المملكة العربية السعودية
وزارة التربية والتعليم

كيمياء ٤

التعليم الثانوي
نظام المقررات
(مسار العلوم الطبيعية)



العبيكان
Obeikan

الطبعة التجريبية
١٤٣٣ هـ - ٢٠١٢م
يوزع مجاناً ولا يباع

Original Title:

Chemistry
Matter and Change

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

كيمياء ٤

أعدَّ النسخة العربية:
شركة العبيكان للأبحاث والتطوير

التحرير والمراجعة والمواءمة
موسى عطا الله الطراونه
د. مصطفى حسن مصطفى
ناصر بن محمد بن طرجم الدوسري
خليل سمرين

التعريب والتحرير اللغوي
نخبة من المتخصصين

إعداد الصور
د. سعود بن عبدالعزيز الفراج

الإشراف
د. أحمد محمد رفيع

www.macmillanmh.com
www.obeikaneducation.com

Education

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

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

حقوق الطبعة الإنجليزية محفوظة لشركة ماجروهل©، ٢٠٠٨م.

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

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

المقدمة

بِسْمِ اللهِ الرَّحْمنِ الرَّحِيمِ

يأتي اهتمام المملكة العربية السعودية بتطوير مناهج التعليم وتحديثها في إطار الخطة العامة للمملكة وسعيها إلى مواكبة التطورات العالمية على مختلف الأصعدة.

ويأتي كتاب كيمياء ٤ للتعليم الثانوي مسار العلوم الطبيعية في نطاق مشروع متكامل لتطوير مناهج العلوم يهدف إلى إحداث تطور نوعي في تعليم وتعلم العلوم، يكون للطالب فيه الدور الرئيس والمحوري في عمليتي التعليم والتعلّم. وقد جاء هذا الكتاب في ستة فصول وهي: الغازات، المخاليط والمحاليل، الأحماض والقواعد، الأكسدة والاختزال، الكيمياء الكهربائية، المركبات العضوية الحيوية.

وقد جاء عرض محتوى الكتاب بأسلوب مشوق، وتنظيم تربوي فاعل، يعكس توجهات المنهج وفلسفته، ويتمثل في دورة التعلم. وقد كتب بأسلوب يساعد الطالب على تنمية مهارات التحليل والتفسير والاستنتاج والتعبير، من خلال اهتمامه بالجانب التجريبي. كذلك اشتمل المحتوى على أنشطة متنوعة المستوى، تتسم بقدرة الطلاب على تنفيذها، وتراعي في الوقت نفسه مبدأ الفروق الفردية بينهم، بالإضافة إلى الصور المعبرة التي توضح محتوى الفصل، مع حرص الكتاب على مبدأ التقويم التكويني في فصوله ودروسه المختلفة.

كما أكدت فلسفة الكتاب أهمية إكساب الطالب المنهجية العلمية في التفكير والعمل، وتزويده بمهارات عقلية وعملية ضرورية، ومنها التجارب الاستهلالية، والتجارب العملية الأخرى، والإثراء العلمي، بالإضافة إلى حرصها على ربط المعرفة مع واقع الطالب، من خلال ربطها مع الرياضيات، وفروع العلوم الأخرى، والتقنية.

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

قائمة المحتويات

دليل الطالب

كيف تستفيد من كتاب الكيمياء؟ 5

الفصل 1

الغازات 8

1–1 قوانين الغازات 10

1–2 قانون الغاز المثالي 21

1–3 الحسابات المتعلقة بالغازات 29

الكيمياء والصحة: الصحة والضغط 34

الفصل 2

المخاليط والمحاليل 44

2–1 أنواع المخاليط 46

2–2 تركيز المحلول 51

2–3 العوامل المؤثرة في الذوبان 61

2–4 الخواص الجامعة للمحاليل 70

في الميدان: مهن: كيميائي البيئة 77

الفصل 3

الأحماض والقواعد 86

3–1 مقدمة في الأحماض والقواعد 88

3–2 قوة الأحماض والقواعد 98

3–3 أيونات الهيدروجين والرقم الهيدروجيني 104

3–4 التعادل 113

الكيمياء من واقع الحياة : تفاعلات الأحماض والقواعد وعملية الخبز 123

الفصل 4

تفاعلات الأكسدة والاختزال 134

4–1 الأكسدة والاختزال 136

4–2 وزن معادلات الأكسدة والاختزال 145

في الميدان: المهنة: محقق البحث الجنائي 153

الفصل 5

الكيمياء الكهربائية 164

5–1 الخلايا الجلفانية 166

5–2 البطاريات 176

5–3 التحليل الكهربائي 186

كيف تعمل الأشياء؟ منظم ضربات القلب 191

الفصل 6

المركبات العضوية الحيوية 202

6–1 البروتينات 204

6–2 الكربوهيدرات 210

6–3 الليبيدات 213

6–4 الأحماض النووية 218

في الميدان: المهنة: عالم البيولوجيا الجزيئية 222

المصطلحات 232

رموز السلامة في المختبر 239

كيف تستفيد من كتاب الكيمياء؟

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

قبـل أن تقـرأ

اقرأ كلًّا من الفكرة العامة و الفكرة الرئيسة والتجربة الاستهلالية ؛ فهي تزودك بنظرة عامة تمهيدية لهذا الفصل.

لكل فصل فكرة عامة تقدم صورة شاملة عنه. ولكل قسم من أقسام الفصل فكرة رئيسة تدعم فكرته العامة.





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

لتحصل على رؤية عامة عن الفصل

- اقرأ عنوان الفصل لتتعرّف موضوعاته.
- تصفّح الصور والرسوم والتعليقات والجداول.
- ابحث عن المفردات البارزة والمظللة باللون الأصفر.
- اعمل مخططًا للفصل باستخدام العناوين الرئيسة والعناوين الفرعية.

كيف تستفيد من كتاب الكيمياء؟

عندما تقرأ

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



1-1

الأهداف

- تكتب العلاقة بين الضغط ودرجة الحرارة والحجم لمقدار ثابت من الغاز.
- تطبق قوانين الغاز على المسائل التي تتضمن الضغط ودرجة الحرارة والحجم لمقدار محدّد من الغاز.

مراجعة المفردات

القانون العلمي: يصف علاقةً في الطبيعة تدعمها عدة تجارب.

المفردات الجديدة

قانون بويل
قانون شارل
الصفر المطلق
قانون جاي - لوساك
القانون العام للغازات

قوانين الغازات The Gas Laws

الفكرة الرئيسة إذا تغير ضغط أي كمية ثابتة من غاز أو درجة حرارتها أو حجمها فسيتأثر المتغيران الآخران.

الربط مع الحياة ماذا يحدث لغاز في بالون إذا قلّلت حجمه بالضغط عليه؟ ستشعر بزيادة في المقاومة، وقد تشاهد انتفاخًا في جزء من البالون.

قانون بويل Boyle's Law

ضغط الغاز وحجمه مترابطان. وقد وصف العالم الأيرلندي روبرت بويل (1627-1691) هذه العلاقة.

كيف يرتبط الضغط مع الحجم؟ لقد صمّم بويل تجربة كالمبينة في الشكل 1-1، ووضّح من خلالها أنه إذا كانت كمية الغاز ودرجة الحرارة ثابتتين فإن مضاعفة الضغط الواقع على الغاز يقلل من حجمه إلى النصف. ومن ناحية أخرى فإن تقليل الضغط الواقع على الغاز إلى النصف يضاعف حجم الغاز. وتعرّف العلاقة التي يزيد فيها أحد المتغيرين عندما يقل الآخر بعلاقة التناسب العكسي.

ينص قانون بويل على أن حجم مقدار محدّد من الغاز يتناسب عكسيًّا مع الضغط الواقع عليه عند ثبوت درجة حرارته. يبين الشكل 1-1 العلاقة بين الضغط والحجم، حيث يوضح الشكل العلاقة العكسية بين الضغط والحجم في المنحنى المتّجه إلى أسفل.

الشكل 1-1 عندما يزيد الضغط الخارجي على مكبس الأسطوانة يقل حجم الغاز داخل الأسطوانة. ويوضح الرسم البياني الآتي العلاقة العكسية بين الضغط والحجم.

اختبار الرسم البياني

طبق استخدم الرسم لتحديد الحجم، إذا كان مقدار الضغط (2.5atm).

10

الربط مع الحياة: يصف ارتباط المحتوى مع الواقع.



مثال 1-3

قانون جاي- لوساك إذا كان ضغط غاز الأكسجين داخل الأسطوانة 5.00 atm عند درجة 25.0°C، ووضعت الأسطوانة في خيمة على قمة جبل إفرست، حيث تكون درجة الحرارة -10.0°C فما الضغط الجديد داخل الأسطوانة؟

1 تحليل المسألة

ينص قانون جاي- لوساك على أنه إذا انخفضت درجة حرارة الغاز المحصور فإن ضغطه ينخفض إذا بقي حجمه ثابتًا. لذلك يقل الضغط في أسطوانة الأكسجين. يجب ضرب مقدار الضغط الابتدائي في نسبة درجة حرارة أقل من 1.

المعطيات

$P_1 = 5.00$ atm
$T_1 = 25.0$ °C
$T_2 = -10.0$ °C

المطلوب

$P_2 = ?$ atm

2 حساب المطلوب

حول درجات الحرارة السيليزية إلى مطلقة

استخدم معامل التحويل $T_K = 273 + T_C$

مؤشر $T_1 = 25.0$ °C $T_1 = 273 + 25.0$ °C $= 298.0$ K

مؤشر $T_2 = 10.0$ °C $T_2 = 273 + (-10.0$ °C$) = 263.0$ K

استخدم قانون جاي لوساك؛ لإيجاد قيمة P_2، وعوض بالقيم المعروفة في المعادلة التي أعيد ترتيبها.

اكتب نص قانون جاي لوساك $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$

لإيجاد قيمة P_2 $P_2 = P_1\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$

عوض $P_1 = 5.00$ atm، $T_1 = 298.0$ K، $T_2 = 263.0$ K $P_2 = 5.00$ atm $\left(\frac{263.0\text{ K}}{298.0\text{ K}}\right)$

اضرب الأرقام والوحدات واقسمها $P_2 = 5.00$ atm $\left(\frac{263.0\text{ K}}{298.0\text{ K}}\right) = 4.41$ atm

3 تقويم الإجابة

نقل درجة الحرارة المطلقة، لذا يقل الضغط. وحدة الضغط atm، وهناك ثلاثة أرقام معنوية.

مسائل تدريبية

افترض أن حجم الغاز ومقداره ثابتان في المسائل الآتية:

8. إذا كان ضغط إطار سيارة 1.88 atm عند درجة حرارة 250 °C، فكم يكون الضغط إذا ارتفعت درجة الحرارة إلى 37.0 °C؟
9. يوجد غاز هيليوم في أسطوانة حجمها 21، تحت تأثير ضغط جوي مقداره 1.12 atm، فإذا أصبح ضغط الغاز 2.56 atm، عند درجة حرارة 36.5 °C، فما قيمة درجة حرارة الغاز الابتدائية؟
10. تحفيز إذا كان ضغط عينة من الغاز يساوي 30.7 KPa عند درجة حرارة 00.0 °C، فكم ينبغي أن ترتفع درجة الحرارة السيليزية للعينة حتى يتضاعف ضغطها؟

17

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

مهارات قرائية

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

كيف تستفيد من كتاب الكيمياء؟

بعدما قرأت

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

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



الجدول 1-1 قوانين الغازات

القانون	بويل	شارل	جاي لوساك	القانون العام
المعادلة	$P_1V_1 = P_2V_2$	$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$	$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$	$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$
ما الثابتة	مقدار الغاز ودرجة الحرارة	مقدار الغاز والضغط	مقدار الغاز والحجم	مقدار الغاز
رسم تخطيطي				

مقاييس درجة الحرارة وقوانين الغازات لا بد أنك لاحظت أن العمل الذي قام به كل من شارل وجاي- لوساك قد سبق تطوير التدريج المطلق (K)، على الرغم من أن فانوبيها نطلبا استخدام درجة الحرارة المطلقة (K). حيث استخدم العلماء في القرن 1700 وبدايات القرن 18 مقاييس حرارة مختلفة. فعلى سبيل المثال استخدم لتدريج ريومر في فرنسا حتى في العصر نفسه الذي عاش فيه شارل تقريبًا. وباستخدام هذا التدريج أو أي تدريج لا يعتمد على الصفر المطلق تصبح المعادلة التي تعبر عن قانون شارل أكثر تعقيدًا؛ فهي تحتاج إلى ثابتين إضافة إلى الحجم V ودرجة الحرارة T. وقد بسّط التدريج المطلق الأمور، ونتجت قوانين الغازات المستخدمة الآن.

عرفت الآن كيف تؤثر متغيرات الضغط والحرارة والحجم في عينة من الغاز. ويمكنك أيضًا استخدام قوانين الغازات التي تم تلخيصها في الجدول 1-1 إذا كانت كمية الغاز ثابتة، لكن ماذا يحدث إذا تغيرت كمية الغاز؟ هذا ما ستدرسه لاحقًا.

التقويم 1-1

الخلاصة

- ينص قانون بويل على أن حجم مقدار محدّد من الغاز يتناسب عكسيًا مع ضغطه عند ثبوت درجة الحرارة.
- ينص قانون شارل على أن حجم مقدار محدّد من الغاز يتناسب طرديًا مع درجة حرارته المطلقة عند ثبوت الضغط.
- ينص قانون جاي- لوساك على أن ضغط مقدار محدّد من الغاز يتناسب طرديًا مع درجة حرارته المطلقة عند ثبوت الحجم.
- يربط القانون العام للغازات بين الضغط ودرجة الحرارة والحجم في معادلة واحدة.

14. **المفهوم الرئيسة** وضح العلاقة بين الضغط ودرجة الحرارة وحجم كمية ثابتة من الغاز.
15. اشرح أي المتغيرات الثلاثة، التي تؤثر في كمية ثابتة من الغاز، تناسب تناسبًا طرديًا، وأيها تناسب عكسيًا؟
16. حلل أُطلق بالون طقس إلى الغلاف الجوي، وأنت تعرف كلًا من حجمه الابتدائي ودرجة حرارته وضغط الهواء فيه. ما المعلومات التي تحتاج إليها لحساب الحجم النهائي للبالون عندما يصل إلى أقصى ارتفاع له؟ وأي القوانين تستخدم لحساب الحجم؟
17. استنتج لماذا تُضغط الغازات التي تستخدم في المستشفيات، ومنها الأكسجين؟ ولماذا يجب حمايتها من ارتفاع درجات الحرارة؟ وماذا يجب أن يحدث للأكسجين المضغوط قبل استنشاقه؟
18. احسب يحتوي إناء بلاستيكي صلب على 1.00 L من غاز الميثان عند ضغط جوي مقداره 660 torr، ودرجة حرارة 22.0°C، ما مقدار الضغط الذي يحدثه الغاز عند ارتفاع درجة الحرارة إلى 44.6°C؟
19. صمّم خريطة مفاهيمية توضح فيها العلاقات بين الضغط والحجم ودرجة الحرارة في قوانين بويل، وشارل، وجاي- لوساك.

20



الفصل 1 دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة تستجيب الغازات لتغيرات كل من الضغط ودرجة الحرارة والحجم وعدد الجسيمات بطرائق يمكن التنبؤ بها.

1-1 قوانين الغازات

الفكرة الرئيسة إذا تغير ضغط أي كمية ثابتة من غاز أو درجة حرارتها أو حجمها فسوف يتأثر المتغيران الآخران.

المفردات
- قانون بويل
- الصفر المطلق
- قانون شارل
- قانون جاي- لوساك
- القانون العام للغازات

المفاهيم الرئيسة
- ينص قانون بويل على أن حجم مقدار محدّد من الغاز يتناسب عكسيًا مع ضغطه عند ثبوت درجة الحرارة. $P_1V_1 = P_2V_2$
- ينص قانون شارل على أن حجم مقدار محدّد من الغاز يتناسب طرديًا مع درجة حرارته المطلقة عند ثبوت الضغط. $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$
- ينص قانون جاي- لوساك على أن ضغط مقدار محدّد من الغاز يتناسب طرديًا مع درجة حرارته المطلقة عند ثبات الحجم. $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$
- يربط القانون العام للغازات كلًا من درجة الحرارة والضغط والحجم في معادلة واحدة. $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$

2-1 قانون الغاز المثالي

الفكرة الرئيسة يربط قانون الغاز المثالي عدد الجسيمات مع كل من الضغط ودرجة الحرارة والحجم.

المفردات
- مبدأ أفوجادرو
- الحجم المولي
- ثابت الغاز المثالي
- قانون الغاز المثالي

المفاهيم الرئيسة
- ينص مبدأ أفوجادرو على أن الحجوم المتساوية من الغازات عند نفس الضغط ودرجة الحرارة تحتوي على العدد نفسه من الجسيمات.
- يربط قانون الغاز المثالي كمية الغاز مع ضغطه ودرجة حرارته وحجمه. $PV = nRT$
- يمكن استخدام قانون الغاز المثالي لإيجاد الكتلة المولية للغاز إذا كانت كتلة الغاز معروفة، ويمكن استخدامه أيضًا لإيجاد كثافة الغاز إذا كانت كتلته المولية معروفة. $M = \frac{mRT}{PV}$ $D = \frac{MP}{RT}$
- تسلك الغازات الحقيقية عند الضغط العالي ودرجات الحرارة المنخفضة سلوكًا مغايرًا لسلوك الغاز المثالي.

3-1 الحسابات المتعلقة بالغازات

الفكرة الرئيسة عندما تتفاعل الغازات فإن المعاملات في المعادلات الكيميائية الموزونة والناتجة.

المفاهيم الرئيسة
- تحدد المعاملات في المعادلات الكيميائية الموزونة النسب الحجمية للغازات المتفاعلة التي تمثل هذه التفاعلات تشير إلى أعداد المولات والحجوم النسبية للغازات.
- يمكن أن تستخدم قوانين الغازات مع المعادلة الكيميائية الموزونة لحساب كميات الغازات المتفاعلة أو الناتجة عن التفاعل.

36

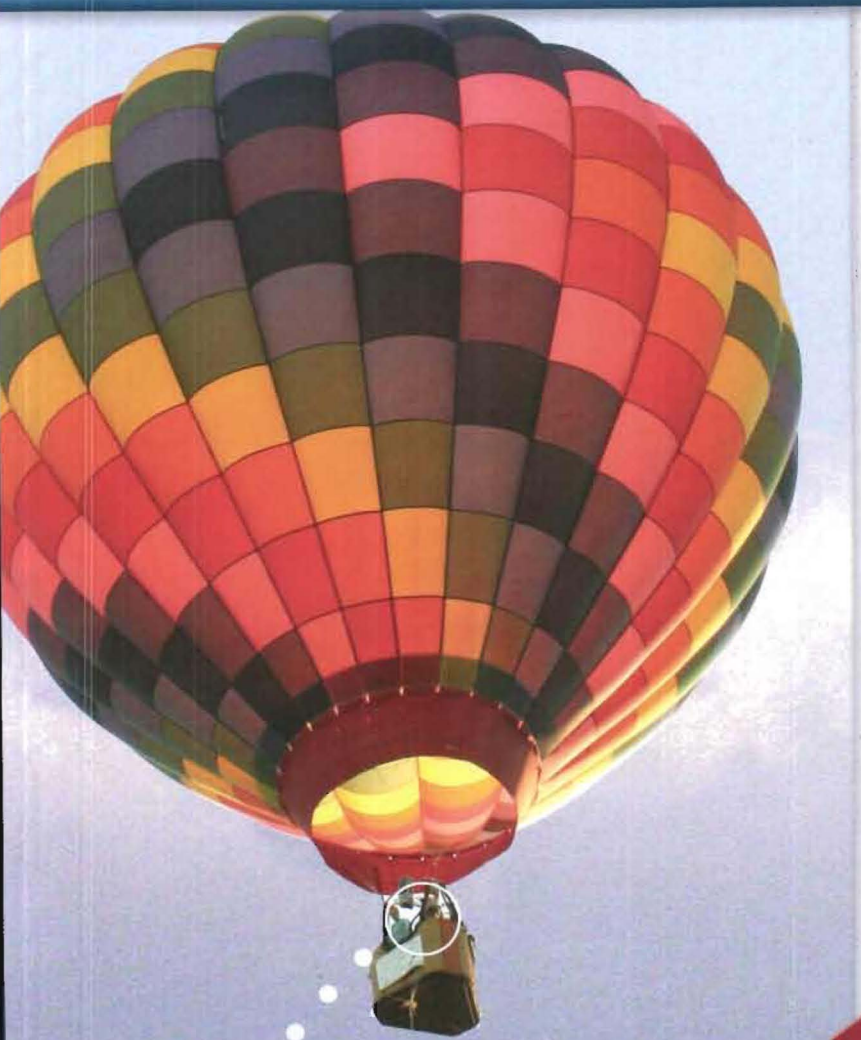
ستجد في نهاية كل فصل دليلًا للمراجعة متضمنًا المفردات والمفاهيم الرئيسة. استعمل هذا الدليل للمراجعة وللتأكد من مدى استيعابك.

طرائق أخرى للمراجعة

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

الفصل 1

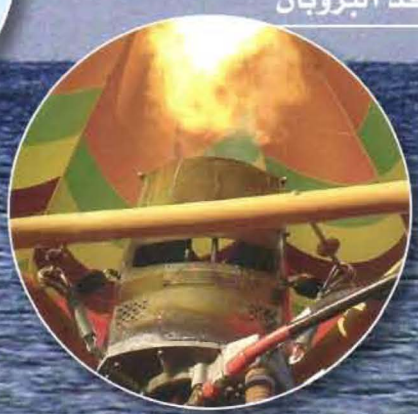
الغازات Gases





سلة المنطاد

موقد البروبان



الفكرة العامة تستجيب الغازات لتغيرات كل من الضغط ودرجة الحرارة والحجم وعدد الجسيمات بطرائق يمكن التنبؤ بها.

1-1 قوانين الغازات

الفكرة الرئيسة إذا تغير ضغط أي كمية ثابتة من غاز أو درجة حرارتها أو حجمها، فسيتأثر المتغيران الآخران.

1-2 قانون الغاز المثالي

الفكرة الرئيسة يربط قانون الغاز المثالي عدد الجسيمات مع كل من الضغط ودرجة الحرارة والحجم.

1-3 الحسابات المتعلقة بالغازات

الفكرة الرئيسة عندما تتفاعل الغازات فإن المعاملات في المعادلات الكيميائية الموزونة التي تمثل هذه التفاعلات تشير إلى أعداد المولات والحجوم النسبية للغازات.

حقائق كيميائية

- درجة حرارة الهواء في المنطاد كافية لغلي الماء.
- استخدم العالم جوزيف جاي- لوساك في القرن التاسع عشر منطاد الهواء الساخن في أبحاثه وتجاربه، في حين استخدم العالم جاك شارل منطاد الهيدروجين في تجاربه.
- يحتوي منطاد الهواء الساخن في المتوسط على 2.5 مليون لتر من الغاز.

تجربة استهلالية

كيف تؤثر درجة الحرارة في حجم الغاز؟

تعمل شعلة المنطاد ـ انظر الصفحة اليمنى ـ على رفع درجة حرارة الهواء داخله ليبقى في الهواء.



خطوات العمل

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. انفخ بالونًا ثم اربطه.
3. اسكب ماءً باردًا في دلو إلى منتصفه، ثم أضف إليه قطع من الثلج.
4. استخدم خيطًا لقياس محيط البالون.
5. حرك الماء والثلج في الدلو جيدًا، حتى تثبت درجة حرارته، ثم اغمر البالون في الماء والثلج مدة 15 دقيقة.
6. أخرج البالون من الماء، ثم قس محيطه.

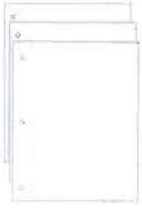
التحليل

1. صف ما حدث لحجم البالون عندما انخفضت درجة حرارته.
2. توقع ما يحدث لحجم البالون لو كان الدلو يحتوي ماءً ساخنًا.

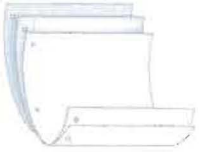
استقصاء ماذا يحدث إذا ملأت البالون بالهيليوم بدلاً من الهواء، وأجريت التجربة مرة أخرى؟

المطويات منظمات الأفكار

قوانين الغاز اعمل المطويات الآتية لتساعدك على تنظيم دراسة قوانين الغاز.



خطوة 1 أحضر ثلاث ورقات، وضع بعضها فوق بعض، ودع حوافها العليا متباعدة رأسيًا بمقدار 2 cm



خطوة 2 اثن الأطراف السفلية للأوراق على أن تكوّن خمس طيات متساوية. ثم اضغط على الثنيات لتثبيتها في أماكنها.



خطوة 3 ثبت المطوية، كما في الشكل، وعنون الطيات على النحو الآتي: قوانين الغاز، بويل، شارل، جاي-لوساك، القانون العام، قانون الغاز المثالي.

المطويات **استخدم هذه المطوية في أثناء قراءة القسمين 1–1 و 2–1 .** لخص قوانين الغازات بكلماتك الخاصة.

الكيمياء عبر المواقع الإلكترونية

لمراجعة محتوى هذا الفصل ونشاطاته ارجع إلى الموقع:

www.obeikaneducation.com

1–1

الأهداف

- **تكتب** العلاقة بين الضغط ودرجة الحرارة والحجم لمقدار ثابت من الغاز.
- **تطبق** قوانين الغاز على المسائل التي تتضمن الضغط ودرجة الحرارة والحجم لمقدار محدّد من الغاز.

مراجعة المفردات

القانون العلمي: يصف علاقةً في الطبيعة تدعمها عدة تجارب.

المفردات الجديدة

قانون بويل

قانون شارل

الصفر المطلق

قانون جاي – لوساك

القانون العام للغازات

قوانين الغازات The Gas Laws

الفكرة الرئيسة **إذا تغير ضغط أي كمية ثابتة من غاز أو درجة حرارتها أو حجمها فسيتأثر المتغيران الآخران.**

الربط مع الحياة ماذا يحدث لغاز في بالون إذا قلّلت حجمه بالضغط عليه؟ ستشعر بزيادة في المقاومة، وقد تشاهد انتفاخًا في جزء من البالون.

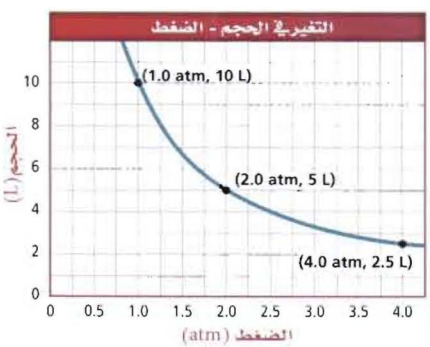
قانون بويل Boyle's Law

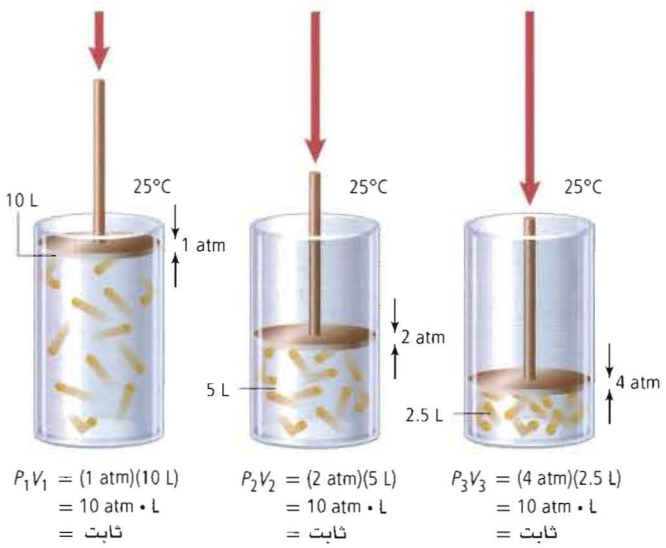
ضغط الغاز وحجمه مترابطان. وقد وصف العالم الأيرلندي روبرت بويل (1627-1691) هذه العلاقة.

كيف يرتبط الضغط مع الحجم؟ لقد صمّم بويل تجربة كالمبينة في **الشكل 1-1**، ووضّح من خلالها أنه إذا كانت كمية الغاز ودرجة الحرارة ثابتتين فإن مضاعفة الضغط الواقع على الغاز يقلل من حجمه إلى النصف. ومن ناحية أخرى فإن تقليل الضغط الواقع على الغاز إلى النصف يضاعف حجم الغاز. وتعرَف العلاقة التي يزيد فيها أحد المتغيرين عندما يقل الآخر بعلاقة التناسب العكسي.

ينص **قانون بويل** على أن حجم مقدار محدّد من الغاز يتناسب عكسيًّا مع الضغط الواقع عليه عند ثبوت درجة حرارته. يبين **الشكل 1-1** العلاقة بين الضغط والحجم، حيث يوضح الشكل العلاقة العكسية بين الضغط والحجم في المنحنى المتّجه إلى أسفل .

الشكل 1-1 عندما يزيد الضغط الخارجي على مكبس الأسطوانة يقل حجم الغاز داخل الأسطوانة. ويوضح الرسم البياني الآتي العلاقة العكسية بين الضغط والحجم.





اختبار الرسم البياني

طبق استخدم الرسم لتحديد الحجم، إذا كان مقدار الضغط (2.5atm).

لاحظ أن ناتج ضرب الضغط في الحجم عند كل نقطة في **الشكل 1-1** يساوي 10 atm.L لذا يمكن التعبير عن قانون بويل رياضيًّا على النحو الآتي:

قانون بويل

$P_1V_1 = P_2V_2$ P: تمثل الضغط، V: تمثل الحجم

حاصل ضرب ضغط كمية محددة من الغاز في حجمها عند ثبوت درجة حرارتها يساوي كمية ثابتة.

يمثل كل من P_1 و V_1 الضغط والحجم الابتدائيين، في حين يمثل كل من P_2 وV_2 الضغط والحجم الجديدين، فإذا علمت ثلاثة من المتغيرات الموجودة في المعادلة أمكنك معرفة قيمة المتغير الرابع.

مثال 1-1

قانون بويل ينفخ غواص وهو على عمق 10m تحت الماء فقاعة هواء حجمها 0.75 L، وعندما ارتفعت فقاعة الهواء إلى السطح تغير ضغطها من 2.25 atm إلى 1.03 atm ، ما حجم فقاعة الهواء عند السطح؟

1 تحليل المسألة

بالاعتماد على قانون بويل، بنقصان الضغط على فقاعة الهواء يزداد حجمها، لذا يجب ضرب الحجم الابتدائي لها في نسبة ضغط أكبر من 1.

المعطيات

$V_1 = 0.75\ L$

$P_1 = 2.25\ atm$

$P_2 = 1.03\ atm$

المطلوب

$V_2 = ?\ L$

2 حساب المطلوب

استخدم قانون بويل لإيجاد قيمة V_2 واحسب الحجم الجديد.

ضع نص قانون بويل

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

جد قيمة

$$V_2 = V_1\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$$

عوض $V_1 = 0.75\ L,\ P_1 = 2.25\ atm,\ P_2 = 1.03\ atm$

$$V_2 = 0.75\ L\left(\frac{2.25\ atm}{1.03\ atm}\right)$$

اضرب الأرقام والوحدات واقسمها

$$V_2 = 0.75\ L\left(\frac{2.25\ atm}{1.03\ atm}\right) = \mathbf{1.6\ L}$$

3 تقويم الإجابة

قل الضغط بمقدار النصف تقريبًا، لذا فإن الحجم سيزيد إلى الضعف، ويعبر عن الإجابة بوحدة اللتر، وهي وحدة قياس الحجم، وتحتوي الإجابة على رقمين معنويين، وهذا صحيح.

مسائل تدريبية

افترض أن درجة الحرارة وكمية الغاز ثابتان في المسائل الآتية :

1. إذا كان حجم غاز عند ضغط 99.0 kPa هو 300.0 ml ، وأصبح الضغط 188 kPa فما الحجم الجديد؟
2. إذا كان ضغط عينة من غاز الهيليوم في إناء حجمه 1.00 L هو 0.988 atm فما مقدار ضغط هذه العينة إذا نُقلت إلى وعاء حجمه 2.00 L؟
3. **تحفيز** إذا كان مقدار حجم غاز محصور تحت مكبس أسطوانة 145.7 L، وضغطه 1.08 atm، فما حجمه الجديد عندما يزداد الضغط بمقدار 25%؟

قانون شارل Charles's Law

لاحظت في التجربة الاستهلالية أن محيط البالون قد قل بعد غمره في الماء والثلج. لماذا حدث ذلك؟ كما أنك تلاحظ أنّ كرة القدم تظهر غير منتفخة جيدًا إذا تركتها في مكان بارد فترة من الوقت، في حين تراها منتفخة جيدًا إذا تركت في مكان مشمس. فلماذا يختلف مظهر الكرة؟ يمكن الإجابة عن هذه الأسئلة من خلال تطبيق قانون شارل.

كيف يرتبط الحجم مع درجة الحرارة؟ درس جاك شارل (1746–1823) الفيزيائي الفرنسي العلاقة بين الحجم ودرجة الحرارة، حيث لاحظ أن كلًّا من درجة حرارة وحجم عينة من الغاز يزداد عندما يبقى كل من مقدار العينة والضغط ثابتين. يمكن تفسير هذه الخاصية بناءً على نظرية الحركة الجزيئية: فعندما تزداد درجة الحرارة تتحرك جسيمات الغاز وتصطدم أسرع بجدار الإناء الذي توجد فيه وبقوة أكبر. ولأن الضغط يعتمد على عدد وقوة اصطدامات جسيمات الغاز بجدار الإناء فإن هذا يؤدي إلى زيادة الضغط، وحتى يبقى الضغط ثابتًا لا بد أن يزيد الحجم؛ إذ تحتاج الجسيمات إلى الانتقال إلى مسافات أبعد قبل أن تصطدم بالجدار، مما يقلل من عدد اصطدامات الجسيمات بجدار الإناء.

توضح الأسطوانات في **الشكل 2–1** كيف يتغير حجم مقدار محدد من الغاز بتسخينه.

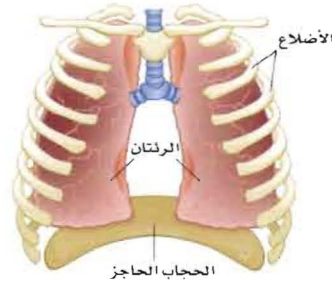
مختبر حل المشكلات

تطبيق التفسيرات العلمية

ما علاقة قانون بويل بالتنفس؟ أنت تتنفس 20 مرة في الدقيقة، وتستبدل بغاز ثاني أكسيد الكربون غازَ الأكسجين لتحافظ على حياتك. فكيف يتغير الضغط والحجم في رئتيك في أثناء تنفسك؟

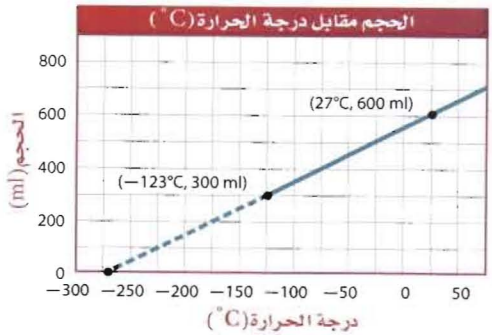
التحليل

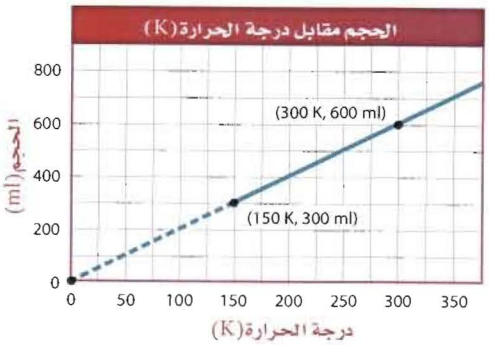
يسمح النسيج الإسفنجي المرن الذي تتكون منه الرئتان بتمدد الرئتين وانقباضهما؛ لتستجيب لحركة الحجاب الحاجز، وهو العضلة القوية الموجودة أسفلهما. فعندما يتحرك الحجاب الحاجز إلى أسفل يزداد حجم الرئتين، وبذلك نتمكن من الشهيق، كما يتقلص حجم الرئتين عندما يتحرك الحجاب الحاجز إلى أعلى، وبذلك نتمكن من الزفير.



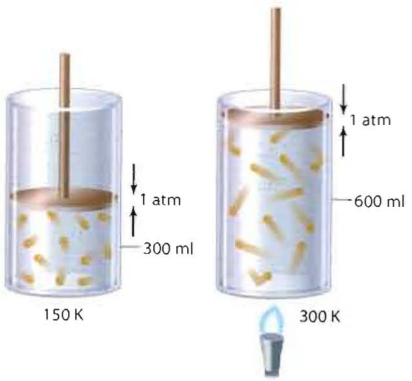
التفكير النّاقد

1. **طبّق** قانون بويل لتفسير السبب الذي يجعل الهواء يدخل إلى الرئتين عند الشهيق ويخرج منهما عند الزفير.
2. **وضّح** ما يحدث داخل الرئتين عندما يتعرض الإنسان لضربة على البطن، ويخرج الهواء منه. استخدم قانون بويل لتفسير إجابتك.
3. **استنتج** تَفْقد بعض أجزاء الرئتين مرونتها وتتضخم، وينتج عن ذلك مرض انتفاخ الرئتين. كيف تستدل من قانون بويل على أن هذا الأمر يؤثر في عملية التنفس؟
4. **فسّر** السبب في تعليم الغواصين المبتدئين الذين يحملون جهاز التنفس تحت الماء عدمَ حبس أنفاسهم في أثناء صعودهم من المياة العميقة.





الشكل 2-1 عند تسخين الأسطوانة تزداد الطاقة الحركية لجسيمات الغاز، فتدفع الجسيمات المكبس إلى أعلى. يوضح الرسم البياني الآتي علاقة الحجم بدرجة الحرارة السيليزية ودرجة الحرارة المطلقة.



$\frac{V_1}{T_1} = \frac{300\ ml}{150\ K}$

$= 2\ ml/K$

$=$ ثابت

$\frac{V_2}{T_2} = \frac{600\ ml}{300\ K}$

$= 2\ ml/K$

$=$ ثابت

وعلى عكس **الشكل 1-1** إذ يؤثر في المكبس ضغط خارجي بالإضافة إلى الضغط الجوي ، فقد بقي المكبس في **الشكل 2-1** حر الحركة. وهذا يعني قيام الغاز الموجود في الأسطوانة برفع المكبس إلى أن يتساوى الضغط الواقع عليه مع الضغط الجوي.

وكما تلاحظ يزداد حجم الغاز المحصور عند 1 atm بزيادة درجة الحرارة في الأسطوانة، لذا تكون المسافة التي يتحركها المكبس مقياسًا لزيادة حجم الغاز عندما يسخن.

رسم العلاقة بين درجة الحرارة والحجم يوضّح **الشكل 2-1** أيضًا العلاقة بين درجة الحرارة والحجم لمقدار محدّد من الغاز تحت تأثير ضغط ثابت؛ حيث إن منحنى درجة الحرارة مع الحجم خطّ مستقيم، فيمكنك توقع درجة الحرارة التي يصبح الحجم عندها 0 L، وذلك بمدّ الخط إلى درجات حرارة أدنى من الدرجات التي تم قياسها.

في الرسم البياني الأول، درجة الحرارة التي يكون عندها الحجم 0 L تساوي $-273^{\circ}C$، لذا فهذه العلاقة خطية، لكنها ليست تناسبًا مباشرًا. فمثلًا يمكنك ملاحظة عدم مرور الخط المستقيم بنقطة الأصل، كما أن مضاعفة درجة الحرارة من $25^{\circ}C$ إلى $50^{\circ}C$ لا تؤدي إلى مضاعفة الحجم.

يبين الرسم البياني في **الشكل 2-1** أن العلاقة بين درجة الحرارة المقيسة بالكلفن (K) والحجم علاقة طردية والتناسب مباشر؛ إذ تقابل درجة الحرارة 0 K حجمًا مقداره 0 ml، وعند مضاعفة درجة الحرارة يتضاعف الحجم. ويعرف الصفر على تدريج كلفن **بالصفر المطلق**، وهو يمثل أقل قيمة ممكنة لدرجة الحرارة التي تكون عندها طاقة الذرات أقل ما يمكن.

اختبار الرسم البياني **فسّر** لماذا يوضح الرسم البياني الثاني في **الشكل 2-1** تناسبًا طرديًّا مباشرًا، في حين لا يوضح الرسم البياني الأول ذلك.

استخدام قانون شارل ينص **قانون شارل** على أن حجم أي مقدار محدد من الغاز يتناسب طرديًا مع درجة حرارته المطلقة عند ثبوت الضغط، ويمكن التعبير عن قانون شارل بالعلاقة الرياضية الآتية:

قانون شارل

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

V تمثل الحجم

T تمثل درجة الحرارة

حاصل ضرب ضغط كمية محددة من الغاز في حجمها عند ثبوت درجة حرارتها يساوي كمية ثابتة.

تمثل V_1، T_1 في المعادلة أعلاه الظروف الابتدائية، في حين تمثل V_2 ، T_2 الظروف الجديدة، كما في قانون بويل، فإذ عرفت ثلاث متغيرات أمكنك حساب المتغير الرابع.

وعند استخدام قانون شارل يجب التعبير عن درجة الحرارة بالكلفن. وكما قرأت سابقًا، عليك إضافة 273 إلى درجة الحرارة السيليزية لتحويل درجة الحرارة من التدريج السيليزي إلى التدريج بالكلفن:

$$T_K = 273 + T_C$$

مثال 2-1

قانون شارل إذا كان حجم بالون هيليوم 2.32 L داخل سيارة مغلقة، عند درجة حرارة 40.0 °C، فإذا وقفت السيارة في ساحة البيت في يوم حار وارتفعت درجة الحرارة داخلها إلى 75.0 °C، فما الحجم الجديد للبالون إذا بقي الضغط ثابتًا؟

1 تحليل المسألة

ينص قانون شارل على أن حجم مقدار محدّد من الغاز يزداد بزيادة درجة حرارته إذا بقي الضغط ثابتًا. لذا يزداد حجم البالون ، ويجب ضرب الحجم الابتدائي في نسبة درجة حرارة أكبر من واحد.

المعطيات

$T_2 = 40.0\,°C$

$V_1 = 2.32\,L$

$T_2 = 75.0\,°C$

المطلوب

$V_2 = ?\,L$

2 حساب المطلوب

حوّل درجة الحرارة السيليزية إلى الكلفن.

