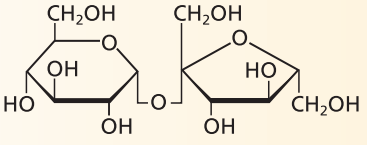
7. الفكرة الرئيسة **اشرح** وظائف الكربوهيدرات في الكائنات الحية.

8. **صف** تراكيب السكريات الأحادية والثنائية العديدة التسكر. أيها له أكبر كتلة جزيئية؟ وأيها له أصغر كتلة؟

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 المتشكلات المحتملة للسكريات الأحادية الآتية: والجلاكتوز، والجلوكوز، والفركتوز.

11. **تفسير الرسوم العلمية** انسخ رسم السكروز على ورقة منفصلة، وضع دائرة حول مجموعة الإيثر الوظيفية التي تربط الوحدات الأساسية السكرية معًا.



4–3

تساؤلات جوهرية

- كيف يمكن وصف تراكيب الأحماض الدهنية، الجليسريدات الثلاثية والليبيدات الفوسفورية والستيرويدات؟
- ما وظائف الليبيدات في الكائنات الحية؟
- ما التفاعلات التي تساهم فيها الأحماض الدهنية؟
- كيف يرتبط تركيب الأغشية الخلوية بوظيفتها؟

مراجعة المفردات

لا قطبي دون منطقتين منفصلتين موجبة وسالبة أو 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، والفيتامين(د) الذي يضاف إلى الحليب الذي يشربه الناس؟ جميعها ليبيدات.

ما الليبيد؟ What is a lipid?

الليبيدات جزيئات حيوية كبيرة لا قطبية. ولما كانت الليبيدات لا قطبية فهي غير قابلة للذوبان في الماء. تقوم الليبيدات بوظيفتين رئيسيتين في الكائنات الحية؛ فهي 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 لديها وحدة بناء رئيسية 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 رئيسيتين، اعتمادًا على وجود أو عدم وجود روابط ثنائية بين ذرات الكربون.

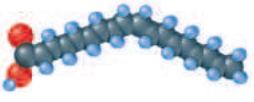
تسمى الأحماض الدهنية التي لا تحتوي على روابط ثنائية بالمشبعة، في حين تسمى غيرَ المشبعة إذا احتوت على رابطة ثنائية أو أكثر. ويبين **الشكل 13–4** تركيبي حمضين دهنيين شائعين.

ماذا قرأت؟ اشرح لماذا يوصف حمض الأوليك بأنه غير مشبع؟

الشكل 13-4 حمض الأوليك غير المشبع ذو 13 ذرة كربون وحمض الستيريك المشبع حمضان يوجدان في العديد من الأطعمة، ومنها الزبد.

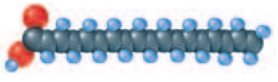
فسّر كيف يتأثر تركيب الجزيء بوجود الرابطة الثنائية؟

حمض الأوليك



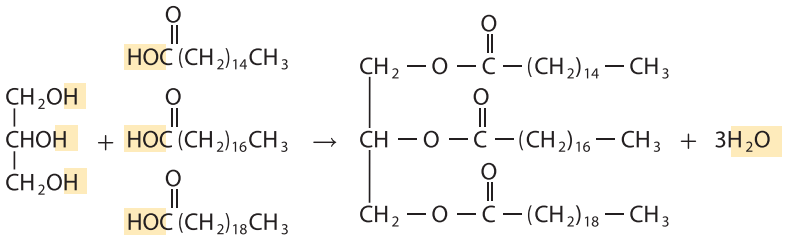
$$HO\overset{O}{\overset{\|}{C}}CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH=CHCH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$$

حمض الستيريك



$$HO\overset{O}{\overset{\|}{C}}CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$$

الشكل 14-4 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.

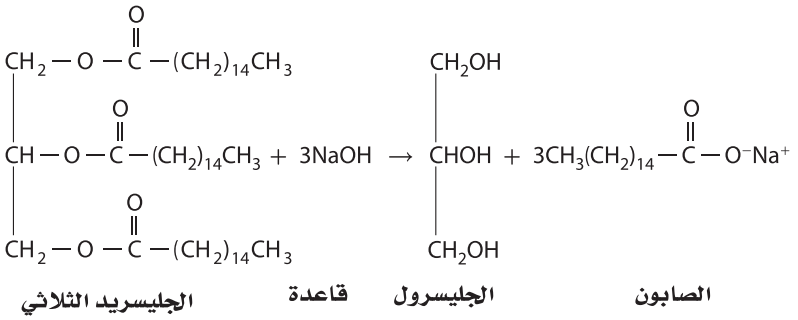
يمكن أن يتشبع الحمض الدهني غير المشبع إذا تفاعل مع الهيدروجين. ومن المعروف أن الهدرجة هي تفاعل إضافة يتم فيه تفاعل غاز الهيدروجين مع ذرات الكربون المرتبطة بروابط متعددة. وتستطيع كل ذرة كربون غير مشبعة أن تستوعب ذرة هيدروجين إضافية واحدة لتصبح مشبعة. فمثلاً، يمكن أن تتم هدرجة حمض الأوليك، في **الشكل 13-4**، ليكوّن حمض الستيريك.

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 تستطيع أن تكوّن تجاذبات بين جزيئية كثيرة مثل جزيئات الأحماض الدهنية المشبعة، ومن ثم تكون درجات انصهار الأحماض الدهنية غير المشبعة أدنى.

الجليسريدات الثلاثية على الرغم من أن الأحماض الدهنية موجودة بكثرة في الكائنات 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 14-4** تكوين الجليسريد الثلاثي. ويمكن أن تكون الجليسريدات الثلاثية إما صلبة أو سوائل عند درجة حرارة الغرفة، كما في **الشكل 15-4**. وعندما تكون سوائل تسمى عادة زيوتًا. فإذا كانت صلبة عند درجة حرارة الغرفة تسمى دهونًا.

ماذا قرأت؟ **حدد** اثنين من الزيوت النباتية واثنين من الدهون الحيوانية.

الشكل 15-4 معظم مخاليط ثلاثي الجليسريدات النباتية المصدر سوائل؛ 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 عند درجة حرارة الغرفة.



الشكل 16-4 يتكون الصابون من تفاعل الجليسريد الثلاثي وقاعدة قوية.

تُختزن الأحماض الدهنية في الخلايا الدهنية في الجسم على شكل جليسريد ثلاثي. وعندما تكون الطاقة متوافرة بكثرة تقوم الخلايا الدهنية بتخزين الطاقة الفائضة في الأحماض الدهنية على هيئة جليسريد ثلاثي. وعندما تصبح الطاقة قليلة 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– **التصبُّن**، ويستعمل تفاعل التصبُّن كما في **الشكل 16-4**، في إنتاج الصابون، وهو عبارة عن أملاح الصوديوم للأحماض الدهنية. ولجزيء الصابون طرفان: طرف قطبي وآخر لا قطبي.

يستعمل الصابون مع الماء في تنظيف الأوساخ غير القطبية والزيوت؛ لأن الأوساخ غير القطبية والزيوت يرتبطان بالطرف اللاقطبي لجزيئات الصابون، في حين يكون الطرف القطبي لجزيئات الصابون قابلاً للذوبان في الماء. وهكذا يمكن إزالة جزيئات الصابون المحملة بالأوساخ باستعمال الماء.