استخدم معامل التحويل

$$T_K = 273 + T_C$$

عوض بقيمة $T_1 = 40.0\,°C$

$$T_1 = 273 + 40.0\,°C = 313.0\,K$$

عوض بقيمة $T_2 = 75.0\,°C$

$$T_2 = 273 + 75.0\,°C = 348.0\,K$$

استخدم قانون شارل لإيجاد V_2، وعوض بالقيم المعروفة في المعادلة التي أُعيد ترتيبها.

اكتب نص قانون شارل

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

جد قيمة V_2

$$V_2 = V_1 \left(\frac{T_2}{T_1}\right)$$

عوض $V_1 = 2.32\ L, T_1 = 313.0\ K, T_2 = 348.0\ K$

$$V_2 = 2.32\ L \left(\frac{348.0\ K}{313.0\ K}\right)$$

اضرب واقسم الوحدات والأرقام

$$V_2 = 2.32\ L \left(\frac{348.0\ K}{313.0\ K}\right) = \mathbf{2.58\ L}$$

3 تقويم الإجابة

كانت الزيادة في درجة الحرارة بالكلفن صغيرة نسبيًا، لذا ستكون الزيادة في الحجم صغيرة أيضًا، وستستخدم وحدة (L) في الإجابة، وهي وحدة الحجم، وهناك ثلاثة أرقام معنوية.

مسائل تدريبية

افترض أن الضغط وكمية الغاز ثابتان في المسائل الآتية:



4. ما الحجم الذي يشغله الغاز في البالون الموجود عن اليسار عند درجة 250 K؟
5. شغل غاز عند درجة حرارة 89 °C حجمًا مقداره (0.67 L). عند أي درجة حرارة سيليزية سيزيد الحجم ليصل إلى 1.12 L ؟
6. إذا انخفضت درجة الحرارة السيليزية لعينة من الغاز حجمها 3.0 L من 80.0 °C إلى 30.0 °C فما الحجم الجديد للغاز؟
7. **تحفيز** يشغل غاز حجمًا مقداره 0.67 L عند درجة حرارة (350 K). ما درجة الحرارة اللازمة لخفض الحجم بمقدار 45% ؟

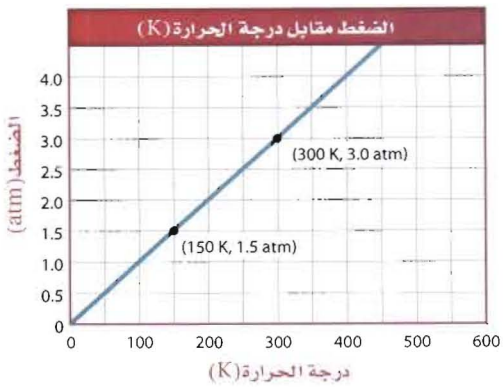
قانون جاي - لوساك Gay– Lussac.s Law

لاحظت في التجربة الاستهلالية تطبيقات على قانون شارل، فعند تغير درجة الحرارة يتغير حجم البالون، ولكن ماذا يمكن أن يحدث لو كان البالون صلبًا ثابتًا؟ وإذا كان حجمه ثابتًا فهل هناك علاقة بين درجة الحرارة والضغط؟ يمكن الإجابة عن هذا السؤال من خلال قانون جاي – لوساك.

كيف ترتبط درجة الحرارة مع ضغط الغاز؟

ينتج الضغط عن اصطدام جسيمات الغاز بجدران الوعاء؛ فكلما ارتفعت درجات الحرارة زاد عدد الاصطدامات وطاقتها. لذا تؤدي زيادة الحرارة إلى زيادة الضغط إذا لم يتغير الحجم.

الشكل 3-1 عند تسخين الأسطوانة تزداد الطاقة الحركية للجسيمات، مما يؤدي إلى زيادة اصطداماتها بجدار الإناء وزيادة قوتها. ولأن حجم الأسطوانة ثابت فإن ضغط الغاز يزداد.





$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{1.5\ \text{atm}}{150\ \text{K}} = 0.01\ \text{atm/K} = \text{ثابت}$$

$$\frac{P_2}{T_2} = \frac{3.0\ \text{atm}}{300\ \text{K}} = 0.01\ \text{atm/K} = \text{ثابت}$$

اختبار الرسم البياني

قارن بين الرسوم البيانية في الشكلين 2-1و 3-1.

مهن في الكيمياء

الأرصاد الجوية العلاقات التي تربط الضغط ودرجة الحرارة مع الحجم تساعد علماءَ الأرصاد الجوية على فهم حالة الطقس والتنبؤ بها. فمثلًا، تنتج الرياح والجبهات الهوائية عن تغير الضغط الذي يسببه التسخين الشمسي غير المنتظم للغلاف الجوي المحيط بسطح الأرض.

وقد وجد جاي لوساك (1778-1850) أن درجة الحرارة المطلقة تتناسب طرديًّا مع الضغط، كما هو موضح في **الشكل 3-1**. وينص **قانون جاي لوساك** على أن ضغط مقدار محدّد من الغاز يتناسب طرديًّا مع درجة الحرارة المطلقة له، إذا بقي الحجم ثابتًا. ويمكن التعبير عنه رياضيًّا كما يأتي:

قانون جاي لوساك

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

P تمثل الضغط

T تمثل درجة الحرارة

حاصل قسمة الضغط على درجة الحرارة المطلقة لمقدار محدد من الغاز ذي حجم ثابت يساوي مقدرًا ثابتًا.

وكما هو الحال في قانوني بويل وشارل، فإذا عرفت ثلاثة متغيرات أمكنك حساب المتغير الرابع باستخدام المعادلة. تذكر أن درجة الحرارة يجب أن تكون مطلقة (K) أينما استخدمت في معادلات قوانين الغاز.

مثال 3-1

قانون جاي- لوساك إذا كان ضغط غاز الأكسجين داخل الأسطوانة 5.00 atm عند درجة 25.0°C ، ووضعت الأسطوانة في خيمة على قمة جبل إفرست، حيث تكون درجة الحرارة 10.0°C- فما الضغط الجديد داخل الأسطوانة؟

1 تحليل المسألة

ينص قانون جاي- لوساك على أنه إذا انخفضت درجة حرارة الغاز المحصور فإن ضغطه ينخفض إذا بقي حجمه ثابتًا. لذلك يقل الضغط في أسطوانة الأكسجين. يجب ضرب مقدار الضغط الابتدائي في نسبة درجة حرارة أقل من 1.

المعطيات

$P_1 = 5.00\ \text{atm}$

$T_1 = 25.0\ ^\circ\text{C}$

$T_2 = -10.0\ ^\circ\text{C}$

المطلوب

$P_2 = ?\ \text{atm}$

2 حساب المطلوب

حول درجات الحرارة السيليزية إلى مطلقة

استخدم معامل التحويل $T_K = 273 + T_C$

عوّض $T_1 = 25.0\ ^\circ\text{C}$ $T_1 = 273 + 25.0\ ^\circ\text{C} = 298.0\ \text{K}$

عوّض $T_2 = 10.0\ ^\circ\text{C}$ $T_2 = 273 + (-10.0\ ^\circ\text{C}) = 263.0\ \text{K}$

استخدم قانون جاي لوساك؛ لإيجاد قيمة P_2، وعوض بالقيم المعروفة في المعادلة التي أعيد ترتيبها.

اكتب نص قانون جاي لوساك $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$

لإيجاد قيمة P_2 $P_2 = P_1\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$

عوض $P_1 = 5.00\ \text{atm}$, $T_1 = 298.0\ \text{K}$, $T_2 = 263.0\ \text{K}$ $P_2 = 5.00\ \text{atm}\left(\frac{263.0\ \text{K}}{298.0\ \text{K}}\right)$

اضرب الأرقام والوحدات واقسمها. $P_2 = 5.00\ \text{atm}\left(\frac{263.0\ \text{K}}{298.0\ \text{K}}\right) = \mathbf{4.41\ atm}$

3 تقويم الإجابة

تقل درجة الحرارة المطلقة، لذا يقل الضغط. وحدة الضغط atm، وهناك ثلاثة أرقام معنوية.

مسائل تدريبية

افترض أن حجم الغاز ومقداره ثابتان في المسائل الآتية :

8. إذا كان ضغط إطار سيارة 1.88 atm عند درجة حرارة 250 °C ، فكم يكون الضغط إذا ارتفعت درجة الحرارة إلى 37.0 °C؟

9. يوجد غاز هيليوم في أسطوانة حجمها 2L، تحت تأثير ضغط جوي مقداره 1.12 atm، فإذا أصبح ضغط الغاز 2.56 atm، عند درجة حرارة 36.5 °C، فما قيمة درجة حرارة الغاز الابتدائية؟

10. تحفيز إذا كان ضغط عينة من الغاز يساوي 30.7 KPa عند درجة حرارة 00.0 °C، فكم ينبغي أن ترتفع درجة الحرارة السيليزية للعينة حتى يتضاعف ضغطها؟



الشكل 4-1 يُثبّت الحبلُ المربوط بأحد جانبي بالون الطقس، البالون في مكانه في أثناء تعبئته بالهيليوم أو الهيدروجين. ويحمل بالون الطقس أجهزة ترسل بيانات تتعلق بدرجة حرارة الهواء والضغط والرطوبة، إلى مستقبليها على الأرض. وعندما يرتفع البالون يستجيب حجمه للتغيير الذي يطرأ على درجة الحرارة والضغط.

الكيمياء في واقع الحياة

قانون جاي-لوساك



أواني الضغط لوعاء الضغط غطاء محكم الإغلاق، وحجمه ثابت. وعند تسخينه يـزداد الضغط في الإنـاء، وبزيادة الضغط تستمر درجة الحرارة في الارتفاع، فيتم بذلك طهو الطعام بسرعة أكبر.

القانون العام للغازات The Combined Gas Law

يمكن أن يتغير كل من الضغط ودرجة الحرارة والحجم في العديد من التطبيقات العملية للغازات، كما في بالون الطقس في **الشكل 4-1**. كما يمكن جمع قانون بويل وقانون شارل وقانون جاي- لوساك في قانون واحد يطلق عليه **القانون العام للغازات**، وهو يحدّد العلاقة بين الضغط ودرجة الحرارة والحجم لكمية محدّدة من الغاز. ويوجد بين المتغيرات الثلاثة نفس العلاقة الموجودة في القوانين الأخرى. فالضغط يتناسب عكسيًّا مع الحجم، وطرديًّا مع درجة الحرارة. ويمكن التعبير عن القانون العام للغازات رياضيًّا على النحو الآتي:

القانون العام للغازات

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

P = تمثل الضغط ، V = تمثل الحجم ، T = تمثل درجة الحرارة

حيث حاصل ضرب الضغط والحجم مقسومًا على درجة الحرارة المطلقة لمقدار محدّد من الغاز يساوي مقدارًا ثابتًا.

استخدام القانون العام للغازات يساعدك القانون العام للغازات على حل المسائل التي تتضمن أكثر من متغير واحد، كما يقدم لك طريقة لتذكر القوانين الثلاثة الأخرى دون تذكر معادلاتها، فإذا كنت قادرًا على كتابة معادلة قانون الغازات العام فإنه يمكنك اشتقاق القوانين الأخرى من خلال تذكر المتغير الثابت في كل حالة.

مثلًا إذا بقيت درجة الحرارة ثابتة بينما تغير الضغط والحجم فإن $T_2=T_1$. وبعد تبسيط قانون الغاز العام تحت هذه الظروف ستجد أن المعادلة أصبحت $P_1V_1=P_2V_2$، والتي ينبغي أن تستنتج أنها قانون بويل.

ماذا قرأت؟ اشتق قانون شارل، وقانون جاي-لوساك من القانون الجامع للغازات.

مثال 4-1

القانون العام للغازات إذا كان حجم كمية من غاز ما تحت ضغط 110 KPa ، ودرجة حرارة 30.0°C يساوي 2.00 L، وارتفعت درجة الحرارة إلى 80.0°C، وزاد الضغط وأصبح 440 KPa، فما مقدار الحجم الجديد؟

1 تحليل المسألة

تغير كل من درجة الحرارة والضغط؛ لذلك يجب أن تستخدم القانون العام للغازات.

لقد زاد الضغط أربع مرات، لكن درجة الحرارة لم ترتفع بمثل هذا المعامل الضخم، لذلك فإن الحجم الجديد سيكون أقل من الحجم الابتدائي.

المعطيات

$P_2 = 440\ \text{kPa}$ $P_1 = 110\ \text{kPa}$

$T_2 = 80.0\ ^\circ\text{C}$ $T_1 = 30.0\ ^\circ\text{C}$

$V_1 = 2.00\ \text{L}$

المطلوب

$V_2 = ?\ \text{L}$

2 حل المطلوب

حوّل درجات الحرارة من السيليزية إلى مطلقة.

طبق معامل التحويل $T_K = 273 + T_C$

عوض $T_1 = 30.0\ ^\circ\text{C}$ $T_1 = 273 + 30.0^\circ\text{C} = 303.0\ \text{K}$

عوض $T_2 = 30.0\ ^\circ\text{C}$ $T_2 = 273 + 80.0^\circ\text{C} = 353.0\ \text{K}$

استخدم قانون الغازات العام، لتجد قيمة V_2 ثم عوض القيم المعروفة في المعادلة التي أعيد ترتيبها.

اكتب القانون العام للغازات $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$

حل لإيجاد V_2 $V_2 = V_1\left(\frac{P_1}{P_2}\right)\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$

عوض $P_1 = 110\ \text{kPa}$. $P_2 = 440\ \text{kPa}$. $T_1 = 303.0\ \text{K}$. $T_2 = 353.0\ \text{K}$ $V_2 = 2.00\ \text{L}\left(\frac{110\ \text{kPa}}{440\ \text{kPa}}\right)\left(\frac{353.0\ \text{K}}{303.0\ \text{K}}\right)$

اضرب الأرقام والوحدات واقسمها $V_2 = 2.00\ \text{L}\left(\frac{110\ \text{kPa}}{440\ \text{kPa}}\right)\left(\frac{353.0\ \text{K}}{303.0\ \text{K}}\right) = \mathbf{0.58\ L}$

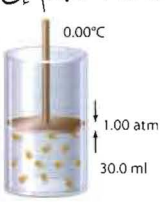
3 تقويم الإجابة

تغير الضغط بشكل أكبر من درجة الحرارة، لذا فقد قل الحجم . الوحدة هي(L)، وهي حدة قياس الحجم، وهناك رقمان معنويان.

مسائل تدريبية

افترض أن مقدار الغاز ثابت في المسائل الآتية :

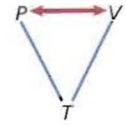
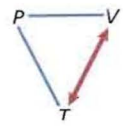
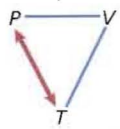
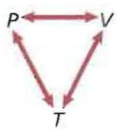
11. تُحدث عينة من الهواء في حقنة ضغطًا مقداره 1.02 atm، عند 22.0°C، ووضعت هذه الحقنة في حمام ماء يغلي (درجة حرارة 100.0°C) وازداد الضغط إلى 1.23 atm بدفع مكبس الحقنة إلى الداخل، مما أدى إلى نقصان الحجم إلى 0.224 ml فكم كان الحجم الابتدائي؟



12. يحتوي بالون على 146.0 ml من الغاز المحصور تحت ضغط مقداره 1.30 atm ودرجة حرارة 5.0°C فإذا تضاعف الضغط وانخفضت درجة الحرارة إلى 2.0°C فكم يكون حجم الغاز في البالون؟

13. تحفيز إذا زادت درجة الحرارة في الأسطوانة المجاورة لتصل إلى 30.0°C ، وزاد الضغط إلى 1.20 atm فهل يتحرك مكبس الأسطوانة إلى أعلى أم إلى أسفل؟

الجدول 1-1 قوانين الغازات

القانون	بويل	شارل	جاي لوساك	القانون العام
الصيغة	$P_1V_1 = P_2V_2$	$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$	$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$	$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$
ما الثابت؟	مقدار الغاز ودرجة الحرارة	مقدار الغاز والضغط	مقدار الغاز والحجم	مقدار الغاز
رسم تنظيمي				

مقاييس درجة الحرارة وقوانين الغازات لا بد أنك لاحظت أن العمل الذي قام به كل من شارل وجاي- لوساك قد سبق تطوير التدريج المطلق (K)، على الرغم من أن قانونيهما تطلبا استخدام درجة الحرارة المطلقة (K). حيث استخدم العلماء في القرن 1700 وبدايات القرن 18 مقاييس حرارة مختلفة. فعلى سبيل المثال استخدم تدريج ريومر في فرنسا حتى في العصر نفسه الذي عاش فيه شارل تقريبًا. وباستخدام هذا التدريج أو أي تدريج لا يعتمد على الصفر المطلق تصبح المعادلة التي تعبر عن قانون شارل أكثر تعقيدًا؛ فهي تحتاج إلى ثابتين إضافة إلى الحجم V ودرجة الحرارة T. وقد بسّط التدريج المطلق الأمور، ونتجت قوانين الغازات المستخدمة الآن.

عرفت الآن كيف تؤثر متغيرات الضغط والحرارة والحجم في عينة من الغاز. ويمكنك أيضًا استخدام قوانين الغازات التي تم تلخيصها في **الجدول 1-1** إذا كانت كمية الغاز ثابتة، لكن ماذا يحدث إذا تغيرت كمية الغاز؟ هذا ما ستدرسه لاحقًا.

التقويم 1-1

الخلاصة

- ينص قانون بويل على أن حجم مقدار محدّد من الغاز يتناسب عكسيًّا مع ضغطه عند ثبوت درجة الحرارة .
- ينص قانون شارل على أن حجم مقدار محدّد من الغاز يتناسب طرديًّا مع درجة حرارته المطلقة عند ثبوت الضغط.
- ينص قانون جاي- لوساك على أن ضغط مقدار محدّد من الغاز يتناسب طرديًّا مع درجة الحرارة المطلقة عند ثبوت الحجم.
- يربط القانون العام للغازات بين الضغط ودرجة الحرارة والحجم في معادلة واحدة.

14. الفكرة الرئيسة **وضح** العلاقة بين الضغط ودرجة الحرارة وحجم كمية ثابتة من الغاز.

15. **اشرح** أي المتغيرات الثلاثة، التي تؤثر في كمية ثابتة من الغاز، تتناسب تناسبًا طرديًّا، وأيها تتناسب عكسيًّا؟

16. **حلل** أُطلق بالون طقس إلى الغلاف الجوي، وأنت تعرف كلًّا من حجمه الابتدائي ودرجة حرارته وضغط الهواء فيه. ما المعلومات التي تحتاج إليها لحساب الحجم النهائي للبالون عندما يصل إلى أقصى ارتفاع له؟ وأي القوانين تستخدم لحساب الحجم؟

17. **استنتج** لماذا تُضغط الغازات التي تستخدم في المستشفيات، ومنها الأكسجين؟ ولماذا يجب حمايتها من ارتفاع درجات الحرارة ؟ وماذا يجب أن يحدث للأكسجين المضغوط قبل استنشاقه؟

18. **احسب** يحتوي إناء بلاستيكي صلب على 1.00 L من غاز الميثان عند ضغط جوي مقداره 660 torr، ودرجة حرارة 22.0°C ، ما مقدار الضغط الذي يحدثه الغاز عند ارتفاع درجة الحرارة إلى 44.6°C؟

19. **صمّم** خريطة مفاهيمية توضّح فيها العلاقات بين الضغط والحجم ودرجة الحرارة في قوانين بويل، وشارل، وجاي- لوساك.

1–2 قانون الغاز المثالي The Ideal Gas Law

الأهداف

- **تربط** عدد الجسيمات بالحجم مستخدمًا مبدأ أفوجادرو.
- **تربط** كمية الغاز بضغطه ودرجة حرارته وحجمه مستخدمًا قانون الغاز المثالي.
- **تقارن** بين خصائص الغاز الحقيقي والغاز المثالي.

مراجعة المفردات

المول: وحدة قياسية دولية تستخدم لقياس كمية المادة، وتمثل مقدار المادة النقية التي تحتوي على 6.02×10^{23} من الجسيمات.

المفردات الجديدة

مبدأ أفوجادرو

الحجم المولاري

ثابت الغاز المثالي (R)

قانون الغاز المثالي

الفكرة الرئيسة **يربط قانون الغاز المثالي بين عدد الجسيمات وكل من الضغط ودرجة الحرارة والحجم.**

الربط مع الحياة تعلم أن إضافة الهواء إلى إطار السيارة يزيد من ضغط الهواء في الإطار، ولكن هل تعلم أن قيمة الضغط المحددة للإطار هي قيمة الضغط في الإطار عندما يكون باردًا؟ فعندما تتحرك إطارات السيارات على الطريق يعمل الاحتكاك على رفع درجة الحرارة، فيزيد الضغط.

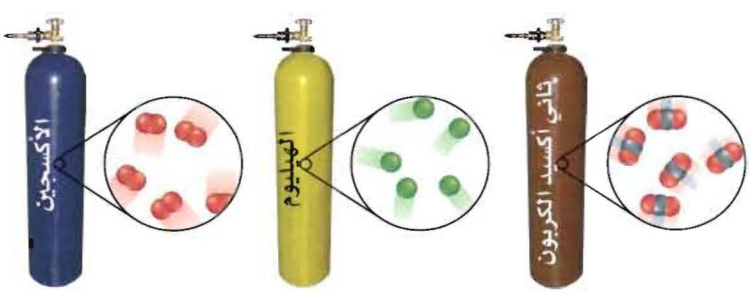
مبدأ أفوجادرو Avogadro's Principle

تختلف حجوم جسيمات الغازات، ومع ذلك تفترض نظرية الحركة الجزيئية أن جسيمات الغاز في أي عينة تكون متباعدة كثيرًا جدًّا، بحيث يصبح تأثير حجم الجسيمات قليلًا جدًّا على الحجم الذي يشغله الغاز. فمثلًا يشغل 1000 جسيم من غاز الكربتون الكبيرة نسبيًّا الحجم نفسه لـ 1000 جسيم من غاز الهيليوم الأصغر حجمًا عند نفس درجة الحرارة والضغط. وكان أفوجادرو في عام 1811م أول من قدم هذه الفكرة. وينص مبدأ أفوجادرو على أن الحجوم المتساوية من الغازات المختلفة تحتوي العدد نفسه من الجسيمات عند نفس درجة الحرارة والضغط. ويبين **الشكل 5-1** حجومًا متساوية من ثاني أكسيد الكربون والهيليوم والأكسجين.

الحجم وعدد المولات درست سابقًا أن المول الواحد من أي مادة يحتوي على 6.02×10^{23} من الجسيمات. و**الحجم المولاري** لغاز هو الحجم الذي يشغله 1 mol منه عند درجة حرارة 0.0°C، وضغط جوي 1atm.

وتعرف درجة الحرارة 0.0°C والضغط الجوي 1atm بدرجة الحرارة والضغط المعياريين. هذا وقد بيَّن أفوجادرو أن 1mol من أي غاز يشغل حجمًا مقداره 22.4 L، لذا يمكنك استعمال 22.4 L/mol بوصفه معامل تحويل عندما يكون الغاز في الظروف المعيارية. فإذا رغبت مثلًا في معرفة عدد المولات في عينة من غاز حجمها 3.72 L، في الظروف المعيارية، فيتعين عليك استخدام الحجم المولاري لتحويل وحدات الحجم إلى مولات.

$$3.72\ \text{L} \times \frac{1\ \text{mol}}{22.4\ \text{L}} = 0.166\ \text{mol}$$



الشكل 5-1 أسطوانات غاز متساوية في الحجم تحت تأثير ضغط ودرجة حرارة متساويين، وتحتوي أعدادًا متساوية من جسيمات الغاز بغض النظر عن نوع الغاز الذي تحتويه كل منها.

استنتج لماذا لا ينطبق مبدأ أفوجادرو على السوائل والمواد الصلبة؟

مثال 5-1

الحجم المولاري المكون الرئيس للغاز الطبيعي المستخدم في المنازل لأغراض التدفئة والطهو هو الميثان CH_4. احسب حجم 2.00 Kg من غاز الميثان في الظروف المعيارية STP.

1 تحليل المسألة

يمكن حساب عدد المولات من خلال قسمة كتلة العينة (m) على الكتلة المولية M. ولأن الغاز تحت الظروف المعيارية (STP)، لذا يمكنك استخدام الحجم المولاري لتحويل عدد المولات إلى حجم.

المعطيات

$m = 2.00\ kg$

$T = 0.00\ ^\circ C$

$P = 1.00\ atm$

المطلوب

$V = ?\ L$

2 حساب المطلوب

حدّد الكتلة المولية للميثان

حدد الكتلة المولية

عبر عن الكتلة الجزيئية باستخدام g/mol لتصل إلى الكتلة المولية.

$$M = 1\ C\ \cancel{atom}\left(\frac{12.01\ amu}{1\ C\ \cancel{atom}}\right) + 4\ H\ \cancel{atoms}\left(\frac{1.01\ amu}{1\ H\ \cancel{atom}}\right)$$

$$= 12.01\ amu + 4.04\ amu = 16.05\ amu = 16.05\ g/mol$$

حدّد عدد مولات الميثان

حوّل الكتلة المولية من وحدة Kg إلى g

$$2.00\ \cancel{kg}\left(\frac{1000\ g}{1\ \cancel{kg}}\right) = 2.00 \times 10^3\ g$$

اقسم على الكتلة المولية لإيجاد عدد المولات.

$$\frac{m}{M} = \frac{2.00 \times 10^3\ g}{16.05\ g/mol} = 125\ mol$$

استخدم الحجم المولاري لتحديد حجم الميثان في الظروف المعيارية STP.

استخدم الحجم المولاري 22.4 L/mol للتحويل من المولات إلى الحجم.

$$V = 125\ \cancel{mol} \times \frac{22.4\ L}{1\ \cancel{mol}} = \mathbf{2.80 \times 10^3\ L}$$

3 تقويم الإجابة

مقدار الميثان الموجود أكبر من 1 mol ؛ لذا يجب أن تتوقع حجمًا كبيرًا، وهذا يتفق مع الإجابة. الوحدة هي (L)، وهي وحدة قياس الحجم، وهناك ثلاثة أرقام معنوية.

مسائل تدريبية

20. ما حجم الوعاء اللازم لاحتواء 0.0459 mol من غاز النيتروجين N_2 في الظروف المعيارية STP؟

21. ما كتلة غاز ثاني أكسيد الكربون بالجرامات، الموجودة في بالون حجمه 1.0 L في الظروف المعيارية STP؟

22. ما الحيز (ml)، الذي يشغله غاز الهيدروجين الذي كتلته 0.00922 g في الظروف المعيارية STP؟

23. ما الحجم الذي تشغله كتلة مقدارها 0.416 g من غاز الكربتون في الظروف القياسية STP؟

24. احسب الحجم الذي تشغله كتلة مقدارها 4.5 Kg من غاز الإيثيلين C_2H_4 في الظروف المعيارية STP؟

25. تحفيز إناء بلاستيكي مرن يحتوي 0.86 g من غاز الهيليوم بحجم (19.2 L). فإذا أُخرج 0.205 g من غاز الهيليوم عند ضغط ودرجة حرارة ثابتين، فما الحجم الجديد؟

قانون الغاز المثالي The Ideal Gas Law

يمكن جمع كل من مبدأ أفوجادرو وقوانين بويل وشارل وجاي- لوساك في علاقة رياضية واحدة تصف العلاقة بين الضغط والحجم ودرجة الحرارة وعدد مولات الغاز. تعطي هذه الصيغة نتائج أفضل للغازات التي تنطبق عليها افتراضات نظرية الحركة الجزيئية، التي تعرف بالغازات المثالية. إن حجوم جسيمات الغازات صغيرة جدًّا، وبينها فراغات كبيرة لدرجة أن قوى التجاذب أو التنافر فيما بينها تصبح أقل ما يمكن.

من القانون العام للغازات إلى قانون الغازات المثالي يربط القانون العام للغازات بين متغيرات الضغط والحجم و درجة الحرارة لمقدار محدّد من الغاز.

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

وتبقى علاقة الضغط والحجم ودرجة الحرارة دائمًا نفسها لعينة محدّدة من الغاز. ويمكن إعادة كتابة العلاقة الممثلة في القانون العام للغازات على النحو الآتي :

$$\frac{PV}{T} = \text{مقدارًا ثابتًا}$$

يوضّح **الشكل 6-1** أن زيادة مقدار الغاز الموجود في العينة يؤدي إلى زيادة الضغط، إذا كانت درجة الحرارة والحجم ثابتين، كما أنّ الحجم يزداد عند إضافة المزيد من جسيمات الغاز. ونحن نعرف أن كلًّا من الحجم والضغط يتناسبان تناسبًا طرديًّا مع عدد المولات (n)، لذا يمكن وضع عدد المولات (n) في معادلة القانون العام للغازات، كما يأتي:

$$\frac{PV}{nT} = \text{ثابتًا}$$

ولقد حددت التجارب التي استخدمت فيها قيم معروفة لكل من V، T،P.n قيمة هذا الثابت، والذي يعرف **بثابت الغاز المثالي**، ويرمز له بالرمز R. فإذا كان الضغط مقيسًا بوحدة atm فإن قيمة R هي 0.0821 L.atm /mol.K .

لاحظ أن وحدة R تجمع ببساطة وحدات المتغيرات الأربع. ويبين **الجدول 2-1** القيم الرقمية لـ R بوحدات مختلفة للضغط.

ماذا قرأت؟ فسر لماذا أضيف عدد المولات (n) إلى المقام في المعادلة أعلاه؟

عند التعويض عن R في المعادلة أعلاه، وعند إعادة ترتيب المتغيرات تنتج الصيغة الأكثر شيوعًا لقانون الغاز المثالي؛ حيث يصف **قانون الغاز المثالي** السلوك الفيزيائي للغاز المثالي من حيث الضغط والحجم ودرجة الحرارة وعدد مولات الغاز المتوافرة.

قانون الغاز المثالي

$$PV = nRT$$

P = الضغط.
V = الحجم.
n = عدد المولات.
R = ثابت الغاز المثالي.
T = درجة الحرارة

إن حاصل ضرب الضغط والحجم في مقدار معين من الغاز عند درجة حرارة ثابتة يساوي مقدرًا ثابتًا.



الشكل 6-1 يبقى حجم ودرجة حرارة هذا الإطار ثابتًا في أثناء إضافة الهواء، ولكن كلما ازدادت كمية الهواء ازداد الضغط.

المطويات

أدخل معلومات من هذا القسم في مطويتك.

الجدول 2-1 قيم R

وحدات R	قيمة R
0.0821	$\frac{L \cdot atm}{mol \cdot K}$
8.314	$\frac{L \cdot kPa}{mol \cdot K}$
62.4	$\frac{L \cdot mmHg}{mol \cdot K}$

مثال 6-1

قانون الغاز المثالي احسب عدد مولات غاز الأمونيا NH_3 الموجودة في وعاء حجمه 3.0 L عند 3.0×10^2 K وضغط (1.5 atm).

1 تحليل المسألة

أعطيت الحجم ودرجة الحرارة والضغط لعينة من الغاز. استخدم قانون الغاز المثالي، واختر قيمة الثابت R بالاعتماد على وحدة الضغط في السؤال. لاحظ أنّ قِيم الضغط ودرجة الحرارة قريبة من الظروف المعيارية، لكن الحجم أصغر كثيرًا من 22.4 L، فعليك أن تتوقع أنّ الإجابة أقل كثيرًا من مول واحد.

المعطيات

$V = 3.0\ L$

$T = 3.00 \times 10^2\ K$

$P = 1.50\ atm$

$R = 0.0821\ \frac{L \cdot atm}{mol \cdot K}$

المطلوب

$n = ?\ mol$

2 حساب المطلوب

استخدم قانون الغاز المثالي، ثم عوِّض بالقيم المعروفة لإيجاد قيمه (n)

اكتب قانون الغاز المثالي

$$PV = nRT$$

حل لإيجاد n

$$n = \frac{PV}{RT}$$

عوض $V = 3.0\ L,\ T = 3.00 \times 10^2\ K,\ P = 1.50\ atm$

$R = 0.0821\ L \cdot atm/mol \cdot K$

$$n = \frac{(1.50\ atm)(3.0\ L)}{\left(0.0821\ \frac{L \cdot atm}{mol \cdot K}\right)(3.00 \times 10^2\ K)}$$

اضرب الأرقام والوحدات واقسمها

$$n = \frac{(1.50\ \cancel{atm})(3.0\ L)}{\left(0.0821\ \frac{L \cdot atm}{\cancel{mol} \cdot K}\right)(3.00 \times 10^{\cancel{2}}\ \cancel{K})} = \mathbf{0.18\ mol}$$

3 تقويم الإجابة

تتفق الإجابة مع توقع أنّ عدد المولات أقل كثيرًا من 1 mol ، وحدة الإجابة mol، وتحتوي رقمين معنويين.

مسائل تدريبية

26. ما درجة حرارة 2.49 mol من الغاز الموجود في إناء سعته 1.00 L ، وتحت ضغط مقداره 143 KPa

27. احسب حجم 0.323 mol من غاز ما عند درجة حرارة 256 K وضغط جوي مقداره 0.90 atm

28. مـا مقدار ضغط 0.108 mol ، بـوحدة الضغط الجوي (atm) ـ لعينة من غاز الهيليوم عند درجة حرارة 20.0°C، إذا كان حجمها 0.050 L؟

29. إذا كان ضغط غاز حجمه 0.044 L يساوي 3.81 atm عند درجة حرارة 25.0°C، فما عدد مولات الغاز؟

30. تحفيز غاز مثالي حجمه 3.0 L، فإذا تضاعف عدد مولاته ودرجة حرارته وبقي الضغط ثابتًا، فما حجمه الجديد؟

قانون الغاز المثالي - الكتلة المولية والكثافة
The Ideal Gas Law – Molar Mass and Density

يمكن أن يستخدم قانون الغاز المثالي في إيجاد أي قيمة من قيم المتغيرات الأربعة P،V،T،n، إذا كانت القيم الثلاث الأخرى معروفة. كما يمكن إعادة ترتيب المعادلة PV=nRT لحساب الكتلة المولية والكثافة لعينة من الغاز.

الكتلة المولية وقانون الغاز المثالي لإيجاد الكتلة المولية لعينة غاز يجب أن يكون كلًّا من الكتلة ودرجة الحرارة والضغط وحجم الغاز معروفًا. تذكر ما تعلمته سابقًا، حيث إن عدد مولات الغاز(n) تساوي الكتلة (m) مقسومة على الكتلة المولية (M). لذلك يمكن التعويض عن n بمقدار m /M .

$$PV = nRT \qquad n = \frac{m}{M} \qquad PV = \frac{mRT}{M}$$

ويمكنك إعادة ترتيب المعادلة لتصبح على النحو الآتي:

$$M = \frac{mRT}{PV}$$

الكثافة وقانون الغاز المثالي تذكر أن كثافة أي مادة (D) تساوي كتلتها (m) في وحدة الحجوم (V)، وبعد إعادة ترتيب معادلة الغاز المثالي لإيجاد الكتلة المولية يمكن التعويض عن (m /V) بالقيمة D .

$$M = \frac{mRT}{PV} \qquad D = \frac{m}{V} \qquad M = \frac{DRT}{P}$$

يمكنك إعادة ترتيب المعادلة لإيجاد الكثافة لتصبح على النحو التالي:

$$D = \frac{MP}{RT}$$

لماذا تحتاج إلى معرفة كثافة الغاز؟ فكر في طرائق إطفاء الحريق. تعتمد إحدى طرائق إطفاء الحريق على منع غاز الأكسجين من الوصول من خلال تغطية الحريق بغاز آخر لا يحترق ولا يساعد على الاحتراق، كما هو موضح في **الشكل 7-1**. لذا يجب أن تكون كثافة هذا الغاز أكبر من كثافة الأكسجين ليحل محله.

المفردات

أصل الكلمة

المول Mole

جاءت من الكلمة الألمانية Mol، وهي اختصار Molekulargewicht، وتعني الوزن الجزيئي.



الشكل 7-1 لإطفاء الحريق تحتاج إلى إبعاد الوقود أو الأكسجين أو الحرارة عن مصدر الحريق. تحتوي طفاية الحريق على ثاني أكسيد الكربون الذي يحل محل الأكسجين، لكنه لا يشتعل، وله تأثير مبرّد نتيجة تمدده السريع بمجرد إطلاقه.

اشرح لماذا يحل ثاني أكسيد الكربون محل الأكسجين؟

تجربة

إعداد نموذج لطفاية حريق

لماذا يستخدم غاز ثاني أكسيد الكربون لإطفاء الحريق؟

الخطوات

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. قس درجة الحرارة باستخدام مقياس الحرارة، والضغط الجوي باستخدام البارومتر، ثم سجل البيانات التي حصلت عليها.
3. لفّ قطعة من ورق القصدير أبعادها $23\,cm \times 30\,cm$ على أسطوانة ارتفاعها 30 cm ونصف قطرها 6 cm تقريباً ثم ألصق أطراف قطعة القصدير.
4. استخدم أعواد الثقاب لإشعال الشمعة.
   تحذير: اسكب الماء فوق أعواد الثقاب قبل رميها، وابتعد عن مصادر اللهب.
5. ضع 30 g من صودا الخبز $NaHCO_3$ في كأس كبيرة، وأضف إليها 40 ml من الخل CH_3COOH تركيزه (5%).
6. ضع أسطوانة القصدير بسرعة فوق لهب الشمعة بزاوية مقدارها (45°).

تحذير : لا تجعل نهاية طرف الأسطوانة يلامس الشمعة المشتعلة.

7. وبينما يستمر التفاعل في الكأس في إنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون، مرر الغاز بحذر شديد، وليس السائل في الأسطوانة. سجل ملاحظاتك.



تحليل

1. **طبق** احسب الحجم المولاري لغاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 عند درجة حرارة الغرفة والضغط الجوي العادي.
2. **احسب** كثافة كل من ثاني أكسيد الكربون والأكسجين والنيتروجين بوحدة g/L عند درجة حرارة الغرفة. تذكر أن عليك حساب الكتلة المولية لكل غاز حتى تتمكن من حساب كثافة كل غاز.
3. **فسر** هل تدعم ملاحظاتك وحساباتك استخدام ثاني أكسيد الكربون في مكافحة الحرائق؟ ولماذا؟

الغاز الحقيقي مقابل الغاز المثالي Real Versus Ideal Gases

ماذا يعني مصطلح الغاز المثالي؟ تتبع الغازات المثالية فرضيات نظرية الحركة الجزيئية التي درستها سابقًا. فحجم جسيمات الغاز المثالي يكاد يكون معدومًا، كما أن هذه الجسيمات لا تشغل حيزًا، ولا توجد قوى تجاذب بينها، ولا تتجاذب مع جدران الوعاء الموجودة فيه، ولا تتنافر معه. وتتحرك هذه الجسيمات حركة عشوائية دائمة في خطوط مستقيمة حتى يصطدم بعضها ببعض أو بجدار الوعاء الذي يحتويها، وهذه التصادمات مرنة، مما يعني أن الطاقة الحركية للنظام لا تتغير. ويتبع الغاز المثالي قوانين الغاز تحت كل الظروف من الضغط ودرجة الحرارة.

ولكن في الحقيقة ليس هناك غاز مثالي؛ فجسيمات الغاز لها حجم و إن كان صغيرًا، وتوجد بينها قوى تجاذب، كما أن التصادمات فيما بينها وبين الوعاء ليست تصادمات مرنة تمامًا. وعلى الرغم من ذلك تسلك معظم الغازات سلوك الغاز المثالي في نطاقات واسعة من الضغط ودرجة الحرارة. كما أن الحسابات التي تجري باستخدام قانون الغاز المثالي تقارب القياسات التجريبية .

ماذا قرأت؟ **فسر** العلاقة بين نظرية الحركة الجزيئية والغاز المثالي.

استراتيجية حل المسائل

اشتقاق قوانين الغازات إذا أتقنت الاستراتيجيات الآتية، فإن عليك تذكر قانون الغاز المثالي فقط. خذ مثالًا، الكمية الثابتة من الغاز الموجودة تحت ضغط ثابت. استخدم قانون شارل لحل المسائل التي تتضمن الحجم ودرجة الحرارة.

1. استخدم قانون الغاز المثالي لكتابة معادلتين تصفان عينة الغاز عند درجة حرارة وحجم مختلفين (الكميات التي لا تتغير تظهر باللون الأحمر).
2. اعزل الحجم ودرجة الحرارة، وهما القيمتان اللتان تتغيران في الجهة نفسها من المعادلة.
3. ولأن كلًّا من P،R،n ثابت تحت هذه الظروف، فإنه يمكنك جعل كل من الحجم ودرجة الحرارة متساويين لاشتقاق قانون شارل.

$$PV_1 = nRT_1 \qquad PV_2 = nRT_2$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{nR}{P} \qquad \frac{V_2}{T_2} = \frac{nR}{P}$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

تطبيق الاستراتيجية

اشتق قانون بويل وجاي- لوساك والقانون العام للغازات استنادًا إلى القاعدة أعلاه.

أقصى ضغط ودرجة حرارة متى يكون قانون الغاز المثالي غير مناسب للاستخدام مع الغاز الحقيقي؟ تحيد معظم الغازات الحقيقية في سلوكها عن الغاز المثالي عند الضغط العالي ودرجات الحرارة المنخفضة. ويسلك غاز النيتروجين في الخزان الظاهر في **الشكل 8-1** سلوك الغاز الحقيقي. وعند انخفاض درجات حرارة غاز النيتروجين تنخفض طاقة جسيماته الحركية، وهذا يعني أن قوى التجاذب بين هذه الجسيمات قوية، مما يجعلها تؤثر في سلوكها. وعندما تنخفض درجة الحرارة بقدر كاف يتكاثف الغاز الحقيقي مكوّنًا سائلاً. ويسلك غاز البروبان في الخزان الظاهر في **الشكل 8-1** أيضًا سلوكَ الغاز الحقيقي. وتعمل زيادة الضغط على الغاز على إجبار جسيماته على الاقتراب بعضها من بعض، حتى يصبح من غير الممكن إهمال الحجم الذي تشغله الجسيمات. وتتحول الغازات الحقيقية ـ ومنها البروبان ـ إلى سائل إذا تعرضت لضغط كافٍ.

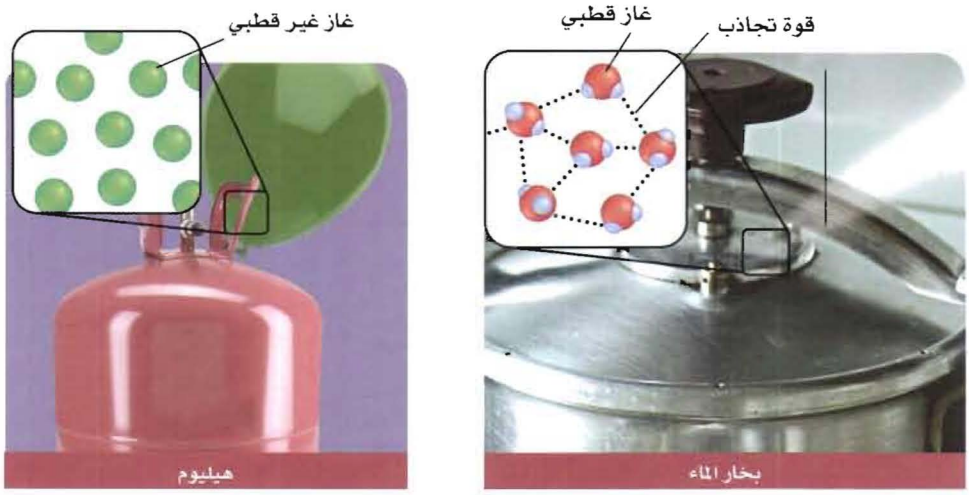


يمكن تخزين كمية من البروبان السائل أكبر 270 مرة منها في الحالة الغازية في الحجم نفسه. وتستخدم أسطوانات صغيرة من البروبان السائل وقودًا للطهي في المنازل.



يتحول غاز النيتروجين إلى سائل عند درجة حرارة (196°C-) ويستطيع العلماء حفظ العينات البيولوجية ومنها أنسجة الجسم. عند هذه الدرجة لإجراء البحوث والإجراءات الطبية الأخرى.

الشكل 8-1 لا يتبع الغاز الحقيقي قانون الغاز المثالي عند قيم الضغط ودرجات الحرارة كلها.



الشكل 9-1 التجاذب بين جسيمات الغاز غير القطبي ضعيف بينما يكون التجاذب بين جسيمات الغازات القطبية مثل بخار الماء قويًّا.

القطبية وحجم الجسيمات تؤثر طبيعة الجسيمات التي يتكوّن منها الغاز في سلوكه بطريقة مثالية. فمثلًا يوجد بين جسيمات الغاز القطبية كما في بخار الماء قوى تجاذب أكبر من القوى التي تكون بين جسيمات الغازات غير القطبية كالهيليوم. فتنجذب الأطراف المختلفة للجسيمات القطبية بعضها نحو بعض بوساطة قوى كهروستاتيكية، كما في **الشكل 9-1**، لذا، لا تسلك الغازات القطبية سلوك الغاز المثالي. وتشغل جسيمات الغازات غير القطبية الكبيرة الحجم كالبيوتان C_4H_{10} حيزًا أكبر من الحيز الذي يشغله عدد مماثل من جسيمات غاز صغيرة الحجم كالهيليوم He. ولهذا السبب تميل جسيمات الغاز الكبيرة إلى الابتعاد عن السلوك المثالي أكثر من جسيمات الغاز الصغيرة.

التقويم 1-2

الخلاصة

- ينص مبدأ أفوجادرو على أن الحجوم المتساوية من الغازات عند نفس الضغط ودرجة الحرارة تحتوي على العدد نفسه من الجسيمات.
- يربط قانون الغاز المثالي كمية الغاز مع ضغطه ودرجة حرارته وحجمه.
- يمكن استخدام قانون الغاز المثالي لإيجاد الكتلة المولية للغاز إذا كانت كتلة الغاز معروفة، ويمكن أيضًا استخدامه لإيجاد كثافة الغاز إذا كانت الكتلة المولية معروفة.
- تسلك الغازات الحقيقية عند الضغط العالي ودرجات الحرارة المنخفضة سلوكًا مغايرًا لسلوك الغاز المثالي.

31. الفكرة الرئيسة **فسر** لماذا ينطبق مبدأ أفوجادرو على الغازات التي تتكون من جزيئات صغيرة والتي تتكون من جزيئات كبيرة؟

32. **اكتب** معادلة قانون الغاز المثالي.

33. **حلّل** كيف ينطبق قانون الغاز المثالي على الغاز الحقيقي مستخدمًا نظرية الحركة الجزيئية؟

34. **توقع** الظروف التي يحتمل أن يختلف عندها سلوك الغاز الحقيقي عن سلوك الغاز المثالي؟

35. **ضع** في قائمة، الوحدات الأكثر شيوعًا للمتغيرات في قانون الغاز المثالي.

36. **احسب** كتلة غاز البروبان C_3H_8 الموجود في دورق حجمه 2.0 L عند ضغط جوي مقداره 1.00 atm ودرجة حرارة 15.0°C-.

37. **ارسم رسمًا بيانيًّا واستخدمه** ينخفض ضغط إطارات السيارات بمقدار 1psi (14.7psi=1.0 atm) عند انخفاض درجة الحرارة بمقدار 6°C ، ارسم رسمًا بيانيًّا يوضح التغير في الضغط داخل الإطار، عندما تتغير درجات الحرارة من 20°C إلى 20°C- (افترض أن الضغط يساوي 30 Psi عند درجة حرارة 20.0°C).

1–3

الأهداف

- **تحدد** النسب الحجمية للغازات المتفاعلة والناتجة مستخدمًا المعاملات الموجودة في المعادلة الكيميائية.
- **تطبق** قوانين الغازات لحساب كميات الغازات المتفاعلة والناتجة في التفاعل الكيميائي.

مراجعة المفردات

المعاملات: الرقم الذي يكتب عن يسار المواد المتفاعلة أو الناتجة في المعادلة الكيميائية والذي يخبرنا عن أقل عدد من جسيمات المادة المتضمنة في التفاعل.

الحسابات المتعلقة بالغازات Gas Stoichiometry

الفكرة الرئيسة **عندما تتفاعل الغازات فإن المعاملات في المعادلات الكيميائية الموزونة التي تمثل هذه التفاعلات تشير إلى عدد المولات والحجوم النسبية للغازات.**

الربط مع الحياة لكي تقوم بصناعة الكيك من المهم أن تضيف المقادير بنسب صحيحة. وبطريقة مشابهة فإن نسبًا صحيحة من المتفاعلات تلزم في التفاعل الكيميائي للحصول على النتائج المطلوبة.

الحسابات الكيميائية للتفاعلات المتضمنة للغازات
Stoichiometry of Reactions Involving Gases

تطبق قوانين الغازات في حساب المتفاعلات أو النواتج الغازية في التفاعلات الكيميائية. تذكر أن المعاملات في التفاعلات الكيميائية تمثل عدد مولات المواد المشاركة في التفاعل. على سبيل المثال يتفاعل غاز الهيدروجين مع غاز الأكسجين لإنتاج بخار الماء.

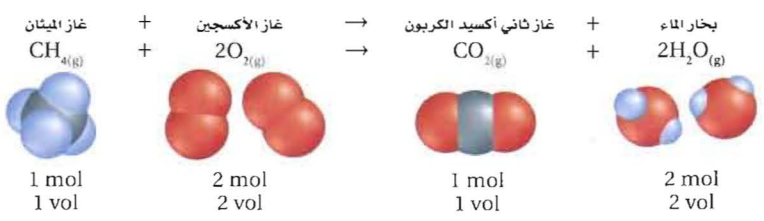
$$2H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2H_2O_{(g)}$$

تخبرك المعادلة الكيميائية الموزونة بالنسب المولية للمواد في التفاعل؛ فمثلاً تبين معادلة التفاعل أعلاه أنّ 2 mol من غاز الهيدروجين تتفاعل مع 1 mol من غاز الأكسجين وينتج 2 mol من بخار الماء.

كما ينص مبدأ أفوجادرو على أنّ الحجوم المتساوية من الغازات عند نفس درجة الحرارة والضغط لها عدد الجسيمات نفسه، وهكذا فإن معاملات المواد الغازية في المعادلة الكيميائية الموزونة لاتمثل عدد المولات فقط، وإنما تمثل الحجوم النسبية أيضًا. لهذا فإن 2 L من غاز الهيدروجين ستتفاعل مع 1 L من غاز الأكسجين لإنتاج 2 L من بخار الماء.

الحسابات الكيميائية : حساب الحجم
Stoichiometry and Volume–Volume Problems

لإيجاد حجم غاز متفاعل أو ناتج في التفاعل الكيميائي يجب عليك معرفة المعادلة الكيميائية الموزونة لهذا التفاعل وحجم غاز آخر مشارك في التفاعل على الأقل. افحص التفاعل في **الشكل 10-1** مثلاً، والذي يوضح احتراق غاز الميثان، وهذا التفاعل مألوف لك؛ إذ يحدث كلما أشعلت موقد بنزن.



الشكل 10-1 توضح المعاملات في المعادلة الكيميائية الموزونة العلاقة بين أعداد مولات المواد المتفاعلة والناتجة والعلاقة بين حجوم أي من الغازات المتفاعلة أو الناتجة. بناءً على هذه المعاملات، يمكن استخدام النسبة الحجمية لأي زوج من الغازات المتفاعلة.

ولأنّ المعاملات تمثل النسب الحجمية للغازات المشاركة في التفاعل فإنه يمكنك أن تحدد أنه يلزم 2 L من غاز الأكسجين لتتفاعل تمامًا مع 1 L من غاز الميثان. كما أنّ الاحتراق الكامل لـ 1 L من الميثان سوف ينتج 1 L من ثاني أكسيد الكربون و 2 L من بخار الماء.

لاحظ أنه لم يتم تحديد أي من الظروف مثل الضغط ودرجة الحرارة. فلا حاجه إليها في الحسابات الكيميائية؛ وذلك لأنه بعد الخلط سيكون كلا الغازين في نفس درجة الحرارة والضغط. ويمكن أن تتغير درجة الحرارة في أثناء التفاعل، لكن التغير في درجة الحرارة يؤثر في كل الغازات الموجودة في التفاعل بنفس الطريقة. لذا فإنك لا تحتاج لأخذ حالتي الضغط ودرجة الحرارة بعين الاعتبار.

الكيمياء في واقع الحياة

استخدام الحسابات الكيميائية



الأفران تلزم نسب صحيحة من الغازات في كثير من التفاعلات الكيميائية. ورغم أن كثيرًا من أفران صناعة الفخار يتم تغذيتها بغاز الميثان فإن مزيجًا محددًا من البروبان والهواء يمكن أن يستخدم وقودًا في هذه الأفران إن لم يتوافر الميثان.

مثال 7-1

مسائل حساب الحجم ما حجم غاز الأكسجين اللازم لإحراق 4.0 L من غاز البروبان C_3H_8 حرقًا كاملاً. افترض أن الضغط ودرجة الحرارة ثابتان.

1 تحليل المسألة

لقد أعطيت حجم الغاز المتفاعل في المعادلة الكيميائية. تذكر أن المعاملات في المعادلة الكيميائية الموزونة تزودك بالنسب الحجمية للغازات المتفاعلة والناتجة.

المعطيات	المطلوب
$V_{C_3H_8} = 4.00\ L$	$V_{O_2} = ?\ L$

2 حساب المطلوب

استخدم المعادلة الموزونة لاحتراق C_3H_8، ثم جد النسبة الحجمية لكل من C_3H_8 و O_2، ثم جد حجم غاز O_2

اكتب المعادلة الموزونة

$$C_3H_{8(g)} + 5O_{2(g)} \rightarrow 3CO_{2(g)} + 4H_2O_{(g)}$$

جد النسبة الحجمية لـ O_2، C_3H_8

$$\frac{5\ vol\ O_2}{1\ vol\ C_3H_8}$$

اضرب حجم C_3H_8 المعروف بالنسبة الحجمية لإيجاد حجم O_2

$$V_{O_2} = (4.00\ L\ C_3H_8) \times \frac{5\ vol\ O_2}{1\ vol\ C_3H_8}$$

$$= 20.0\ L\ O_2$$

3 تقويم الإجابة

توضح المعاملات في معادلة تفاعل الاحتراق أنّ حجم غاز O_2 المستخدم في التفاعل أكبر كثيرًا من حجم C_3H_8، وهذا يتوافق مع الإجابة التي تم حسابها. وحدة الإجابة هي (L)، وهو وحدة حجم، وهناك ثلاثة أرقام معنوية.

مسائل تدريبية

38. كم لترًا من غاز البروبان C_3H_8 يلزم لكي تحترق حرقًا كاملاً مع 34.0 L من غاز الأكسجين ؟

39. ما حجم غاز الهيدروجين اللازم للتفاعل تمامًا مع 5.00 L من غاز الأكسجين لإنتاج الماء؟

40. ما حجم غاز الأكسجين اللازم لاحتراق 2.36 L من غاز الميثان CH_4 حرقًا كاملاً؟

41. تحفيز يتفاعل غازا النيتروجين والأكسجين لإنتاج غاز أكسيد ثاني النيتروجين N_2O. ما حجم غاز O_2 اللازم لانتاج 34 L من غاز N_2O؟



الشكل 11-1 تعد الأمونيا مادة أساسية لإنتاج الأسمدة الغنية بالنيتروجين. ويؤدي وجود النيتروجين في التربة بمستوى ملائم إلى تحسين المحصول الزراعي.

الحسابات الكيميائية : حسابات الحجم - الكتلة
Stoichiometry and Problems

الربط مع علم الأحياء يمكنك تطبيق ما تعلمته عن الحسابات الكيميائية على إنتاج الأمونيا NH_3 من غاز النيتروجين N_2. فمصانع الأسمدة تستخدم الأمونيا لصناعة الأسمدة الغنية بالنيتروجين؛ فالنيتروجين عنصر مهم لنمو النباتات. ويعد تثبيت النباتات لنيتروجين الجو في التربة، وتحليل المواد العضوية، ومخلفات الحيوانات، من المصادر الطبيعية للنيتروجين في التربة. هذه المصادر لا توفر ما يكفي من النيتروجين لسد حاجة المزروعات. يوضح **الشكل 11-1** مزارعًا يسمد الأرض بسماد غني بالنيتروجين، وهذا يجعل المزارع قادرًا - بإذن الله - على إنتاج كميات أكثر من المحصول.

يوضح المثال 8-1 كيف يمكن استخدام غاز النيتروجين في إنتاج مقدار محدود من الأمونيا. تذكر عند حل هذا المثال أن المعادلة الكيميائية الموزونة تبين أعداد المولات والحجوم النسبية للغازات فقط، وليس كتلها. لذا يجب أن يتم تحويل كل الكتل المعطاة إلى مولات أو حجوم قبل استخدامها جزءًا من النسبة. تذكر أيضًا أن وحدة درجة الحرارة يجب أن تكون بالكلفن.

المفردات

المفردات الأكاديمية

النسبة
العلاقة الكمية بين شيئين.
النسبة بين الهيدروجين والأكسجين في جزيء الماء هي 2:1

مثال 8-1

حسابات الحجم- الكتلة تحضّر الأمونيا من غاز الهيدروجين وغاز النيتروجين وفق المعادلة :

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

إذا تفاعل 5.00 L من غاز النيتروجين تمامًا مع غاز الهيدروجين عند ضغط جوي 3.00 atm ودرجة حرارة 298 K، فما كمية الأمونيا (g) التي تنتج عن التفاعل؟

1 تحليل المسألة

لقد أعطيت الحجم والضغط، ودرجة الحرارة لعينة من الغاز، كما أن النسبة الحجمية والمولية للغازات المتفاعلة والناتجة معطاة من خلال معاملاتها في المعادلة الكيميائية الموزونة. يمكن تحويل الحجم إلى مولات باستخدام قانون الغاز المثالي، ومن ثم حساب الكتلة باستخدام الكتلة المولية.

المعطيات
$V_{N_2} = 5.00\ L$
$P = 3.00\ atm$
$T = 298\ K$

المطلوب
$m_{NH_3} = ?\ g$

2 حساب المطلوب

حدد عدد لترات غاز الأمونيا التي يمكن أن تنتج عن 5.00 L من غاز النيتروجين.

جد النسبة الحجمية لـ N_2 و NH_3 مستخدمًا المعادلة الموزونة

$$\frac{1 \text{ vol } N_2}{2 \text{ vol } NH_3}$$

قم بضرب الحجم المعروف من N_2 في النسبة الحجمية لإيجاد حجم NH_3

$$5.00 \text{ L } N_2 \left(\frac{2 \text{ vol } NH_3}{1 \text{ vol } N_2}\right) = 10.0 \text{ L } NH_3$$

استخدم قانون الغاز المثالي لإيجاد قيمة n. ومن ثم احسب عدد مولات NH_3

اكتب نص قانون الغاز المثالي

$$PV = nRT$$

جد قيمة n

$$n = \frac{PV}{RT}$$

عوض $V = 5.00L$, $P = 3.0$ atm, $T = 298$ K

$$n = \frac{(3.00 \text{ atm})(10.0 \text{ L})}{\left(0.0821 \frac{\text{L·atm}}{\text{mol·K}}\right)(298 \text{ K})}$$

اضرب واقسم الأرقام والوحدات

$$n = \frac{(3.00 \text{ atm})(10.0 \text{ L})}{\left(0.0821 \frac{\text{L·atm}}{\text{mol·K}}\right)(298 \text{ K})} = 1.23 \text{ mol } NH_3$$

جد الكتلة المولية لـ NH_3

$$M = \left(\frac{1 \text{ N atom} \times 14.01 \text{ amu}}{1 \text{ N atom}}\right) + \left(\frac{3 \text{ H atoms} \times 1.01 \text{ amu}}{1 \text{ H atom}}\right)$$

$$= 17.04 \text{ amu}$$

عبر عن الكتلة المولية بوحدة g/mol

$$M = 17.04 \text{ g/mol}$$

حول مولات الأمونيا إلى جرامات الأمونيا

استخدم الكتلة المولية معاملًا للتحويل

$$1.23 \text{ mol } NH_3 \times \frac{17.04 \text{ g } NH_3}{1 \text{ mol } NH_3} = 21.0 \text{ g } NH_3$$

3 تقويم الإجابة

لتفحص إجابتك، احسب حجم النيتروجين المتفاعل عند (STP)، ثم الحجم المولي والنسبة المولية بين NH_3، N_2؛ لتحديد عدد مولات NH_3 الناتجة. وحدة الإجابة هي الجرام، وهي وحدة قياس الكتلة، وهناك ثلاثة أرقام معنوية.

مسائل تدريبية

42. نترات الأمونيوم مكون شائع في الأسمدة الكيميائية. استخدم التفاعل التالي لحساب كتلة نترات الأمونيوم الصلبة التي يجب أن تستخدم للحصول على 0.100 L من غاز ثاني أكسيد النيتروجين.

$$NH_4NO_{3(s)} \rightarrow N_2O_{(g)} + 2H_2O_{(g)}$$

43. عند تسخين كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ تتحلل لتكون أكسيد الكالسيوم CaO الصلب وغاز ثاني أكسيد الكربون CO_2. ما عدد لترات ثاني أكسيد الكربون التي تتكون عند STP إذا تحلل 2.38 Kg من كربونات الكالسيوم تمامًا؟

44. عندما يصدأ الحديد يكون قد تفاعل مع الأكسجين ليكون أكسيد الحديد(II)

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

احسب حجم غاز الأكسجين عند STP اللازم ليتفاعل مع 52.0 g من الحديد تمامًا.

45. تحفيز أضيفت كمية فائضة من حمض الأسيتيك إلى 28g من كربونات الصوديوم الهيدروجينية عند درجة حرارة 25 °C، وضغط 1atm وفي أثناء التفاعل برد الغاز بحيث أصبحت درجة حرارته (20 °C). ما حجم غاز ثاني أكسيد الكربون الناتج؟

$$NaHCO_{3(aq)} + CH_3COOH_{(aq)} \rightarrow NaCH_3COO_{(aq)} + CO_{2(g)} + H_2O_{(l)}$$



الشكل 12-1 لصناعة منتج ما بفاعلية كهذه المنتجات البلاستيكية، من الضروري إجابة الأسئلة الآتية: ما مقدار المتفاعلات التي يجب شراؤها؟ ما مقدار النواتج؟

تعتمد العمليات الصناعية على الحسابات الكيميائية التي درستها في الأمثلة السابقة؛ فغاز الإيثين C_2H_4 مثلاً، والذي يدعى أيضًا الإثيلين، هو المادة الخام لصناعة مبلمر البولي إيثيلين. ينتج البولي إثيلين عندما تتحد مجموعة كبيرة من الوحدات الأساسية (جزيئات الإيثين $-CH_2-CH_2-$) في صورة نمط متكرر في سلاسل. وتستخدم هذه المبلمرات في صناعة الكثير من مستلزمات الحياة اليومية، كما يبين **الشكل 12-1**. والمعادلة التالية توضح الصيغة العامة لتفاعل البلمرة، حيث تمثل n عدد الوحدات المتكررة.

$$n(C_2H_4)_{(g)} \rightarrow -(CH_2-CH_2)_{n(s)}-$$

لو كنت مهندسًا في مصنع لصناعة البولي إثيلين فإنك ستحتاج لمعرفة بعض خصائص غاز الإثيلين، ومعرفة تفاعلات البلمرة أيضًا، وستساعدك المعلومات المتعلقة بقوانين الغازات على حساب كتلة وحجم المادة الخام اللازمة تحت درجات حرارة وضغط مختلفة لصناعة أنواع مختلفة من البولي إثيلين.

التقويم 1-3

الخلاصة

- تحدد المعاملات في المعادلة الكيميائية الموزونة النسبَ الحجمية للغازات المتفاعلة والناتجة.
- يمكن أن تستخدم قوانين الغازات مع المعادلات الكيميائية الموزونة لحساب كميات الغازات المتفاعلة أو الناتجة عن التفاعل.

46. الفكرة الرئيسة **فسر** عندما يتفاعل غاز الفلور مع بخار الماء يحدث التفاعل الآتي:

$$2F_{2(g)} + 2H_2O_{(g)} \rightarrow O_{2(g)} + 4HF_{(g)}$$

فإذا بدأ التفاعل بـ 2 L من غاز الفلور فما حجم بخار الماء (L) اللازم للتفاعل مع غاز الفلور؟ وما حجم غاز الأكسجين وغاز فلوريد الهيدروجين الناتجين؟

47. حلل هل يتناسب حجم الغاز تناسبًا طرديًّا أو عكسيًّا مع عدد مولات الغاز عند درجة حرارة وضغط ثابتين؟ فسر إجابتك.

48. احسب يشغل 1mol من الغاز حجمًا مقداره 22.4 L عند STP، احسب درجة الحرارة والضغط اللازمين لإدخال 2 mol من الغاز في حجم 22.4 L

49. فسر البيانات يتفاعل غاز الإيثين C_2H_4 مع غاز الأكسجين ليكونا غاز ثاني أكسيد الكربون والماء. اكتب المعادلة الكيميائية الموزونة لهذا التفاعل، ثم جد النسبة المولية للمواد الموجودة على كل جهة من المعادلة.

الصحة والضغط

تعيش حياتك اليومية وتعمل وتلعب في الهواء حيث يكون الضغط 1atm تقريبًا، ونسبة الأكسجين 21% ، فهل تساءلت يومًا: ماذا يمكن أن يحدث لو كان الضغط ونسبة الأكسجين في الهواء أكثر؟ هل كنت ستتعافى من المرض أو الجروح بسرعة؟ هذه الأسئلة هي جوهر العلاج بالأكسجين المضغوط.

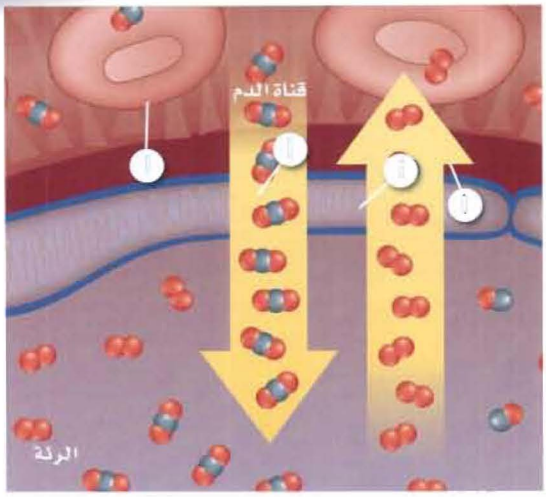
العلاج بالأكسجين المضغوط Hyperbaric medicine

إن كلمة (hyper) تعني عاليًا أو زائدًا. و(bar) هي وحدة الضغط، وتساوي 100 KPa، وهذا تقريبًا الضغط الجوي الطبيعي. لهذا فإن المصطلح hyperbaric يشير إلى ضغط أعلى من الضغط الطبيعي. يتعرض المرضى الذين يعالجون بالأكسجين المضغوط لضغط أعلى من الضغط الجوي عند مستوى سطح البحر.

ضغط الأكسجين يرتبط ارتفاع الضغط غالبًا مع ارتفاع تركيز الأكسجين الذي يتلقاه المرضى. ويشير العلاج بالأكسجين المضغوط (HBOT) إلى علاج بوساطة أكسجين تركيزه 100%. ويبين الشكل 1 غرفة المعالجة بالأكسجين المضغوط؛ حيث يمكن أن يصل الضغط في هذه الغرفة إلى خمسة أو ستة أضعاف الضغط العادي. وتستخدم HBOT في معالجة الكثير من الحالات، ومنها الحروق والدوار والجروح التي لا تلتئم بسرعة والأنيميا وبعض الأمراض المعدية.



الشكل 1 يستلقي المريض في غرفة العلاج في أثناء (HBOT)، ويتحكم الفني في الضغط ونسبة الأكسجين.



الشكل 2 تبادل الغازات بين الرئتين وجهاز الدوران.

التسمم بغاز أول أكسيد الكربون استخدم **الشكل 2** لمعرفة كيف يساعد (HBOT) على علاج التسمم بغاز أول أكسيد الكربون.

التبادل الطبيعي للغاز ينتقل غاز O_2 من الرئتين إلى الدم، ويرتبط مع هيموجلوبين الدم في خلايا الدم الحمراء، فيتحرر ثاني أكسيد الكربون CO_2 كما يظهر عند الموضع A .

تبادل الغاز غير الطبيعي إذا دخل أول أكسيد الكربون إلى الدم كما يوضحه الرمز B، عوضًا عن الأكسجين فإنه يرتبط مع الهيموجلوبين، وتبدأ خلايا الجسم تموت نتيجة حرمانها من الأكسجين.

الأكسجين في بلازما الدم بالإضافة إلى الأكسجين الذي يحمله الهيموجلوبين يذوب الأكسجين في بلازما الدم كما هو مبين في C. وتساعد المعالجة بالأكسجين (HBOT) على زيادة تركيز الأكسجين المذاب إلى المقدار الذي يحافظ على الجسم سليمًا .

التخلص من أول اكسيد الكربون يساعد الأكسجين المضغوط على التخلص من أول أكسيد الكربون المرتبط مع الهيموجلوبين، كما هو موضح في D.

الكتابة في الكيمياء أعد كتيب معلومات حول استخدام (HBOT) لعلاج الجروح التي لا تلتئم بسرعة.

مختبر الكيمياء

تحديد الضغط في حبات الفشار

الخلفية عندما يكون ضغط بخار الماء داخل حبات الفشار كبيرًا بشكل كافٍ، تتحول الحبات إلى فوشار وتطلق بخار ماء. ويمكن استخدام قانون الغاز المثالي في إيجاد الضغط في هذه الحبات عند انفجارها.

سؤال ما مقدار الضغط اللازم لنفش حبات الفشار؟

المواد والأدوات

حبات فشار (18–20)	مخبار مدرج 10 ml
زيت نباتي 1.5 ml	كأس زجاجية 250 ml
شبكة تسخين مربعة 2	ماسك كأس
موقد بنزن	ميزان
حامل حلقة	ماء مقطر
حلقة حديدية صغيرة	ورق تنشيف

احتياطات السلامة

خطوات العمل

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. اعمل جدولاً لتسجيل البيانات.
3. ضع 5ml تقريبًا من الماء المقطر في مخبار مدرج، وسجل حجمه.
4. ضع 18– 20 حبة فشار في المخبار المدرج مع الماء، وحرّك المخبار المدرج بلطف؛ لتجبر فقاقيع الهواء على الخروج، ثم سجل حجم الماء وحبات الذرة معًا.
5. أخرج الحبات من المخبار المدرج وجففها.
6. ضع الحبات الجافة مع 1.5 ml – 1.0 من الزيت النباتي في كأس زجاجية.
7. قس الكتلة الكلية للكأس والزيت وحبات الذرة.
8. ركب الجهاز، كما يظهر في الصورة.
9. سخن الكأس بهدوء باستخدام الموقد، وحرّك الموقد إلى الأمام والخلف لتسخين الزيت بالتساوي.
10. لاحظ التغيرات في حبات الذرة في أثناء التسخين، ثم أطفئ الموقد عندما تتفرقع حبات الذرة.
11. استخدم ماسك الكأس لإبعاد الكأس عن الحلقة، واتركه حتى يبرد تمامًا.



12. قس الكتلة النهائية للكأس والزيت والفشار.
13. **التنظيف والتخلص من الفضلات** تخلص من حبات الذرة والزيت باتباع تعليمات معلمك. نظّف الأدوات المختبرية وضعها في أماكنها.

حلل واستنتج

1. **احسب** حجم حبات الذرة باللتر، وذلك من خلال إيجاد الفرق بين حجم الماء المقطر في المخبار قبل إضافة الذرة وبعده.
2. **احسب** الكتلة الكلية لبخار الماء المنطلق مستخدمًا قياسات كتل الكأس والزيت وحبات الذرة قبل النفش وبعده.
3. **حوِّل** استخدم الكتلة المولية للماء؛ لإيجاد عدد مولات الماء المتحررة.
4. **استخدام الصيغ** اعتبر أن درجة حرارة الزيت المغلي 225°C هي درجة حرارة الغاز، واحسب ضغط الغاز باستخدام قانون الغاز المثالي.
5. **قارن** بين الضغط الجوي وضغط بخار الماء في الحبات.
6. **استنتج** لماذا لم تنفش حبات الذرة جميعها؟
7. **تحليل الخطأ** حدّد مصادر الخطأ في هذه التجربة، واقترح طريقة لتصحيحها.

استقصاء موسع

صمم تجربة لاختبار مقدار الضغط اللازم لفرقعة أنواع مختلفة من حبوب الذرة.

الفصل 1 دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة تستجيب الغازات لتغيرات كل من الضغط ودرجة الحرارة والحجم وعدد الجسيمات بطرائق يمكن التنبؤ بها.

1-1 قوانين الغازات

الفكرة الرئيسة إذا تغير ضغط أي كمية ثابتة من غاز أو درجة حرارتها أو حجمها فسوف يتأثر المتغيران الآخران.

المفردات

- قانون بويل
- الصفر المطلق
- قانون شارل
- قانون جاي- لوساك
- القانون العام للغازات

المفاهيم الرئيسة

- ينص قانون بويل على أن حجم مقدار محدّد من الغاز يتناسب عكسيًّا مع ضغطه عند ثبوت درجة الحرارة.

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

- ينص قانون شارل على أن حجم مقدار محدّد من الغاز يتناسب طرديًّا مع درجة حرارته المطلقة عند ثبوت الضغط.

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

- ينص قانون جاي- لوساك على أن ضغط مقدار محدّد من الغاز يتناسب طرديًّا مع درجة حرارته المطلقة عند ثبات الحجم.

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

- يربط القانون العام للغازات كلًّا من درجة الحرارة والضغط والحجم في معادلة واحدة.

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

1-2 قانون الغاز المثالي

الفكرة الرئيسة يربط قانون الغاز المثالي عدد الجسيمات مع كل من الضغط ودرجة الحرارة والحجم.

المفردات

- مبدأ أفوجادرو
- الحجم المولي
- ثابت الغاز المثالي
- قانون الغاز المثالي

المفاهيم الرئيسة

- ينص مبدأ أفوجادرو على أن الحجوم المتساوية من الغازات عند نفس الضغط ودرجة الحرارة تحتوي على العدد نفسه من الجسيمات.
- يربط قانون الغاز المثالي كمية الغاز مع ضغطه ودرجة حرارته وحجمه.

$$PV = nRT$$

- يمكن استخدام قانون الغاز المثالي لإيجاد الكتلة المولية للغاز إذا كانت كتلة الغاز معروفة، ويمكن استخدامه أيضًا لإيجاد كثافة الغاز إذا كانت كتلته المولية معروفة .

$$M = \frac{mRT}{PV} \qquad D = \frac{MP}{RT}$$

- تسلك الغازات الحقيقية عند الضغط العالي ودرجات الحرارة المنخفضة سلوكًا مغايرًا لسلوك الغاز المثالي.

1-3 الحسابات المتعلقة بالغازات

الفكرة الرئيسة عندما تتفاعل الغازات فإن المعاملات في المعادلات الكيميائية الموزونة التي تمثل هذه التفاعلات تشير إلى أعداد المولات والحجوم النسبية للغازات.

المفاهيم الرئيسة

- تحدد المعاملات في المعادلات الكيميائية الموزونة النسب الحجمية للغازات المتفاعلة والناتجة.
- يمكن أن تستخدم قوانين الغازات مع المعادلة الكيميائية الموزونة لحساب كميات الغازات المتفاعلة أو الناتجة عن التفاعل.

1-1

إتقان المفاهيم

50. اذكر نصوص قوانين بويل، وشارل، وجاي- لوساك والقانون العام للغازات، واكتب معادلاتها.

51. إذا تناسب متغيران تناسبًا عكسيًا فماذا يحدث لأحدهما إذا زاد الآخر؟

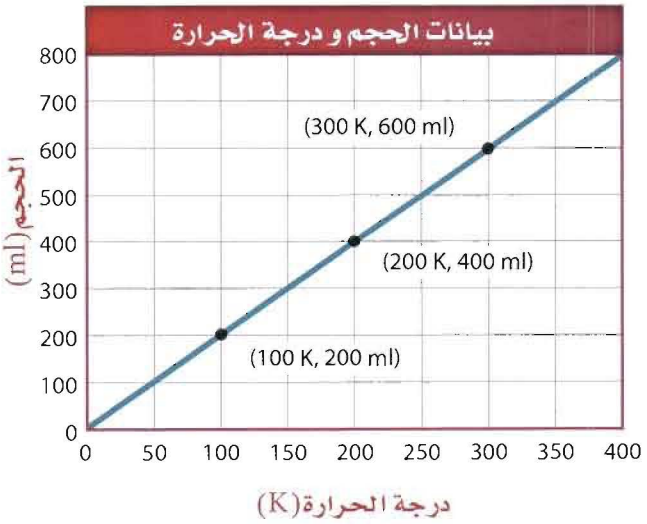
52. إذا تناسب متغيران تناسبًا طرديًا فماذا يحدث لأحدهما إذا زاد الآخر؟

53. ما الظروف المعيارية المستخدمة في حسابات الغازات؟

54. حدّد وحدات الضغط والحجم ودرجة الحرارة الأكثر استعمالًا.

إتقان المفاهيم

55. استعمل قانون شارل لتحديد صحة بيانات **الشكل 13-1**.



الشكل 13-1

56. بالونات الطقس أطلق بالون طقس، وكان حجمه 5.0×10^4 L عندما كان ضغطه 0.995 atm، ودرجة حرارة المحيط 32.0°C ، وبعد إطلاقه ارتفع إلى علو كان الضغط عنده 0.720 atm ودرجة الحرارة -12.0°C. احسب حجم البالون عند هذا الارتفاع.

57. استعمل قوانين بويل وشارل وجاي- لوساك لحساب القيم المفقودة في كل مما يأتي:

a. $V_1 = 2.0$ L, $P_1 = 0.82$ atm, $V_2 = 1.0$ L, $P_2 = ?$

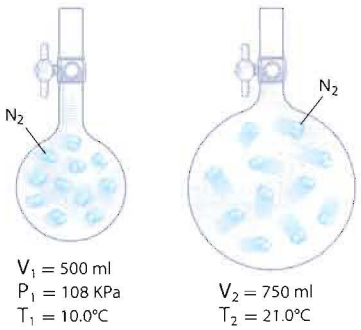
b. $V_1 = 250$ mL, $T_1 = ?$, $V_2 = 400$ mL, $T_2 = 298$ K

c. $V_1 = 0.55$ L, $P_1 = 740$ mm Hg, $V_2 = 0.80$ L, $P_2 = ?$

58. بالونات الهواء الساخن إذا كان حجم عينة من الهواء 2.5 L عند درجة حرارة 22.0°C، فكم يصبح حجم هذه العينة إذا نقلت إلى بالون هواء ساخن، حيث تبلغ درجة الحرارة 43.0°C ؟ افترض أن الضغط ثابت داخل البالون.

59. ما ضغط حجم ثابت من غاز الهيدروجين عند درجة حرارة 30.0°C، إذا كان ضغط غاز الهيدروجين 1.11 atm عند درجة حرارة مقدارها 15.0°C ؟

60. نقلت كمية من غاز النيتروجين من وعاء صغير إلى وعاء أكبر منه، كما هو مبين في **الشكل 14-1**. ما مقدار ضغط غاز النيتروجين في الوعاء الثاني؟



الشكل 14-1

1-2

إتقان المفاهيم

61. اذكر نص مبدأ أفوجادرو.

62. اذكر نص قانون الغاز المثالي.

63. ما حجم 1mol من الغاز في الظروف المعيارية؟ وما حجم 2 mol من الغاز في الظروف المعيارية؟

64. ما المقصود بالغاز المثالي؟ ولماذا لا يوجد مثل هذا الغاز في الطبيعة؟

65. ما الشرطان اللذان لا يمكن أن يكون سلوك الغاز عندهما مثاليًا؟

66. ما وحدات الحرارة في معادلة قانون الغاز المثالي؟ فسر ذلك.

إتقان المسائل

67. غاز المنازل يستعمل غاز البروبان C_3H_8 في المنازل لأغراض الطهي والتدفئة .

a. احسب حجم 0.540 mol من البروبان في الظروف المعيارية.

b. فكر في حجم هذه الكمية ومقدار البروبان الموجود فيها، ثم فسر لماذا يتحول غاز البروبان إلى سائل قبل نقله؟

68. مهن في الكيمياء قاس كيميائي أقل ضغط يمكن الوصول إليه في المختبر فكان 1.0×10^{-15} mm Hg، ما عدد جسيمات غاز حجمه 1.00 L ودرجة حرارته 22.0°C عند هذا الضغط؟

69. احسب عدد مولات O_2 الموجودة في وعاء مغلق حجمه 2.00 L ودرجة حرارته 25.0°C، إذا كان ضغطه (3.50 atm). ما عدد المولات الموجودة في الوعاء إذا ارتفعت درجة الحرارة إلى 49.0°C وبقي الضغط ثابتًا؟

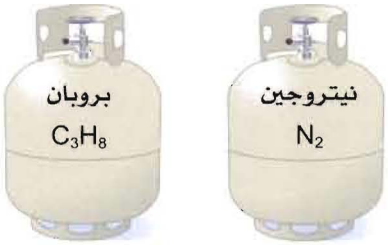
70. العطور يوجد مركب جيرانيول في زيت الورد المستخدم في صناعة العطور. ما الكتلة المولية للجيرانيول إذا كانت كثافة بخاره 0.480 g/L ، عند درجة حرارة 260.0°C ، وضغط جوي مقداره 0.140 atm ؟

71. جد حجم 42 g من غاز أول أكسيد الكربون في الظروف المعيارية STP.

72. حدّد كثافة غاز الكلور عند درجة 22.0°C وضغط جوي (1.00 atm).

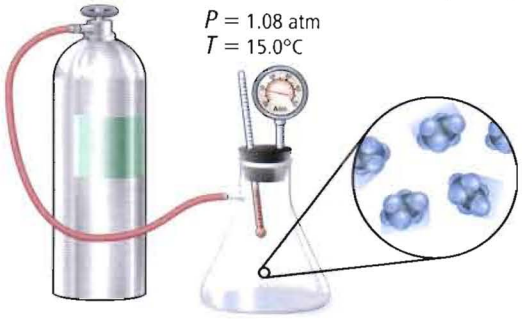
73. أي الغازات في **الشكل 15-1** يشغل الحجم الأكبر في الظروف المعيارية STP؟ فسر إجابتك.

74. إذا احتوى كل من الوعائين في **الشكل 15-1** على 4.0L من الغاز فما مقدار الضغط في كل منهما؟ افترض أن الغازات مثالية.



الشكل 15-1

75. مُلئ دورق حجمه 2.00 L بغاز الإيثان C_2H_6 من أسطوانة صغيرة، كما يظهر في **الشكل 16-1**. ما كتلة الإيثان في الدورق؟



الشكل 16-1

76. ما كثافة عينة من غاز النيتروجين N_2، ضغطها 5.30 atm في وعاء حجمه 3.50 L عند درجة حرارة مقدارها 125°C ؟

77. ما عدد مولات غاز الهيليوم He اللازمة لتعبئة وعاء حجمه 22L، عند درجة حرارة 35.0°C ، وضغط جوي مقداره 3.1 atm ؟

78. تَشارك غازان قبل التفاعل في وعاء عند درجة حرارة 200 K، وبعد التفاعل بقي الناتج في الوعاء نفسه عند درجة 400 K، فإذا كان كل من V و P ثابتين، فما قيمة n الحقيقية؟

1-3

إتقان المفاهيم

79. لماذا يعد من الضروري موازنة المعادلة قبل استخدامها في تحديد حجوم الغازات المتضمنة في التفاعل؟

80. ليس من الضروري أخذ درجة الحرارة والضغط بعين الاعتبار عند استخدام المعالة الموزونة لتحديد الحجم النسبي للغاز. لماذا؟

81. فسر لماذا لا تمثل المعاملات في المعادلة الكيميائية الموزونة أعداد المولات فقط، وإنما أيضًا الحجوم النسبية للغازات؟

82. هل تمثل المعاملات في المعادلة الكيميائية الموزونة الحجوم النسبية للسوائل والمواد الصلبة؟ فسر إجابتك.

إتقان المسائل

83. **إنتاج الأمونيا** تتكون الأمونيا من تفاعل غاز النيتروجين مع غاز الهيدروجين. ما عدد لترات غاز الأمونيا التي يمكن إنتاجها من 13.7 L من غاز الهيدروجين عند 93.0°C وضغط مقداره 40.0 kPa ؟

84. عينة من غاز كبريتيد الهيدروجين حجمها 6.5 L، تمت معالجتها مع محفز لتسريع التفاعل الآتي:

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

فإذا تفاعل H_2S تمامًا عند ضغط 2.0 atm ودرجة حرارة مقدارها 290 K فما كتلة(g) بخار الماء الناتج.