المختبر الصغير

تفاعل التصبّن

كيف يصنع الصابون؟ يُسمى التفاعل بين الجليسريد الثلاثي وقاعدة قوية التصبُّن. كما في **الشكل 16-4**.

خطوات العمل

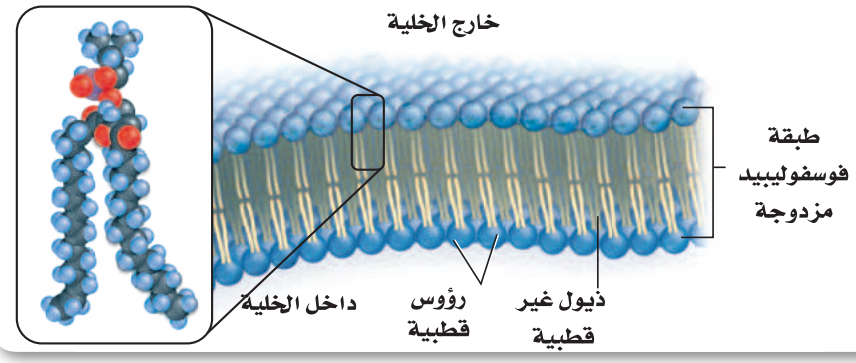
1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.
2. ضع كأسًا سعتها **250ml** على سخان كهربائي. وأضف 25g من **السمن النباتي الصلب** إليها. ثم أشعل السخان الكهربائي على درجة حرارة متوسطة.
3. استخدم **مخبارًا مدرجًا** سعته **25ml** لإضافة 12ml **إيثانول** ببطء في أثناء انصهار السمن النباتي، ثم أضف 5ml من NaOH تركيزه **6.0M** 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**، عندما يجمد الخليط دعه يبرد مدة 5 دقائق، ثم ضعه في **كأس سعتها 600 ml** بالماء البارد.
6. أضف 25ml من محلول NaCl المشبع إلى الخليط الذي في الكأس. ولما كان 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

9. **فسر** ما نوع الروابط التي تتحلل في الجليسريد الثلاثي في أثناء تفاعل التصبّن؟
10. **حدّد** نوع الملح الذي تكوّن في هذا التفاعل الكيميائي.
11. **حدّد** ما الطرف القطبي لجزيء الصابون؟ وما الطرف غير القطبي؟



الشكل 4-17 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 بالداخل.

الليبيدات الفوسفورية هناك نوع مهم آخر من الجليسريد الثلاثي يُسمى الليبيد الفوسفوري، يوجد بكثرة في الأغشية البلازمية. و**الليبيدات الفوسفورية** جليسريدات ثلاثية استبدل فيها أحد الأحماض الدهنية بمجموعة فوسفات قطبية. يكوّن الجزء القطبي من الجزيء رأسًا، كما في **الشكل 17-4**. 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 بـ الليبيد الثنائي الطبقة. ولما كان تركيب الليبيد الثنائي الطبقة يعمل بوصفه حاجزًا، فإن الخلية تستطيع أن تنظم المواد التي تدخل خلال هذا الغشاء وتخرج منه.

الربط مع علم الأحياء يحتوي سُمّ الأفاعي السامة نوعًا من الإنزيمات يعرف بالليبيز الفوسفوري. وتعمل هذه الإنزيمات عاملًا محفزًا لتحليل الليبيد الفوسفوري – وهو جليسريد ثلاثي استبدل فيه أحد الأحماض الدهنية بمجموعة فوسفات. يحتوي سمّ أحد أنواع الأفاعي 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 لسعة 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.

$$CH_3(CH_2)_x - \overset{\overset{O}{\|}}{C} - O - (CH_2)_yCH_3$$

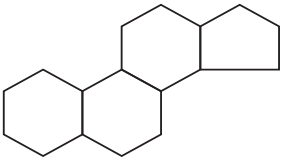
تنتج النباتات والحيوانات الشمع. وكثيرًا ما تُغطّى أوراق النبات بالشمع الذي يمنع فقدان الماء. ويبين **الشكل 18-4** كيف أن قطرات المطر تكون كرات كالخرز على أوراق النبات، مما يشير إلى وجود طبقة شمعية. كما أن أقراص العسل التي يبنيها النحل مصنوعة أيضًا من الشمع الذي يعرف عادة باسم شمع النحل. كما أن اتحاد 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.

المختبر الافتراضي

كوّن بحثا استقصائيا حول أنواع الدهون ومضارها الصحية، ثم قارن نتائجك بنتائج التجربة العملية "الدهون المشبعة وغير المشبعة" في كراسة التجارب العملية.

الشكل 4-18 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 19-4** 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 بالنسبة للإنسان. أما الحيوانات الصغيرة فإنه يؤدي إلى إسالة لعابها، وفقدان التوازن، والتشنجات، والموت.

الشكل 19-4 يستعمل العلجوم البحري العملاق سُمًّا ستيرويديًّا يُدعى بوفوتوكسين كآلية دفاع. ويُعد هذا السمّ قاتلاً لبعض الحيوانات كالكلاب والقطط.

تقويم الدرس 4-3

الخلاصة

- الأحماض الدهنية أحماض كربوكسيلية طويلة السلاسل تحتوي 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.
- 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.

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. **قارن** بين تراكيب الستيرويد، والليبيد الفوسفوري والشمع.

18. **اكتب** معادلة الهدرجة الكاملة للحمض الدهني غير المشبع وحمض اللينوليك.

$$CH_3(CH_2)_4CH{=}CHCH_2CH{=}CH(CH_2)_7COOH$$

19. **تفسير الرسوم العلمية** ارسم البناء العام لليبيد الفوسفوري، وعيّن عليه الأجزاء القطبية واللاقطبية.

في الميدان*

المهنة: عالم البيولوجيا الجزيئية

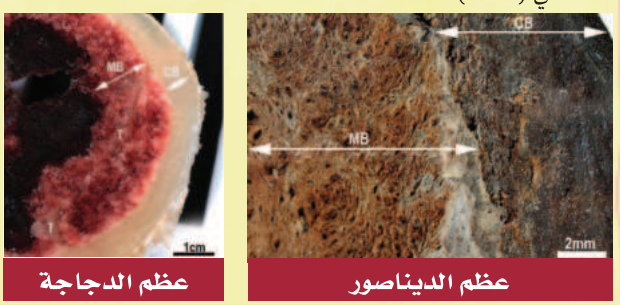
فحص الحمض يكشف مفاجأة

"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.

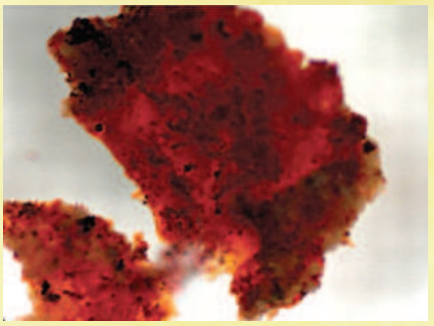
الأم بوب Mother Bob عندما قام علماء البيولوجيا الجزيئية باستخراج الديناصور المتحجر الذي أطلق عليه لقب "بوب" عام 2003 م من منطقة نائية في ولاية مونتانا الأمريكية، وضعت العظام في غطاء من الجبس لحمايتها في أثناء عملية النقل. ولكن كان وزن العظام والجبس يفوق قدرة الطائرة العمودية على حمله، مما اضطر علماء 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 نخاعيًا. 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 أليَن يسمى العظمَ النخاعي (MB).