85. ما عدد لترات غاز النيتروجين وغاز الأكسجين اللازمة لإنتاج 15.4 L من أكسيد النيتروجين عند درجة حرارة 310 K وضغط جوي 2.0 atm؟

86. ادرس التفاعل المبين أدناه ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:

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

a. ما نسبة حجم أول أكسيد الكربون إلى حجم ثاني أكسيد الكربون في المعادلة الكيميائية الموزونة.

b. إذا تفاعل 42.7 g CO_2 تمامًا عند STP فما حجم غاز النيتروجين الناتج؟

87. عندما يحترق 3.00 L من غاز البروبان تمامًا لإنتاج بخار الماء وغاز ثاني أكسيد الكربون عند درجة حرارة تساوي 350°C وضغط جوي 0.990 atm فما كتلة بخار الماء الناتجة؟

88. عند تسخين كلورات البوتاسيوم الصلبة $KClO_3$ فإنها تتحلل لتنتج كلوريد البوتاسيوم الصلب وغاز الأكسجين. فإذا تحلل 20.8 g من كلورات البوتاسيوم، فما عدد لترات غاز الأكسجين التي ستنتج في الظروف المعيارية STP؟

مراجعة عامة

89. **تلفاز** احسب الضغط داخل أنبوب الصورة في التلفاز، إذا كان حجمه 3.50 L، ويحتوي على 2.00×10^{-5} g من غاز النيتروجين عند درجة حرارة تساوي (22.0°C).

90. **احسب** عدد اللترات التي يمكن أن تشغلها كتلة مقدارها 8.80 g من غاز ثاني أكسيد الكربون الموجودة عند:

a. STP

b. 3.00 atm و 160°C

c. 288 K و 118 Kpa

91. إذا احترق 2.33 L من غاز البروبان عند درجة حرارة 24°C وضغط جوي 67.2 kp_a احتراقًا تامًّا في كمية فائضة من الأكسجين، فما عدد مولات ثاني أكسيد الكربون التي تنتج؟

92. التنفس يتنفس الإنسان 0.50 L من الهواء تقريبًا خلال التنفس الطبيعي. افترض أن ذلك يتم في الظروف الطبيعية STP.

a. ما حجم النفس الواحد في يوم بارد على قمة جبل إفرست إذا كانت درجة الحرارة 60°C−، والضغط 253 mm Hg؟

b. يحتوي الهواء الطبيعي على 21% أكسجين، فإذا كان يحتوي على 14% من الأكسجين فوق قمة إفرست، فما حجم الهواء الذي يحتاج إليه الإنسان لتزويد الجسم بالمقدار نفسه من الأكسجين؟

93. يحترق غاز الميثان CH_4 كاملاً عند تفاعله مع غاز الأكسجين ليكون ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء.

a. اكتب المعادلة الكيميائية الموزونة لهذا التفاعل.

b. اكتب النسبة الحجمية بين الميثان والماء في هذا التفاعل.

التفكير الناقد

94. طبّق يجب أن يكون حجم بالون من الهيليوم 3.8 L على الأقل ليرتفع في الهواء، وعند إضافة 0.1mol من الهيليوم إلى البالون الفارغ أصبح حجمه (2.8L). ما عدد جرامات He التي يجب إضافتها إلى البالون حتى يرتفع؟ افترض أن كلًّا من T، P ثابتان.

95. احسب يستخدم مصنع للألعاب تترافلورو إيثان $C_2H_2F_4$ عند درجة حرارة عالية لملء القوالب البلاستيكية.

a. ما كثافة $C_2H_2F_4$ بوحدة g\L في الظروف المعيارية STP؟

b. أوجد عدد الجزئيات في لتر من $C_2H_2F_4$ عند درجة حرارة 220°C و1atm ضغط جوي.

96. حلّل يزن مكعب صلب من الجليد الجاف 0.75 Kg (CO_2) تقريبًا، فما حجم غاز CO_2 في الظروف المعيارية عندما يتسامى المكعب كليًّا؟

97. حلّل عندما يتفكك النيتروجلسرين $C_3H_5N_3O_9$ فإنه يتحلل إلى الغازات الآتية: H_2O، NO، N_2، CO_2. ما حجم مزيج الغازات الناتجة عند ضغط 1.00 atm ودرجة حرارة 2678 °C إذا تفكك 239 g من النيتروجلسرين ؟

98. طبق ما القيمة الرقمية لثابت الغاز المثالي (R) في المعادلة $\frac{cm^3 \cdot Pa}{K \cdot mol}$ ؟

99. استنتج هل يكون الضغط المحسوب من خلال قانون الغاز المثالي أعلى أم أقل من قيمة الضغط الحقيقي الذي تحدثه عينة من الغاز؟ وكيف يكون ضغط الغاز المحسوب بالمقارنة بالضغط الحقيقي عند درجات حرارة منخفضة؟ فسر إجابتك.

مسألة تحفيز

100. الخَبز يستخدم أحد الخبازين صودا الخبز لنفخ الكعك، وتتحلل صودا الخبز في أثناء ذلك وفقًا للتفاعلين الآتيين:

$$2NaHCO_{3(s)} \rightarrow Na_2CO_{3(s)} + H_2O_{(l)} + CO_{2(g)}$$

$$NaHCO_{3(s)} + H^+_{(aq)} \rightarrow H_2O_{(l)} + CO_{2(g)} + Na^+_{(aq)}$$

احسب حجم CO_2 المتكون لكل جرام من $NaHCO_3$ في كلا التفاعلين. افترض أن التفاعل يحدث عند 210°C وضغط جوي مقداره 0.985 atm

مراجعة تراكمية

101. حول كل كتلة مما يأتي إلى ما يكافئها بـ Kg :

a. 247 g　　c. 7.23 mg

b. 53 mg　　d. 975 mg

102. أي جسيمات الغازات الآتية لها أعلى متوسط سرعة، وأيها لها أقل متوسط سرعة؟

a. أول أكسيد الكربون عند 90°C

b. ثالث فلوريد النيتروجين عند 30°C

c. الميثان عند 90°C

d. أول أكسيد الكربون عند 30°C

103. اكتب التوزيع الإلكتروني لكل ذرة فيما يأتي :

a. اليود
b. البورون
c. الكروم
d. الكربتون
e. الكالسيوم
f. الكادميوم

104. اذكر عدد الإلكترونات في كل مستوى من مستويات الطاقة، ثم اكتب البناء الإلكتروني النقطي لكل عنصر من العناصر الآتية:

a. kr
b. Sr
c. P
d. B
e. Br
f. Se

105. إذا أعطيت محلولين شفافين عديمي اللون، وكان أحدهما يحتوي مركبًا أيونيًّا، والآخر مركبًا تساهميًّا، فكيف يمكنك تحديد أي المحلولين أيوني، وأيهما تساهمي؟

106. اكتب معادلة كيميائية موزونة لكل تفاعل من التفاعلات الآتية:

a. إحلال الزنك مكان الفضة في محلول كلوريد الفضة.

b. تفاعل هيدروكسيد الصوديوم وحمض الكبريتيك لتكوين كبريتات الصوديوم والماء.

تقويم إضافي

الكتابة في الكيمياء

107. بالون الهواء الساخن حلم كثيرون فيما مضى بالقيام برحلة حول العالم ببالون هواء ساخن، وهو حلم لم يتحقق حتى عام 1999م. اكتب تصوراتك عن الرحلة، وصف كيف يتحكم تغير درجة حرارة البالون في ارتفاع البالون؟

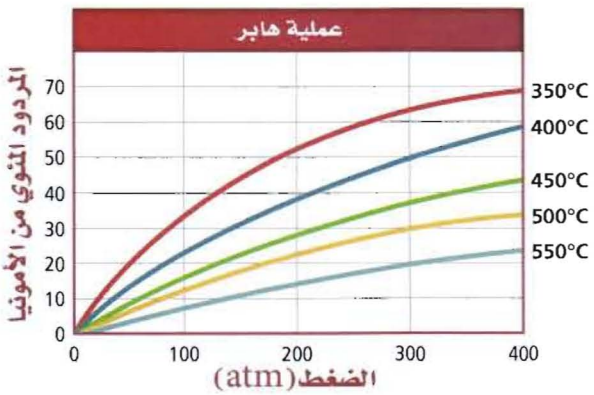
108. جهاز التنفس تحت الماء ابحث في أثر منظمات الغاز الموجودة على أسطوانات الهواء التي يستخدمها الغواصون، واشرحه.

أسئلة المستندات

عملية هابر تستخدم الأمونيا NH_3 في عملية صناعة الأسمدة والمبردات والأصباغ والبلاستيك. وعملية هابر طريقة لإنتاج الأمونيا من خلال تفاعل النيتروجين والهيدروجين. وتمثل المعادلة الآتية معادلة التفاعل المنعكس:

$$N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)} + 92\ kJ$$

يوضّح **الشكل 17-1** أثر درجة الحرارة والضغط في مقدار الأمونيا الناتجة خلال عملية هابر.



الشكل 17-1

109. فسر كيف نسبة المردود المئوية للأمونيا بالضغط ودرجة الحرارة؟

110. تتم عملية هابر عند ضغط مقداره 200 atm، ودرجة حرارة 450°C، حيث أثبتت هذه الظروف إمكانية إنتاج كمية كبيرة من الأمونيا خلال زمن قصير.

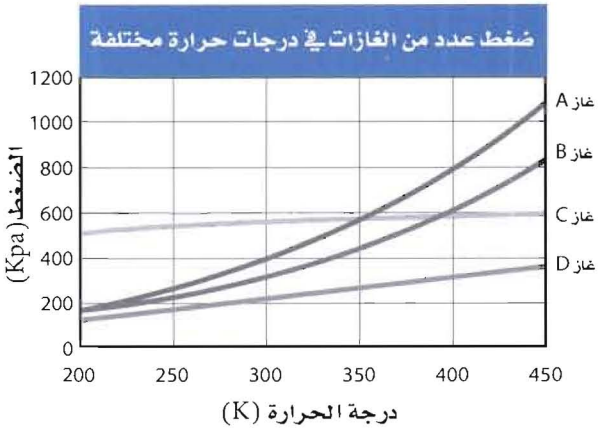
a. ما أثر إجراء التفاعل عند ضغط أعلى من 200atm، عند درجة حرارة الوعاء الذي يتم فيه التفاعل؟

b. ترى، كيف يؤثر تقليل درجة حرارة التفاعل إلى 450°C على الزمن اللازم لإنتاج الأمونيا؟

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

استخدم الرسم البياني الآتي للإجابة عن السؤالين 1 ، 2:



1. أي مما يأتي يوضحه الرسم البياني أعلاه:

a. عندما تزداد درجة الحرارة يقل الضغط.

b. عندما يزيد الضغط يقل الحجم.

c. عندما تزيد درجة الحرارة يقل عدد المولات.

d. عندما يقل الضغط تقل درجة الحرارة.

2. أي الغازات الآتية يسلك سلوك الغاز المثالي؟

a. الغاز A

b. الغاز B

c. الغاز C

d. الغاز D

3. يستخدم حمض الهيدروفلوريك HF في صناعة الأدوات الإلكترونية، وهو يتفاعل مع سليكات الكالسيوم $CaSiO_3$، الذي يعدّ أحد مكونات الزجاج. ما الخاصية التي تحول دون نقل حمض الهيدروفلوريك أو تخزينه في أوعية زجاجية؟

a. خاصية كيميائية

b. خاصية فيزيائية كمية

c. خاصية فيزيائية نوعية

d. خاصية كمية

4. يعد هيدروكسيد الصوديوم NaOH قاعدة قوية، تستخدم في فتح مصارف الصرف الصحي. ما نسب مكونات هيدروكسيد الصوديوم؟

a. 57.48% Na, 60.00% O, 2.52% H

b. 2.52% Na, 40.00% O, 57.48% H

c. 57.48% Na, 40.00% O, 2.52% H

d. 40.00% Na, 2.52% O, 57.48% H

5. ملئ منطاد صغير وهو على سطح الأرض بـ 5.66×10^6 L من غاز الهيليوم He ، وكان الضغط داخل المنطاد 1.10 atm، عند درجة حرارة 25°C، فإذا بقي الضغط داخل المنطاد ثابتًا، فكم يكون حجمه عند ارتفاع 2300 m حيث درجة الحرارة 12°C؟

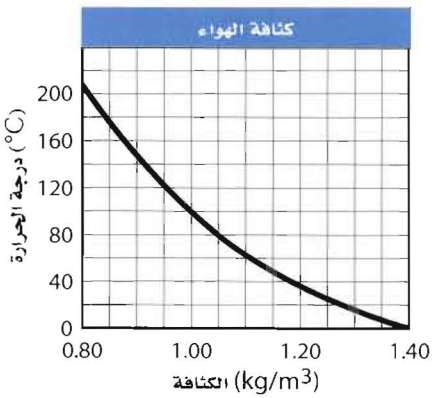
a. 2.72×10^6 L

b. 5.40×6^{10} L

c. 5.66×6^{10} L

d. 5.92×6^{10} L

6. يوضح الرسم البياني نتائج تجربة تم فيها تحليل العلاقة بين درجة الحرارة وكثافة الهواء. ما المتغير المستقل في هذه التجربة؟



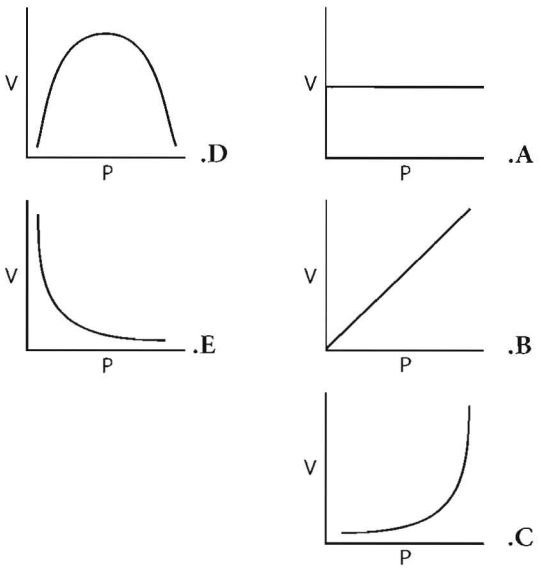
a. الكثافة

b. الكتلة

c. درجة الحرارة

d. الزمن

7. أي الرسوم البيانية توضح العلاقة بين حجم الغاز وضغطه عند ثبات درجة الحرارة.



8. ما مقدار الضغط الذي يحدثه 0.0468 g من الأمونيا NH_3 على جدران وعاء حجمه 4.00 L عند درجة 35.0 °C، على افتراض أنه يسلك سلوك الغاز المثالي؟

a. 0.0174 atm **d.** 0.278 atm
b. 0.00198 atm **e.** 0.0 , 126 atm
c. 0.296 atm

أسئلة الإجابات القصيرة

9. صف الملاحظات التي تقدم دليلاً على حدوث التفاعل الكيميائي.

10. حدّد سبعة جزيئات ثنائية الذرة موجودة في الطبيعة، وفسر لماذا تتشارك ذرات هذه الجزيئات في زوج من الإلكترونات؟

11. يوضح الرسم أدناه بناء لويس لأيون النترات المتعدد الذرات (NO_3^-).

عرف مفهوم متعدد الذرات، وأعطِ أمثلة على أيونات أخرى من هذا النوع.

أسئلة الإجابات المفتوحة

استخدم الجدول الآتي للإجابة عن السؤال 12 :

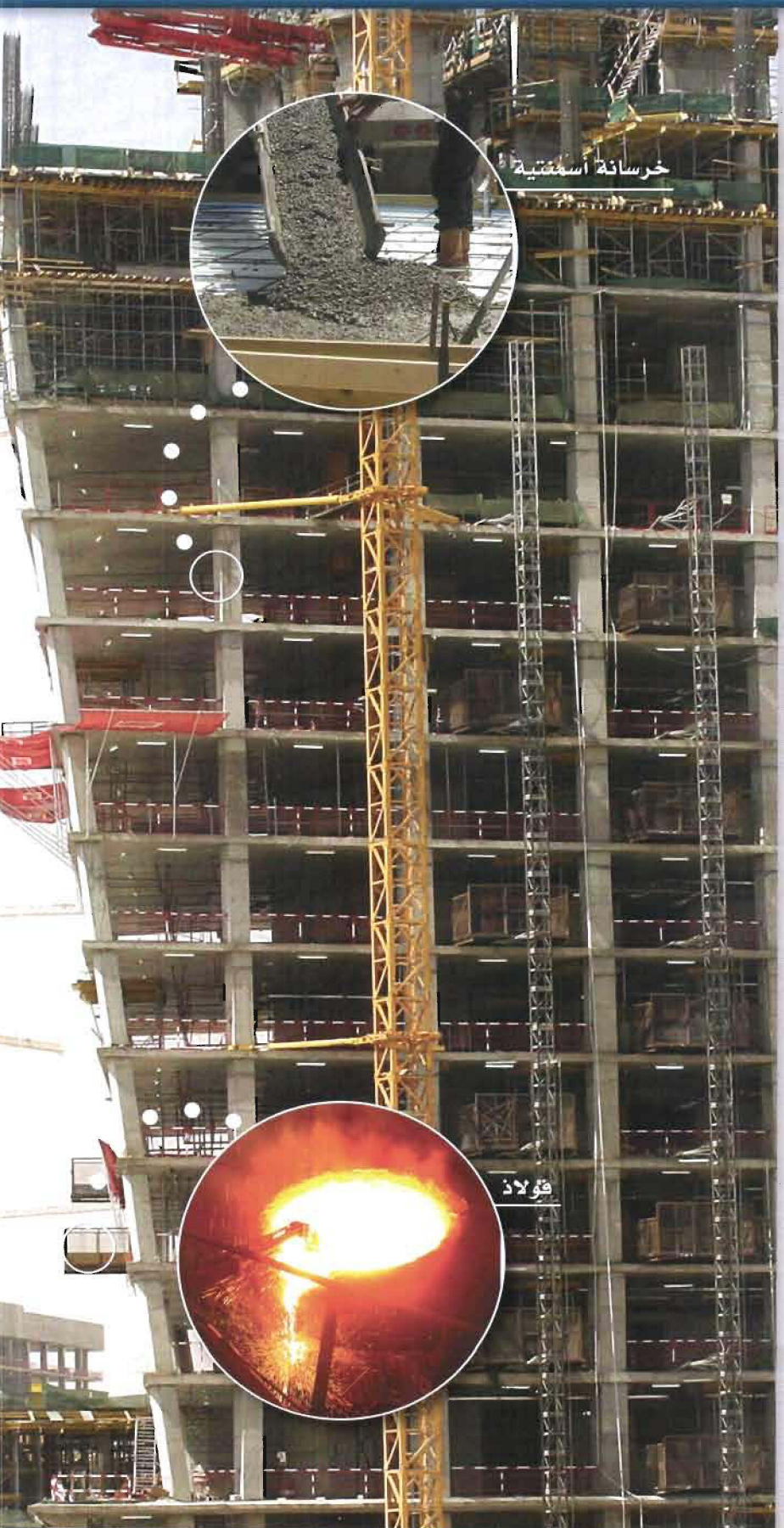
مستويات غاز الرادون من أغسطس 2004 حتى يوليو 2005

التاريخ	مستوى الرادون mJ/m^3	التاريخ	مستوى الرادون mJ/m^3
8 /04	0.15	2 /05	0.05
9 /04	0.03	3 /05	0.05
10 /04	0.05	4 /05	0.06
11 /04	0.03	5 /05	0.13
12 /04	0.04	6 /05	0.05
1 /05	0.02	7 /05	0.09

12. يعد غاز الرادون من الغازات المشعة، وينتج عندما يتحلل الراديوم في الصخور والتربة، وهو مادة مسرطنة. توضح البيانات أعلاه مستويات الرادون التي تم قياسها في منطقة معينة. اختر طريقة لتمثيل هذه البيانات بيانيًا. فسر سبب اختيارك لهذه الطريقة ومثل البيانات بيانيًا.

الفصل 2

المخاليط والمحاليل Mixtures and Solutions



الفكرة العامة معظم السوائل والغازات والمواد الصلبة التي تكوِّن عالمنا هي مخاليط.

2-1 أنواع المخاليط

الفكرة الرئيسة المخاليط إما متجانسة أو غير متجانسة.

2-2 تركيز المحلول

الفكرة الرئيسة يمكن التعبير عن التركيز بالنسبة المئوية أو بالمولات.

2-3 العوامل المؤثرة في الذوبان

الفكرة الرئيسة يتأثر تكوّن المحلول بعوامل، منها الحرارة والضغط والقطبية.

2-4 الخواص الجامعة للمحاليل

الفكرة الرئيسة تعتمد الخواص الجامعة على عدد جسيمات المذاب في المحلول.

حقائق كيميائية

- حوالي 42.3% من الفولاذ ينتج سنويًا عن إعادة التدوير.
- الحديد هو المكون الأساسي للفولاذ، لكن يمكن إضافة عناصر - منها النيكل والمنجنيز والكروم والفناديوم والتنجستون - بحسب المواصفات المطلوبة.
- يستعمل الأسمنت في صناعة الخلطات الأسمنتية ومواد البناء لتقويتها، وجعلها تتحمل العوامل البيئية العادية.
- ينتج نحو 6 بلايين متر مكعب من الخلطات الأسمنتية سنويًا. أي ما يعادل 1 متر مكعب لكل شخص سنويًا.

تجربة استهلالية

كيف تتغير الطاقة عند تكوين المحاليل؟

تتغير الطاقة عند تكوين المحلول نتيجة تأثير قوتين: القوة بين الجزيئية بين الجسيمات الذائبة في المحلول، وقوة التجاذب بين جسيمات المذاب والمذيب معًا. كيف يمكن ملاحظة هذا التغير؟



خطوات العمل

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. زن 10 g من **كلوريد الأمونيوم NH_4Cl**، ثم ضعها في **كأس سعتها 100 ml**.
3. قس 30 ml من **الماء بمخبار مدرج سعته 50 ml**، ثم أضف الماء إلى **NH_4Cl** في الكأس، وحرك المحلول **بساق التحريك**.
4. تحسس أسفل الكأس من الخارج، وسجل ملاحظاتك.
5. كرر الخطوات 4-2 مستعملًا **كلوريد الكالسيوم $CaCl_2$ بدلًا من NH_4Cl**.
6. تخلص من المحاليل بسكبها في المغسلة.

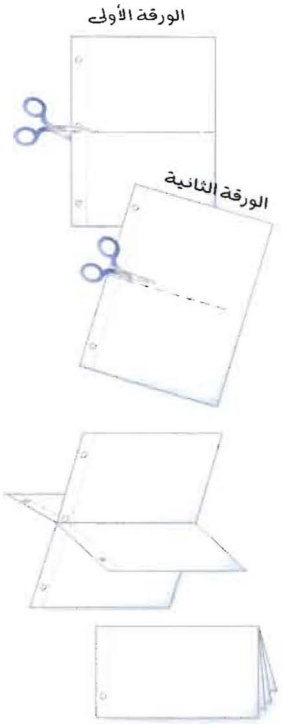
التحليل

1. **قارن** أي العمليتين السابقتين كانت طاردة للحرارة، وأيهما كانت ماصة لها؟
2. **استنتج** اكتب أمثلة من واقع حياتك على عمليات ذوبان طاردة للحرارة، وأخرى ماصة لها.

استقصاء إذا أردت زيادة التغير في درجة الحرارة، فأيهما يجب إضافته بكمية أكبر: المذاب أم المذيب ؟ فسر إجابتك.

المطويات منظمات الأفكار

التركيز اعمل المطوية الآتية لتساعدك على تنظيم المعلومات حول تراكيز المحاليل.



خطوة 1 اطو ورقتين من المنتصف أفقيًّا.

خطوة 2 اقطع 3 cm على طول خط الثني لإحدى الورقتين من كلا الجانبين. وقص الورقة الثانية على طول خط الثني أيضًا من وسطها مع ترك 3 cm من كلا الجانبين دون قص.

خطوة 3 أدخل الورقتين إحداهما في الأخرى لعمل كتاب من أربع صفحات.

المطويات **استعمل هذه المطوية مع القسم 2-2** في أثناء قراءتك لهذا القسم. استعمل المطوية لتسجيل ما تعلمته عن طرائق التعبير عن تراكيز المحاليل، مستعينًا بأمثلة حسابية.

الكيمياء عبر المواقع الإلكترونية

لمراجعة محتوى هذا الفصل ونشاطاته ارجع إلى الموقع:

www.obeikaneducation.com

2-1

الأهداف

- **تقارن** بين خصائص المخاليط المعلقة والمخاليط الغروية والمحاليل.
- **تعرف** أنواع المخاليط الغروية وأنواع المحاليل.
- **تصف** القوى الكهروسكونية في المخاليط الغروية.

مراجعة المفردات

المذاب : مادة تذوب في المذيب لتكوين المحلول.

المفردات الجديدة

المخلوط المعلق

المخلوط الغروي

الحركة البراونية

تأثير تندال

المادة الذائبة

المادة غير الذائبة

أنواع المخاليط Types of Mixtures

الفكرة الرئيسة **المخاليط إما متجانسة أو غير متجانسة.**

الربط مع الحياة إذا ملأت كأساً زجاجياً بماء البحر فسوف تلاحظ أن بعض المواد تترسب في قاع الكأس، ويظل الماء مالحًا مَهْما مر من الوقت. لماذا تترسب بعض المواد دون غيرها؟

المخاليط غير المتجانسة Heterogeneous Mixtures

لا بد أنك تتذكر أن المخلوط مزيج من مادتين نقيتين أو أكثر، تحتفظ فيه كل مادة بخصائصها الكيميائية، وأن المخاليط غير المتجانسة لا تمتزج مكوناتها تماماً معًا؛ أي يمكن تمييز كل منها. هناك نوعان من المخاليط غير المتجانسة، هما المعلق والغروي.

المخلوط المعلق مخلوط يحتوي على جسيمات يمكن أن تترسب - بالترويق - إذا تُرك فترة دون تحريك. انظر **الشكل 1-2**؛ فالوحل الذي تشاهده **مخلوط معلق**. وعند تمرير المخلوط المعلق السائل خلال ورقة ترشيح تُفصل الجسيمات المعلقة. وقد تنفصل بعض المخاليط المعلقة إلى طبقتين واضحتين إذا تركت فترة دون تحريك؛ حيث يتكون مادة شبه صلبة في القاع، وسائل فوقها، ولكن عند تحريك المخلوط المعلق سرعان ما تبدأ المادة شبه الصلبة في الانسياب، وكأنها سائل. وتسمى المادة التي تسلك هذا السلوك المادةَ التي تتميع بالهز أو التحريك. وهناك أنواع من الطين تتميع جسيماتها بسرعة؛ استجابة للهز أو الحركة، وهي تستخدم في مناطق الزلازل الأرضية، فتشيَّد المباني فوقها.

الشكل 1-2 يمكن فصل المخلوط المعلق إذا ترك دون تحريك فترة من الزمن أو فصله بالترشيح.



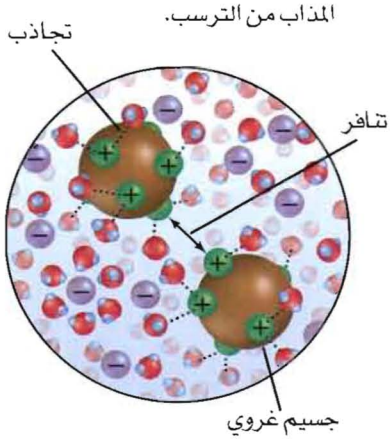
الجدول 1-2 المخاليط الغروية			
التصنيف	مثال	جسيمات المذاب	جسيمات المذيب
محلول صلب	الأحجار الكريمة الملونة	صلب	صلب
محلول	الدم، الجيلاتين	صلب	سائل
مستحلب صلب	الزبد، الجبن	سائل	صلب
مستحلب	الحليب، المايونيز	سائل	سائل
رغوة صلبة	الصابون الذي يطفو، حلوى الخطمي	غاز	صلب
الهباء الجوي الصلب	الدخان، الغبار في الهواء	صلب	غاز
الهباء الجوي السائل	الغيوم، الضباب، رذاذ مزيل العرق	سائل	غاز

المخاليط الغروية لأن حجوم جسيمات المخلوط المعلق أكبر كثيرًا من حجوم الذرات فإنها قد تترسب في المخلوط. ويسمى المخلوط غير المتجانس الذي يتكون من جسيمات متوسطة الحجم **المخلوط الغروي**. وتتراوح أقطار الجسيمات في المخلوط الغروي بين 1 nm و 1000 nm، ولا تترسب. فعلى سبيل المثال، يعد الحليب مخلوطًا غرويًّا لا يمكن فصل مكوناته المتجانسة بالترويق أو الترشيح.

تسمى المادة الأكثر توافرًا في المخلوط المذيب. وتصنف المخاليط الغروية تبعًا للحالة الفيزيائية لكل من المذيب والمذاب. فالحليب مستحلب غروي؛ لأن جسيمات المذاب السائل تنتشر بين جسيمات المذيب السائل. ويظهر **الجدول 1-2** وصف أنواع أخرى من المخاليط الغروية.

تُمنع جسيمات المذاب من الترسب في المخاليط الغروية؛ وذلك لوجود مجموعات ذرية أو قطبية مشحونة على سطحها، تقوم بجذب المناطق الموجبة أو السالبة لجسيمات المذيب، فتتكون طبقات كهروسكونية حول الجسيمات، كما هو موضح في **الشكل 2-2**، مما يجعل الطبقات يتنافر بعضها مع بعض عندما تصطدم جسيمات المذاب معًا، لذا تبقى الجسيمات في المخلوط الغروي ولا تترسب.

وإذا تدخلنا في الطبقات الكهروسكونية فسوف تترسب جسيمات المذاب من المخلوط الغروي. فعند تحريك مادة متأينة (الكتروليتية) في مخلوط غروي مثلاً تتجمع جسيمات المذاب معًا، وتتلف المخلوط الغروي. كما أن التسخين أيضًا يتلف المخلوط الغروي؛ لأن الحرارة تعطي الجسيمات المتصادمة طاقة حركية كافية للتغلب على القوى الكهروسكونية، ثم ترسبها في المخلوط.



الشكل 2-2 تكون جسيمات المذيب طبقات مشحونة حول جسيمات المذاب، حيث تتنافر هذه الطبقات بعضها مع بعض، وتمنع جسيمات المذاب من الترسب.

الحركة البراونية تتحرك جسيمات المذاب في المخاليط الغروية السائلة حركة عشوائية عنيفة تسمى **الحركة البراونية**. لاحظ عالم النبات الأسكتلندي روبرت بـروان (1858 – 1773) هذه الحركة أول مرة، حيث لاحظ الحركة العشـوائية لحبوب اللقاح المتناثرة في الماء، فسمِّيت باسمه.

تنتج الحركة البراونية عن تصادم جسيمات المذيب مع جسيمات المذاب؛ بحيث تمنع هذه التصادمات جسيمات المذاب من الترسب في المخلوط.

ماذا قرأت؟ اشرح سببين لعدم ترسب جسيمات المخلوط الغروي.

تأثير تندال يظهر المخلوط الغروي المركز عادةً معتمًا أو معكرًا، ولكن المخلوط الغـروي المخفف يظهـر أحيانًا صافيًا كالمحاليـل. وتبدو المخاليـط الغروية المخففة كالمحاليـل المتجانسـة؛ لأن جسـيمات المـذاب فيها صغـيرة جدًّا، إلا أنهـا تعمل على تشتيت الضوء، وتسمى هذه الظاهرة **تأثير تندال**.

يُظهر **الشـكل 3-2** مـرور حزمة من الضوء في خلال مخلوطـين مجهولين. ويمكنك ملاحظـة كيف تعمل جسـيمات المـذاب في المخلـوط الغروي على تشـتيت الضوء. وتُظهـر المخاليـط المعلقـة أيضًـا تأثير تنـدال، أما المحاليـل فلا يمكـن أن تظهر هذه الظاهرة. كما يمكنك ملاحظة تأثير تندال عندما تشـاهد مرور أشعة الشمس خلال الهـواء المشـبع بالدخان، أو مـرور ضوء خلال الضباب. ويسـتخدم تأثـير تندال في تحديد كمية المذاب في المخلوط المعلق.



الشـكل 3-2 تشتـت الجسيمـات في المخلوط الغـروي الضـوء، ولا يحدث ذلك في المحلـول. ويسمى تأثير تنـدال. لذا تُرى حزمة الضوء في المخلوط الغروي.

حـدد أي المخاليـط الظاهـرة في الصورة غروي؟

المخاليط المتجانسة Homogeneous Mixtures

تبـدو بعض المحاليل- ومنها الهواء الجوي وماء المحيط والفولاذ- غير متشـابهة، إلاّ أنهـا جميعًا تشـترك في خصائـص معينة. لقد تعلمت سـابقًا أن المحاليل مخاليط متجانسـة تحتوي على مادتين أو أكثر، تسـمى المذاب والمذيب. والمذاب هو المادة التي تذوب. أما المذيب فهو الوسـط الذي يذيب المذاب. ولا يمكنك التمييز بين المذاب والمذيب عند النظر إلى المحلول.

أنواع المحاليل قد يكون المحلول في صورة غاز أو سائل أو صلب، اعتمادًا على الحالـة الفيزيائية للمذيب، كـما هو موضح في **الجدول 2-2**. الهواء محلول غازي والمذيب فيه هو غاز النيتروجين. وقد تكون أسلاك تقويم الأسنان التي تضعها على أسـنانك مصنوعة مـن النيتينول، وهـو محلول صلب يتكون مـن التيتانيوم المـذاب في النيـكل. إلا أن معظم المحاليل تكون في الحالة السـائلة. لقد تعلمت أن معظـم التفاعلات الكيميائية تحـدث في المحاليل المائية، وهـي المحاليل التي يكون فيها الماء مذيبًا. فالماء أكثر المذيبات شيوعًا في المحاليل السائلة. وقد توجد المحاليل في أشـكال مختلفة، وقد تكون المواد الذائبة في المحاليل غازية أو سـائلة أو صلبة.

مختبر تحليل البيانات

تصميم تجربة

كيف يمكنك قياس التعكر؟ وضعت اللوائح الوطنية لماء الشرب مجموعة من المعايير والمواصفات لضمان سلامته. ومن المواصفات التي يتم مراقبتها التعكر، وهو مقياس لدرجة الضبابية في الماء، والناتجة عن المواد الصلبة المعلقة في الماء، والتي تكون غالبًا مرتبطة مع التلوث ومع الفيروسات والطفيليات والبكتيريا. تأتي معظم هذه الجسيمات الغروية من التعرية، والنشاط الصناعي، وفضلات الإنسان، ونمو الطحالب، ومن الأسمدة، وتحلل المواد العضوية.

البيانات والملاحظات

يمكن استخدام تأثير تندال في قياس تعكر الماء. والهدف تصميم تجربة وتطوير مقياس لتفسير البيانات.

التفكير الناقد

1. **حدّد** المتغيرات التي يمكن أن تستخدم للربط بين قدرة الضوء على المرور خلال السائل وعدد الجسيمات في المخلوط الغروي.
2. **اربط** بين المتغيرات التي استخدمتها في التجربة والعدد الحقيقي للجسيمات في المخلوط الغروي.
3. **حلل** ما احتياطات السلامة التي يجب اتخاذها؟
4. **حدّد** المواد اللازمة لقياس تأثير تندال. واختر تقنية لجمع أو تفسير البيانات.

تكوين المحاليل تسمى المادة التي تذوب في المذيب **المادة الذائبة**. فمثلًا ذوبان السكر في الماء حقيقة يمكن أن تكون قد تعلمتها من إذابة السكر في الماء لعمل شراب محلًّى كالشاي أو عصير الليمون. وتسمى المادتان السائلتان اللتان تذوب إحداهما في الأخرى بأي نسبةٍ الموادَّ القابلة للامتزاج، ومنها مانع التجمد المذكور في **الجدول 2-2**. وتُسمى المادة التي لا تذوب في المذيب **مادة غير ذائبة**. فالرمل مثلاً لايذوب في الماء. وتسمى السوائل التي تمتزج معًا فترة قصيرة عند خلطها، ثم تنفصل بعدها - السوائلَ غير الممتزجة. فالزيت مثلاً لايمتزج مع الخل؛ أي أنّ الزيت لايذوب في الخل.

الجدول 2-2 أنواع المحاليل وأمثلة عليها

أنواع المحاليل	مثال	المذيب	المذاب
غاز	الهواء	النيتروجين (غاز)	الأكسجين (غاز)
سائل	ماء غازي	الماء (سائل)	ثاني أكسيد الكربون (غاز)
سائل	ماء البحر	الماء (سائل)	الأكسجين (غاز)
سائل	مادة مخفضة لدرجة التجمد	الماء (سائل)	الإثيلين جلايكول (سائل)
سائل	الخل	الماء (سائل)	حمض الإيثانويك (سائل)
سائل	ماء البحر	الماء (سائل)	كلوريد الصوديوم (صلب)
صلب	مملغم الأسنان	الفضة (صلب)	الزئبق (سائل)
صلب	الفولاذ	الحديد (صلب)	الكربون (صلب)

التقويم 2-1

الخلاصة

- يمكن تمييز مكونات المخلوط غير المتجانس.
- هناك نوعان من المخاليط غير المتجانسة، هما المعلق والغروي.
- الحركة البراونية حركة عشوائية لجسيمات المخلوط الغروي.
- تُظهر المخاليط الغروية تأثير تندال.
- قد يوجد المحلول في إحدى الحالات الفيزيائية الثلاث: السائلة أو الغازية أو الصلبة، اعتمادًا على الحالة الفيزيائية للمذيب.
- يمكن أن يكون المذاب في المحلول غازًا أو سائلًا أو صلبًا.

1. **الفكرة الرئيسة** **فسر** استعمال خصائص ماء البحر لوصف خصائص المخاليط.
2. **فرّق** بين المخلوط الغروي والمخلوط المعلق.
3. **حدّد** الأنواع المختلفة للمحاليل، وصف الخصائص المميزة لكل منها.
4. **فسر** مستخدمًا تأثير تندال، لماذا تكون قيادة السيارات خلال أجواء الضباب باستخدام الأنوار العالية أكثر صعوبة من القيادة باستخدام الأنوار المنخفضة؟
5. **صف** الأنواع المختلفة للمخاليط الغروية.
6. **فسر** لماذا تبقى جسيمات المذاب في المخلوط الغروي منتشرة فيه؟
7. **لخص** ما الذي يسبب الحركة البراونية؟
8. **قارن** كوِّن جدولًا تقارن فيه بين خصائص المخلوط المعلق والمخلوط الغروي والمحلول.

2-2

الأهداف

- **تصف** التركيز باستعمال وحدات مختلفة.
- **تحدّد** تراكيز المحاليل.
- **تحسب** مولارية المحلول.

مراجعة المفردات

المذيب: المادة التي تذيب المذاب لتكوين محلول.

المفردات الجديدة

التركيز

المولارية

المولالية

الكسر المولي

تركيز المحلول Solution Concentration

الفكرة الرئيسة **يمكن التعبير عن التركيز بدلالة النسبة المئوية أو بالمولات.**

الربط مع الحياة هل تذوقت يومًا كأس شاي فوجدته مُرًّا؟ لتعدل طعمه فإنك تقوم بإضافة السكر لتحليته، أو تضيف الماء لتخفيفه. وما تقوم به في كلتا الحالتين هو تغيير تركيز الجسيمات المذابة في الماء.

التعبير عن التركيز Expressing Concectration

يعد **تركيز** المحلول مقياسًا يعبر عن كمية المذاب الذائبة في كمية محددة من المذيب أو المحلول. ويمكن التعبير عن التركيز وصفيًّا باستعمال كلمة "مركّز" أو "مخفّف". لاحظ إبريقي الشاي في **الشكل 4-2**؛ فأحد الإبريقين يحوي شايًا أكثر تركيزًا من الآخر. وعمومًا يحتوي المحلول المركز على كمية كبيرة من المذاب. فالشاي الغامق يحتوي على جسيمات شاي أكثر من الشاي الفاتح، والعكس صحيح؛ إذ يحتوي المحلول المخفّف على كمية أقل من المذاب؛ فالشاي الفاتح في **الشكل 4-2** محلول مخفف يحتوي على جسيمات شاي أقل من الشاي الغامق.

وعلى الرغم من أن التعبير الوصفي عن التركيز مفيد، إلا أنه غالبًا ما يتم التعبير عن التركيز كمّيًّا. ومن أكثر التعابير الكمية عن التركيز شيوعًا النسبة المئوية بالكتلة أو النسبة المئوية بالحجم أو المولارية أو المولالية. وكل هذه الطرائق تعبر عن التركيز بوصفه نسبة بين كمية المذاب وبين كمية المذيب أو المحلول كله. ويشمل **الجدول 3-2** وصفًا لكل طريقة.

أي التعابير الكمية يجب استعماله للتعبير عن تركيز المحلول؟ يعتمد استعمال التعبير على نوع المحلول الذي يتم تحليله، فإذا كان أحد الكيميائيين مثلاً يعمل على تفاعل في محلول مائي فسوف يستعمل غالبًا المولارية للتعبير عن تركيز المحلول؛ لأنه يحتاج إلى معرفة عدد الجسيمات المشاركة في التفاعل.

الجدول 3-2 نسب التركيز

وصف التركيز	النسبة
النسبة المئوية بالكتلة	$\frac{\text{كتلة المذاب}}{\text{كتلة المحلول}} \times 100$
النسبة المئوية بالحجم	$\frac{\text{حجم المذاب}}{\text{حجم المحلول}} \times 100$
المولارية	$\frac{\text{عدد مولات المذاب}}{\text{حجم المحلول (باللتر)}}$
المولالية	$\frac{\text{عدد مولات المذاب}}{\text{كتلة المذيب kg}}$
الكسر المولي	$\frac{\text{عدد مولات المذاب}}{\text{عدد مولات المذاب + عدد مولات المذيب}}$



الشكل 4-2 تعكس شدة اللون تركيز الشاي، فتركيز الشاي ذو اللون الغامق أعلى من تركيز الشاي ذي اللون الفاتح.

المطويات

أدخل معلومات من هذا القسم في مطويتك.

النسبة المئوية بالكتلة هي نسبة كتلة المذاب إلى كتلة المحلول، ويعبر عنها بنسبة مئوية. وكتلة المحلول هي مجموع كتل المذاب والمذيب.

$$\text{النسبة المئوية بالكتلة} = \frac{\text{كتلة المذاب}}{\text{كتلة المحلول}} \times 100$$

النسبة المئوية بالكتلة تساوي كتلة المذاب مقسومة على كتلة المحلول الكلية ومضروبة في 100.

مثال 1-2

حساب النسبة المئوية بالكتلة للمحافظة على تركيز كلوريد الصوديوم NaCl في حوض الأسماك، كما هو في ماء البحر، يجب أن يحتوي حوض الأسماك على 3.6 g NaCl لكل 100 g ماء. ما النسبة المئوية بالكتلة لكلوريد الصوديوم NaCl في المحلول؟

1 تحليل المسألة

إن كتلة كلوريد الصوديوم في 100 g ماء معروفة. والنسبة المئوية بالكتلة هي نسبة كتلة المذاب إلى كتلة المحلول (التي هي مجموع كتل المذاب والمذيب معًا).

المعطيات

كتلة المذاب = 3.6 g NaCl

كتلة المذيب = 100 g H_2O

المطلوب

النسبة المئوية = ؟

2 حساب المطلوب

أوجد كتلة المحلول

كتلة المحلول = كتلة المذيب + كتلة المذاب

عوض عن كتلة المذاب = 3.6 g، وكتلة المذيب = 100.0 g

$$3.6\ g + 100.0\ g = 103.6g$$

احسب النسبة المئوية بالكتلة

اكتب معادلة النسبة المئوية بالكتلة

$$\text{النسبة المئوية بالكتلة} = \frac{\text{كتلة المذاب}}{\text{كتلة المحلول}} \times 100$$

عوض عن كتلة المذاب = 3.6 g، وكتلة المحلول = 103.6 g

$$= \frac{3.6\ g}{103.6\ g} \times 100 = 3.5\%$$

3 تقويم الإجابة

تكون النسبة المئوية بالكتلة قليلة؛ لأن كتلة كلوريد الصوديوم الذائبة في 100 g ماء قليلة.

مسائل تدريبية

9. ما النسبة المئوية بالكتلة لمحلول يحتوي على 20.0 g من كربونات الصوديوم الهيدروجينية $NaHCO_3$ مذابة في 600.0 ml من الماء H_2O؟

10. إذا كانت النسبة المئوية بالكتلة لهيبوكلورات الصوديوم NaOCl في محلول مبيض الملابس هي 3.62%، وكان لديك 1500.0 g من المحلول فما كتلة NaOCl الموجودة في المحلول؟

11. ما كتلة المذيب في المحلول المذكور في السؤال 10؟

12. تحفيز النسبة المئوية لكتلة كلوريد الكالسيوم في محلول هي 2.62%، فإذا كانت كتلة كلوريد الكالسيوم المذابة في المحلول 50.0 g فما كتلة المحلول ؟

النسبة المئوية بالحجم تصف عادة المحاليل التي يكون فيها المذيب والمذاب في الحالة السائلة. والنسبة المئوية بالحجم هي النسبة بين حجم المذاب إلى حجم المحلول، ويعبر عنها بنسبة مئوية. وحجم المحلول هو مجموع حجم المذاب وحجم المذيب. إن حسابات النسبة المئوية بالحجم تشبه حسابات النسبة المئوية بالكتلة.

$$\text{النسبة المئوية بالحجم} = \frac{\text{حجم المذاب}}{\text{حجم المحلول}} \times 100$$

النسبة المئوية بالحجم تساوي حجم المذاب مقسومًا على حجم المحلول ومضروبًا في 100.

يعد الديزل الحيوي الموضح في **الشكل 5-2** وقودًا بديلًا نظيف الاحتراق، وهو ينتج عن موارد متجددة، ويستعمل في محركات الديزل مع القليل من التحسينات أو دونها. والديزل الحيوي سهل الاستعمال وقابل للتحلل الحيوي، وغير سام، ولا يحتوي على الكبريت أو المركبات الأروماتية (العطرية)، كما أنه لا يحتوي على النفط، ولكن يمكن مزجه مع ديزل "النفط" لتكوين الديزل الحيوي الممزوج؛ الذي يتكون من 20 % بالحجم ديزل حيوي و80% بالحجم ديزل من النفط.

ماذا قرأت؟ **قارن** بين النسبة المئوية بالكتلة والنسبة المئوية بالحجم.



الشكل 5-2 الديزل الحيوي وقود بديل ينتج عن مصادر متجددة، منها الزيت النباتي.

مسائل تدريبية

13. ما النسبة المئوية بالحجم للإيثانول في محلول يحتوي على 35 ml إيثانول مذاب في 155 ml ماء؟

14. ما النسبة المئوية بالحجم لكحول أيزوبروبيل، في محلول يحتوي على 24 ml من كحول الأيزوبروبيل مذاب في 1.1 L من الماء؟

15. تحفيز إذا استعمل 18 ml من الميثانول لعمل محلول مائي منه تركيزه 15% بالحجم، فما حجم المحلول الناتج بالملتر؟

المولارية (التركيز المولاري) إن النسبة المئوية بالكتلة والنسبة المئوية بالحجم طريقتان من طرائق التعبير الكمي عن تركيز المحلول. ومن أكثر الوحدات شيوعًا المولارية Molarity. **والمولارية** (M) هي عدد مولات المذاب الذائبة في لتر من المحلول، وتعرف أيضًا بالتركيز المولاري. فتركيز لتر من محلول يحتوي على مول من المذاب هو 1.0 M، كما أن تركيز لتر من المحلول يحتوي على 0.1 mol من المذاب هو 0.1 M. ولحساب مولارية المحلول يجب معرفة حجم المحلول باللتر وعدد مولات المذاب.

المولارية

$$\text{المولارية M} = \frac{\text{عدد مولات المذاب (mol)}}{\text{حجم المحلول (L)}}$$

المولارية هي عدد مولات المذاب مقسومة على حجم المحلول باللتر.

ماذا قرأت؟ **احسب** التركيز المولاري لمحلول حجمه 1.0 L، يحتوي على 0.5 mol من المذاب؟

مهن في الكيمياء

فنيو الصيدلة يستعين الكثير من الصيادلة بالفنيين لتحضير الأدوية المناسبة للوصفات الطبية. يقرأ هؤلاء الفنيون تحاليل وتقارير المريض والوصفات الطبية من أجل تحضير التركيز المناسب أو الجرعة المناسبة من الأدوية التي ستعطى للمريض.

مثال 2-2

حساب المولارية يحتوي 100.5 ml من محلول حقن الوريد على 5.10 g من سكر الجلوكوز $C_6H_{12}O_6$. ما مولارية هذا المحلول، إذا علمت أن الكتلة المولية للجلوكوز هي 180.16g /mol؟

1 تحليل المسألة

لقد أعطيت كتلة الجلوكوز الذائبة في حجم من الماء، ومولارية المحلول هي النسبة بين عدد مولات المذاب إلى حجم المحلول باللتر.

المعطيات

كتلة المذاب = 5.10 g $C_6H_{12}O_6$

الكتلة المولية للجلوكوز $C_6H_{12}O_6$ = 180.16 g /mol

حجم المحلول = 100.5 ml

المطلوب

تركيز المحلول = ؟ M

2 حساب المطلوب

احسب عدد مولات $C_6H_{12}O_6$

اضرب كتلة $C_6H_{12}O_6$ في الكتلة المولية

$$= 5.10\ g\ C_6H_{12}O_6 \left(\frac{1\ mol\ C_6H_{12}O_6}{180.16\ g\ C_6H_{12}O_6}\right)$$

$$= 0.0283\ mol\ C_6H_{12}O_6$$

وحول حجم المحلول إلى وحدة لتر

اكتب معادلة المولارية

$$= 100.5\ ml \left(\frac{1\ L}{1000\ ml}\right) = 0.1005\ L$$

عوض عن عدد مولات المذاب = 0.0283 mol

وحجم المحلول = 0.1005 L

$$M = \frac{\text{عدد مولات المذاب}}{\text{حجم المحلول (L)}}$$

اقسم الأرقام والوحدات

$$M = \frac{0.0283\ mol\ C_6H_{12}O_6}{0.1005 L} = 0.282\ M$$

3 تقويم الإجابة

ستكون قيمة المولارية قليلة؛ لأن كتلة الجلوكوز الذائبة في المحلول قليلة.

مسائل تدريبية

16. ما مولارية محلول مائي يحتوي على 40.0 g من الجلوكوز $C_6H_{12}O_6$ في 1.5 L من المحلول؟

17. احسب مولارية محلول حجمه 1.60 L ومذاب فيه 1.5g من بروميد البوتاسيوم KBr .

18. ما مولارية محلول مبيض ملابس يحتوي على 9.5 g NaOCl لكل لتر من المحلول؟

19. تحفيز ما كتلة هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ بوحدة g التي تلزم لتحضير محلول مائي منها حجمه 1.5 L وتركيزه 0.25 M؟

تحضير المحاليل القياسية وبعد أن عرفت كيفية حساب مولارية المحلول كيف يمكنك تحضير محلول مائي حجمه 1 L وتركيزه 1.50 M من كبريتات النحاس المائية II $CuSO_4 \cdot 5H_2O$؟ يحتوي محلول $CuSO_4.5H_2O$ الذي تركيزه 1.5 M على 1.5 mol $CuSO_4.5H_2O$ مذابة في 1 L من المحلول. فإذا عرفت أن الكتلة المولية للمركب $CuSO_4.5H_2O$ هي 249.70 g /mol، وأن المحلول يحتوي على 1.50 mol $CuSO_4.5H_2O$، فتكون كتلته 375 g، وهي كتلة يمكن قياسها بالميزان.

$$\frac{1.50 \text{ mol } CuSO_4 \cdot 5H_2O}{\text{L من المحلول}} \times \frac{249.7 \text{ g } CuSO_4 \cdot 5H_2O}{1 \text{ mol } CuSO_4 \cdot 5H_2O} = \frac{375 \text{ g } CuSO_4 \cdot 5H_2O}{\text{1L من المحلول}}$$

ولكن لا يمكنك إضافة 375 g $CuSO_4.5H_2O$ إلى 1.0 L من الماء للحصول على محلول تركيزه 1.5 M بهذه البساطة . لأنه مثل المواد الأخرى، تعمل $CuSO_4.5H_2O$ على زيادة حجم المحلول عن الحجم المطلوب. لذلك يجب استعمال كمية من الماء تقل عن 1.0 L للحصول على 1.0 L من المحلول، كما هو موضح في **الشكل 6-2**.

أحيانًا نجري تجارب تتطلب استعمال كميات صغيرة من المحلول. فعلى سبيل المثال، قد تحتاج إلى 100 ml من 1.50 M $CuSO_4.5H_2O$ لإجراء إحدى التجارب. بالرجوع إلى تعريف المولارية، ومن خلال الحسابات السابقة نجد أنَّ محلول $CuSO_4.5H_2O$ الذي تركيزه 1.50 M يحتوي على 1.5 mol $CuSO_4.5H_2O$ لكل لتر من المحلول. لذلك يحتوي 1 L من المحلول على 375 g من كبريتات النحاس المائية $CuSO_4.5H_2O$.

يمكن استعمال هذه العلاقة بوصفها معامل تحويل لحساب كمية المذاب اللازمة لتجربتك.

$$100 \text{ ml} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ ml}} \times \frac{375 \text{ g } CuSO_4 \cdot 5H_2O}{1 \text{ L}} = 37.5 \text{ g } CuSO_4 \cdot 5H_2O$$

لذلك تحتاج إلى قياس 37.5 g $CuSO_4.5H_2O$ لعمل 100 ml من محلول تركيزه 1.5 M.

مسائل تدريبية

20. ما كتلة $CaCl_2$ الذائبة في 1 L من محلول تركيزه 0.10 M؟

21. ما كتلة $CaCl_2$ اللازمة لتحضير 500.0 ml من محلول تركيزه 0.20 M؟

22. ما كتلة NaOH في محلول مائي حجمه 250 ml وتركيزه 3.0 M؟

23. تحفيز ما حجم الإيثانول في 100.0 ml من محلول تركيزه 0.15 M، إذا علمت أن كثافة الإيثانول هي 0.7893 g /ml؟



خطوة 1 تقاس كتلة المذاب وتضاف إلى قارورة حجمية مناسبة.



خطوة 2 يذاب المذاب في قارورة حجمية مناسبة في أقل كمية من المذيب.



خطوة 3 يضاف الماء المقطر إلى المذاب حتى يصل مستوى المحلول إلى العلامة المحددة على القارورة.

الشكل 6-2 يبين خطوات تحضير محلول كبريتات النحاس.

فسر لماذا لا يمكنك وضع 375 g من كبريتات النحاس مباشرة في 1.0 L من الماء لتحضير محلول تركيزه 1.5 M؟



الشكل 2-7 يمكن تخفيف المحلول المركز بإضافة كمية من المذيب. لاحظ أن عدد مولات المذاب لا يتغير عند تخفيف المحلول المركز.

المفردات

مفردات أكاديمية

مركّز Concentrated

مخفف قليلًا

كأن نقول مثلًا:

أضفنا ماء أكثر إلى عصير الليمون؛ لأنه مركز جدًّا.

تخفيف المحاليل المولارية تستعمل في المختبر محاليل لها تراكيز محددة تسمى المحاليل القياسية، ومنها محلول حمض الهيدروكلوريك HCl الذي تركيزه 12 M. تذكر أن المحاليل المركزة تحتوي على كمية كبيرة من المذاب. ويمكنك تحضير محلول أقل تركيزًا عن طريق تخفيف كمية من المحلول القياسي بإضافة المزيد من المذيب. وعندما تضيف المذيب تزيد عدد جسيماته التي تتحرك خلالها جسيمات المذاب، كما هو موضح في **الشكل 2-7**، ومن ثم يقل تركيز المحلول.

كيف يمكنك تحديد حجم المحلول القياسي اللازم تخفيفه؟

$$\text{المولارية M} = \frac{\text{عدد مولات المذاب}}{\text{حجم المحلول (باللتر)}} \text{ ، } \mathrm{M} = \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{L}}$$

عدد مولات المذاب = المولارية × حجم المحلول باللتر.

ولأن عدد مولات المذاب لا تتغير بالتخفيف فإن عدد مولات المذاب في المحلول قبل التخفيف تساوي عدد مولات المذاب بعد التخفيف.

وبالتعويض عن عدد مولات المذاب بالمولارية مضروبة في حجم المحلول باللتر يمكن التعبير عن هذه العلاقة في معادلة التخفيف الآتية:

معادلة التخفيف

$$\mathbf{M_1V_1 = M_2V_2}$$

M = المولارية

V = الحجم

إن حاصل ضرب المولارية لمحلول قياسي في حجم معين منه قبل التخفيف يساوي حاصل ضرب المولارية للمحلول في حجم معين منه بعد التخفيف.

تمثل M_1 و V_1 المولارية وحجم المحلول القياسي. وتمثل M_2 و V_2 المولارية والحجم للمحلول المخفف. يحتوي المحلول المركز قبل التخفيف على نسبة عالية من جسيمات المذاب بالنسبة إلى جسيمات المذيب، لاحظ أن هذه النسبة تقل بعد إضافة كمية أخرى من المذيب.

مثال 2-3

تخفيف المحلول القياسي إذا كنت تعرف حجم وتركيز المحلول المطلوب تحضيره يمكنك حساب حجم المحلول القياسي الـذي تحتـاج إليه. ما الحجم اللازم بالمللـترات لتحضير محلول من كلوريد الكالسـيوم $CaCl_2$ تركيزه 0.300 M وحجمه 0.5 L إذا كان تركيز محلوله القياسي 2.00 M؟

1 تحليل المسألة

لقد أعطيت مولارية محلول قياسي من كلوريد الكالسـيوم $CaCl_2$ والمولارية والحجم للمحلول بعد التخفيف، وباستعمال العلاقة بين المولارية والحجم يمكن إيجاد حجم المحلول القياسي اللازم باللتر ثم تحويله إلى مللتر.

المعطيات

$M_1 = 2.00\ M\ CaCl_2$

$M_2 = 0.300\ M$

$V_2 = 0.50\ L$

المطلوب

$V_1 = ?\ ml$

2 حساب المطلوب

حل المعادلة لإيجاد حجم المحلول القياسي V_1

اكتب معادلة التخفيف

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

حل لإيجاد V_1

$$V_1 = V_2\left(\frac{M_2}{M_1}\right)$$

عوض $V_2 = 0.50\ L, M_2 = 0.300\ M, M_1 = 2.00\ M$

$$V_1 = (0.50\ L)\left(\frac{0.300\ M}{2.00\ M}\right)$$

اضرب واقسم الأرقام والوحدات

$$V_1 = (0.50\ L)\left(\frac{0.300\ M}{2.00\ M}\right) = 0.075\ L$$

حول إلى مللتر باستعمال معامل التحويل $1000\ ml/1L$

$$V_1 = (0.075\ L)\left(\frac{1000\ ml}{1\ L}\right) = \mathbf{75\ ml}$$

قس 75 ml من المحلول القياسي، ثم خففه بكمية الماء اللازمة للحصول على الحجم النهائي 0.5 L.

3 تقويم الإجابة

تـم حسـاب الحجم V_1، وتم تحويله إلى مللترات، ويجب أن يكون أقل من الحجـم النهائي للمحلول المخفف V_2، وهو من معطيات المسألة.

مسائل تدريبية

24. ما حجم المحلول القياسي 3.00 M KI اللازم لتحضير محلول مخفف منه تركيزه 1.25 M وحجمه 0.300 L؟

25. ما حجم المحلول القياسي $0.50\ M\ H_2SO_4$ بالمللترات اللازم لتحضير محلول مخفف منه حجمه 100 ml وتركيزه 0.25 M؟

26. تحفيز إذا خفف 0.5 L من المحلول القياسي 5 M HCl ليصبح 2 L فما كتلة HCl الموجودة في المحلول؟

المولالية (التركيز المولالي) يتغير حجم المحلول عند تغير درجة الحرارة؛ إذ يتمدد أو يتقلص، مما يؤثر في مولارية المحلول. لكن لا تتأثر كتل المواد في المحلول بدرجات الحرارة، لذا من المفيد أحيانًا وصف المحاليل بعدد مولات المذاب الموجودة في كتلة معينة من المذيب. ويسمى مثل هذا الوصف **المولالية**، ويرمز له بالرمز m، وهي نسبة عدد مولات المذاب الذائبة في 1 kg من المذيب. ويكون تركيز المحلول الذي يحتوي على 1 mol من المذاب في 1 kg من المذيب 1 m (1 محلول مولالي).

المولالية

$$\text{المولالية } m = \frac{\text{عدد مولات المذاب}}{\text{كتلة المذيب (kg)}}$$

مولالية المحلول تساوي عدد مولات المذاب مقسومة على كتلة المذيب (kg).

مثال 4-2

حساب المولالية أضاف طالب في إحدى التجارب 4.5 g من كلوريد الصوديوم إلى 100.0 g من الماء. احسب مولالية المحلول.

1 تحليل المسألة

لقد أعطيت كتلة المذيب والمذاب. حدد عدد مولات المذاب، ثم احسب المولالية.

المعطيات

كتلة الماء H_2O = 100.0 g

كتلة كلوريد الصوديوم NaCl = 4.5 g

المطلوب

m=? mol/kg

2 حساب المطلوب

احسب عدد مولات NaCl

$$4.5\text{ g NaCl} \times \frac{1\text{ mol NaCl}}{58.44\text{ g NaCl}} = 0.077\text{ mol NaCl}$$

حول كتلة H_2O من جرامات إلى كيلوجرامات باستعمال معامل التحويل 1kg / 1000 g

$$100.0\text{ g } H_2O \times \frac{1\text{ kg } H_2O}{1000\text{ g } H_2O} = 0.1000\text{ kg } H_2O$$

عوض بالمعطيات في معادلة المولالية.

اكتب معادلة المولالية

$$\text{المولالية (M)} = \frac{\text{عدد مولات المذاب mol}}{\text{كتلة المذيب kg}}$$

عوض عن عدد مولات المذاب 0.077 mol NaCl وكتلة المذيب $0.1000\text{ kg } H_2O$

$$m = \frac{0.077\text{ mol NaCl}}{0.1000\text{ kg } H_2O} = 0.77\text{ mol/kg}$$

3 تقويم الإجابة

هناك أقل من 1 /10 mol من المذاب في 1 /10 Kg من الماء، لذا ستكون المولالية أقل من واحد، وهي كذلك.

مسائل تدريبية

27. ما مولالية محلول يحتوي على 10.0 g من كبريتات الصوديوم Na_2SO_4 ذائبة في 1000.0 g ماء؟

28. تحفيز ما كتلة $Ba(OH)_2$ بالجرامات اللازمة لتحضير محلول مائي تركيزه 1.00 m؟

الكسر المولي إذا عرفت عدد مولات المذاب والمذيب أمكنك التعبير عن تركيز المحلول بما يعرف **بالكسر المولي**، وهو نسبة عدد مولات المذاب أو المذيب في المحلول إلى عدد المولات الكلية للمذيب والمذاب. يستعمل الرمز X عادة للكسر المولي مع الإشارة إلى المذيب أو المذاب. ويمكن التعبير عن الكسر المولي للمذيب X_A والكسر المولي للمذاب X_B كما يأتي:

الكسر المولي

$$X_B = \frac{n_B}{n_A + n_B} \qquad X_A = \frac{n_A}{n_A + n_B}$$

X_A و X_B يمثلان الكسر المولي لكل مادة.

n_A و n_B يمثلان عدد مولات كل مادة.

الكسر المولي يساوي عدد مولات المذاب أو المذيب في المحلول مقسومًا على عدد المولات الكلي (عدد مولات المذاب والمذيب).

فعلى سبيل المثال: يحتوي 100 g من محلول حمض الهيدروكلوريك على 36 g HCl و 64 g H_2O، كما هو موضح في **الشكل 8-2**. ولتحويل هذه الكتل إلى مولات عليك استعمال الكتل المولية كعوامل تحويل.

$$n_{HCl} = 36\ g\ HCl \times \frac{1\ mol\ HCl}{36.5\ g\ HCl} = 0.99\ mol\ HCl$$

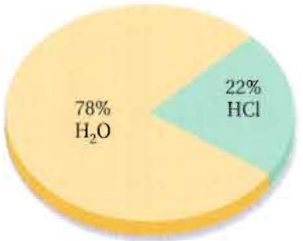
$$n_{H_2O} = 64\ g\ H_2O \times \frac{1\ mol\ H_2O}{18.0\ g\ H_2O} = 3.6\ mol\ H_2O$$

يُعبَّر عن الكسر المولي لكل من الماء وحمض الهيدروكلوريك كما يأتي:

$$X_{HCl} = \frac{n_{HCl}}{n_{HCl} + n_{H_2O}} = \frac{0.99\ mol\ HCl}{0.99\ mol\ HCl + 3.6\ mol\ H_2O} = 0.22$$

$$X_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}}{n_{HCl} + n_{H_2O}} = \frac{3.6\ mol\ H_2O}{0.99\ mol\ HCl + 3.6\ mol\ H_2O} = 0.78$$

محلول حمض الهيدروكلوريك



$X_{HCl} + X_{H_2O} = 1.00$

$0.22 + 0.78 = 1.00$

الشكل 8-2 يشير الكسر المولي إلى عدد مولات المذاب والمذيب بالنسبة إلى عدد المولات الكلي في المحلول. ويمكن النظر إلى الكسر المولي على أنه نسبة مئوية، فمثلاً إذا كان الكسر المولي للماء (X_{H_2O}) يساوي 0.78؛ فهذا يعني أن المحلول يحوي 78% من الماء.

مسائل تدريبية

29. ما الكسر المولي لهيدروكسيد الصوديوم NaOH في محلول مائي منه يحتوي على 22.8% بالكتلة من NaOH؟

30. تحفيز إذا كان الكسر المولي لحمض الكبريتيك H_2SO_4 في محلول مائي يساوي 0.325 فما كتلة الماء بالجرامات الموجودة في 100 ml من المحلول؟

التقويم 2-2

الخلاصة

- يقاس التركيز كمًّا ونوعًا.
- المولارية هي عدد مولات المذاب في 1.0 L من المحلول.
- المولالية هي نسبة عدد مولات المذاب في 1.0 kg من المذيب.
- لا يتغير عدد مولات المذاب خلال التخفيف.

31. الفكرة الرئيسة **قارن** بين خمس طرائق للتعبير عن تراكيز المحاليل كميًّا.

32. وضِّح التشابه والاختلاف بين 1M من محلول NaOH و $1m$ من محلول NaOH.

33. احسب النسبة المئوية بالكتلة لكلوريد الصوديوم في علبة حساء الدجاج إذا احتوت على 450 mg كلوريد صوديوم في 240.0 g من الحساء.

34. أوجد كتلة كلوريد الأمونيوم NH_4Cl بالجرامات اللازمة لتحضير محلول مائي حجمه 2.5 L وتركيزه 0.5 M.

35. لخص الخطوات العملية لتحضير محلول مخفف بحجم معين من المحلول القياسي المركز.

2–3

الأهداف

- **تصف** تأثير قوى التجاذب بين الجزيئية في الذوبان.
- **تعرف** الذائبية.
- **تدرك** العوامل المؤثرة في الذوبانية.

مراجعة المفردات

طارد للحرارة: التفاعل الكيميائي الذي يطلق طاقة أكثر مما يحتاج إلى كسر روابط المواد المتفاعلة.

المفردات الجديدة

الذوبان

حرارة الذوبان

المحلول غير المشبع

المحلول المشبع

المحلول فوق المشبع

قانون هنري

العوامل المؤثرة في الذوبان
Factors Affecting Solvation

الفكرة الرئيسة **يتأثر تكون المحلول بعوامل، منها الحرارة والضغط والقطبية.**

الربط مع الحياة عند تحضير حساء من خليط جاف فإنك تضيف الماء البارد إلى الخليط، ثم تحركه، وسوف تلاحظ أن كمية قليلة من المسحوق ذابت في البداية، وبعد تسخينه وتحريكه مرة أخرى تجد أن المسحوق قد ذاب، وأصبح لديك حساء متماسك.

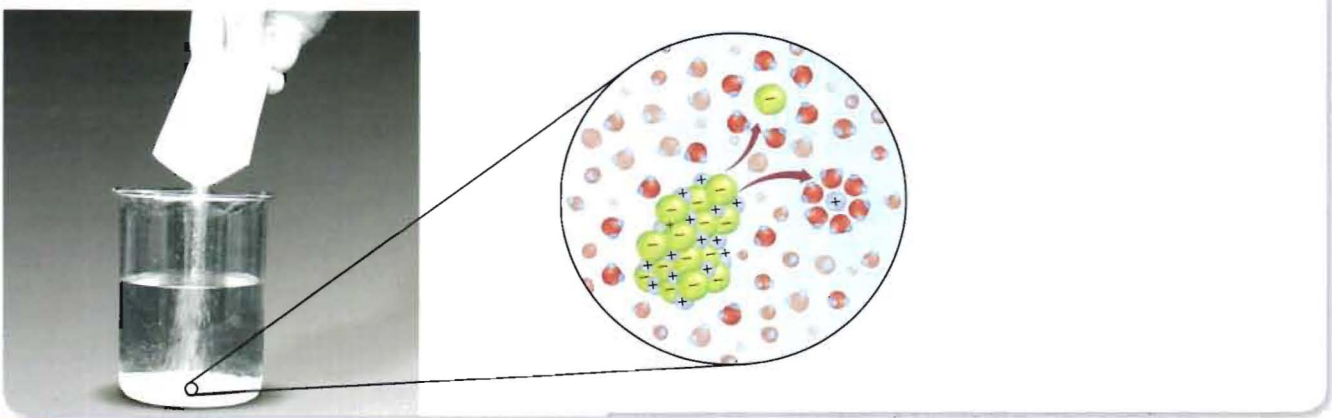
عملية الذوبان The Solvation Process

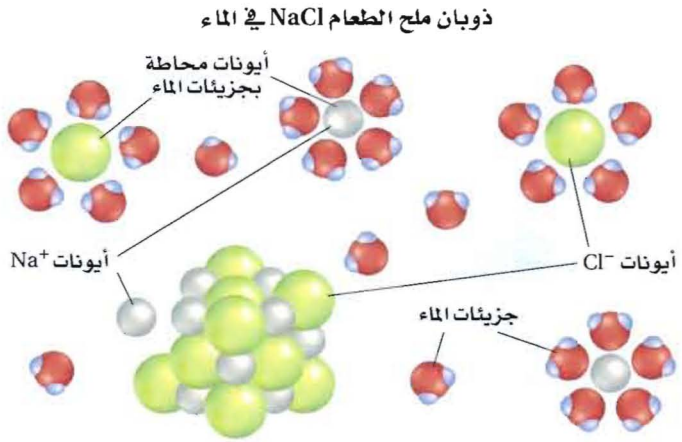
لماذا تذوب بعض المواد في مواد معينة، بينما لا تذوب مواد أخرى؟ لكي يتكون المحلول يجب فصل جسيمات المذاب بعضها عن بعض، ثم خلط جسيمات المذاب مع جسيمات المذيب. إن قوى التجاذب موجودة بين جسيمات كل المواد؛ فهي موجودة بين جسيمات المذاب النقي، وهي موجودة كذلك بين جسيمات المذيب النقي، وكذلك بين جسيمات المذاب والمذيب.

فعند وضع مذاب صلب في مذيب، تحيط جسيمات المذيب بسطح المذاب الصلب تمامًا. فإذا كانت قوى التجاذب المتكونة بين جسيمات المذاب والمذيب أكبر من قوى التجاذب بين جسيمات المذاب نفسه فسوف تجذب جسيماتُ المذيب جسيماتِ المذاب، وتفصل بعضها عن بعض وتحيط بها، ثم تبتعد جسيمات المذاب المحاطة بجسيمات المذيب عن المذاب الصلب، وتتجه نحو المحلول.

وتسمى عملية إحاطة جسيمات المذاب بجسيمات المذيب **الذوبان**، كما هو موضح في **الشكل 9-2**، فالمذيب يذيب شبيهه "like dissolves like"، قاعدة عامة تستعمل لتحديد ما إذا كانت عملية الذوبان تحدث في مذيب معين. ولتحديد ما إذا كان المذيب والمذاب متماثلين يجب دراسة قطبية المركبات ونوع الروابط بين الجزيئية فيها.

الشكل 9-2 يأخذ الملح في الانفصال عندما يوضع في الماء؛ إذ تسحب جسيمات المذاب وتحاط بجسيمات المذيب.





الشكل 2-10 يذوب كلوريد الصوديوم في الماء عندما تحيط جزيئات الماء بأيونات الصوديوم والكلوريد. لاحظ كيف تحيط جزيئات الماء القطبية بكل من أيونات الكلور السالبة وأيونات الصوديوم الموجبة.

محاليل المركبات الأيونية تعلم أن جزيئات الماء قطبية، وأنها في حركة مستمرة، بحسب نظرية الحركة الجزيئية. فعند وضع بلورة من مركب أيوني مثل كلوريد الصوديوم في الماء تصطدم جزيئات الماء بسطح البلورة. وعندها تجذب أقطابُ جزيئات الماء المشحونة أيوناتِ الصوديوم الموجبة وأيونات الكلوريد السالبة. وهذا التجاذب بين الأقطاب والأيونات أكبر من التجاذب بين الأيونات في البلورة. لذلك تنزلق الأيونات مبتعدة عن سطح البلورة. وتحيط جزيئات الماء بالأيونات وتسحبها نحو المحلول، معرِّضةً أيونات أخرى على سطح البلورة للذوبان، وهكذا تستمر عملية الذوبان حتى تذوب البلورة كلها، انظر **الشكل 10-2**.

لا يمكن إذابة جميع المركبات الأيونية في الماء؛ فالجبس مثلًا لا يذوب في الماء؛ لأن قوى التجاذب بين أيونات الجبس قوية؛ بحيث لا تستطيع قوى التجاذب بين جزيئات الماء والأيونات التغلب عليها. ولقد ساهمت اكتشافات محاليل ومخاليط معينة ـ ومنها الجبيرة الطبية المحضرة من الجبس ـ في تطوير الكثير من المنتجات والعمليات، كما هو موضح في **الشكل 11-2**.

الشكل 2-11 كيمياء المحاليل

ساهم العلماء العاملون في مجال المحاليل الكيميائية في تطوير منتجات وعمليات تتضمن مجالات التقنية الطبية، وتحضير الطعام وحفظه، والصحة العامة والسلامة.



1870

1866م كان اختراع السلولويد -وهو محلول من الكافور والسليلوز- إشارة إلى بدايات صناعة البلاستيك.



1890

1883م أول نجاح لعملية طرد مركزي تستعمل الدوران السريع لفصل مكونات المخلوط.

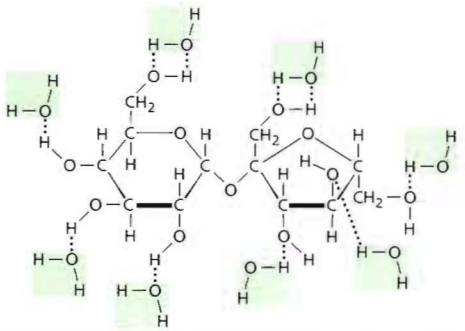
1899م سجلت براءة اختراع جديدة لأحدث تقنية تستخدم في التقليل من حجم حبيبات الدهن الذائبة في الحليب؛ لمنع تكون طبقة زبد، في عملية تسمى التجانس.

1910

1916م طوَّر الأطباء محلول الجلسرول الذي يسمح بتخزين الدم عدة أسابيع بعد سحبه.



الشكل 12-2 يحتوي جزيء السكروز على 8 روابط O - H قطبية، وتكوّن جزيئات الماء القطبية روابط هيدروجينية مع الروابط O - H في السكروز، وتسحب جزئيات السكروز نحو المحلول.



محاليل المركبات الجزيئية يعد الماء مذيبًا جيدًا للكثير من المركبات الجزيئية. فسكر المائدة عبارة عن المركب الجزيئي السكروز، وتحتوي جزيئاته القطبية على عدة روابط من O - H، كما هو موضح في **الشكل 12-2**. وبمجرد ملامسة بلورات السكر الماء، تصطدم جزيئات الماء بالسطح الخارجي للبلورات، وتصبح كل رابطة O - H في السكروز موقعًا لتكوين روابط هيدروجينية مع الماء، لذا يتم التغلب على قوى التجاذب بين جزيئات السكروز بقوى التجاذب التي تتكون بين جزيئاته وجزيئات الماء القطبية، فتترك جزيئات السكروز البلورة، وتصبح ذائبة في الماء.

يتكون الزيت من الكربون والهيدروجين، ولا يكوّن محلولًا مع الماء؛ وذلك لأن قوى التجاذب التي تتكون بين جزيئات الماء القطبية وجزيئات الزيت غير القطبية ضعيفة. لذا فالزيت يذوب بمذيب غير قطبي؛ لأن المذاب غير القطبي يذوب بسهولة أكبر في المذيب غير القطبي.



1964م اكتشفت ستيفاني كوالك أليافًا اصطناعية من بلورات سائلة في محلول. وهي أكثر صلابة من الفولاذ وأخف من الألياف الزجاجية.

2003م طوّر العلماء عينات كيميائية تزيل الفلزات السامة، والمبيدات الحشرية، وتقتل مسببات الأمراض في مياه الشرب.

2010 — 1990 — 1970 — 1950

1943م أول كلية اصطناعية تخلص الجسم من السموم الذائبة في دم المريض.

1980م تم تطوير نوع من ألواح الجبس لتشكّل عازلًا يفصل بين المنزل ومحيطه الخارجي.

حرارة الذوبان تنفصل جسيمات المذاب بعضها عن بعض خلال عملية الذوبان، وتتباعد جسيمات المذيب لتسمح لجسيمات المذاب بالدخول بينها. ويلزم طاقة للتغلب على قوى التجاذب التي بين جسيمات المذاب والتي بين جسيمات المذيب، لذلك فكلتا الخطوتين ماصة للطاقة. وعند خلط جسيمات المذيب مع جسيمات المذاب تتجاذب جسيماتها وتنطلق الطاقة، لذا فإن هذه الخطوة في عملية الذوبان طاردة للطاقة. ويسمى التغير الكلي للطاقة الذي يحدث خلال عملية تكون المحلول **حرارة الذوبان**.

وكما لاحظت في التجربة الاستهلالية أن بعض المحاليل تُنتج طاقة في أثناء تكونها، وبعضها الآخر يمتص طاقة في أثناء تكونه. فمثلًا بعد ذوبان نترات الأمونيوم في وعاء يحوي ماء يصبح الوعاء باردًا، أمّا بعد ذوبان كلوريد الكالسيوم في وعاء يحوي ماء فيصبح الوعاء ساخنًا.

ماذا قرأت؟ **فسّر** لماذا تنتج بعض المحاليل طاقة في أثناء تكونها بينما يمتص بعضها الآخر طاقة في أثناء تكونه؟

العوامل المؤثرة في الذوبان
Factors That Affect Solvation

يحدث الذوبان عند تماس جسيمات المذاب والمذيب معًا. ويبين **الشكل 13-2** ثلاث طرائق شائعة لزيادة التصادمات بين جسيمات المذاب والمذيب وزيادة سرعة الذوبان، وهي: التحريك، وزيادة مساحة سطح المذاب، ورفع درجة حرارة المذيب.

التحريك يعمل تحريك المحلول على إبعاد جسيمات المذاب عن سطوح التماس بسرعة أكبر، وبذلك يسمح بحدوث تصادمات أخرى بين جسيمات المذاب والمذيب. ومن دون تحريك المحلول تتحرك الجسيمات الذائبة بعيدًا عن مناطق التماس ببطء.

مساحة السطح إن تكسير المذاب إلى قطع صغيرة يزيد من مساحة سطحه. وتساعد الزيادة في مساحة السطح على زيادة عدد التصادمات التي تحدث بين جسيماته وجسيمات المذيب. وبذلك فإن ذوبان ملعقة من السكر المطحون أسرع من ذوبان الكمية نفسها التي تكون في صورة مكعبات.

الحرارة تتأثر سرعة الذوبان بدرجة الحرارة؛ فالمذيب الساخن يذيب كمية أكبر من المذاب مقارنة بالمذيب البارد. لذلك يستوعب الشاي الساخن سكرًا ذائبًا أكثر من الشاي المثلج، كما أن السكر يذوب فيه أسرع. ومع زيادة درجة الحرارة تسلك معظم المواد الصلبة سلوك السكر عند الذوبان. إلا أن ذوبان بعض المواد الأخرى، ومنها الغازات، يقل بزيادة درجة الحرارة. وهذا يجعل المشروبات الغازية تفقد طعمها اللاذع أسرع عند درجة حرارة الغرفة، مما لو كانت باردة.



مكعب من السكر

يذوب مكعب السكر في الشاي المثلج ببطء، وتزداد سرعة الذوبان عند تحريكه.



يذوب السكر المطحون بسرعة أكبر من مكعب السكر في الشاي المثلج، كما يزيد التحريك من سرعة ذوبان السكر المطحون.



يذوب السكر المطحون بسرعة كبيرة جدًّا في الشاي الساخن.

الشكل 13-2 يؤثر كل من التحريك، ومساحة السطح، ودرجة الحرارة في سرعة الذوبان.

الذائبية Solubility

كما يمكن فهم الذوبان على مستوى الجسيمات يمكن كذلك فهم الذائبية على مستوى الجسيمات. تعتمد ذائبية المذاب على طبيعة كل من المذاب والمذيب؛ فعند إضافة المذاب إلى المذيب تتصادم جسيمات المذيب مع جسيمات سطح المذاب، وتبدأ جسيمات المذاب الذائبة في الاختلاط خلال جسيمات المذيب عشوائيًا. إلا أنه مع زيادة عدد جسيمات المذاب الذائبة يزداد عدد تصادماتها مع بقية البلورة، مما يجعل بعضها يلتصق بسطح البلورة، أو يتبلور مرة أخرى، كما هو موضح في **الشكل 14-2**. ومع استمرار عملية الذوبان تزداد سرعة التبلور، بينما تبقى سرعة الذوبان ثابتة. ويستمر الذوبان ما دامت سرعة الذوبان أعلى من سرعة التبلور.

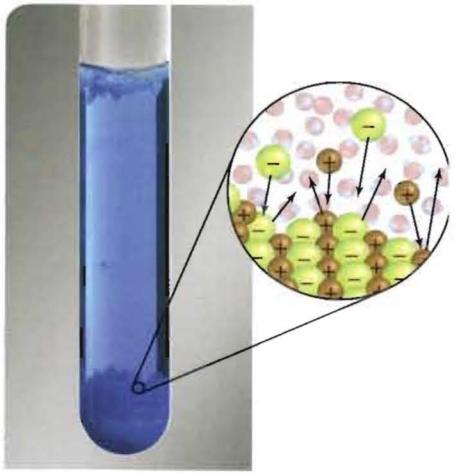
واعتمادًا على كمية المذاب، قد تتساوى سرعة الذوبان والتبلور في النهاية. وعند هذه النقطة لا يذوب المزيد من المذاب، ويصل المحلول إلى حالة من الاتزان الديناميكي بين التبلور والذوبان إذا بقيت درجة الحرارة ثابتة.

المحلول غير المشبع يحتوي **المحلول غير المشبع** على كمية مذاب أقل مما في المحلول المشبع عند درجة حرارة وضغط معينين. أي أنه يمكن إضافة كميات أكثر من المذاب إلى المحلول غير المشبع.

المحلول المشبع رغم استمرار ذوبان جسيمات المذاب وتبلورها في المحلول الذي وصل إلى حالة الاتزان إلا أنّ كمية المذاب الذائبة في المحلول تبقى ثابتة. ويعرف مثل هذا المحلول الموضح في **الشكل 14-2 بالمحلول المشبع**، وهو يحتوي على أكبر كمية من المذاب ذائبة في كمية محددة من المذيب عند درجة حرارة وضغط معينين.

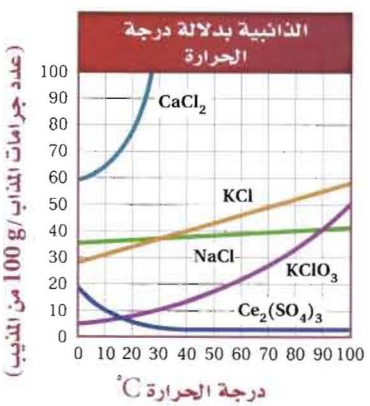
درجة الحرارة والمحاليل فوق المشبعة تتأثر الذائبية بارتفاع درجة حرارة المذيب؛ حيث تزداد طاقة حركة جسيماته، فتزداد التصادمات ذات الطاقة الكبيرة مقارنة بالتصادمات عند درجة حرارة منخفضة. إن ذائبية الكثير من المواد أكبر عند درجات الحرارة المرتفعة، كما في **الشكل 15-2**. فذائبية كلوريد الكالسيوم $CaCl_2$ مثلًا تساوي 64 g لكل 100 g H_2O عند درجة حرارة 10 °C، وعند زيادة درجة الحرارة إلى 27 °C تزداد الذائبية بنسبة 50% تقريبًا: 100 g $CaCl_2$ لكل 100 g H_2O تقريبًا.

تقل ذائبية بعض المواد ـ ومنها كبريتات السيريوم ـ عند زيادة درجة الحرارة، ولكنها تبقى ثابتة بعد الوصول إلى درجة حرارة معينة.



الشكل 14-2 تُساوي سرعة الذوبان في المحلول المشبع سرعة التبلور، لذلك لا تتغير كمية المذاب.