عظم الديناصور | عظم الدجاجة



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 للإقناع من غير المحتمل أن يوجد DNA الديناصور في هذه الأنسجة اللينة. وعلى الرغم من ذلك فإن هذا الاكتشاف يثير السؤال الآتي: هل نستنسخ الحيوانات المنقرضة من DNA الذي يتم الحصول عليه؟ اكتب مقالة إقناعية تعبر فيها عن رأيك حول هذا السؤال.

* للاطلاع فقط

مختبر الكيمياء

فعل الإنزيم ودرجة الحرارة

الخلفية النظرية الإنزيمات عوامل محفزة طبيعية تستعملها الكائنات 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
فوق أكسيد الهيدروجين ($3\%\ H_2O_2$)
ماء
كأس سعتها 250 ml عدد 4
أنبوب اختبار عدد 4
حامل أنابيب اختبار
ماسك أنابيب اختبار
مخبار مدرج 25 ml
مقياس درجة حرارة
مسطرة
قطع ثلج
ساعة
سخان كهربائي
كبدة طازجة ونيئة

إجراءات السلامة

خطوات العمل

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.
2. اكتب فرضية تحدد درجة الحرارة التي تكون عندها الإنزيمات 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 عند درجة حرارة الغرفة، والثالثة على ماء عند درجة حرارة الجسم، والرابعة على ماء عند 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 وسجلها.
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 بدلًا من معجون لب البطاطس.

جدول البيانات

حوض ماء	درجة الحرارة (°C)	ارتفاع الرغوة (cm)
البطاطس		
ماء مثلج		
ماء عند درجة حرارة الغرفة		
ماء عند درجة حرارة الجسم		
ماء مغلي (قريب من 100 °C)		
الكبد		
ماء مثلج		
ماء عند درجة حرارة الغرفة		
ماء عند درجة حرارة الجسم		
ماء مغلي (قريب من 100 °C)		

14. **التنظيف والتخلص من النفايات** تخلص مما تبقى من المحاليل حسب توجيهات معلمك، ثم اغسل أدوات المختبر، وأعدها إلى أماكنها المخصصة.

حلل واستنتج

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 عند 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.

الإستقصاء

صمّم تجربة هل يؤثر التغير في pH في النتائج؟ صمّم تجربة لتكتشف الإجابة.

الفكرة العامة تقوم المركبات العضوية الحيوية: البروتينات، والكربوهيدرات، والليبيدات بالنشاطات الضرورية للخلايا الحية.

4-1 البروتينات

الفكرة الرئيسة تؤدي البروتينات وظائف أساسية تشمل تنظيم التفاعلات الكيميائية، والدعم البنائي، ونقل المواد، وتقلصات العضلات.

المفردات

- البروتينات
- الأحماض الأمينية
- الرابطة الببتيدية
- الببتيدات
- تغيير الخواص الطبيعة الأصلية
- الإنزيمات
- المادة الخاضعة لفعل الإنزيم
- الموضع النشط

المفاهيم الرئيسة

- البروتينات بوليمرات حيوية تتكون من أحماض أمينية ترتبط بروابط ببتيدية.
- تنطوي سلاسل البروتينات مكوّنة تراكيب معقدة ثلاثية الأبعاد.
- للبروتينات وظائف عديدة في جسم الإنسان، منها وظائف داخل الخلايا وأخرى بينها، ووظائف دعم بنائي.

4-2 الكربوهيدرات

الفكرة الرئيسة تزود الكربوهيدرات الكائنات الحية 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 السكريات الأحادية في المحاليل المائية في تراكيب حلقية ومفتوحة السلسلة.

4-3 الليبيدات

الفكرة الرئيسة تكوّن الليبيداتُ الأغشيةَ الخلويةَ، وتختزن الطاقة، وتنظم العمليات الخلوية.

المفردات

- الليبيدات
- الأحماض الدهنية
- الجليسريدات الثلاثية
- التصبُّن
- الليبيدات الفوسفورية
- الشموع
- الستيرويدات

المفاهيم الرئيسة

- الأحماض الدهنية أحماض كربوكسيلية طويلة السلاسل تحوي عادة ما بين 12 و 24 ذرة كربون.
- لا تحوي الأحماض الدهنية المشبعة على روابط ثنائية؛ في حين تحوي الأحماض الدهنية غير المشبعة رابطة ثنائية أو أكثر.
- يمكن أن ترتبط الأحماض الدهنية بالجليسرول لتكوّن الجليسريد الثلاثي.
- الستيرويدات ليبيدات تحوي على تراكيب متعددة الحلقات.

4-1

إتقان المفاهيم

20. ماذا تُسمى السلسلة المكوّنة من ثمانية أحماض أمينية؟ والسلسلة المكوّنة من 200 حمض أميني؟

21. سمِّ نوعين من المجموعات الوظيفية التي تتفاعل معًا لتكوين رابطة ببتيدية، وسمِّ أيضًا المجموعة الوظيفية في الرابطة الببتيدية نفسها.

22. 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: ●

23. تشريح جسم الإنسان سمِّ خمسة أجزاء من الجسم تحتوي بروتينات بنائية.

24. عدّد أربع وظائف رئيسية للبروتينات، وأعط مثالاً واحدًا على بروتين يقوم بكل وظيفة من هذه الوظائف.

25. صف شكلين شائعين لتركيب البروتين الثلاثي الأبعاد.

26. سمِّ المجموعات الوظيفية في السلاسل الجانبية للأحماض الأمينية الآتية:

a. الجلوتامين

b. السيرين

c. حمض الجلوتاميك

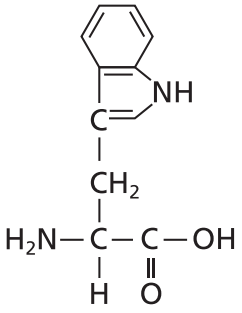
d. اللايسين

27. اشرح كيف يعمل الموضع النشط للإنزيم.

28. أعطِ مثالاً على حمض أميني له حلقة أروماتية في سلسلته الجانبية.

29. سمِّ حمضين أمينيين لا قطبيين وآخرين قطبيين.

30. التركيب المبين في **الشكل 20-4** للتريبتوفان. صف بعض الخواص التي تتوقعها للتريبتوفان، بناءً على تركيبه. وإلى أي من المركبات العضوية الحيوية ينتمي التريبتوفان؟ وضح إجابتك.



الشكل 20-4

31. هل ثنائي ببتيد اللايسين – الفالين هو المركب نفسه كثنائي ببتيد الفالين – اللايسين؟ وضح إجابتك.

32. إنزيمات كيف تخفّض الإنزيمات طاقة التنشيط لتفاعلٍ ما؟

33. 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

34. بكم طريقة يمكنك ترتيب ثلاثة أو أربعة أو خمسة أحماض أمينية مختلفة في الببتيد؟

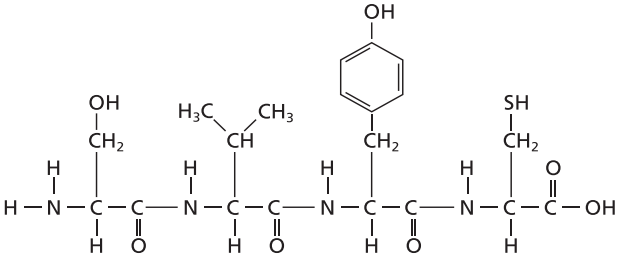
35. كم رابطة ببتيدية توجد في ببتيد يحوي خمسة أحماض أمينية؟

36. 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)

37. حـدّد عدد الأحمـاض الأمينيـة والروابـط الببتيديـة التي توجد في الببتيد المبين في **الشكل 21-4**.



الشكل 21-4

38. معـدل الكتلـة المولية لحمـض أميني هـو 110 g/mol، احسـب عدد الأحماض الأمينيـة التقريبي في بروتين كتلته المولية 36,500 g/mol

4-2

إتقان المفاهيم

39. الكربوهيـدرات صنّـف الكربوهيـدرات الآتيـة إلى سكريات أحادية، أو ثنائية، أو عديدة التسكر:

a. النشا
b. الجلوكوز
c. السكروز
d. الرايبوز
e. السليلوز
f. الجلايكوجين
g. الفركتوز
h. اللاكتوز

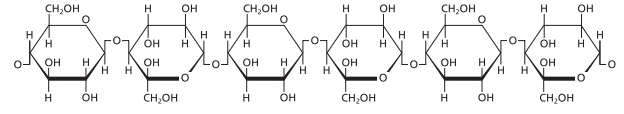
40. سمِّ متشكلين للجلوكوز.

41. مـا نـوع الرابطة التي تتكـون عند اتحاد سـكرين أحاديين لتكوين سكر ثنائي؟

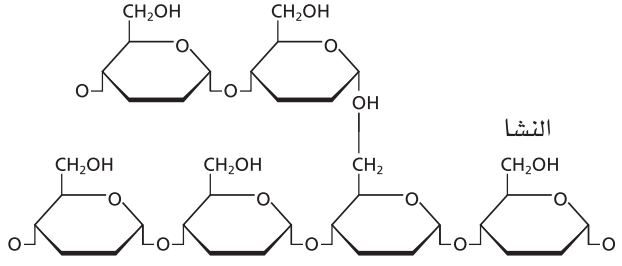
42. السكريات أعط مصطلحًا علميًّا لكل مما يأتي:

a. سكر الدم
b. سكر المائدة
c. سكر الفاكهة
d. سكر الحليب

43. السـليلوز والنشـا قارن بين التراكيب الجزيئية للسـليلوز والنشا المبينة في **الشكل 22-4**.



السليلوز



الشكل 22-4

44. الكيمياء في النباتات قارن بين وظائف النشـا والسـليلوز في النباتـات، ووضـح أهمية التركيب الجزيئـي لكل منهما بالنسبة لوظيفته.

45. اسـتنتج كيف تعطي الاختلافـات في ترتيبات الروابط في السليلوز والنشا خواص مختلفة؟

46. يتكون السكر الثنائي المالتوز من وحدتي جلوكوز. ارسم تركيبه.

47. لماذا ينتج تميّه السـليلوز، والجلايكوجين، والنشـا سـكرًا أحاديًّا واحدًا فقط؟ وما السكر الأحادي الذي ينتج؟

48. الهضـم لماذا لا يمكن أن يتحلل السـكر الثنائي أو العديد التسكر عند عدم وجود الماء؟ دعّم إجابتك بمعادلة.

49. 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.

50. السكريات قارن من حيث الصيغة الجزيئية والكتلة المولية والمجموعات الوظيفية لكل من الجلوكوز والفركتوز.

51. منظور تاريخي الكربوهيدرات ليست هيدرات الكربون كما يوحي الاسم بذلك. اشرح كيف حدث هذا المفهوم غير الصحيح.

إتقان حل المسائل

52. 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 يتحرر جزيء ماء واحد مقابل كل وحدتي سكر ترتبطان معًا فما الكتلة المولية للستاكيوز؟

4-3

إتقان المفاهيم

53. قارن بين تركيبي الجليسريد الثلاثي و الليبيد الفوسفوري.

54. توقع أيهما تكون درجة انصهاره أعلى: الجليسريد الثلاثي المأخوذ من دهن البقر، أو الجليسريد الثلاثي المأخوذ من زيت الزيتون؟ فسّر إجابتك.

55. الصابون والمنظفات اشرح كيف أن تركيب الصابون يجعله عامل تنظيف فعّالاً.

56. ارسم جزءًا من غشاء ليبيدي ذي طبقتين، وأشر إلى الأجزاء القطبية وغير القطبية من الغشاء.

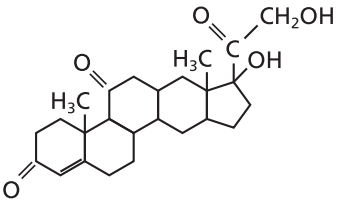
57. أين تُختزن الأحماض الدهنية في جسم الإنسان؟ وفي أي صورة؟

58. ما نوع الليبيد الذي لا يحتوي على سلاسل أحماض دهنية؟ ولماذا تُصنّف هذه المركبات على أنها ليبيدات؟

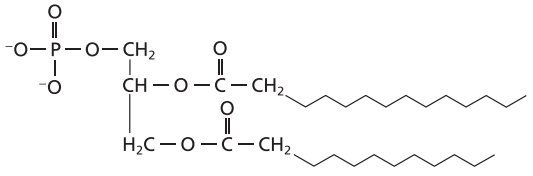
59. الصابون ارسم تركيب صابون بالمتات الصوديوم. (البالمتات هو القاعدة المرافقة للحمض الدهني المشبع ذي 16 ذرة كربون والمعروف باسم حمض البالمتيك). وأشر إلى طرفيه القطبي واللاقطبي.

60. حدّد هل يعد كل تركيب مما يأتي حمضًا دهنيًّا، أو جلسريد ثلاثي، أو ليبيد فوسفوري، أو ستيرويد، أو شمعًا؟ فسّر إجابتك.

a.



b.



إتقان حل المسائل

61. كثافة حمض البالمتيك الدهني تساوي 0.853g/ml عند 62 °C. فما كتلة عينة من حمض البالمتيك حجمها 0.886 L عند درجة الحرارة نفسها؟

62. الدهون غير المشبعة كم مولاً من غاز الهيدروجين تتطلبه هدرجة تامة لـ 1 mol من حمض اللينوليك؟ اكتب معادلة موزونة لتفاعل الهدرجة. علمًا بأن الصيغة الكيميائية لحمض اللينوليك هي:

$CH_3CH_2CH{=}CHCH_2CH{=}CHCH_2CH{=}CH(CH_2)_7COOH$

مراجعة عامة

63. ارسم مجموعات الكربونيل الوظيفية في الجلوكوز والفركتوز. فيم تتشابه هذه المجموعات، وفيم تختلف؟

64. سمِّ وحدات البناء الأساسية التي تكوّن البروتينات والكربوهيدرات المركبة.

65. صف وظائف البروتينات، والكربوهيدرات، والليبيدات، في الخلايا الحية.

66. اكتب معادلات موزونة للبناء الضوئي، والتنفس الخلوي، وتميه اللاكتوز.

67. اكتب معادلة موزونة لتركيب السكروز من الجلوكوز والفركتوز.