الشكل 15-2 يبين الرسم البياني أدناه ذائبية عدة مواد عند درجات حرارة مختلفة.



اختبار الرسم البياني

حدد ذائبية NaCl عند درجة حرارة 80 °C.

الجدول 4-2 الذائبية في الماء عند درجات حرارة مختلفة

المادة	الصيغة الكيميائية	الذائبية (g/100 g H_2O)*			
		0°C	20°C	60°C	100°C
كبريتات الألومنيوم	$Al_2(SO_4)_3$	31.2	36.4	59.2	89.0
هيدروكسيد الباريوم	$Ba(OH)_2$	1.67	3.89	20.94	--
هيدروكسيد الكالسيوم	$Ca(OH)_2$	0.189	0.173	0.121	0.076
كبريتات الليثيوم	Li_2SO_4	36.1	34.8	32.6	--
كلوريد البوتاسيوم	KCl	28.0	34.2	45.8	56.3
كلوريد الصوديوم	NaCl	35.7	35.9	37.1	39.2
نترات الفضة	$AgNO_3$	122	216	440	733
السكروز	$C_{12}H_{22}O_{11}$	179.2	203.9	287.3	487.2
الأمونيا*	NH_3	1130	680	200	--
ثاني أكسيد الكربون*	CO_2	1.713	0.878	0.359	--
الأكسجين*	O_2	0.048	0.031	0.019	--

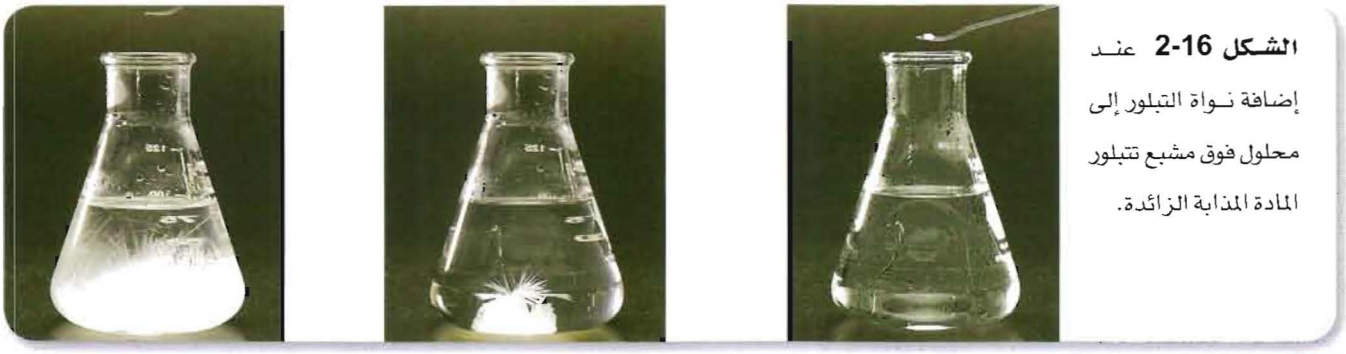
* L /1 L H_2O في حالة الغاز عند الضغط الجوي القياسي 101 kPa.

يمكن توضيح تأثير درجة الحرارة في ذائبية المواد من خلال البيانات الموجودة في **الجدول 4-2**. تلاحظ أن 203.9 g من السكروز $C_{12}H_{22}O_{11}$ تذوب في 100 g من الماء عند درجة حرارة 20 °C. بينما يذوب 487.2 g من السكروز في 100 g من الماء عند درجة حرارة 100 °C، وهذا يعني زيادة قابلية الذوبان 140% تقريبًا. وحقيقةُ أن الذائبية تتغير عند تغير درجة الحرارة وأن بعض المواد تصبح أكثر قابلية للذوبان عند زيادة درجة الحرارة، هي المفتاح الأساسي لتكوين المحاليل فوق المشبعة. يحتوي **المحلول فوق المشبع** على كمية أكبر من المادة المذابة مقارنة بمحلول مشبع عند درجة الحرارة نفسها. ولعمل محلول فوق مشبع يتم تحضير محلول مشبع عند درجة حرارة عالية، ثم يبرد تدريجيًا وببطء؛ إذ يسمح التبريد البطيء للمادة المذابة الزائدة أن تبقى مذابة في المحلول عند درجات حرارة منخفضة، كما هو موضح في **الشكل 16-2**.

المفردات

أصل الكلمة

Saturated والتي تعني مُشبع
مشتقة من الكلمة اللاتينية (Saturatus) وتعني يُشبع أو يملأ.



الشكل 16-2 عند إضافة نواة التبلور إلى محلول فوق مشبع تتبلور المادة المذابة الزائدة.



الشكل 17-2 الرواسب المعدنية في الينابيع الحارة مثال على تكون البلورات من المحاليل فوق المشبعة.

المحاليل فوق المشبعة غير ثابتة؛ فعند إضافة قطعة صغيرة جدًّا من مذاب ـ تسمى نواة التبلور ـ إلى محلول فوق مشبع تترسب المادة المذابة الزائدة بسرعة، كما هو موضح في **الشكل 16-2**.

ويمكن أن يحدث التبلور عند كشط (Scratch) الجزء الداخلي من الكأس الزجاجية أو الوعاء الزجاجي المحتوي على المحلول بساق تحريك زجاجية بلطف أو تعرُّض المحلول فوق المشبع للحركة أو الرجِّ.

وباستعمال يوديد الفضة AgI بوصفه نوى تكاثف في الهواء فوق المشبع ببخار الماء تتجمع جزيئات الماء في صورة قطيرات قد تسقط على الأرض على هيئة مطر. تسمى هذه الآلية استمطار الغيوم. كما يتكون سكر النبات Rock Candy والرواسب المعدنية على حواف الينابيع المعدنية ـ كالتي تظهر في **الشكل 17-2** ـ من محاليل فوق مشبعة.

ذائبية الغازات تقل ذائبية غازي الأكسجين وثاني أكسيد الكربون عند درجات الحرارة المرتفعة مقارنة بدرجات الحرارة المنخفضة. وهذا سلوك متوقع لجميع المواد الغازية المذابة في المذيبات السائلة. هل تستطيع تفسير هذا السلوك؟ تذكر أن الطاقة الحركية لجسيمات الغاز تسمح للجسيمات بالهرب أو النفاد من المحلول بسهولة أكبر عند درجات الحرارة المرتفعة. ولذلك كلما زادت درجة حرارة المحلول قلت ذائبية المذاب الغازي.

الضغط وقانون هنري يؤثر الضغط في ذائبية المواد الغازية المذابة في المحاليل، فكلما ازداد الضغط الخارجي ـ الضغط فوق المحلول ـ زادت ذائبية الغاز في أي مذيب. تعتمد المشروبات الغازية على هذا المبدأ؛ فهي تحتوي على غاز ثاني أكسيد الكربون المذاب في محلول مائي تحت ضغط أعلى من الضغط الجوي، وعند فتح علبة المشروب الغازي يكون ضغط غاز ثاني أكسيد الكربون داخل العلبة أعلى من الضغط الواقع على العلبة. ونتيجة لذلك تتصاعد فقاعات غاز ثاني أكسيد الكربون من المحلول إلى السطح وتتطاير. وتستمر هذه العملية إلى أن يفقد المحلول تقريبًا غاز ثاني أكسيد الكربون كله، ويصبح المحلول بلا طعم. ويمكن وصف انخفاض ذائبية غاز ثاني أكسيد الكربون في المشروب الغازي بعد فتح العبوة بقانون هنري.

المفردات

الاستعمال العلمي مقابل الاستعمال الشائع

الضغط Pressure

الاستعمال العلمي: القوة المبذولة على وحدة المساحة.

خلال تسرب غاز ثاني أكسيد الكربون من المحلول يزداد الضغط داخل القارورة المغلقة.

الاستعمال الشائع: الجهد الفيزيائي أو الإجهاد الذهني.

يقع على الطلاب الكثير من الضغط في أثناء الامتحانات.

ينص **قانون هنري** على أن " ذائبية (s) الغاز في سائل عند درجة حرارة معينة تتناسب طرديًّا مع ضغط (p) الغاز الموجود فوق السائل". فعندما تكون قارورة المشروب الغازي مغلقة، كما هو موضح في **الشكل 18-2**، يعمل الضغط الواقع فوق المحلول على إبقاء غاز ثاني أكسيد الكربون ذائبًا في المحلول. ويمكن تمثيل هذه العلاقة كما يلي:

قانون هنري

S يمثل الذائبية

P يمثل الضغط

$$\frac{S_1}{P_1} = \frac{S_2}{P_2}$$

يبقى ناتج قسمة الذائبية على الضغط ثابتًا عند درجة حرارة معينة.

غالبًا ستستعمل قانون هنري لتحديد الذائبية S_2 عند ضغط جديد P_2، حيث P_2 معروف. ويمكن استعمال قواعد الجبر الأساسية لحل معادلة قانون هنري لإيجاد أي من المتغيرات. ولإيجاد S_2 ابدأ باستعمال قانون هنري الأساسي.

$$\frac{S_1}{P_1} = \frac{S_2}{P_2}$$

بالضرب التبادلي نحصل على المعادلة:

$$P_1S_2 = S_1P_2$$

وبقسمة الطرفين على P_1:

$$\frac{P_1S_2}{P_1} = \frac{S_1P_2}{P_1} \rightarrow S_2 = \frac{S_1P_2}{P_1}$$

الشكل 18-2 ثاني أكسيد الكربون CO_2 مذاب في الصودا، كما يوجد بعضه فوق السائل.

فسر لماذا يتصاعد غاز CO_2 من المحلول عند نزع الغطاء؟



يحافظ الضغط الذي فوق السائل في قارورة المشروب الغازي المغلقة على بقاء CO_2 الفائض ذائبًا في المحلول ويمنعه من التطاير.

يقل الضغط الذي فوق السائل عند فتح غطاء القارورة، لذا تقل ذائبية ثاني أكسيد الكربون.

مثال 2-5

قانون هنري إذا ذاب 0.85 g من غاز ما عند ضغط مقداره 4.0 atm في 1.0 L من الماء عند درجة حرارة 25 °C، فكم يذوب منه في 1.0 L من الماء عند ضغط مقداره 1.0 atm ودرجة الحرارة نفسها؟

1 تحليل المسألة

أُعطيت ذائبية الغاز عند الضغط الابتدائي، وثبات درجة حرارة الغاز مع تغير الضغط.

ولأن تقليل الضغط يؤدي إلى تقليل ذائبية الغاز فإن كتلةً أقل من الغاز تذوب عند ضغط أقل.

المعطيات

$S_1 = 0.85\ g/L$

$P_1 = 4.0\ atm$

$P_2 = 1.0\ atm$

المطلوب

$S_2 = ?\ g/L$

2 حساب المطلوب

اكتب قانون هنري

$$\frac{S_1}{P_1} = \frac{S_2}{P_2}$$

حل قانون هنري لإيجاد S_2

$$S_2 = S_1\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

عوض $P_2 = 1.0\ atm$, $P_1 = 4.0\ atm$, $S_1 = 0.85\ g/L$

ثم اضرب واقسم الأرقام والوحدات.

$$S_2 = \left(\frac{0.85\ g}{1.0\ L}\right)\left(\frac{1.0\ atm}{4.0\ atm}\right) = \mathbf{0.21\ g/L}$$

3 تقويم الإجابة

قلت الذائبية، كما هو متوقع؛ فقد قل الضغط فوق المحلول من 4.0 atm إلى 1.0 atm، لذا يجب أن تنخفض الذائبية إلى ربع قيمتها الأصلية. الوحدة g/L هي وحدة الذائبية.

مسائل تدريبية

36. إذا ذاب 0.55 g من غازٍ ما في 1.0 L من الماء عند ضغط 20.0 kPa، فما كمية الغاز نفسه التي تذوب عند ضغط 110 kPa؟

37. ذائبية غاز عند ضغط 10 atm هي 0.66 g/L. ما مقدار الضغط الواقع على محلول حجمه 1.0 L ويحتوي على 1.5 g من الغازنفسه؟

38. تحفيز ذائبية غاز عند ضغط 7 atm تساوي 0.52 g/L. ما كتلة الغاز بالجرامات التي تذوب في لتر واحد إذا تم زيادة الضغط إلى 10 atm؟

التقويم 2-3

الخلاصة

- تتضمن عملية الذوبان إحاطة جسيمات المذيب جسيمات المذاب.
- يكون المحلول غير مشبع أو مشبعًا أو فوق مشبع.
- ينص قانون هنري على أن ذائبية الغاز في سائل تتناسب طرديًا مع ضغط الغاز فوق السائل عند درجة حرارة معينة.

39. الفكرة الرئيسة **صف** العوامل المؤثرة في تكوين المحاليل.

40. عرف الذائبية.

41. اشرح كيف تؤثر قوى التجاذب بين الجزيئية في الذوبان؟

42. قارن فيم تتشابه طريقة تحضير محلول مائي من ملح الطعام، ومحلول مائي من السكر؟

43. لخص ماذا يحدث إذا أُضيفت نواة تبلور إلى محلول فوق مشبع؟وبم تصف المحلول الناتج؟

44. الرسوم البيانية استعمل المعلومات الموجودة في **الجدول 4-2** لعمل رسوم بيانية لذائبية كبريتات الألومنيوم، وكبريتات الليثيوم، وكلوريد البوتاسيوم عند درجات حرارة 0°C و20°C و60°C و100°C. أي المواد السابقة تتأثر ذائبيتها أكثر بزيادة درجة الحرارة؟

2–4

الأهداف

- **تصف** الخواص الجامعة.
- **تعرّف** أربع خواص جامعة للمحاليل.
- **تحدد** الارتفاع في درجة الغليان، والانخفاض في درجة التجمد للمحلول.

مراجعة المفردات

الأيون: ذرة مشحونة كهربائيًّا.

المفردات الجديدة

الخواص الجامعة

الانخفاض في الضغط البخاري

الارتفاع في درجة الغليان

الانخفاض في درجة التجمد

الخاصية الأسموزية

الضغط الأسموزي

الخواص الجامعة للمحاليل
Colligative Properties of Solutions

الفكرة الرئيسة **تعتمد الخواص الجامعة على عدد جسيمات المذاب في المحلول.**

الربط مع الحياة إذا كنت قد عشت في منطقة ذات طقس بارد جدًّا في الشتاء فلعلك لاحظت أن الناس يرشُّون الملح لإزالة الثلج والجليد عن الأرصفة والطرق. كيف يساعد الملح على جعل القيادة في الشتاء أكثر أمنًا؟

المواد المتأينة والخواص الجامعة
Electrolytes and Colligative Properties

تؤثر المواد المذابة في بعض الخواص الفيزيائية للمذيبات؛ فقد وجد الباحثون الأوائل أن تأثير المذاب في المذيب يعتمد فقط على كمية جسيمات المذاب الموجودة في المحلول، لا على طبيعة المادة المذابة نفسها. وتسمى الخواص الفيزيائية للمحاليل التي تتأثر بعدد جسيمات المذاب وليس بطبيعتها **الخواص الجامعة**. وتشمل الخواص الجامعة انخفاض الضغط البخاري، وارتفاع درجة الغليان، وانخفاض درجة التجمد، والضغط الأسموزي.

المواد المتأينة في محلول مائي درست سابقًا أنّ المركبات الأيونية مواد توصل محاليلُها التيارَ الكهربائي، لذا تسمى مواد إلكتروليتية؛ وذلك لأنها تتفكك في الماء إلى أيونات، كما هو موضح في **الشكل 19–2**. كما تتأين بعض المركبات الجزيئية في الماء وتكون أيضًا محلولاً متأينًا. وتسمى المواد المتأينة التي تنتج أيونات كثيرة في المحلول مواد متأينة قوية. أما التي تنتج عددًا قليلًا من الأيونات في المحلول فتسمى المواد المتأينة الضعيفة.

الشكل 19-2 محلول كلوريد الصوديوم موصل جيد للكهرباء؛ وذلك لأنه محلول لمادة متأينة. في حين لا يوصل محلول السكروز التيار الكهربائي؛ لأنه محلول لمادة غير متأينة.



وكلوريد الصوديوم مادة متأينة قوية؛ حيث يتفكك في المحلول وينتج أيونات Na^+ و Cl^-.

$$NaCl_{(s)} \rightarrow Na^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$$

فإذابة 1 mol من كلوريد الصوديوم في 1 kg من الماء لا تنتج محلولًا تركيز أيوناته m 1، بل تنتج 2 mol من جسيمات المذاب في المحلول، أي 1 mol لكل من أيونَيْ Na^+ و Cl^-.

المواد غير المتأينة في المحلول المائي يذوب الكثير من المركبات الجزيئية في المذيبات، ولكنها لا تتأين. ومثل هذه المحاليل لا توصل التيار الكهربائي، كما هو موضح في **الشكل 19-2**. وتسمى المواد المذابة مواد غير متأينة. والسكروز مثال على المواد غير المتأينة؛ حيث يحتوي محلول السكروز الذي تركيزه m 1 على 1 mol فقط من جزيئات السكروز.

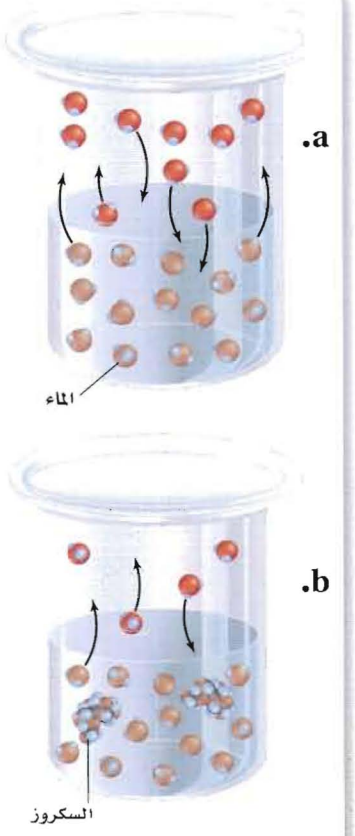
ماذا قرأت؟ **استنتج** أي المركبين له تأثير أكبر في الخواص الجامعة: كلوريد الصوديوم أم السكروز؟

الانخفاض في الضغط البخاري Vapor Pressure Lowering

إن الضغط البخاري هو الضغط الذي تحدثه جزيئات السائل على جدران وعاء مغلق، والتي تتصاعد من سطح السائل متحولة إلى الحالة الغازية. وفي الوعاء المغلق عند درجة حرارة وضغط ثابتين تصل جسيمات المذيب إلى حالة اتزان ديناميكي، حيث تتبخر وتتكثف وتعود من جديد إلى التحول إلى الحالة السائلة بالسرعة نفسها.

تظهر التجارب أن إضافة مذاب غير متطاير - له ميل قليل إلى التحول إلى غاز- إلى مذيب يقلل الضغط البخاري للمذيب. كما أن الجسيمات التي تحدث الضغط البخاري تتبخر من سطح السائل. فعندما يكون المذيب نقيًّا كما في **الشكل a 20-2** تشغل جسيماته مساحة السطح كلها. أما عندما يحتوي المذيب على مذاب، كما في **الشكل b 20-2**، فإن خليط جسيمات المذاب والمذيب يحتل مساحة سطح المحلول. وبسبب وجود كمية قليلة من جسيمات المذيب على السطح يتحول القليل منها إلى الحالة الغازية، ومن ثم ينخفض الضغط البخاري. وكلما ازداد عدد جسيمات المذاب في المذيب قل الضغط البخاري الناتج، لذا فإن **الانخفاض في الضغط البخاري** يعتمد على عدد جسيمات المذاب في المحلول، ولذلك فهو من الخواص الجامعة للمحاليل.

تستطيع توقع التأثير النسبي للمذاب في الضغط البخاري اعتمادًا على كون المذاب متأينًا أو غير متأين. فمثلًا يكون التأثير النسبي لـ 1 mol من كل من المواد المذابة غير المتأينة - ومنها الجلوكوز والسكروز والإيثانول - هو نفسه في الضغط البخاري، إلا أن تأثير 1 mol من كل من المواد المذابة المتأينة - ومنها كلوريد الصوديوم NaCl، وكبريتات الصوديوم Na_2SO_4، وكلوريد الألومنيوم $AlCl_3$ - يزداد في الضغط البخاري؛ بسبب تزايد أعداد الأيونات التي ينتجها كل منها في محلولها.



الشكل 20-2 الضغط البخاري لمذيب نقي أكبر من الضغط البخاري لمحلول يحتوي على مذاب غير متطاير.

الارتفاع في درجة الغليان Boiling Point Elevation

لأن المذاب غير المتطاير يقلل الضغط البخاري للمذيب فإنه يؤثر في درجة غليان المذيب. تذكر أن السائل يغلي عندما يعادل ضغطه البخاري الضغط الجوي. وعندما ترتفع درجة حرارة المحلول المحتوي على مذاب غير متطاير إلى درجة غليان المذيب النقي فإن ضغط البخار الناتج يبقى أقل من الضغط الجوي، لذا لا يغلي المحلول. ولذلك يجب تسخين المحلول إلى درجة حرارة أعلى لتزويده بالطاقة الحركية الإضافية اللازمة لرفع الضغط البخاري له إلى ما يعادل الضغط الجوي. ويسمى الفرق بين درجة حرارة غليان المحلول ودرجة غليان المذيب النقي **الارتفاع في درجة الغليان**. وفي المواد غير المتأينة تتناسب قيمة ارتفاع درجة الغليان - التي يرمز لها بالرمز ΔT_b - تناسبًا طرديًّا مع مولالية المحلول.

الارتفاع في درجة الغليان

ΔT_b ارتفاع درجة الغليان

K_b ثابت الارتفاع في درجة الغليان المولالي

m مولالية المحلول

$$\Delta T_b = K_b m$$

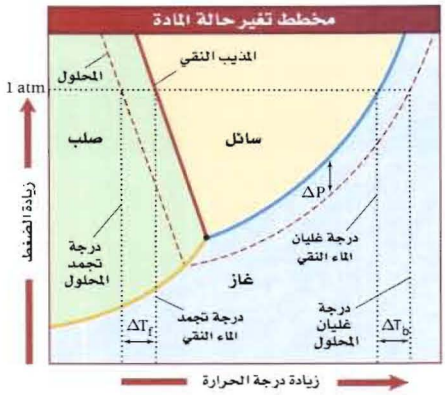
إن فرق درجة الحرارة يساوي ثابت الارتفاع في درجة الغليان المولالي مضروبًا في مولالية المحلول.

كما أن ثابت ارتفاع درجة الغليان المولالي K_b هو الفرق بين درجة غليان محلول يحتوي على $1\ m$ من مذاب غير متطاير وغير متأين ودرجة غليان المذيب النقي. والوحدة المستعملة للتعبير عن ارتفاع درجة الغليان هي $^\circ C\ /\ m$، وتختلف باختلاف المذيب. يبين **الجدول 5-2** قيم K_b لعدد من المذيبات الشائعة. لاحظ أن قيمة K_b للماء هي $0.512\ ^\circ C/m$؛ وهذا يعني أن $1\ m$ من محلول مائي يحتوي على مذاب غير متطاير وغير متأين يغلي عند درجة حرارة $100.512\ ^\circ C$، وهذه الدرجة تزيد $0.512\ ^\circ C$ على درجة غليان الماء النقي $100.0\ ^\circ C$.

وكما أنّ الانخفاض في الضغط البخاري خاصية جامعة فإن الارتفاع في درجة الغليان خاصية جامعة أيضًا. وتتناسب قيمة الارتفاع في درجة الغليان تناسبًا طرديًّا مع مولالية المذاب في المحلول، أي أنه كلما زاد عدد جسيمات المذاب في المحلول زاد الارتفاع في درجة الغليان. ولأن المولالية مرتبطة مع الكسر المولي الذي يتضمن عدد جسيمات المذاب لذا فهي تستعمل للدلالة على التركيز. ويعبرّ عن المذيب في المولالية بالكتلة بدلًا من الحجم، ولذلك لا تتأثر المولالية بتغير درجة الحرارة.

الجدول 5-2 ثابت الارتفاع في درجة الغليان المولالي K_b

المذيب	درجة الغليان °C	$K_b\ ^\circ C/m$
الماء	100.0	0.512
البنزين	80.1	2.53
رابع كلوريد الكربون	76.7	5.03
الإيثانول	78.5	1.22
الكلوروفورم	61.7	3.63



الشكل 21-2 يؤثر الضغط والحرارة في حالة المذيب النقي (الخط المتصل)، الصلبة أو السائلة أو الغازية، ويؤثران أيضًا في المحلول (الخط المتقطع).

اختبار الرسم البياني

صف كيف يمثل الفرق بين الخطين (المتصل والمتقطع) الانخفاض في الضغط البخاري، والارتفاع في درجة الغليان، والانخفاض في درجة التجمد. استعمل بيانات من الرسم البياني لدعم إجابتك.

انظر إلى **الشكل 21-2** ولاحظ أن المنحنى الذي يمثل المحلول يقع أسفل المنحنى الذي يمثل المذيب النقي عند أي درجة حرارة.

الانخفاض في درجة التجمد
Freezing Point Depression

ليس للجسيمات طاقة حركية كافية عند درجة تجمد المذيب للتغلب على قوى التجاذب بينها؛ لذا تترتب الجسيمات في بنية أكثر تنظيمًا في الحالة الصلبة؛ ممّا في المحلول. أما في المحلول فتتصادم جسيمات المذاب مع قوى التجاذب بين جسيمات المذيب، مما يمنع المذيب من الوصول إلى الحالة الصلبة عند درجة التجمد.

وتكون درجة تجمد المحلول دائمًا أقل من درجة تجمد المذيب النقي. يبين **الشكل 21-2** الفرق بين درجات الغليان والتجمد للماء النقي والمحلول المائي. وعند مقارنة الخطوط المتصلة مع المتقطعة في الرسم سوف تلاحظ أن نطاق درجة الحرارة للمحلول المائي في الحالة السائلة أكبر ممّا للماء النقي. ويبين **الشكل 22-2** تطبيقين شائعين لاستعمال الملح لتقليل درجة تجمد المحلول المائي.

الانخفاض في درجة تجمد المحلول ΔT_f هو الفرق بين درجة تجمد المحلول ودرجة تجمد المذيب النقي الموجود في المحلول.

الكيمياء في واقع الحياة

الانخفاض في درجة التجمد



الأسماك التي تعيش في المياه المالحة

إن المحافظة على التركيز الملحي المناسب في غاية الأهمية للأسماك التي تعيش في المياه المالحة؛ فوجود الملح في المناطق القطبية من المحيط ضروري للمحافظة على المياه من التجمد، مما يسمح بالمحافظة على الحياة البحرية.





الشكل 22-2 تعمل إضافة الأملاح إلى الجليد على تقليل درجة تجمد الجليد، مما يؤدي إلى انصهار الجليد على الطرق. وتعمل إضافة الملح إلى الجليد عند صنع الآيس كريم على تقليل درجة التجمد، مما يسمح للماء الناتج بتجميد الآيس كريم.

الجدول 6-2 ثابت الانخفاض في درجة التجمد المولالي K_f

المذيب	درجة التجمد °C	K_f (°C/m)
الماء	0.0	1.86
البنزين	5.5	5.12
رابع كلوريد الكربون	−23.0	29.8
الإيثانول	−114.1	1.99
الكلوروفورم	−63.5	4.68

يبين **الجدول 6-2** ثابت الانخفاض في درجة التجمد المولالي (K_f) لكثير من المذيبات. هذا وتتناسب قيم الانخفاض في درجة التجمد للمواد غير المتأينة تناسبًا طرديًّا مع مولالية المحلول.

الانخفاض في درجة التجمد

ΔT_f درجة الحرارة

K_f ثابت الانخفاض في درجة التجمد

m المولالية

$$\Delta T_f = K_f m$$

الفرق في درجة الحرارة يساوي حاصل ضرب ثابت الانخفاض في درجة التجمد في مولالية المحلول.

وكما هو الحال مع قيم K_b فإن قيم K_f تعتمد على طبيعة المذيب. ولأن ثابت انخفاض درجة التجمد للماء (K_f) يساوي $1.86°C/m$ فإن المحلول المائي الذي تركيزه $1\ m$ يتجمد، ويحتوي على مذاب غير متطاير وغير متأين عند درجة $-1.86\ °C$ وهي أقل من درجة تجمد الماء النقي ($0.0\ °C$). ويعد الجليسرول أحد المذيبات غير المتأينة، وينتجه الكثير من الأسماك والحشرات لحماية دمائها من التجمد في الشتاء القارص. كذلك فإن مقاوم التجمد أو مانع تكوين الجليد يحتوي على مذيب غير متأين، هو جليكول الإثيلين.

لاحظ أن معادلات الارتفاع في درجة الغليان والانخفاض في درجة التجمد تحدد مولالية المواد غير المتأينة. أما في حالات المواد المتأينة فيجب استعمال المولالية الفاعلة للمحلول، كما يوضحها **المثال 6-2**.

تجربة

الانخفاض في درجة التجمد

كيف يمكنك قياس الانخفاض في درجة التجمد؟

الخطوات

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. املأ كأسين سعة كل منهما 400 ml بالجليد المجروش، وأضف 50 ml من مياه الصنبور البارد إلى كل من الكأسين.
3. قس درجة حرارة كل من الكأسين بمقياس حرارة (ثرمومتر) غير زئبقي.
4. حرك محتويات كل كأس بساق مدة دقيقة واحدة، حتى تصبح درجتا حرارة الكأسين متماثلتين، وسجل درجة الحرارة.
5. أضف 75 g من ملح الطعام الخشن NaCl إلى إحدى الكأسين، وتابع التحريك في الكأسين، سوف يذوب بعض الملح.
6. عندما تثبت درجة الحرارة في كل كأس سجل كلًّا منها.
7. اسكب محتويات الكأسين في المغسلة، واشطفها بكمية من ماء الصنبور.

التحليل

1. **قارن** درجة حرارة الماء والثلج مع درجة حرارة الماء والثلج المضاف إليهما الملح. بم تفسر تغير درجة الحرارة؟
2. **فسر** لماذا أضيف الملح إلى إحدى الكأسين دون الأخرى؟
3. **فسر** الملح مادة متأينة قوية تنتج أيوني الصوديوم Na^+ والكلور Cl^- عندما تتفكك في الماء. فسر لماذا يعد اعتبار هذا التفكك عند حساب الانخفاض في درجة التجمد مهمًّا؟
4. **توقع** هل من الأفضل استعمال الملح الخشن، أم ملح المائدة الناعم عند صنع الآيس كريم المنزلي؟ فسّر إجابتك.

مثال 6-2

التغيرات في درجات التجمد والغليان يستعمل كلوريد الصوديوم NaCl عادة لمنع تكون الجليد على الطرق وتجميد المثلجات (الآيس كريم) . ما درجتا غليان وتجمد محلول مائي من كلوريد الصوديوم تركيزه $0.029\ m$؟

1 تحليل المسألة

أُعطيت مولالية المحلول المائي لكلوريد الصوديوم. احسب ΔT_b و ΔT_f اعتمادًا على عدد الجسيمات في المحلول، ثم حدد الارتفاع في درجة الغليان والانخفاض في درجة التجمد. أضف ΔT_b إلى درجة الغليان، واطرح ΔT_f من درجة التجمد.

المعطيات

المذاب= كلوريد الصوديوم NaCl

المولالية = $0.29\ m$

المطلوب

درجة الغليان= ؟ °C

درجة التجمد= ؟ °C

2 حساب المطلوب

احسب مولالية الجسيمات

$$m = 0.029\ m \times 2 = 0.058\ m$$

ضع العلاقات الرياضية للارتفاع في درجة الغليان والانخفاض في درجة التجمد

$$\Delta T_b = K_b\, m$$

$$\Delta T_f = K_f\, m$$

عوض عن $K_b = 0.512°C/m$ ، $K_f = 1.86°C/m$ و $m = 0.058\ m$

$$\Delta T_b = (0.512°C/\cancel{m})(0.058\ \cancel{m}) = 0.030°C$$

$$\Delta T_f = (1.86°C/\cancel{m})(0.058\ \cancel{m}) = 0.11°C$$

احسب درجة الغليان بعد الارتفاع ودرجة التجمد بعد الانخفاض للمحلول.

أضف ΔT_b إلى درجة الغليان

$$T_b = 0.30°C + 100.000°C = 100.030°C$$

واطرح ΔT_f من درجة التجمد

$$T_f = 0.00°C - 0.11°C = -0.11°C$$

3 تقويم الإجابة

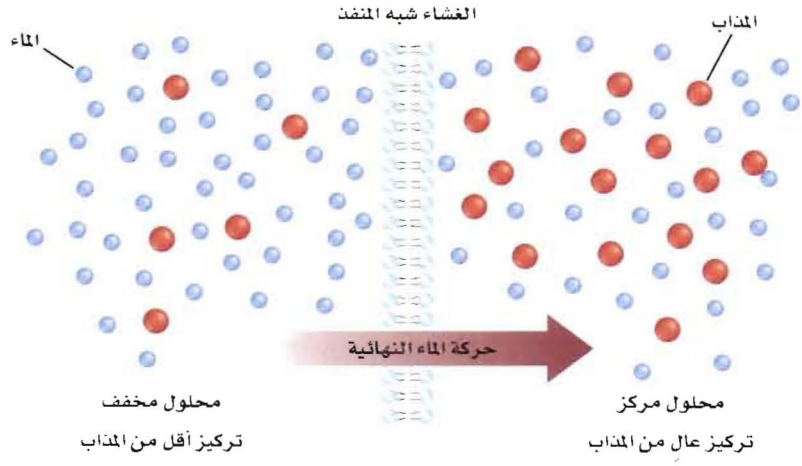
تكون درجة الغليان أعلى، ودرجة التجمد أقل، كما هو متوقع.

مسائل تدريبية

45. احسب درجة الغليان ودرجة التجمد لمحلول مائي تركيزه $0.625\ m$ من أي مذاب غير متطاير وغير متأين.

46. ما درجة غليان محلول السكروز في الإيثانول، الذي تركيزه $0.40\ m$؟وما درجة تجمده؟

47. تحفيز تم اختبار محلول تركيزه $0.045\ m$ يحتوي على مذاب غير متطاير وغير متأين، ووجد أن الانخفاض في درجة تجمده بلغ $0.08\ °C$. ما قيمة ثابت الانخفاض في درجة تجمده K_f ؟ وهل المذيب المكوَّن منه المحلول في هذه الحالة هو الماء أو الإيثانول أو الكلوروفورم؟



الشكل 23-2 تنتشر المذيبات بسبب الخاصية الأسموزية من التركيز الاقل إلى التركيز الأعلى خلال أغشية شبه منفذة.

الضغط الأسموزي Osmotic Pressure

عرفت أنّ الانتشار هو اختلاط الغازات أو السوائل، والناتج عن حركتها العشوائية. أما **الخاصية الأسموزية** فهي انتشار المذيب خلال غشاء شبه منفذ. والأغشية شبه المنفذة حواجز تسمح لبعض الجسيمات بالعبور. والأغشية التي تحيط بالخلايا الحية جميعها عبارة عن أغشية شبه منفذة. وتلعب الخاصية الأسموزية دورًا مهمًا في الكثير من العمليات الحيوية، ومنها امتصاص الغذاء في النباتات.

يبين **الشكل 23-2** نظامًا يكون فيه المحلول المخفف مفصولًا عن المحلول المركز بغشاء شبه منفذ. تتحرك جزيئات الماء خلال العملية الأسموزية في الاتجاهين عبر الغشاء، ولكن جزيئات المذاب لا تستطيع العبور. وتنتشر جزيئات الماء عبر الغشاء من المحلول المخفف إلى المحلول المركز. وتسمى كمية الضغط الإضافي الناتج عن انتقال جزئيات الماء إلى المحلول المركّز **الضغط الأسموزي**. ويعتمد الضغط الأسموزي على عدد جسيمات المذاب في كمية محددة من المحلول، وهو خاصية جامعة للمحاليل.

التقويم 2-4

الخلاصة

- تقلل المواد المذابة غير المتطايرة الضغط البخاري للمحلول.
- يرتبط الارتفاع في درجة الغليان مباشرة بمولالية المحلول.
- يكون الانخفاض في درجة التجمد للمحلول أقل من درجة تجمد المذيب النقي.
- يعتمد الضغط الأسموزي على عدد جسيمات المذاب في حجم معين.

48. الفكرة الرئيسة **اشرح** ما المقصود بالخواص الجامعة؟

49. **صف** الخواص الجامعة الأربع للمحاليل.

50. فسر لماذا يكون للمحلول درجة غليان أعلى من درجة غليان المذيب النقي؟

51. **حلّ** يغلي محلول مائي من كلوريد الكالسيوم $CaCl_2$ عند درجة حرارة $101.3\,^{\circ}C$. ما كتلة كلوريد الكالسيوم بالكيلوجرام التي تذوب في $1000\,g$ من المذيب؟

52. **احسب** الارتفاع في درجة الغليان لمحلول يحتوي على $50\,g$ من الجلوكوز $C_6H_2O_6$ مذابة في $500.0\,g$ من الماء. ثم احسب الانخفاض في درجة التجمد للمحلول نفسه.

53. **تحقق** إذا علمت أنّ درجة الغليان لمحلول مائي لمذاب غير متأين وغير متطاير $1.12\,^{\circ}C$ فما مولالية المحلول؟

في الميدان

مهن: كيميائي البيئة

محلول CO_2

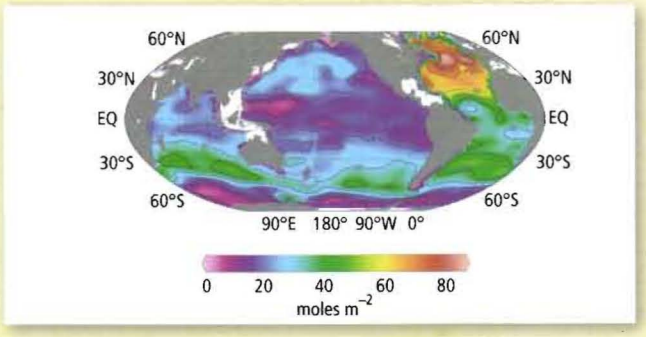
تشير السجلات الجيولوجية إلى أن مستويات ثاني أكسيد الكربون CO_2 في الغلاف الجوي أعلى كثيرًا في الوقت الحاضر مقارنة بعشرين مليون سنة مضت. وقد ساهمت صناعات الإنسان في هذه الزيادة. إلا أن CO_2 لا يبقى في الغلاف الجوي إلى أجل غير مسمى؛ إذ تحتوي المحيطات بشكل طبيعي على CO_2 الذي يأتي من الغلاف الجوي، ومن المخلوقات الحية. وتقوم المحيطات بامتصاص 50% من CO_2 المنبعث من صناعات الإنسان. ويعتقد بعض العلماء أنه خلال ألف سنة قادمة سيذوب 90% منه في المحيطات.

جمع البيانات عن CO_2 Collecting CO_2 data

تتأثر سرعة ذوبان CO_2 في المحيطات بعدة عوامل، منها درجة الحرارة، وتركيز CO_2 في الهواء والماء، واختلاط الماء مع الهواء بسبب الرياح، وحركة الأمواج. لقد قضى فريق من الباحثين عدة سنوات لجمع وتحليل البيانات حول CO_2، وذلك من آلاف نقاط الجمع في المحيطات حول العالم. وتوضح بيانات **الشكل 1** أن شمال المحيط الأطلسي يحتوي على أكبر كمية من CO_2 لكل متر مربع من سطح المحيط؛ حيث تجعل عوامل درجة الحرارة والعمق والتيارات البحرية من شمال المحيط الأطلسي ماصًّا فعّالًا لغاز CO_2 المنبعث من صناعات الإنسان.

جمع وتخزين CO_2 CO_2 capture and storage

هناك طريقة واحدة لتقليل كمية CO_2 المنطلقة إلى الغلاف الجوي، وهي جمع وتخزين CO_2 الناتج عن حرق الوقود الأحفوري. يقوم العلماء في البحث عن احتمالية حقن CO_2 الذي تم جمعه مباشرة في المحيط؛ وذلك لتسريع عملية ذوبانه؛ حيث تقلل هذه العملية من أثر الدفيئة التي يسببها غاز CO_2. ومع ذلك يمكن أن يؤدي اختلال التوازن الطبيعي لثاني أكسيد الكربون CO_2 الذائب إلى آثار بالغة في كيميائية المياه، مما قد يلحق ضررًا، أو حتى يقتل المخلوقات البحرية. فعلى سبيل المثال أظهرت الشعب المرجانية المنتشرة في مختلف أنحاء العالم دلائل إجهاد؛ نتيجة زيادة مستوى CO_2 الذائب في الماء.



شكل 1 ترمز الألوان الحمراء والصفراء والخضراء إلى المناطق التي فيها مستويات عالية من CO_2 الذائب في الماء.

الحجز في أعماق البحار Deep ocean sequestration

هناك اقتراح قد يقلل من كمية CO_2 الجوي، ويحمي الحياة في الجزء العلوي من المحيط، وهو تسييل غاز CO_2، ثم ضخه إلى طبقات المياه السفلى، وتسمى هذه العملية الحجز في أعماق البحار. وهناك تصور أن الضغط الشديد في الأعماق (أكبر من 3000 m) من شأنه أن يحول CO_2 إلى هيدرات تذوب في أعماق مياه المحيطات، ولكن سيبقى CO_2 عالقًا مئات السنين بعيدًا عن الجزء العلوي للمحيط والغلاف الجوي.

بحوث مستمرة Ongoing research

يعمل العلماء على إيجاد إجابات عن كثير من الأسئلة حول أثر CO_2 في المخلوقات التي تعيش في الأعماق. ولا يزال هناك الكثير من المشاكل التقنية المتعلقة بعملية جمع CO_2 وتخزينه ونقل كميات كبيرة منه. وإذا تم حل هذه المشكلات التقنية فإن على الرأي العام والمسؤولين الأخذ بعين الاعتبار الأخطار المتعلقة بانبعاث CO_2 في الهواء وفي المحيطات.

الكتابة في الكيمياء

عصف ذهني إعداد مجموعة من الأسئلة للإجابة عنها بالبحث حول حجز ثاني أكسيد الكربون في أعماق البحار.

مختبر الكيمياء

استقصاء العوامل المؤثرة في الذائبية

الخلفية تتضمن عملية تحضير محلول تصادم جسيمات المذيب والمذاب. فعند إضافة مركب قابل للذوبان إلى الماء تؤثر عدة عوامل في سرعة تكوين المحلول.