التفكير الناقد

68. احسب يتكون 38 mol تقريبًا من ATP عند التأكسد الكامل للجلوكوز في أثناء التنفس الخلوي. فإذا كانت حرارة الاحتراق لمول واحد من الجلوكوز تساوي 2.82×10^{3} kJ /mol ، وكل مول من ATP يختزن 30.5 kJ من الطاقة، فما كفاءة التنفس الخلوي بدلالة النسبة المئوية من حيث الطاقة المتاحة المخزونة في روابط ATP الكيميائية؟

69. تعرّف السبب والنتيجة تقترح بعض الأنظمة الغذائية تحديدًا شديدًا لكمية الليبيدات، فلماذا لا يُعد حذف الليبيدات من الغذاء كليًّا فكرة جيدة؟

70. الرسوم البيانية واستعمالها يبين الجدول 2-4 عددًا من الأحماض الدهنية المشبعة وقيم بعض خواصها الفيزيائية.

a. مثّل بيانيًّا عدد ذرات الكربون ودرجة الانصهار.
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 2-4 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 الأراكيدك	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 تحدٍّ

71. احسب كم مولاً من ATP يمكن أن ينتج الجسم البشري من السكر الموجود في التفاح الأحمر الموجود في 28 kg. استخدم الإنترنت للحصول على معلومات لحل المسألة.

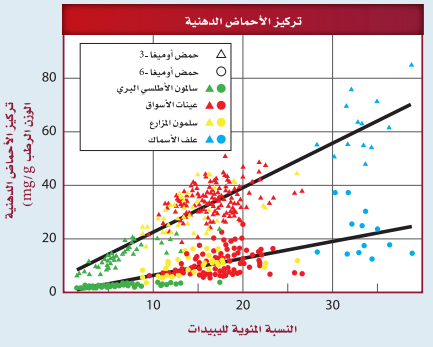
تقويم إضافي

الكتابة في الكيمياء

72. **الكولسترول** استعمل المكتبة أو الإنترنت لعمل بحث عن الكولسترول. واكتب مقالة صحفية تتعلق بالكولسترول موجهة إلى القرّاء في سن المراهقة. وتأكد أن تجيب 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 أوميغا- 3 وأوميغا- 6 أحماض دهنية أخذت أسماءها من تراكيبها. فهي تحتوي على رابطة ثنائية إما على بعد 3 ذرات كربون أو 6 ذرات كربون من نهاية سلسلة الحمض الدهني. هذه الأحماض الدهنية لها تأثير مفيد في الصحة؛ لأنها تخفض مستويات الكولسترول السيئ وترفع مستويات الكولسترول الجيد في الدم. لقد دُرست مستويات الأحماض الدهنية أوميغا -3 وأوميغا -6 في سمك السلمون من مصادر ثلاثة مختلفة وفي الغذاء المستعمل في مزارع السلمون أيضًا. يبين **الشكل 4-23** النسبة المئوية للأحماض الدهنية أوميغا -3 وأوميغا-6 مقارنة بمجموع كمية الليبيدات في العينات.



الشكل 4-23

73. أي نوع من السمك احتوى أكبر كمية من الأحماض الدهنية أوميغا؟

74. بناءً على هذه الدراسة، أي أنواع السلمون تنصح به لشخص يريد الإكثار من كمية الأحماض الدهنية أوميغا-3 وأوميغا-6 في غذائه؟

75. استنتج من الرسم البياني لماذا يحتوي سلمون المزارع والأسواق الكبرى كمية من الأحماض الدهنية أوميغا-3 وأوميغا-6 أكبر من تلك الموجودة في السلمون البري؟

اختبار تراكمي مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

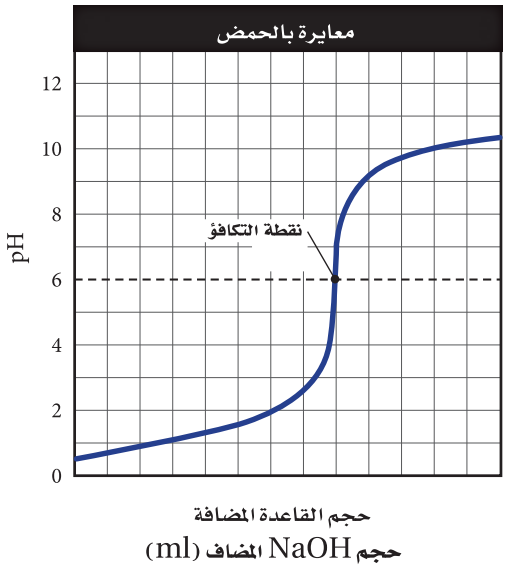
1. أي الكواشف الكيميائية الآتية أكثر فاعلية في تحديد نقطة النهاية لهذه المعايرة؟ استخدم الرسم الآتي للإجابة عن هذا السؤال.

a. الميثيل البرتقالي، مدى pH (3.2–4.4)

b. الفينولفثالين، مدى pH (8.2–10)

c. الثيمول الأزرق، مدى pH (8.0–9.6)

d. البروموثيمول الأزرق، مدى pH (6.0–7.6)



2. كم جرامًا يلزم من NaOH لتتعادل بشكل تام مع 50 ml من 0.100M HCl؟

a. 0.200 g

b. 5.00 g

c. 0.125 g

d. 200 g

3. 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.

4. أي مما يلي لا يعد متشكلا بنائيًا للصيغة: $CH_2=CHCH_2CH=CHCH_3$

a. $CH_2=CHCH_2CH_2CH=CH_2$

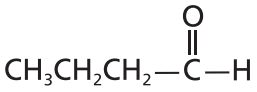
b. $CH_3CH=CHCH_2CH=CH_2$

c. $CH_3CH=CHCH=CHCH_3$

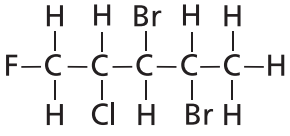
d. $CH_2=C=CHCH_2CH_2CH_3$

أسئلة الإجابات القصيرة

5. ما نوع المجموعة الوظيفية في المركب الآتي؟



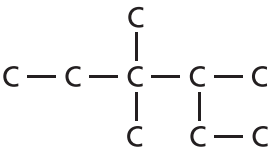
6. اكتب الاسم العلمي وفقًا لنظام الأيوباك IUPAC للمركب العضوي الموضح في الشكل الآتي؟



7. ما الصيغة البنائية المختصرة للهبتان؟

أسئلة الإجابات المفتوحة

استخدم الشكل أدناه للإجابة عن السؤال 8.



8. سجل أحد الطلبة اسم الألكان الممثل بالسلسلة الكربونية أعلاه كما يلي: 2 – ايثيل 3، 3 – ثنائي ميثيل بنتان. قوّم إجابة الطالب فيما إذا كان اسم المركب صحيحًا.
9. قارن بين المركبات الأليفاتية، والمركبات الأروماتية.

المصطلحات

(أ)

الأحماض الأمينية Amino Acid جزيئات عضوية توجد فيها مجموعة الأمين ومجموعة الكربوكسيل الحمضية.

الأحماض الدهنية Fatty Acid أحماض كربوكسيلية ذات سلاسل طويلة. وتحتوي معظم الأحماض الدهنية الطبيعية ما بين 12 و 24 ذرة كربون. ويمكن تمثيل تركيبها بالصيغة العامة: $CH_3(CH_2)_nCOOH$.

الأحماض الكربوكسيلية Carboxylic Acid مركبات عضوية تحتوي على مجموعة الكربوكسيل COOH–.

الأزواج المترافقة Conjugate Pairs مادتان ترتبطان معًا عن طريق منح واستقبال أيونات الهيدروجين.

الألدهيدات Aldehydes 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.

الألكانات Alkanes مركبات هيدروكربونية تحتوي روابط تساهمية أحادية فقط بين ذرات الكربون.

الألكانات الحلقية Cycloalkanes مركبات هيدروكربونية حلقية تحتوي روابط تساهمية مفردة فقط، وتتكون من حلقات فيها ثلاث ذرات كربون أو أكثر.

الألكاينات Alkynes مركبات هيدروكربونية غير مشبعة كالايثاين C_2H_2 تحتوي رابطة تساهمية ثلاثية أو أكثر بين ذرات الكربون.

الألكينات Alkenes مركبات هيدروكربونية غير مشبعة كالايثين C_2H_4 تحتوي رابطة تساهمية ثنائية أو أكثر بين ذرات الكربون.

الأميدات Amides مركبات عضوية تنتج عن استبدال مجموعة OH– في الحمض الكربوكسيلي بذرة نيتروجين مرتبطة بذرات أخرى

الأمينات Amines مركبات عضوية تحتوي ذرات نيتروجين مرتبطة بذرات الكربون في سلاسل أليفاتية أو حلقات أروماتية، ولها الصيغة العامة RNH_2.

الإسترات Ester مركبات عضوية تحتوي على مجموعة كربوكسيل حلت فيها مجموعة ألكيل محل ذرة الهيدروجين الموجودة في مجموعة الهيدروكسيل، ويمكن أن تكون مواد متطايرة وذات رائحة عطرية، وهي من المركبات القطبية.

الإيثرات Ethers مركبات عضوية تحتوي ذرة أكسجين مرتبطة مع ذرتين من الكربون. والصيغة العامة للإيثرات هي ROR'.

الإنزيم Enzymes عامل محفز حيوي يعمل على تسريع التفاعل الكيميائي دون أن يستهلك.

(ب)

الببتيدات Peptides السلاسل المكونة من حمضين أمينيين أو أكثر مرتبطة معًا بروابط ببتيدية.

البروتينات Proteins مركبات عضوية حيوية تتكون من أحماض أمينية مرتبطة معًا بترتيب معين.

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).

البلمرة بالإضافة Addition Polymerization التفاعل الذي تتكسر فيه الروابط غير المشبعة تماما كما في تفاعلات الإضافة، والاختلاف الوحيد بينهما هو أن 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.

البوليمرات Polymers جزيئات كبيرة تتكون من العديد من الوحدات البنائية المتكررة.

(ت)

التصبُّن Saponification تميُّه الجلسريد الثلاثي بوجود محلول مائي لقاعدة قوية لتكوين أملاح الكربوكسيلات والجلسرول.

تغيير الخواص الطبيعية الأصلية Denaturation العملية التي تشوه تركيب البرويتن الطبيعي ثلاثي الأبعاد وتمزقه أو تتلفه.

تفاعلات الاستبدال Substitution Reactions التفاعلات التي تحل فيها ذرة أو مجموعة من الذرات في الجزيء محل ذرة أو مجموعة أخرى من الذرات.

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.

تفاعلات إضافة الماء Hydration Reaction التفاعلات التي يتم فيه إضافة ذرة الهيدروجين ومجموعة الهيدروكسيل من جزيء الماء إلى الرابطة الثنائية أو الثلاثية.

تفاعلات البلمرة Polymerization Reactions التفاعلات التي ترتبط فيها المونومرات مع بعضها البعض.

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 الماء Dehydration Reactions تفاعلات الحذف التي يصاحبها تكوين الماء.

تفاعلات حذف الهيدروجين Dehydrogenation Reactions التفاعلات التي يصاحبها حذف ذرتي هيدروجين.

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 التعادل Neutralization Reactions تفاعلات الأحماض مع القواعد لإنتاج ملح وماء.

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.

التقطير التجزيئي Distillation Fractional 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 إلى جازولين عن طريق تكسير الجزيئات الكبيرة الى جزيئات أصغر.

التميؤ Salvation عملية إحاطة جزيئات المذاب من جزيئات المذيب لتكوين المحلول.

التميه Hydrate مركب متبلور يحتوي على عدد محدد من جزيئات ماء التبلور.

تميه الملح Salt Hydrolysis عملية اكتساب الشق السالب من الملح أيونات الهيدروجين، واكتساب الشق الموجب أيونات الهيدروكسيل من الماء عند إذابة الملح في الماء.

(ث)

ثابت تأين الحمض Acid Ionization Constant قيمة تعبير ثابت الاتزان لتأين الحمض.

ثابت تأين القاعدة Base Ionization Constant قيمة تعبير ثابت الاتزان لتأين القاعدة.

ثابت تأين الماء Water Ionization Constant تعبير ثابت الاتزان للتأين الذاتي للماء ويساوي حاصل ضرب تراكيز أيون الهيدروجين وأيون الهيدروكسيد في المحاليل المخففة.

(ج)

الجلسريد الثلاثي Triglyceride تركيب يتكون من ارتباط ثلاثة أحماض دهنية بالجلسرول بواسطة روابط إستر.

(ح)

الحمض القوي Strong Acid الحمض الذي يتأين بشكل تام في الماء.

الحمض الضعيف Weak Acid حمض يتأين جزئيًا في الماء.

الحمض المرافق Conjugate Acid المركب الكيميائي الذي ينتج عندما تستقبل القاعدة أيون الهيدروجين من حمض.

(ر)

الرابطة الببتيدية Peptide Bond رابطة الأميد التي تجمع حمضين أمينيين.

الرقم الهيدروجيني pH القيمة السالبة للوغارتيم تركيز أيون الهيدروجين في المحلول.

الرقم الهيدروكسيدي pOH القيمة السالبة للوغارتيم تركيز أيون الهيدروكسيد في المحلول.

(س)

الستيرويدات Steroids ليبيدات تحتوي تراكيبها على حلقات متعددة. وجميع الستيرويدات مبنية من تركيب الستيرويد الأساسي المكوّن من الحلقات الأربع.

سعة المحلول المنظم Capacity of Solution عبارة عن كمية الحمض أو القاعدة التي يستطيع المحلول المنظم أن يستوعبها دون تغير مهم في الرقم الهيدروجيني pH.

السكريات الأحادية Monosaccharides أبسط الكربوهيدرات تركيبًا، وتدعى السكريات البسيطة أيضًا.

السكريات الثنائية Disaccharides وهي السكريات الناتجة من اتحاد جزيئين من السكريات الأحادية.

السكريات عديدة التسكر Polysaccharides بوليمر من السكريات البسيطة يحتوي على 12 وحدة بناء أساسية أو أكثر.

السلسلة الرئيسية Parent Chain أطول سلسلة متصلة من ذرات الكربون في الألكانات والألكينات 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.

(ق)

القاعدة القوية Strong Base القاعدة التي تتأين بشكل تام في الماء.

القاعدة الضعيفة Weak Base قاعدة تتأين جزئيًا في الماء.

القاعدة المرافقة Conjugate Base المركب الكيميائي الذي ينتج عندما يمنح الحمض أيون الهيدروجين.

(ك)

كاشف الحمض والقاعدة Acid-Base Indicator عبارة عن صبغة كيميائية تتأثر ألوانها بالمحاليل الحمضية والقاعدية.

الكحولات Alcohols مركبات عضوية 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).