سؤال كيف تؤثر هذه العوامل في سرعة تكوين المحلول؟

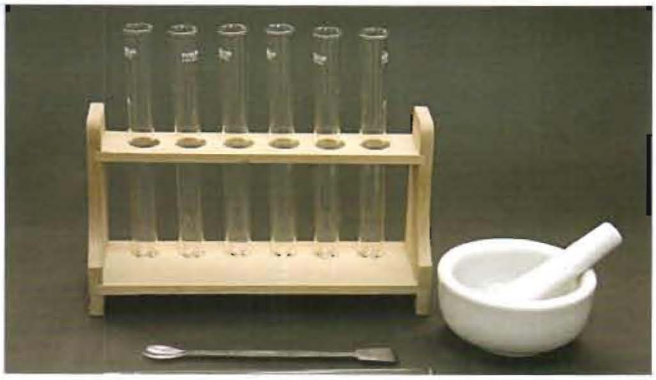
المواد والأدوات اللازمة

كبريتات النحاس II المائية	حامل أنابيب اختبار
ماء مقطر	هاون (مدق)
6 أنابيب اختبار	ملعقة
مخبار مدرج سعته 25 ml	ساعة
ساق تحريك زجاجية	
ماسك أنابيب	

إجراءات السلامة

خطوات العمل

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. صمم جدولًا لتسجيل البيانات.
3. اكتب فرضية حول ما تعرفه عن سرعة التفاعل لتفسير ما يمكن ملاحظته في خطوات العمل.
4. ضع الأنابيب الستة على حامل الأنابيب.
5. ضع بلورة من كبريتات النحاس II المائية في كل من الأنبوب الأول والأنبوب الثاني.
6. استعمل الهاون والمدق لطحن بلورة أخرى، ثم اكشط المسحوق الناتج بالملعقة، وضعه في الأنبوب الثالث، وكرر ذلك للأنابيب المتبقية.
7. قس 15 ml من الماء المقطر عند درجة حرارة الغرفة، ثم اسكبه في أنبوب الاختبار الأول وسجل الزمن.
8. لاحظ المحلول في الأنبوب الأول بعد إضافة الماء مباشرة وبعد 15 دقيقة.
9. اترك الأنبوب الأول دون أي حركة على حامل الأنابيب.
10. كرر الخطوتين 7 و8 مع الأنبوبين الثالث والرابع.
11. استعمل ساق التحريك الزجاجية لتحريك أنبوب الاختبار الثاني مدة دقيقة أو اثنتين.
12. اترك الأنبوب الثالث دون تحريك.
13. حرك المحلول في الأنبوب الرابع بالساق مدة دقيقة أو اثنتين.



14. كرر الخطوتين 7 و8 مع الأنبوب الخامس باستعمال ماء أكثر برودة، واترك الأنبوب بلا تحريك.
15. كرر الخطوتين 7 و8 مع الأنبوب السادس باستعمال ماء ساخن، واترك الأنبوب بلا تحريك.
16. **التنظيف والتخلص من النفايات** تخلص من بقايا المواد الصلبة والمحاليل باتباع إرشادات معلمك. ونظف أدوات المختبر جميعها، وأعدها إلى أماكنها.

حلل واستنتج

1. **المقارنة** ما التأثير الذي لاحظته عند تحريك الأنبوب الثاني والرابع مقارنة بالأنبوب الأول والثاني؟
2. **الملاحظة والاستنتاج** ما العامل الذي أدى إلى تكوين المحلول بسرعة في الأنبوب الرابع مقارنة بالأنبوب الثاني؟
3. **إدراك النتيجة والسبب** لماذا اختلفت النتائج بين الأنابيب الثالث والرابع والسادس؟
4. **ناقش** ما إذا كانت بياناتك قد دعمت فرضيتك.
5. **تحليل الخطأ** عرف مصدر الخطأ الرئيس المحتمل في التجربة، واقترح طريقة سهلة لتصحيحه.

استقصاء موسع

التفكير الناقد إذا أمكن رؤية نتائج هذه التجربة بالعين المجردة، فاقترح تفسيرًا تحت مجهري (لا يمكن ملاحظته) لأثر هذه العوامل في سرعة تكوين المحلول. ماذا يحدث على مستوى الجزيئات لتسريع تكوين المحلول في كل حالة؟

الفصل 2 دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة معظم السوائل والغازات والمواد الصلبة التي تكوِّن عالمنا هي مخاليط .

2-1 أنواع المخاليط

الفكرة الرئيسة المخاليط إما متجانسة أو غير متجانسة.

المفردات

- المخلوط المعلق
- تأثير تندال
- المخلوط الغروي
- المادة الذائبة
- الحركة البراونية
- المادة غير الذائبة

الأفكار الرئيسة

- يمكن تمييز مكونات المخلوط غير المتجانس.
- هناك نوعان من المخاليط غير المتجانسة، هُما المعلق والغروي.
- الحركة البراونية حركة عشوائية لجسيمات المخلوط الغروي.
- تظهر المخاليط الغروية تأثير تندال.
- قد يوجد المحلول في إحدى الحالات الفيزيائية الثلاث: الغازية أو السائلة أو الصلبة؛ اعتمادًا على الحالة الفيزيائية للمذيب.
- يمكن أن يكون المذاب في المحلول غازًا أو سائلًا أو صلبًا.

2-2 تركيز المحلول

الفكرة الرئيسة يمكن التعبير عن التركيز بالنسبة المئوية أو بالمولات.

المفردات

- التركيز
- المولالية
- المولارية
- الكسر المولي

الأفكار الرئيسة

- يقاس التركيز كمًّا ونوعًا.
- المولارية هي عدد مولات المذاب في 1L من المحلول.
- المولالية هي نسبة عدد مولات المذاب في 1 kg من المذيب.
- لا يتغير عدد مولات المذاب خلال التخفيف.

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

2-3 العوامل المؤثرة في الذوبان

الفكرة الرئيسة يتأثر تكون المحلول بعوامل، منها الحرارة والضغط والقطبية.

المفردات

- الذوبان
- المحلول المشبع
- حرارة المحلول
- المحلول فوق المشبع
- المحلول غير المشبع
- قانون هنري

الأفكار الرئيسة

- تتضمن عملية الذوبان إحاطة جسيمات المذيب جسيمات المذاب.
- يكون المحلول غير مشبع أو مشبعًا أو فوق مشبع.
- ينص قانون هنري على أن ذائبية الغاز في سائل تتناسب طرديًّا مع ضغط الغاز فوق السائل عند درجة حرارة معينة.

2-4 الخواص الجامعة للمحاليل

الفكرة الرئيسة تعتمد الخواص الجامعة على عدد جسيمات المذاب في المحلول.

المفردات

- الخواص الجامعة
- الخاصية الأسموزية
- الانخفاض في الضغط البخاري
- الارتفاع في درجة الغليان
- الضغط الأسموزي
- الانخفاض في درجة التجمد

الأفكار الرئيسة

- تقلل المواد المذابة غير المتطايرة الضغط البخاري للمحلول.
- يرتبط الارتفاع في درجة الغليان مباشرة بمولالية المحلول.
- يكون الانخفاض في درجة التجمد للمحلول أقل من درجة تجمد المذيب النقي.
- يعتمد الضغط الأسموزي على عدد جسيمات المذاب في حجم معين.

2-1

إتقان المفاهيم

54. وضح المقصود بالعبارة الآتية "ليست كل المخاليط محاليل".

55. ما الفرق بين المذاب والمذيب؟

56. ما المخلوط المعلق؟ وفيم يختلف عن المخلوط الغروي؟

57. كيف يستخدم تأثير تندال للتمييز بين المخلوط الغروي والمحلول؟ لماذا؟

58. سمِّ مخلوطًا غرويًّا مكونًا من غاز مذاب في سائل؟

59. تتبيلة السلطة ما نوع الخليط غير المتجانس الموضح في الشكل 24-2 ؟ وما الخصائص التي اعتمدت عليها في تصنيفك؟



الشكل 24-2

60. ما الذي يسبب الحركة البراونية في المخلوط الغروي؟

2-2

إتقان المفاهيم

61. ما الفرق بين النسبة المئوية بالكتلة والنسبة المئوية بالحجم؟

62. ما الفرق بين المولارية والمولالية؟

63. ما العوامل التي يجب أخذها بعين الاعتبار عند إعداد محلول مخفف من محلول قياسي؟

64. كيف يختلف محلولان من NaCl تركيز أحدهما 0.5 M والآخر 2.0 M؟

65. تحت أي ظروف يمكن للكيميائي وصف المحلول بدلالة المولالية؟ ولماذا؟

إتقان المسائل

66. حسب خطوات العمل في تجربة مختبرية، قمت بخلط 25.0 g من $MgCl_2$ مع 550 ml من الماء. ما النسبة المئوية بالكتلة لكلوريد الماغنسيوم $MgCl_2$ في المحلول؟

67. ما كمية LiCl بالجرامات الموجودة في 275 g من محلوله المائي الذي تركيزه 15%؟

68. إذا كنت ترغب في تحضير كمية كبيرة من محلول HCl بتركيز 5%، ولديك 25 ml من HCl فقط. فما أقصى حجم محلول 5% يمكنك تحضيره؟

69. احسب النسبة المئوية بالحجم لمحلول يحضَّر بإضافة 75 ml من حمض الإيثانويك إلى 725 ml من الماء.

70. احسب مولارية محلول يحتوي على 15.7 g من $CaCO_3$ الذائب في 275 ml من الماء.

71. ما حجم محلول تركيزه 3.00 M تم تحضيره بإذابة 122 g LiF؟

72. ما عدد مولات BaS اللازمة لتحضير محلول حجمه 1.5×10^3 ml وتركيزه 10 M؟

73. ما كتلة $CaCl_2$ بالجرامات اللازمة لتحضير محلول حجمه 2.0 L وتركيزه 3.5 M ؟

74. غالبًا ما تحضر محاليل قياسية مختلفة التراكيز من HCl لتنفيذ التجارب. أكمل **الجدول 7-2** بحساب حجم المحلول المركز أو المحلول الذي تركيزه 12 M من حمض الهيدروكلوريك اللازم لتحضير 1.0 L من محلول HCl باستعمال قيم المولارية المدونة في الجدول.

الجدول 7-2 محاليل HCl

مولارية HCl	حجم محلول 12 M HCl القياسي بوحدة ml
0.50	
1.0	
1.5	
2.0	
5.0	

75. كم تحتاج من حمض النيتريك (ml) الذي تركيزه 5.0 M لتحضير 225 ml HNO_3 تركيزه 1.0 M ؟

76. تجربة إذا قمت بتخفيف 55 ml من محلول تركيزه 4.0 M لتحضير محلول مخفف حجمه 250 ml، فاحسب مولارية المحلول الجديد.

77. ما حجم حمض الفوسفوريك (بوحدة ml) الذي تركيزه 3.0 M ، والذي يمكن تحضيره من 95 ml من محلول 5.0 M H_3PO_4؟

78. إذا خففت 20.0 ml من محلول تركيزه 3.5 M لتحضير محلول حجمه 100.0 ml، فما مولارية المحلول بعد التخفيف؟

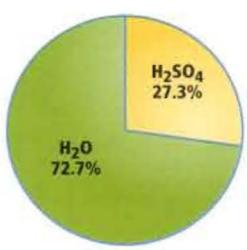
79. ما مولارية محلول يحتوي على 75.3 g من KCl مذابة في 95.0 g من الماء؟

80. ما كتلة Na_2CO_3 (بوحدة g) التي يجب إذابتها في 155 g من الماء لعمل محلول تركيزه 8.20 mol /kg؟

81. ما مولالية محلول يحتوي على 30.0 g من النفثالين $C_{10}H_8$ الذائب في 500 g من الطولوين؟

82. ما المولالية والكسر المولي لمذاب يحتوي على 35.5% بالكتلة من محلول حمض الميثانويك HCOOH؟

83. استعن **بالشكل 25-2**، واحسب الكسر المولي لحمض الكبريتيك H_2SO_4 في المحلول .



الشكل 25-2

84. احسب الكسر المولي لمحلول $MgCl_2$ الناتج عن إذابة 132.1 g $MgCl_2$ في 175 ml من الماء؟

2-3

إتقان المفاهيم

85. صف عملية الذوبان.

86. اذكر ثلاث طرائق لزيادة سرعة الذوبان.

87. اشرح الفرق بين المحاليل المشبعة والمحاليل غير المشبعة.

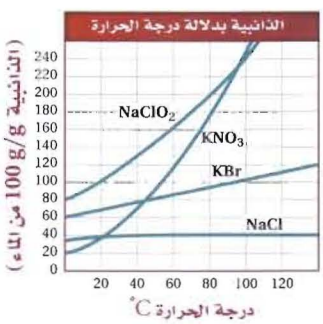
إتقان المسائل

88. إذا كانت ذائبية غاز تساوي 0.54 g /L عند ضغط مقداره 1.5 atm فاحسب ذائبية الغاز عند مضاعفة الضغط.

89. ذائبية غاز تساوي 9.5 g /L عند ضغط 4.5 atm. ما كمية الغاز بالجرامات التي تذوب في 1 L إذا تم تخفيض الضغط إلى 3.5 atm ؟

90. ذائبية غاز تساوي 1.80 g /L عند ضغط مقداره 37.0 kPa. ما قيمة الضغط التي تصبح عندها الذائبية 9.00 g /L؟

91. استعن **بالشكل 26-2** لمقارنة ذائبية بروميد البوتاسيوم KBr ونترات البوتاسيوم KNO_3 عند درجة حرارة 80°C .



الشكل 26-2

92. استعن بقانون هنري لإكمال **الجدول 8-2**

الجدول 8-2 الذائبية والضغط

الذائبية g/L	الضغط kPa
2.9	؟
3.7	32
؟	39

93. المشروبات الغازية الضغط الجزئي لغاز CO_2 داخل زجاجة مشروب غازي هو 4.0 atm عند درجة حرارة 25°C. إذا كانت ذائبية CO_2 تساوي 0.12 mol /l. وعند فتح الزجاجة ينخفض الضغط الجزئي إلى 3.0×10^{-4} atm، فما ذائبية CO_2 في الزجاجة المفتوحة؟ عبر عن إجابتك بوحدة g /L.

2-4

إتقان المفاهيم

94. عرف الخاصية الجامعة.

95. استعمل مصطلحي (المركز والمخفف) لمقارنة المحلول على طرفي غشاء شبه منفذ.

96. حدد كل متغير في المعادلة الآتية: $\Delta T_b = K_b m$.

97. ما المقصود بالضغط الأسموزي؟ ولماذا يعد خاصية جامعة؟

إتقان المسائل

98. احسب درجة التجمد لمحلول يحتوي على 12.1 g من النفثالين $C_{10}H_8$ الذائب في 0.175 kg من البنزين C_6H_6. استعن بالجدول 6-2.

99. إذا قمت بإذابة 179 g من $MgCl_2$ في 1.00 L ماء، فاستعن بالجدول 6-2 على إيجاد درجة تجمد المحلول.

100. الطبخ يقوم طباخ بتحضير محلول بإضافة 12.5 g من NaCl إلى وعاء يحوي 0.750 L من الماء. عند أي درجة حرارة يغلي المحلول في الوعاء؟ استعن بالجدول 6-2.

101. المثلجات (الآيس كريم) يستعمل خليط الملح NaCl والثلج والماء لتبريد الحليب والكريما لصنع مثلجات (آيس كريم) منزلية. ما كمية الملح بالجرامات التي يجب إضافتها إلى الماء لتخفيض درجة التجمد 10.0 °C؟

مراجعة عامة

102. أي مذاب له أكبر تأثير في درجة غليان 1.00 kg من الماء: 50 g من كلوريد الإسترانشيوم $SrCl_2$ أم 150 g من رابع كلوريد الكربون CCl_4؟ فسر إجابتك.

الجدول 9-2 هل الذوبان ممكن؟

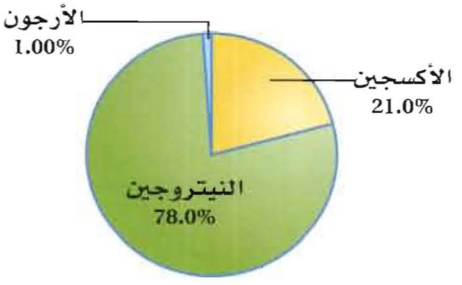
مذاب	مذيب
$MgCl_2$ صلب	H_2O سائل
NH_3 سائل	C_6H_6 سائل
H_2 غاز	H_2O سائل
I_2 سائل	Br_2 سائل

103. استعمل معرفتك بالقطبية والذائبية لتوقع ما إذا كان الذوبان ممكنًا في كل حالة من الحالات الموضحة في **الجدول 9-2**. فسر إجابتك.

104. إذا قمت بتحضير محلول مائي مشبع من كلوريد البوتاسيوم عند درجة حرارة 25 °C، ثم قمت بتسخينه إلى 50 °C فهل يصبح المحلول غير مشبع، أو مشبعًا، أو فوق مشبع؟ فسِّر إجابتك.

105. ما كتلة نترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2$ التي تلزم لتحضير 3.00 L من محلول تركيزه 0.500 M؟

106. يبين **الشكل 27-2** النسب المئوية لمكونات عينة من الهواء. احسب الكسر المولي لكل غاز في العينة.



الشكل 27-2

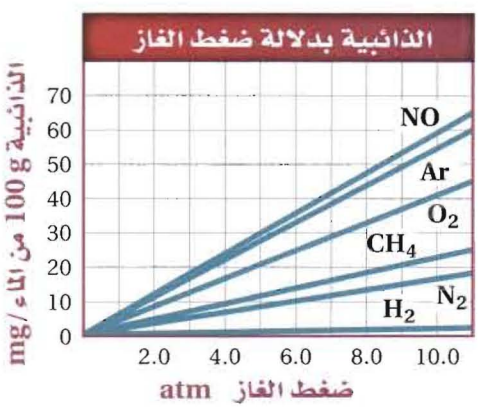
تقويم الفصل 2

التفكير الناقد

107. اعمل خطة لتحضير 1000 ml من محلول حمض الهيدروكلوريك المائي تركيزه 5% بالحجم. يجب أن تصف خطتك كميتي المذاب والمذيب اللازمة، والخطوات المستعملة في تحضير المحلول.

108. قارن واستخلص النتائج ادرس المخطط في الشكل 21-2، وقارن بين الخطوط المتقطعة لـ $\triangle T_f$ و $\triangle T_b$، وصف الاختلافات التي لاحظتها. كيف يمكن لهذه الخطوط أن توضع في أماكن مختلفة تبعًا لنوع المحاليل إذا كانت متأينة أو غير متأينة؟ ولماذا؟

109. توسع يبين الشكل 28-2 ذائبية الأرجون في الماء عند ضغوط مختلفة. استعمل قانون هنري للتحقق من الذائبية عند (15atm).



الشكل 28-2

مسألة تحفيز

110. لديك محلول يحتوي على 135.2 g من KBr مذابة في 2.3 L من الماء. كم يلزمك (ml) منه لتحضير محلول مخفف حجمه 1.5 L وتركيزه 0.1 M ؟ وما درجة غليان المحلول المخفف الجديد؟

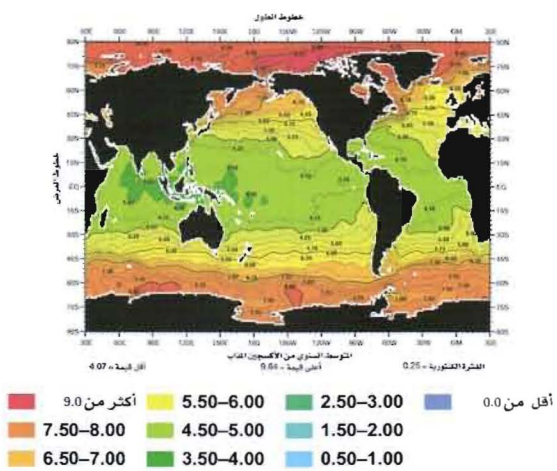
تقويم إضافي

الكتابة في الكيمياء

111. الحليب المتجانس تم بيع أول حليب متجانس Homogenized Milk في الولايات المتحدة عام 1919م. أما اليوم فكل الحليب المبيع متجانس على شكل مستحلب غروي. ابحث عن عملية التجانس Homogenization Process. اكتب مقالة مختصرة تصف فيها العملية، وتتضمن مخططًا يوضح العملية، ومناقشة المنافع والمضار المتعلقة بشرب الحليب المتجانس.

أسئلة المستندات

المتوسط السنوي من الأكسجين المذاب تبين البيانات الموجودة في الشكل 29-2 متوسط قيم الأكسجين الذائبة في مياه المحيطات بوحدة ml /L خلال شهر واحد من عام 2001م. لاحظ أن المحور الأفقي يمثل خطوط الطول، والمحور العمودي يمثل خطوط العرض.



الشكل 29-2

112. هل ترتبط قيم الأكسجين المذاب بشكل واضح مع خط الطول أو خط العرض؟ لماذا ترى ذلك صحيحًا؟

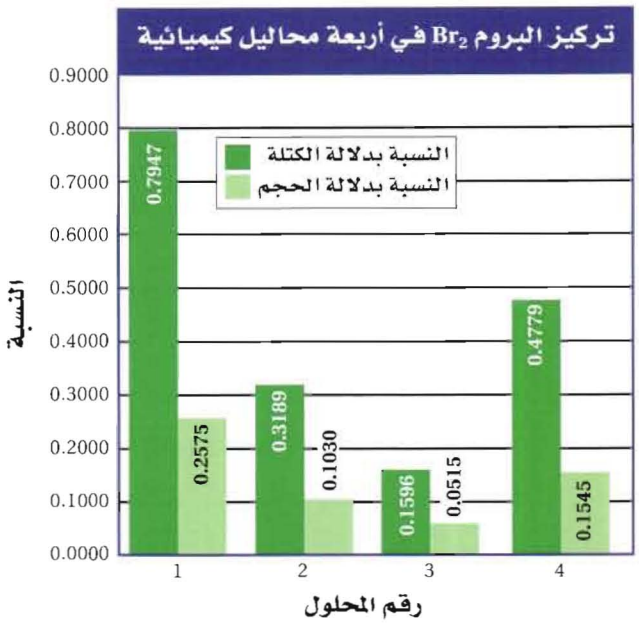
113. عند أي خط عرض يكون متوسط الأكسجين المذاب أقل؟

114. صف الاتجاه العام الذي توضحه البيانات، واربط ذلك مع العلاقة بين ذائبية الغاز ودرجة الحرارة.

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

استعمل الرسم البياني الآتي للإجابة عن السؤالين 1 و2.



1. ما حجم البروم Br_2 الذائب في 7.00 L من المحلول 1؟

a. 55.63 ml
b. 8.808 ml
c. 18.03 ml
d. 27.18 ml

2. ما كمية البروم (بالجرام) الموجودة في 55.00 g من المحلول 4؟

a. 3.560 g
b. 3.560 g
c. 1.151 g
d. 0.2628 g

3. ما نواتج التفاعل التالي:

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

a. NCl_2
b. 2NOCl
c. N_2O_2
d. 2ClO

4. إذا أذيب 1mol من كل من المواد التالية في 1 L من الماء فأيها يكون له الأثر الأكبر في الضغط البخاري لمحلولها؟

a. KBr
b. $C_6H_{12}O_6$
c. $MgCl_2$
d. $CaSO_4$

استعن بالتفاعل الآتي على الإجابة عن السؤالين 5 و6.

$$Fe_3O_{4(s)} + 4H_{2(g)} \rightarrow 3Fe_{(s)} + 4H_2O_{(l)}$$

5. إذا تفاعل 16 mol H_2 فكم مولاً من Fe ينتج؟

a. 6
b. 3
c. 12
d. 9

6. ماحجم محلول كلوريد النيكل 0.125 M $NiCl_2$ الذي يحتوي على 3.25 g من $NiCl_2$ ؟

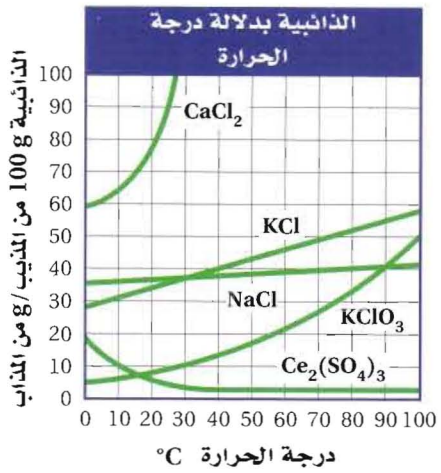
a. 406 ml
b. 32.5 ml
c. 38.5 ml
d. 201 ml

7. أي مما يأتي لا يعد خاصية جامعة؟

a. رفع درجة الغليان.
b. زيادة الضغط البخاري.
c. الضغط الأسموزي.
d. حرارة المحلول .

أسئلة الإجابات القصيرة

استعن بالرسم البياني الآتي للإجابة عن الأسئلة من **8** إلى **10**.



8. ما عدد مولات $KClO_3$ التي يمكن أن تذوب في 100 g من الماء عند درجة حرارة 60 °C؟

9. أي محاليل الأملاح يمكنه استيعاب المزيد من المذاب عند درجة حرارة 20 °C: NaCl أم KCl؟ كيف يمكن مقارنة ذلك بذائبية كل منهما عند درجة حرارة 80 °C؟

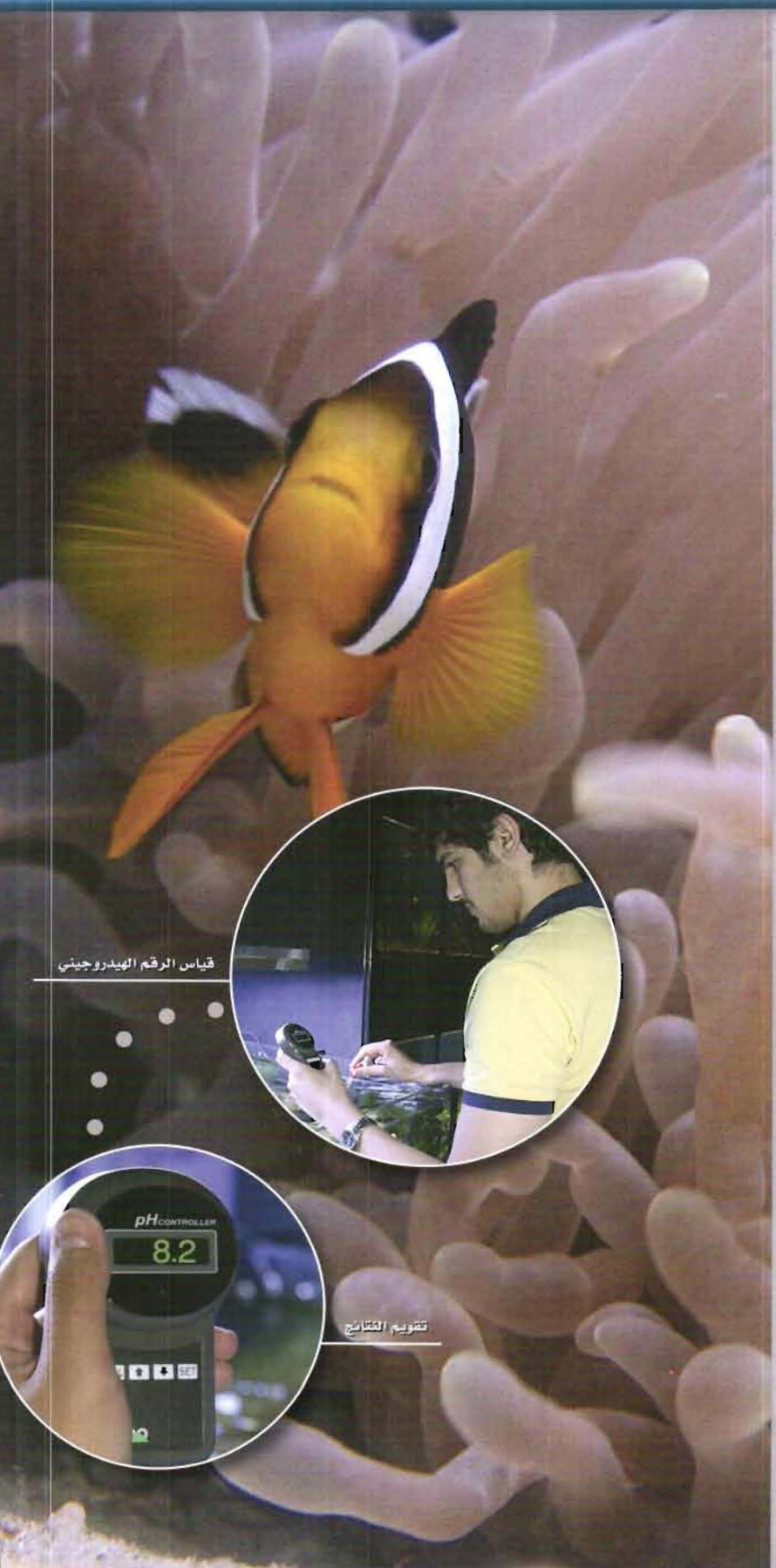
10. ما عدد مولات $KClO_3$ اللازمة لتحضير محلول مائي حجمه 1.0 L عند درجة حرارة 75 °C؟

أسئلة الإجابات المفتوحة

11. إذا أُعطيت عينة من مذاب صلب وثلاثة محاليل مائية تحتوي على ذلك المذاب، فكيف يمكنك تحديد أي المحاليل مشبع، وأيها غير مشبع، وأيها فوق مشبع؟

الفصل 3

الأحماض والقواعد Acids and Bases



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

3-1 مقدمة في الأحماض والقواعد

الفكرة الرئيسة تساعد النماذج المختلفة على وصف سلوك الأحماض والقواعد.

3-2 قوة الأحماض والقواعد

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

3-3 أيونات الهيدروجين والرقم الهيدروجيني

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

3-4 التعادل

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

حقائق كيميائية

- تُعد pH= 8.2 قيمة مقبولة عمومًا بالنسبة إلى الأحياء المائية، إلا أن المحافظة على هذه القيمة في حوض السمك لا يضمن استمرار نمو المخلوقات التي تعيش فيه بصورة طبيعية.
- تستطيع القشريات في أمريكا الجنوبية التي تعيش في المياه العذبة، العيشَ في مياه لها رقم هيدروجيني pH بين 6.4 و7.0، في حين تعيش القشريات الإفريقية في مياه pH لها بين 8.0 و 9.2.

تجربة استهلالية

ماذا يوجد في خزانتك؟

يمكنك أن تتعلم شيئًا حول خواص المنظفات المنتجات التي تستعملها في منزلك، وذلك باختبارها بواسطة أشرطة تبّاع الشمس. هل تستطيع تصنيف تلك المنتجات في مجموعتين؟



خطوات العمل

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. ضع ثلاث إلى أربع قطرات من منتجات مختلفة في فجوات طبق التفاعلات البلاستيكي. وارسم جدولاً يبين موضع كل منها.
3. اختبر كل منتج بورق تبّاع الشمس الأزرق والأحمر. أضف قطرتين من الفينولفثالين إلى كل عينة. ثمّ سجل ملاحظاتك.

تحذير: *الفينولفثالين قابل للاشتعال. لذا أبعده عن اللهب.*

التحليل

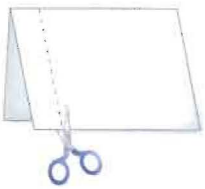
1. صنّف المواد في مجموعتين، بناءً على مشاهداتك.
2. صف كيف تختلف المجموعتان؟ وماذا يمكنك أن تستنتج؟

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

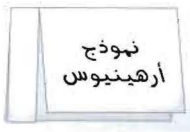
المطويات
منظمات الأفكار

الأحماض والقواعد

اعمل المطوية الآتية لتساعدك على المقارنة بين النماذج الرئيسة للأحماض والقواعد.



الخطوة 1 أحضر ثلاث أوراق، واطو كلًّا منها عرضيًّا من المنتصف. وارسم خطًّا على بُعد 3 cm تقريبًا من الطرف الأيسر. قص الورقة على طول هذا الخط حتى تصل إلى الثنية. كرر ذلك مع الورقتين الأخريين.



الخطوة 2 عنون كل ورقة باسم نموذج من نماذج تعريف الأحماض والقواعد.



الخطوة 3 ثبّت الأوراق الثلاث معًا على طول حافاتها الخارجية.

المطويات **استعمل هذه المطوية في القسم 1–3،** وسجّل ملاحظاتك المتعلقة بنماذج الأحماض والقواعد في أثناء قراءة هذا القسم، ثم اكتب تفاعلات عامّة تمثل كل نموذج.

الكيمياء عبر المواقع الإلكترونية

لمراجعة محتوى هذا الفصل ونشاطاته ارجع إلى الموقع:

www.obeikaneducation.com

3–1

الأهداف

- **تحدد** الخواص الفيزيائية والكيميائية للأحماض والقواعد.
- **تصنّف** المحاليل إلى حمضية، أو قاعدية، أو متعادلة.
- **تقارن** بين نماذج أرهينيوس، وبرونستد – لوري، ولويس للأحماض والقواعد.

مراجعة المفردات

تركيب لويس نموذج يستعمل المخطط 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.**

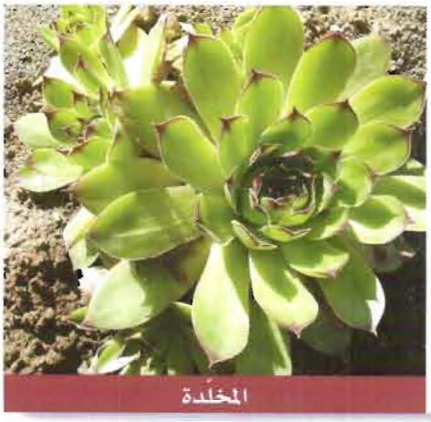
الربط مع الحياة إن التصنيف الأكثر شيوعًا للمواد هو تصنيفها إلى أحماض وقواعد. ويمكن تعرّف الأحماض والقواعد من الطعم اللاذع لبعض المشروبات المفضلة لديك، والرائحة الحادة للأمونيا في بعض المنظفات المنزلية.

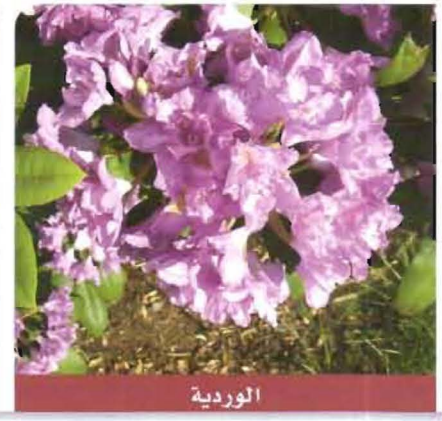
خواص الأحماض والقواعد Properties of Acids and Bases

يطلق النمل حمض الميثانويك (الفورميك) عندما يشعر بخطر يهدد مستعمرته، فتنبّه أفراد المستعمرة كلها. أما الأحماض المذابة في ماء المطر فتؤدي إلى تكوين كهوف كبيرة في الصخور الجيرية، وتؤدي أيضًا إلى تلف الأبنية والمواقع الأثرية القيِّمة مع مرور الزمن. وتستعمل الأحماض في إضافة نكهة إلى الكثير من المشروبات والأطعمة التي تتناولها. وهناك أيضًا حمض في المعدة يساعد على هضم الطعام. كذلك تلعب القواعد دورًا في حياتك؛ فالصابون الذي تستعمله والأقراص المضادة للحموضة التي قد تتناولها عند اضطراب المعدة من القواعد. كما أن الكثير من المواد المنزلية –كالتي استعملت في التجربة الاستهلالية – أحماض أوقواعد.

الخواص الفيزيائية قد تكون بعض الخواص الفيزيائية للأحماض والقواعد مألوفة، فأنت تعلم مثلاً أن المحاليل الحمضية طعمها لاذع، ومنها العديد من المشروبات الغازية التي تمتاز بهذا الطعم اللاذع بسبب احتوائها على حمضي الكربونيك والفوسفوريك؛ ومنها الليمون والجريب فروت لاحتوائهما على حمضي الستريك والأسكوربيك؛ كما أن حمض الخل يجعل طعم الخل لاذعًا. وربما تعلم أن المحاليل القاعدية طعمها مُرّ، ولها ملمس زَلِق. فكّر كيف تصبح قطعة الصابون زلقة عندما تبتل. لا تحاول أبدًا تعرّف أي حمض أو قاعدة أو أي مادة أخرى في المختبر عبر تذوقها أو لمسها.

يبين **الشكل 1–3** نبتتين تنموان في تربتين مختلفتين، فإحداهما تنمو في تربة حمضية، والأخرى تنمو في تربة قاعدية أو قلوية.


المخلّدة


الوردية

الشكل 1-3 تنمو نبتة الوردية في التربة الغنية الرطبة المعتدلة الحموضة، في حين تنمو المخلّدة في تربة أقل رطوبة، وقاعدية قليلاً.



تحوّل القواعد تبّاع الشمس الأحمر إلى أزرق



تحوّل الأحماض تباع الشمس الأزرق إلى أحمر

الشكل 2-3 يستعمل حمض الهيدروكلوريك HCl – وهو حمض قوي– في تنظيف الطوب والخرسانة. كما يساعد هيدروكسيد الصوديوم NaOH –وهو قاعدة قوية– 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 إليه تنتج أيونات تجعل المحلول الناتج موصلاً للكهرباء.

الخواص الكيميائية يمكن تعرف الأحماض والقواعد من خلال تفاعلها مع ورق تباع الشمس. ويمكن تعرُّف الأحماض أيضًا من خلال تفاعلاتها مع بعض الفلزات وكربونات الفلزات.

التفاعلات مع تباع الشمس يعد تباع الشمس نوعًا من الأصباغ المستعملة عادة في التمييز بين محاليل الأحماض والقواعد، كما في **الشكل 2-3**؛ إذ تحوّل محاليل الأحماض لون ورق تباع الشمس الأزرق إلى الأحمر، وتحول محاليل القواعد لون ورق تباع الشمس الأحمر إلى الأزرق.

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

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

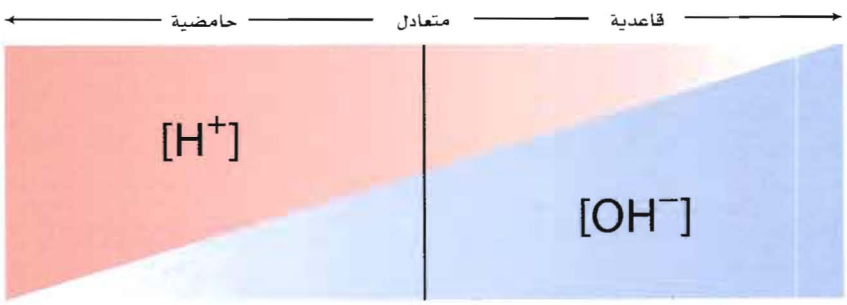
وتتفاعل كربونات الفلزات وكربونات الفلزات الهيدروجينية أيضًا مع محاليل الأحماض منتجة غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2. فعند إضافة الخل إلى صودا الخبز يحدث تفاعل بين حمض الإيثانويك (الخل) $HC_2H_3O_2$ الذائب في الخل وكربونات الصوديوم الهيدروجينية $NaHCO_3$، وينتج غاز CO_2 الذي يسبّب ظهور الفقاعات.

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

يستعمل الجيولوجيون محلول حمض الهيدروكلوريك لتعرُّف الصخر الجيري (الذي يتكون بشكل رئيس 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. **تحفيز** اكتب المعادلة الأيونية النهائية للتفاعل في السؤال 1b.



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

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

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 3-3** هذه العلاقات، في حين يمثل **الشكل 4-3** 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 منتجة أيونات الهيدرونيوم H_3O^+ أيونات 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 وضع أحدهما مكان الآخر، كما تبين المعادلة المبسّطة للتأين الذاتي:

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

الشكل 4-3 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 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، وقدّموا التعاريف المستعملة حاليًّا.

1869م اكتشفت 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 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.

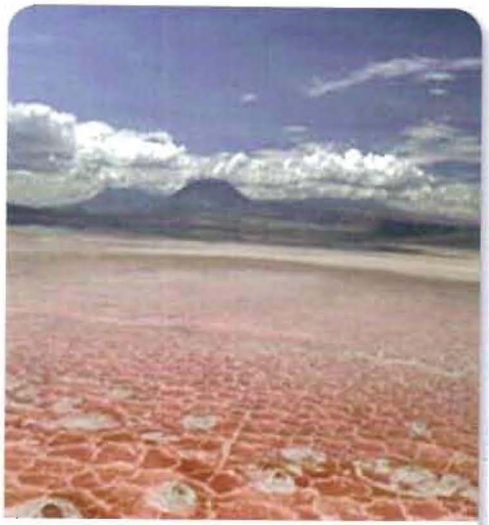
أحماض وقواعد أرهينيوس تأمل ما يحدث عند إذابة غاز كلوريد الهيدروجين في الماء بوصفه مثالاً على نموذج أرهينيوس للأحماض والقواعد؛ إذ تتأين جزيئات HCl مكوّنة أيونات H^+ التي تجعل المحلول حمضيًّا.

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

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

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

وعلى الرغم من أن نموذج أرهينيوس يفسر الكثير 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 5-3**. لذا من الواضح أننا بحاجة إلى نموذج أكثر دقة يشمل القواعد جميعها.



الشكل 5-3 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.

المطويات أدخل معلومات من هذا القسم في مطويتك.

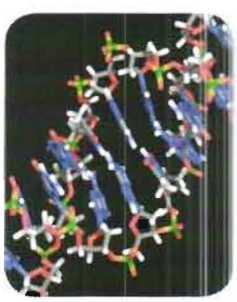


1933 – 1934م طوّر العلماء مقياس pH المحمول.

1980 – 1990م لا تحتوي مقاييس pH التي تشتمل على رقائق السليكون 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 الأوكتان.

2010 | 1990 | 1970 | 1950



1953م درس جايمس واطسون، وفرانسيس كريك، وروزالند فرانكلين الحمض النووي DNA، واضعين بذلك إطارًا للصناعة 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 Bronsted–Lowry Model

اقترح الكيميائي الدنماركي يوهان برونستد والكيميائي الإنجليزي توماس لوري نموذجًا أشمل للأحماض والقواعد؛ حيث 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 يعطى 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 اكتساب جزيء الماء أيون H^+ يصبح حمضًا، فتصبح صيغته H_3O^+، الذي يسمى أيون الهيدرونيوم، ويعدّ حمضًا لأن لديه أيون H^+ إضافيًّا يستطيع أن يمنحه. وعندما يمنح الحمض HX أيون H^+ يصبح 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

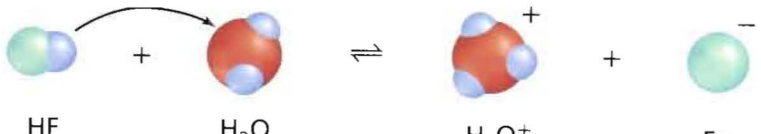
الأحماض والقواعد المرافقة يعدّ التفاعل الأمامي في التفاعل السابق تفاعل حمض مع قاعدة. والتفاعل العكسي لحمض وقاعدة أيضًا. ويعرف الحمض والقاعدة اللذان يتفاعلان في الاتجاه العكسي بأنهما حمض مرافق مع قاعدة مرافقة. **فالحمض المرافق** هو المركب الكيميائي الذي ينتج عندما تستقبل القاعدة أيون الهيدروجين. فالقاعدة H_2O تستقبل أيون الهيدروجين من الحمض HX، فيكون 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. وتتكون تفاعلات برونستد – لوري من **أزواج مترافقة** من الحمض والقاعدة؛ أي من مادتين ترتبطان معًا عن طريق منح واستقبال أيون هيدروجين واحد.