الكيتونات Ketones مركبات عضوية ترتبط فيها ذرة الكربون في مجموعة الكربونيل مع ذرتي كربون في السلسلة. وله الصيغة العامة RCOR' .

(ل)

الليبيدات Lipids مركبات عضوية حيوية غير قطبية كبيرة جدًّا، تختلف في تركيبها، وتعمل على تخزين الطاقة في المخلوقات الحية، وتدخل في معظم تركيب غشاء الخلية.

الليبيدات الفوسفورية Phospholipids ثلاثي الجلسريد استبدل فيه أحد الأحماض الدهنية بمجموعة فوسفات قطبية.

(م)

المادة الخاضعة لفعل الإنزيم Substrate يشير إلى مادة متفاعلة في تفاعل يعمل فيه الإنزيم عمل عامل محفز.

المتشكلات Isomers مركبان أو أكثر لهما الصيغة الجزيئية نفسها ولكنهما يختلفان في صيغتهما البنائية.

المتشكلات البنائية Structural Isomers المتشكلات التي تترتب فيها الذرات بتسلسلات مختلفة، مما يؤدي إلى اختلاف مركباتها في الخصائص الكيميائية والفيزيائية رغم التشابه في الصيغة الجزيئية.

المتشكلات الفراغية Stereoisomers نوع من المتشكلات لها التركيب نفسه ولكنها تترتب بشكل مختلف في الفراغ.

المتشكلات الهندسية Geometric Isomers نوع من المتشكلات الناتجة عن ترتيب المجموعات أو الذرات في الفراغ حول الرابطة التساهمية الثنائية في المركب.

مجموعة الكربوكسيل Carboxyl Group عبارة عن مجموعة كربونيل مرتبطة مع مجموعة هيدروكسيل.

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 الهيدروكسيل hydroxyl Group مجموعة الأكسجين – الهيدروجين التي ترتبط تساهميًا مع ذرات أخرى مثل الكربون.

المحلول الحمضي Acidic Solution المحلول الذي يحتوي على تركيز أيونات هيدروجين أكثر من الهيدروكسيد.

المحلول القاعدي Basic Solution المحلول الذي يحتوي على تركيز أيونات الهيدوكسيد أكثر من الهيدروجين.

المحلول القياسي Standard Solution محلول معروف التركيز يستعمل لمعايرة محلول مجهول التركيز.

المحلول المنظم Buffered Solution محلول يقاوم التغير في pH عند إضافة كميات محددة من الاحماض أو القواعد.

المجموعات البديلة Substituent Groups التفرعات الجانبية التي تظهر على أطول سلسلة وتكون بديلة لذرة الهيدروجين.

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.

المركبات الأروماتية Aromatic Compounds مركبات عضوية تحتوي على حلقة بنزين أو أكثر.

المركبات الأليفاتية Aliphatic Compounds مركبات هيدروكربونية لا تحتوي على حلقة بنزين مثل الألكانات والألكينات والألكاينات.

المركبات العضوية Organic Compounds مركبات تحتوي الكربون ما عدا أكاسيد الكربون والكربيدات والكربونات فهي غير عضوية.

المعايرة Titration طريقة كيميائية يحدث خلالها تفاعل حجم محدد من محلول تركيزه مجهول مع محلول تركيزه معلوم لإيجاد التركيز المجهول.(هناك أنواع عديدة من المعايرة أشهرها معايرة حمض مع قاعدة).

الملح Salt مركب أيوني أيونه الموجب من القاعدة، وأيونه السالب من الحمض.

مواد مترددة (أمفوتيرية) Amphoteric Substances مواد تستطيع أن تسلك سلوك الأحماض والقواعد.

الموضع النشط Active Site النقطة التي ترتبط بها المواد الخاضعة لفعل الإنزيم.

المونومرات Monomers الجزيئات الصغيرة أو الوحدات البنائية التي يصنع منها البوليمرات.

(ن)

نقطة التكافؤ Equivalence Point النقطة التي يكون عندها عدد مولات H^+ التي يوفرها الحمض مساويًا لعدد مولات OH^- التي توفرها القاعدة.

نقطة النهاية End Point النقطة التي يغير عندها الكاشف لونه.

نموذج أرهينيوس Arrhenius Model نموذج يعرف الحمض بالمادة التي تطلق أيونات الهيدروجين عند إذابتها في الماء، والقاعدة تطلق أيونات الهيدروكسيد.

نموذج برونستد ولوري Bronsted-Lowry Model نموذج يعرّف الحمض على أنه مادة مانحة للبروتونات والقاعدة مادة مستقبلة لها.

نموذج لويس Lewis Model نموذج يعرّف الحمض على أنه مادة تستقبل زوجًا من الإلكترونات في حين أن القاعدة مادة تمنح زوجًا من الإلكترونات.

(هـ)

هاليدات الأريل Aryl Halides مركبات عضوية تتكون من هالوجين مرتبط مع حلقة البنزين أو مجموعة أروماتية أخرى.

هاليدات الألكيل Alkyl Halides مركبات عضوية تحتوي ذرة هالوجين مرتبطة برابطة تساهمية مع ذرة كربون أليفاتية.

الهلجنة Halogenation تفاعل تحل فيه ذرة هالوجين – مثل الكلور أو البروم – محل ذرة هيدروجين.

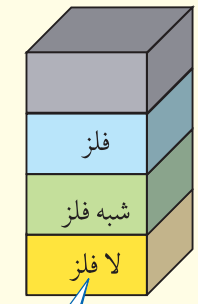
الهيدروكربونات Hydrocarbons أبسط المركبات العضوية، تتكون من عنصري الكربون والهيدروجين فقط.

الهيدروكربون الحلقي Cyclic Hydrocarbon مركب هيدروكربوني يحتوي حلقة هيدروكربونية.

الهيدروكربون غير المشبع 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.

الجدول الدوري للعناصر

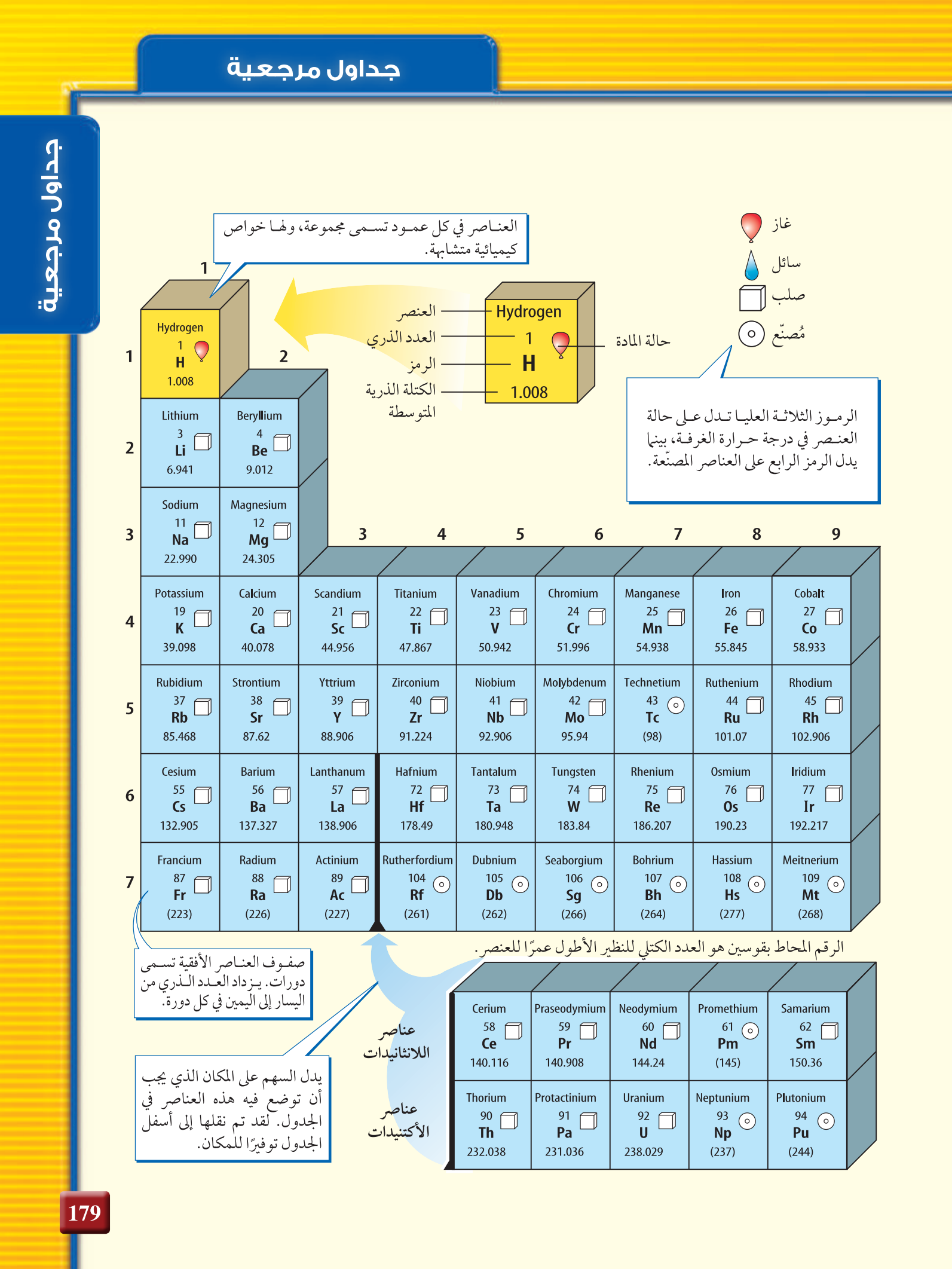


يدل لون صندوق كل عنصر على ما إذا كان فلزًا أو شبه فلز أو لافلزًا.

10	11	12	13	14	15	16	17	18
								Helium 2 He 4.003
			Boron 5 B 10.811	Carbon 6 C 12.011	Nitrogen 7 N 14.007	Oxygen 8 O 15.999	Fluorine 9 F 18.998	Neon 10 Ne 20.180
			Aluminum 13 Al 26.982	Silicon 14 Si 28.086	Phosphorus 15 P 30.974	Sulfur 16 S 32.065	Chlorine 17 Cl 35.453	Argon 18 Ar 39.948
Nickel 28 Ni 58.693	Copper 29 Cu 63.546	Zinc 30 Zn 65.409	Gallium 31 Ga 69.723	Germanium 32 Ge 72.64	Arsenic 33 As 74.922	Selenium 34 Se 78.96	Bromine 35 Br 79.904	Krypton 36 Kr 83.798
Palladium 46 Pd 106.42	Silver 47 Ag 107.868	Cadmium 48 Cd 112.411	Indium 49 In 114.818	Tin 50 Sn 118.710	Antimony 51 Sb 121.760	Tellurium 52 Te 127.60	Iodine 53 I 126.904	Xenon 54 Xe 131.293
Platinum 78 Pt 195.078	Gold 79 Au 196.967	Mercury 80 Hg 200.59	Thallium 81 Tl 204.383	Lead 82 Pb 207.2	Bismuth 83 Bi 208.980	Polonium 84 Po (209)	Astatine 85 At (210)	Radon 86 Rn (222)
Darmstadtium 110 Ds (281)	Roentgenium 111 Rg (272)	Copernicium * 112 Cn (285)	Nihonium * 113 Nh (284)	Flerovium * 114 Fl (289)	Moscovium * 115 Mc (288)	Livermorium * 116 Lv (291)	Tennessine * 117 Ts (288)	Oganesson * 118 Og (294)

* أسماء رموز العناصر 112، 113، 114، 115، 116، 117، 118 تم اختيار الأسماء النهائية بعد التأكد من اكتشافها حديثًا.

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)


العناصر في كل عمود تسمى مجموعة، ولها خواص كيميائية متشابهة.
غاز
سائل
صلب
مُصنّع
العنصر
العدد الذري
الرمز
الكتلة الذرية المتوسطة
حالة المادة
Hydrogen
1
H
1.008
الرموز الثلاثة العليا تدل على حالة العنصر في درجة حرارة الغرفة، بينما يدل الرمز الرابع على العناصر المصنّعة.
1 2 3 4 5 6 7 8 9
1 Hydrogen 1 H 1.008
2 Lithium 3 Li 6.941 | Beryllium 4 Be 9.012
3 Sodium 11 Na 22.990 | Magnesium 12 Mg 24.305
4 Potassium 19 K 39.098 | Calcium 20 Ca 40.078 | Scandium 21 Sc 44.956 | Titanium 22 Ti 47.867 | Vanadium 23 V 50.942 | Chromium 24 Cr 51.996 | Manganese 25 Mn 54.938 | Iron 26 Fe 55.845 | Cobalt 27 Co 58.933
5 Rubidium 37 Rb 85.468 | Strontium 38 Sr 87.62 | Yttrium 39 Y 88.906 | Zirconium 40 Zr 91.224 | Niobium 41 Nb 92.906 | Molybdenum 42 Mo 95.94 | Technetium 43 Tc (98) | Ruthenium 44 Ru 101.07 | Rhodium 45 Rh 102.906
6 Cesium 55 Cs 132.905 | Barium 56 Ba 137.327 | Lanthanum 57 La 138.906 | Hafnium 72 Hf 178.49 | Tantalum 73 Ta 180.948 | Tungsten 74 W 183.84 | Rhenium 75 Re 186.207 | Osmium 76 Os 190.23 | Iridium 77 Ir 192.217
7 Francium 87 Fr (223) | Radium 88 Ra (226) | Actinium 89 Ac (227) | Rutherfordium 104 Rf (261) | Dubnium 105 Db (262) | Seaborgium 106 Sg (266) | Bohrium 107 Bh (264) | Hassium 108 Hs (277) | Meitnerium 109 Mt (268)
صفوف العناصر الأفقية تسمى دورات. يزداد العدد الذري من اليسار إلى اليمين في كل دورة.
الرقم المحاط بقوسين هو العدد الكتلي للنظير الأطول عمرًا للعنصر.
عناصر اللانثانيدات
Cerium 58 Ce 140.116 | Praseodymium 59 Pr 140.908 | Neodymium 60 Nd 144.24 | Promethium 61 Pm (145) | Samarium 62 Sm 150.36
عناصر الأكتنيدات
Thorium 90 Th 232.038 | Protactinium 91 Pa 231.036 | Uranium 92 U 238.029 | Neptunium 93 Np (237) | Plutonium 94 Pu (244)
يدل السهم على المكان الذي يجب أن توضع فيه هذه العناصر في الجدول. لقد تم نقلها إلى أسفل الجدول توفيرًا للمكان.

التعليم
محتقبل البحرين

مطبعة اوال
awalpress