يبين **الشكل 6–3** تمثيلاً لزوج مترافق من حمض وقاعدة. فعندما تكون الكرة في يد الأب فإنه يمثل الحمض، وعندما يرمي الكرة (أيون هيدروجين) إلى ابنه يصبح ابنه هو الحمض؛ لأن لديه الكرة أيْ (أيون هيدروجين) يستطيع أن يَهَبُهُ. ويصبح الأب هو القاعدة لأنه مستعد لاستقبال الكرة أيْ (أيون الهيدروجين). الأب يمثل الحمض والابن هو القاعدة في التفاعل الأمامي. 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.



الشكل 6-3 يمثل الأب عندما يرمي الكرة إلى ابنه حمض برونستد – لوري ويمثل الابن قاعدته. وعندما يمسك الابن الكرة فإنه يمثل الحمض المرافق.



الشكل 3-7 يمنح فلوريد الهيدروجين أيون هيدروجين لجزيء الماء، لذا يُعَد فلوريد الهيدروجين حمضًا.

حدّد القاعدة المرافقة لفلوريد الهيدروجين.

فلوريد الهيدروجين – حمض برونستد – لوري تأمل معادلة تأين فلوريد الهيدروجين HF في الماء، المبينة في **الشكل 7-3**. أيّ الزوجين هو الحمض، وأيهما هو القاعدة المرافقة؟ ينتج الحمض في التفاعل الأمامي – وهو في هذه الحالة فلوريد الهيدروجين– قاعدتهُ المرافقة F^-، وتعد أيضًا القاعدة في التفاعل العكسي. بينما تنتج القاعدة في التفاعل الأمامي – وهو في هذه الحالة الماء– حمضها المرافق H_3O^+، وهو 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 8-3**. ويعد حمضًا وفق نموذجي 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، ولكنها تصنف أحماضًا بحسب نموذج برونستد – لوري. ومن ذلك الأمونيا NH_3. فعندما تذوب الأمونيا في الماء يكون الماء حمضًا حسب تعريف برونستد – لوري في التفاعل الأمامي. ولأن جزيء الأمونيا NH_3 يستقبل أيون H^+ ليكوّن أيون الأمونيوم NH_4^+ فإن الأمونيا تُصنّف قاعدة برونستد – لوري في التفاعل الأمامي.

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

قاعدة — حمض — حمض مرافق — قاعدة مرافقة

أما في التفاعل العكسي فيعطي أيون الأمونيوم NH_4^+ أيون H^+ ليكوّن جزيء أمونيا. وهكذا يعمل عمل حمض، بحسب برونستد – لوري. ويكون بذلك أيون الأمونيوم هو الحمض المرافق للقاعدة، (الأمونيا). ويتقبل أيون الهيدروكسيد أيون H^+ ليكوّن جزيء ماء. وهكذا يكون قاعدة بحسب 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، فإن الماء يسلك 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 8-3 يتفاعل فلوريد الهيدروجين مع مركبات عضوية تسمى الهيدروكربونات لصنع السطح الناعم غير اللاصق لهذه الأدوات المنزلية، حيث تحل ذرات الفلور محل ذرات الهيدرجين.

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

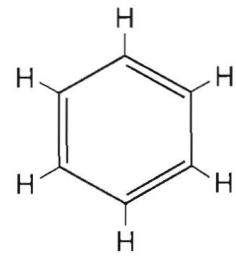
c. $CO_3^{2-}{}_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons HCO_3^-{}_{(aq)} + OH^-{}_{(aq)}$

4. تحفيز إذا علمت أنّ نواتج تفاعل حمض مع قاعدة هي H_3O^+ و SO_4^{2-}. اكتب معادلة موزونة للتفاعل، وحدّد الأزواج المترافقة من الحمض والقاعدة.

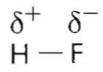
الأحماض الأحادية البروتون والمتعددة البروتونات
Monoprotic and Polyprotic Acids

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 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.

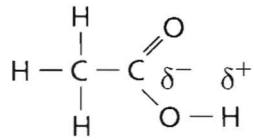
ذرات الهيدروجين القابلة للتأين الفرق بين ذرة الهيدروجين القابلة للتأين في حمض الإيثانويك وذرات الهيدروجين الثلاث الأخرى هو أن الذرة القابلة للتأين مرتبطة مع عنصر الأكسجين الأكثر كهروسالبية من الهيدروجين. والفرق في الكهروسالبية يجعل الرابطة بين الأكسجين والهيدروجين قطبية. ويبين **الشكل 9-3** تركيب حمض 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. فمثلاً يستطيع كل من حمض الكبريتيك H_2SO_4 وحمض الكربونيك H_2CO_3 أن يمنح أيوني هيدروجين؛ فكلاهما يحتوي على ذرتي هيدروجين مرتبطتين 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.



بنزين



فلوريد الهيدروجين



حمض الإيثانويك

الشكل 9-3 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.

الجدول 1-3 بعض 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 الهيدروجينية	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 الهيدروجينية	HCO_3^-
أيون الكربونات الهيدروجينية	HCO_3^-	أيون الكربونات	CO_3^{2-}

يبين **الجدول 1-3** بعض الأحماض الأحادية والمتعددة البروتونات.

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

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

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

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

المطويات

أدخل معلومات من هذا القسم في مطويتك.

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 تندهش إذا علمت أن نموذجًا آخر أكثر شمولية للأحماض والقواعد اقترحه الكيميائي لويس (1946 – 1875م) 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 مدار ذري فارغ يستطيع أن يتقبل (يشارك) زوجًا من الإلكترونات. وأن القاعدة أيون أو جزيء له زوج إلكترونات حر (غير مرتبط) يستطيع أن يمنحه أو يشارك فيه. وحسب **نموذج لويس** فإن حمض لويس مادة مستقبلة لزوج 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

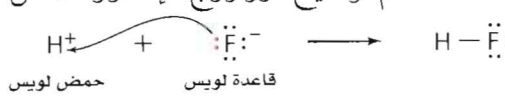
المفردات الأكاديمية

يطابق Conform

تعني: يشابه أو يماثل

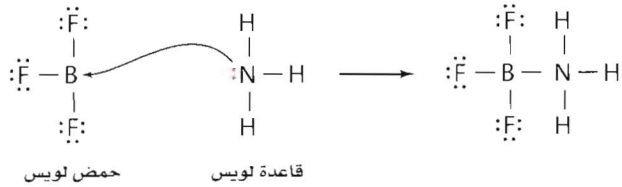
كأن نقول مثلًا: إن تصرفاتهم تتطابق مع توقعات المجتمع.

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، وF^- 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.

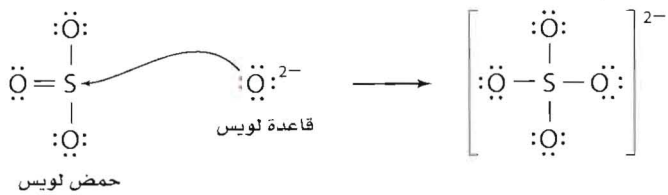


وأن ذرة البورون في BF_3 لها ستة إلكترونات تكافؤ، لذا يستطيع المدار الفارغ أن يستقبل زوجًا من الإلكترونات من قاعدة لويس.

ويحدث تفاعل حمض لويس مع قاعدة لويس أيضًا عندما يتفاعل غاز ثالث أكسيد الكبريت SO_3 مع أكسيد الماغنسيوم 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 الماغنسيوم، 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 2–3** نماذج أرهينيوس، وبرونستد – لوري، ولويس للأحماض والقواعد .

الجدول 2-3 ملخص 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 الماغنسيوم، تعرف باسم ملح إبسوم $MgSO_4 \cdot 7H_2O$. ولهذا الملح استعمالات كثيرة، منها تخفيف آلام العضلات، وهو مغذٍّ للنباتات. وللتفاعل الذي ينتج كبريتات الماغنسيوم أيضًا تطبيقات بيئية؛ فعندما يحقن MgO في الغازات الخارجة من مداخن محطات توليد الطاقة الكهربائية التي تعمل بالفحم الحجري، كما في **الشكل 10-3** 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 **الأنهيدريدات** تتحد جزيئات غاز ثاني أكسيد الكربون بجزيئات الماء في الجو لتكون 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 عبر آلاف السنين. وتقطر المياه من سقوف الكهوف مخلّفة الجير المذاب. وهذا الجير يتكون على هيئة رقاقات جليدية تتدلى من السقف تسمى الهوابط. وكذلك تتكون كتل من كربونات الكالسيوم على أرض الكهوف تسمى 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) عندما يذوب في الماء القاعدةَ هيدروكسيدَ الكالسيوم $Ca(OH)_2$ (الجير المطفأ). وعمومًا تكوّن أكاسيدُ العناصر الفلزية القواعدَ؛ بينما تكوّن أكاسيدُ اللافلزات الأحماضَ.



الشكل 10-3 يمكن إزالة ثالث أكسيد الكبريت - وهو أحد الغازات العادمة الناتجة عن احتراق الفحم الحجري بتفاعله مع أكسيد الماغنسيوم في تفاعل حمض وقاعدة لويس. لاحظ أنه رغم خروج كميات كبيرة من البخار من أبراج التبريد، إلاّ أنّ الذي يمكن رؤيته من المدخنة قليل.

التقويم 3-1

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 الكثير 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 على ذرة هيدروجين أو أكثر بوصفها 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. هل يعد PCl_3 حمض لويس، أم قاعدة لويس، أم غير ذلك؟

3–2

الأهداف

- **تربط** قوة الحمض والقاعدة مع درجة تأينها.
- **تقارن** قوة حمض ضعيف بقوة قاعدته المرافقة.
- **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
Strengths of Acids and Bases

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

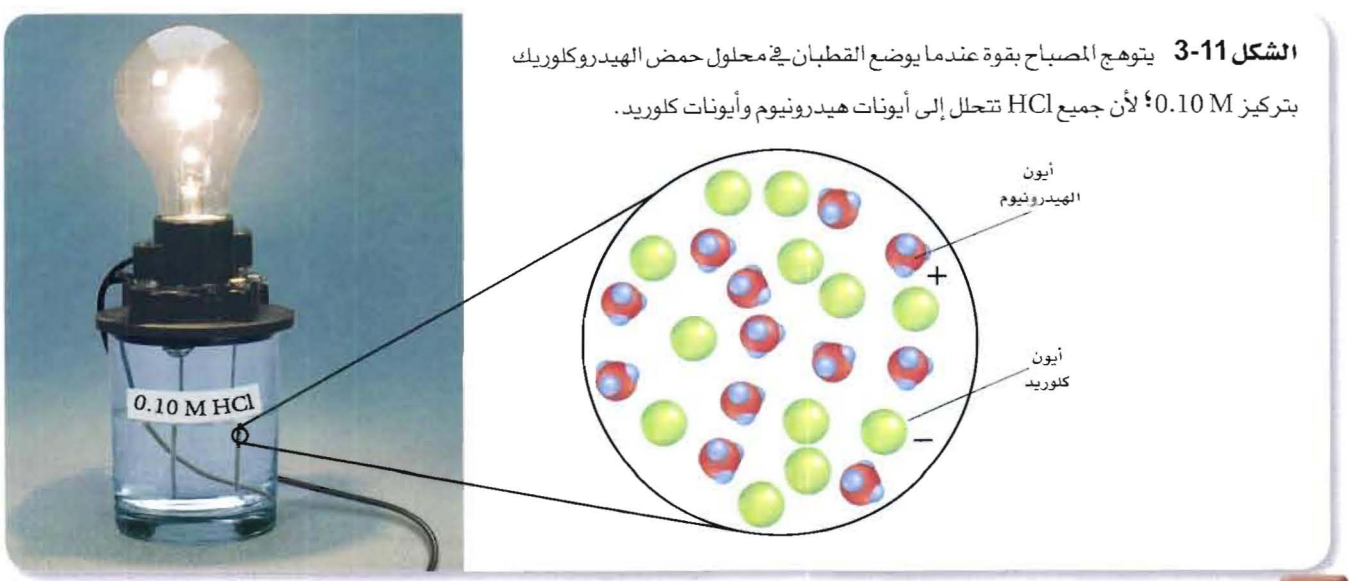
الربط مع الحياة تعتمد التمريرة الناجحة في لعبة كرة القدم على كلٍّ من المرسل والمستقبل، فيُعرف مثلًا مدى استعداد المرسل لتمرير الكرة، ومدى استعداد المستقبل لاستقبال الكرة. وكذلك الحال في تفاعلات الأحماض والقواعد؛ حيث يعتمد سير التفاعل على مدى استعداد الحمض لمنح أيون الهيدروجين، ومدى استعداد القاعدة لاستقباله.

قوة الأحماض Strengths of Acids

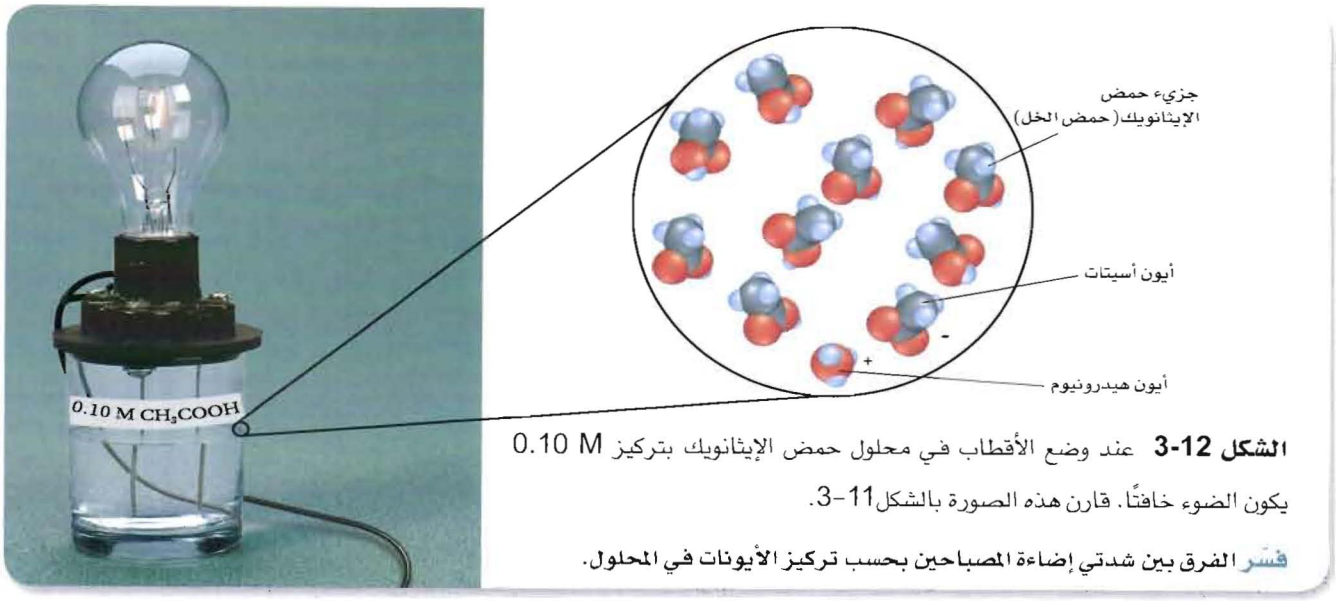
من خواص المحاليل الحمضية والقاعدية أنها توصل الكهرباء. ما المعلومات التي تستطيع معرفتها عن أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد في هذه المحاليل المائية من خلال توصيلها للكهرباء؟

افترض أنك تفحص قدرة التوصيل الكهربائي لمحلول مائي تركيزه 0.10 M من حمض الهيدروكلوريك، وآخر مماثل من حمض الإيثانويك (الخل). يدل توهج المصباح الكهربائي في **الشكل 11–3** على أن المحلول يوصل الكهرباء. ولكن إذا قارنت توهج المصباح المتصل بمحلول HCl في **الشكل 11–3** بتوهج المصباح المتصل بمحلول CH_3COOH في **الشكل 12–3** فلا بد أن تلاحظ فرقًا؛ فتوصيل محلول HCl للكهرباء أفضل من توصيل محلول CH_3COOH. فلمَ هذا الفرق مع أن تركيزي الحمضين متساويان؟

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



الشكل 11-3 يتوهج المصباح بقوة عندما يوضع القطبان في محلول حمض الهيدروكلوريك بتركيز 0.10 M؛ لأن جميع HCl تتحلل إلى أيونات هيدرونيوم وأيونات كلوريد.



الشكل 12-3 عند وضع الأقطاب في محلول حمض الإيثانويك بتركيز 0.10 M يكون الضوء خافتًا. قارن هذه الصورة بالشكل 11-3.

فسّر الفرق بين شدتي إضاءة المصباحين بحسب 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 إذَا كان سبب الإضاءة القوية لمصباح الجهاز الذي يحتوي على HCl هو عدد الأيونات الكبير في المحلول ـ كما في **الشكل 11-3** ـ فإن الإضاءة الخافتة لمصباح الجهاز الذي يحتوي على محلول CH_3COOH، المبين في **الشكل 12-3**، لا بد أن يكون سببها احتواء محلول حمض الإيثانويك (الخل) على عدد أقل من الأيونات. ولأن المحلولين يحتويان على التركيز المولاري نفسه لذا نستنتج 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 3-3** معادلات التأين لبعض الأحماض الضعيفة والأحماض القوية الشائعة.

الجدول 3-3 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	$CH_3COOH \rightleftharpoons H^+ + C_2H_3O_2^-$
البيركلوريك	$HClO_4 \rightarrow H^+ + ClO_4^-$	كبريتيد الهيدروجين	$H_2S \rightleftharpoons H^+ + HS^-$
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 المَرْكبات، 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 أكله 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؟ تأمل تأين أي حمض قوي، كحمض HX على سبيل المثال. وتذكّر أن الحمض الموجود على جهة المواد المتفاعلة من المعادلة ينتج قاعدة مُرافقة على جهة النواتج. وبالمثل فإن القاعدة الموجودة على 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 الأمامي) من قاعدته المرافقة X^- (في التفاعل العكسي). أي أنه يقع اتزان التأين كليًّا تقريبًا إلى اليمين؛ لأن جذب القاعدة H_2O لأيون H^+ أكبر من جذب القاعدة المرافقة X^-. فكر في هذا الأمر وكأنه معركة للقواعد، أيهما لديه 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 الوضع بالنسبة لأي حمض ضعيف HY؟

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

حمض — قاعدة — حمض مرافق — قاعدة مرافقة

يميل اتزان التأين للحمض الضعيف إلى يسار المعادلة؛ لأن القاعدة المرافقة Y^- لديها جذب أكبر لأيون الهيدروجين من القاعدة H_2O. وتعد القاعدة المرافقة Y^- (في التفاعل العكسي) أقوى من القاعدة H_2O (في التفاعل الأمامي)، وتستطيع أن تستولي على أيون H^+. فمثلاً في حالة حمض الإيثانويك (الخل) تعد القاعدة المرافقة (في التفاعل العكسي) أقوى في جذب أيونات الهيدروجين من القاعدة H_2O (في التفاعل الأمامي).

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

لاحظ أن المعادلة تحتوي على سهمي اتزان.

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

ثابت تأين الحمض يساعد نموذج برونستد – لوري على تفسير قوة الأحماض، إلا أنه لا يُعبِّر بطريقة كمية عن قوة الحمض، ولايقارن 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.

فيما يأتي معادلة التأين، وتعبير ثابت الاتزان لحمض الهيدروسيانيك:

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

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

بعد تركيز الماء السائل في مقام المعادلة السابقة 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 ثابت الاتزان لتأين الحمض الضعيف. وكما في تعابير الاتزان جميعها، تدل قيمة K_a على ما إذا كانت المواد المتفاعلة أو النواتج هي المفضلة عند الاتزان. أما للأحماض 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 أصغر؛ وذلك لاحتواء محاليلها على أقل تراكيز أيونات وأعلى تراكيز لجزيئات الحمض غير المتأينة. ويحتوي **الجدول 4-3** على قائمة لقيم K_a ومعادلات التأين لعدة أحماض ضعيفة. لاحظ أن الأحماض المتعددة البروتونات ليست بالضرورة قوية التأين؛ فلكل تأين للحمض المتعدد البروتونات قيمة K_a مختلفة.

مهن في الكيمياء

عامل المشتل الوظيفة الرئيسة لعامل المشتل هي الاهتمام بتكاثر النباتات ونموها. وهذا يشمل 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 حموضة التربة التي تعزز نمو كل نوع من النباتات.

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

الجدول 4-3 ثوابت تأين الأحماض الضعيفة

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

تجربة

قارن بين قوى الأحماض

كيف تستطيع أن تحدد القوى النسبية للمحاليل الحمضية؟

الخطوات



1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. استعمل مخبارًا مدرجًا سعته 10 ml لقياس 3 ml من حمض الإيثانويك المركز. استعمل القطارة لنقل الحمض إلى الفجوة A1 من طبق التفاعلات البلاستيكي ذي الأربع والعشرين فجوة.

تحذير: حمض الإيثانويك (الخل) المركز مادة أكّالة وسامّة عند الاستنشاق؛ لذا تعامل معها بحذر.

3. ضع قطبي جهاز الموصلية الكهربائية في الفجوة A1، وسجّل ملاحظاتك.
4. اغسل المخبار المدرّج والقطارة بالماء، ثم قس 3 ml من حمض الإيثانويك 6.0 M وضعها في الفجوة A2 من طبق التفاعلات. افحص موصلية المحلول وسجلها.
5. أعد الخطوة 4 باستعمال حمض الإيثانويك الذي تركيزه 1.0 M وحمض الإيثانويك 0.10 M والفجوتين A3 و A4 على التوالي.

التحليل

1. اكتب معادلة تأين حمض الإيثانويك في الماء، وتعبير ثابت الاتزان ($K_{eq} = 1.8 \times 10^{-5}$). علامَ تدل قيمة K_{eq} فيما يخص درجة التأين؟
2. **اشرح** هل تتفق نسب التأين المئوية التقريبية الآتية مع نتائجك؟

حمض الإيثانويك (حمض الخل) المركز

حمض الإيثانويك 6.0 M، 0.1%

حمض الإيثانويك 1.0 M، 0.2%

حمض الإيثانويك 1.0 M، 0.4%

حمض الإيثانويك 0.1 M، 1.3%

3. **اقترح** فرضية تشرح ملاحظاتك مستعينًا في ذلك بإجابتك عن السؤال 2.
4. استعمل فرضيتك للتوصل إلى استنتاج يتعلق بضرورة استعمال كميّات كبيرة من الماء للغسل عندما ينسكب حمض على نسيج حي.

قوة القواعد Strengths of Bases

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

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

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

تعد بعض هيدروكسيدات الفلزات ـ ومنها هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ – مصدرًا ضعيفًا لأيونات OH^-؛ لأن ذائبيتها منخفضة. لاحظ أن ثابت حاصل الذائبية 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 قواعد قوية؛ لأن كل ما يذوب منها يتأيَّن كليًّا. ويبين **الجدول 5-3** معادلات تحلل بعض القواعد القوية .

القواعد الضعيفة تتأين **القواعد الضعيفة** جزئيًّا 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^-.

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

قاعدة — حمض — حمض مرافق — قاعدة مرافقة

الجدول 5-3 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 6-3 ثابت التأين لبعض القواعد

القاعدة	معادلة التأين	K_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}
ميثيل أمين	$CH_3NH_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons CH_3NH_3^+{}_{(aq)} + OH^-{}_{(aq)}$	4.3×10^{-4}
الأمونيا	$NH_{3(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons NH_4^+{}_{(aq)} + OH^-{}_{(aq)}$	2.5×10^{-5}
الأنيلين	$C_6H_5NH_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons C_6H_5NH_3^+{}_{(aq)} + OH^-{}_{(aq)}$	4.3×10^{-10}

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

ثابت تأين القواعد تكوِّن القواعد الضعيفة مخاليط اتزان من الجزيئات والأيونات في المحاليل المائية، كما في الأحماض الضعيفة. ويعد 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 بأنه قيمة تعبير ثابت الاتزان لتأين القاعدة. وكلما صغرت قيمة K_b كانت القاعدة أضعف. ويبين **الجدول 6-3** قيم K_b ومعادلات التأين لبعض القواعد الضعيفة.

مسائل تدريبية

14. اكتب معادلات التأين وتعبير ثابت التأين 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 الكبريتات الهيدروجينية HSO_3^-

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

التقويم 3-2

الخلاصة

- تتأين الأحماض والقواعد القوية كليًّا في المحاليل المائية المخففة. بينما تتأين الأحماض والقواعد الضعيفة تأينًا جزئيًّا في المحاليل المائية المخففة.
- تعد قيمة ثابت تأين الحمض أو القاعدة الضعيفة قياسًا لقوة الحمض أو القاعدة.

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 أن قيمة K_b للأنيلين $C_6H_5NH_2$ هي $K_b = 4.3 \times 10^{-10}$؟

20. فسّر البيانات استعمل البيانات في **الجدول 4-3** لترتيب الأحماض السبعة تصاعديًّا بحسب توصيلها للكهرباء.

3–3

الأهداف

- **تشرح** معنى المصطلحات pH وpOH.
- **تربط** بين pH و pOH وثابت التأين للماء.
- **تحسب** قيمة pH وpOH للمحاليل المائية.

مراجعة المفردات

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

مفردات جديدة

ثابت تأين الماء K_w

الرقم الهيدروجيني 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). عندما يرتفع أحد طرفي العارضة يهبط الطرف الآخر. وأحيانًا تتوازن العارضة في الوسط. وتسلك 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 تأينه الذاتي. ويبين **الشكل 13-3** 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 جميعها 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 ثابت تأين الماء.

$[H^+]$ تركيز أيون الهيدروجين.

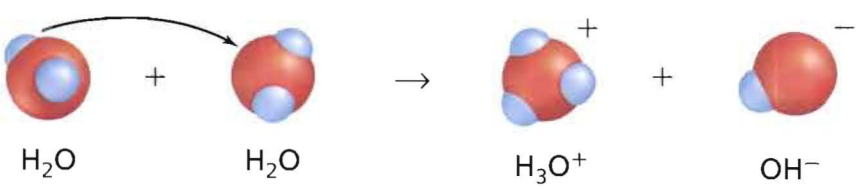
و $[OH^-]$ تركيز أيون الهيدروكسيد.

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

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

والتعبير K_w هو 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 $1.0 \times 10^{-7}M$. لذا تكون قيمة K_w عند درجة الحرارة 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 13-3 يسلك أحد جزيئات الماء في التأين الذاتي للماء سلوك الحمض، ويسلك الجزيء الآخر سلوك القاعدة.

K_w ومبدأ لوتشاتلييه حاصل ضرب $[H^+]$ و $[OH^-]$ يساوي دائمًا 1.0×10^{-14} عند درجة حرارة 298 K. وهذا يعني أنه إذا زاد تركيز أيونات H^+ نقص تركيز أيونات OH^-. وبالمثل فإن الزيادة في تركيز OH^- تسبب نقصانًا في تركيز أيونات H^+. فكّر في هذه التغييرات من خلال مبدأ لوتشاتلييه؛ حيث تسبب إضافة أيونات هيدروجين إضافية إلى ماء في حالة اتزان ضغطًا و إجهادًا على النظام، فيعمل النظام على التقليل من تأثير الضغط؛ حيث تتفاعل أيونات H^+ المضافة مع أيونات OH^- لتكوّن المزيد من جزيئات الماء، وهكذا يقل تركيز OH^-.

يبين **المثال 1-3** كيف تستعمل K_w لحساب تركيز H^+ أو OH^- إذا عرفت تركيز أحدهما.

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

مثال 1-3

احسب قيم $[H^+]$ و $[OH^-]$ باستعمال K_w إذا كان تركيز أيون H^+ في كوب قهوة عند درجة حرارة 298 K هو 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 $[OH^-]$. ولأن $[H^+]$ أكبر من 1.0×10^{-7}، لذا يمكنك أن تتوقع أن يكون $[OH^-]$ 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 .

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

لأن 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 درجة حرارة 298 K. احسب $[H^+]$ أو $[OH^-]$ لكل محلول، ثم حدد ما إذا كان المحلول حمضيًا، أم قاعديًا، أم متعادلاً.

a. $[H^+] = 1.0 \times 10^{-13}$ M **c.** $[OH^-] = 1.0 \times 10^{-3}$ M

b. $[OH^-] = 1.0 \times 10^{-7}$ M **d.** $[H^+] = 4.0 \times 10^{-5}$ M

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

الرقم الهيدروجيني pH والرقم الهيدروكسيدي pOH

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

ما الرقم الهيدروجيني pH؟ يعبِّر 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

يمثّل $[H^+]$ تركيز أيون الهيدروجين

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

قيمة pH لمحلول ما تساوي سالب لوغاريتم تركيز أيون الهيدروجين.

تكون قيم pH للمحاليل الحمضية عند درجة حرارة 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. فالمحلول الذي pH له تساوي 3 له عشرة أضعاف تركيز المحلول الذي pH له تساوي 4. ويبين **الشكل 14-3** تدريج pH وقيمها لبعض المواد الشائعة.

ما الرقم الهيدروكسيدي 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

$[OH^-]$ يمثل تركيز أيون الهيدروكسيد

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

قيمة pOH لمحلول ما تساوي سالب لوغاريتم تركيز أيون الهيدروكسيد.

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

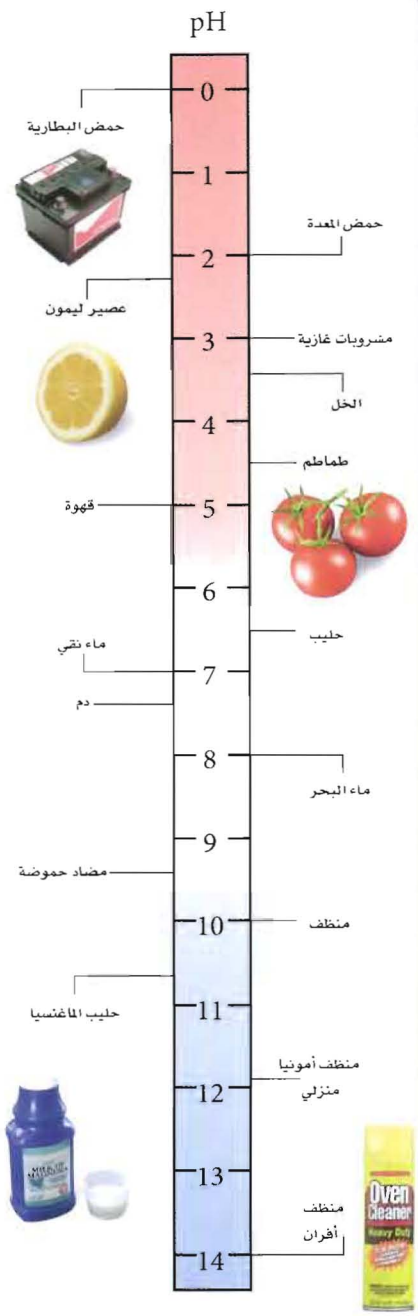
ما العلاقة بين pH و pOH؟

pH تمثل $-\log [H^+]$

pOH تمثل $-\log [OH^-]$

$$pH + pOH = 14.00$$

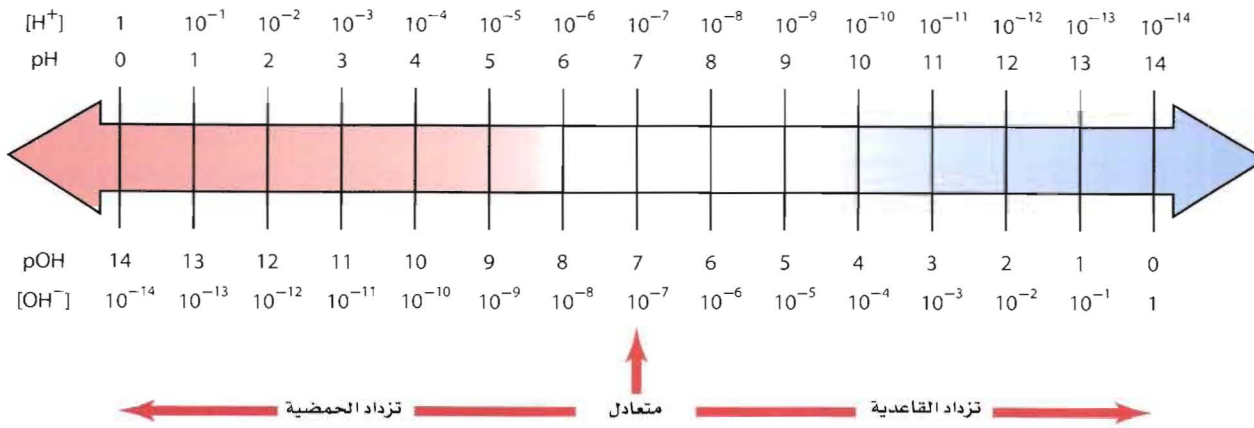
مجموع pH و pOH يساوي 14.00 .



الشكل 14-3 قارن بين قيم pH لهذه المواد المألوفة.

حدّد أيهما يحتوي على أعلى تركيز لأيونات H^+: ماء البحر أم المنظف المنزلي؟ كم مرة يزيد تركيز أحدهما على الآخر؟

يوضح الشكل **3-15** العلاقة بين pH وتركيز H^+، والعلاقة بين pOH وتركيز OH^- عند درجة حرارة 298 K .



الشكل 3-15 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 $[OH^-]$ يساوي 10^{-14}.

مثال 2-3

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

1 تحليل المسألة

في المحلول المتعادل عند درجة حرارة 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

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

عوض $[H^+] = 1.0 \times 10^{-7} M$

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

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

3 تقويم الإجابة

كان متوقعًا أن تكون قيمة pH تساوي 7.

مسائل تدريبية

23. احسب قيمتي pH للمحلولين الآتيين عند درجة حرارة 298 K.

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

24. احسب قيمتي pH للمحلولين الآتيين عند درجة حرارة 298 K.

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

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

مثال 3-3

حساب pOH وpH من $[OH^-]$ يظهر الشكل **16-3** 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 درجة حرارة 298 K.

1 تحليل المسألة

لقد أعطيت تركيز أيون الهيدروكسيد، وعليك حساب قيم pOH و pH . احسب أولاً 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 — $pOH = -\log [OH^-]$

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

pOH للمحلول هو **2.40**.

استعمل العلاقة بين pH و pOH لإيجاد قيمة pH

اكتب المعادلة التي تربط بين pH وpOH — $pH + pOH = 14.00$

أوجد قيمة pH — $pH = 14.00 - pOH$

عوض $pOH = 2.40$ — $pH = 14.00 - 2.40 = 11.60$

قيمة **pH** للمحلول هو **11.60**

3 تقويم الإجابة

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



الشكل 16-3 يستطيع المزارعون أن يزيدوا القيمة الغذائية للمواد النباتية ذات النوعية الرديئة. ومنها القش والتبن وغيرهما من بقايا المزروعات - بوضع تلك المواد في جو من غاز الأمونيا مدة ثلاثة أسابيع.

مسائل تدريبية

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

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

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

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

حساب تركيز الأيونات من قيم pH قد تحتاج أحيانًا إلى حساب تركيز أيونات H^+ و OH^- من خلال معرفة قيمة pH للمحلول. والمثال **4-3** يبين كيفية حسابها.

مثال 4-3

حساب $[H^+]$ و $[OH^-]$ من pH ما قيم $[H^+]$ و $[OH^-]$ في دم الشخص السليم الذي قيمة PH له = 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 $[H^+]$ باستعمال معادلة 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 $pH = 7.40$

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

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

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 الماغنسيا، $pH = 10.50$

d . الأمونيا المنزلية، $pH = 11.90$

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



الشكل 17-3 يرشدك الملصق على دورق الحمض القوي أو القاعدة القوية إلى 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 HCl و $[OH^-]$ في دورق NaOH.

المولارية والرقم الهيدروجيني pH للأحماض القوية تأمل الدورقين اللذين يحتويان على محلولي الحمض والقاعدة في **الشكل 17-3**؛ 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. وفي الأحماض القوية الأحادية البروتون جميعها يكون تركيز الحمض مساويًا لتركيز أيونات H^+ في المحلول. 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 17-3** متأينًا كليًّا.

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

تنتج كل وحدة صيغة من NaOH أيون OH^- واحدًا. وهكذا يساوي تركيز أيونات OH^- 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، والأحماض 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) مطروحًا منه mol/l من HF التي تحللت، والتي تساوي $[H^+]$.

مثال 5-3

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

1 تحليل المسألة

لديك pH محلول حمض الميثانويك، وهذا يمكّنك 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 $[HCOOH]$

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

اكتب قانون ثابت تأين الحمض.

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

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

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

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:

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 K_a للأحماض الآتية:

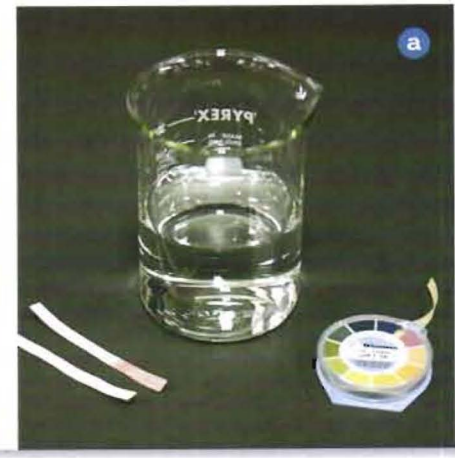
a . محلول حمض البنزويك C_6H_5COOH، تركيزه 0.00330 M و $pOH = 10.70$

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

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

33. تحفيز احسب K_a لمحلول حمض HX الذي تركيزه 0.0091 M، وله pOH يساوي 11.32، ثم استعمل **الجدول 4-3** لتحديد نوع الحمض.





الشكل 3-18 يمكن الحصول على قيمة pH تقريبية 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 والموضح في الصورة b فيستعمل هنا لقياس pH لمطر حمضي؛ إذ يعطي قياسًا أدق من استعمال ورق تباع الشمس.

قياس الرقم الهيدروجيني pH يعد ورق تبّاع الشمس الذي استعملته في التجربة الاستهلالية 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 التجربة الاستهلالية أيضًا نوعًا من الكواشف. وعند 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 18-3**. ويعطي مقياس pH الرقمي الموضح في **الشكل 18-3** قيمة الرقم الهيدروجيني بصورة أكثر دقة؛ فعندما توضع الأقطاب في المحلول يعطي المقياس قراءة مباشرة.

التقويم 3-3

الخلاصة

- ثابت تأين الماء K_w يساوي حاصل ضرب تركيز أيون H^+ وتركيز أيون OH^-
- pH المحلول هو سالب لوغاريتم تركيز أيون الهيدروجين. pOH هو سالب لوغاريتم تركيز أيون الهيدروكسيد. ومجموع pH و pOH يساوي 14.
- قيمة pH للمحلول المتعادل تساوي 7.0، وقيمة pOH في المحلول نفسه تساوي 7.0؛ لأن تركيز أيونات الهيدروجين يساوي تركيز أيونات الهيدروكسيد.

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 اللازمة 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. 0.050 M HNO_3

c. 1.0 M KOH

d. 2.4×10^{-5} M $Mg(OH)_2$

42. تفسير الرسوم ارجع إلى **الشكل 15-3** 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 المحلول المتعادل أكثر قاعدية؟

3–4

الأهداف

- **تكتب** معادلات كيميائية لتفاعلات التعادل.
- **تشرح** كيفية استعمال تفاعلات التعادل في معايرة الأحماض والقواعد.
- **تقارن** بين خواص المحاليل المنظمة والمحاليل غير 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

الملح

المعايرة

المحلول القياسي

نقطة التكافؤ

كاشف الحمض والقاعدة

نقطة النهاية

تميه الأملاح

المحلول المنظم

سعة المحلول المنظم

التعادل Neutralization

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؛ إذ تتساوى وجهتا النظر عندك. وبطريقة مماثلة 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 فم المعدة؟ هل تناولت أحد مضادات الحموضة كالتي تظهر في **الشكل 19-3** لتخفف من حالة عدم الارتياح تلك؟ ما نوع التفاعل الذي يحدث عندما يلامس هيدروكسيد الماغنسيوم $Mg(OH)_2$ -وهو المركب النشط في حليب الماغنسيا- محلولَ 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 ينتج ملحًا وماءً. و**الملح** مركب أيوني يتكون من أيون موجب من قاعدة وأيون سالب من حمض، لذا يكون تفاعل التعادل إحلالاً مزدوجًا.

كتابة معادلات التعادل في التفاعل بين هيدروكسيد الماغنسيوم وحمض الهيدروكلوريك يحل الماغنسيوم محل الهيدروجين في HCl، ويحل الهيدروجين محل الماغنسيوم في $Mg(OH)_2$.

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

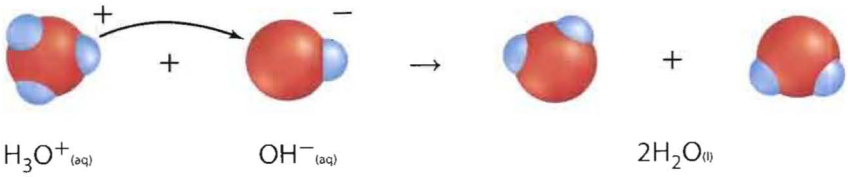
ماء + ملح → حمض + قاعدة

لاحظ أن الأيون الموجب من القاعدة 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 19-3 يمكن لأي جرعة من هذه المواد المضادة للحموضة أن تخفف من أعراض سوء الهضم الحمضي؛ وذلك بتفاعلها مع المحلول الحمضي في المعدة ومعادلته.



الشكل 3-20 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 النهائية لمعادلة حمض قوي مع قاعدة قوية.

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

لاحظ تفاعل التعادل في **الشكل 20-3**.

ماذا قرأت؟ بيّن أن المعادلة الظاهرة في **الشكل 20-3** تمثل معادلة تعادل لأي حمض قوي مع أي قاعدة قوية؛ وذلك بكتابة معادلة أيونية كاملة، ثم معادلة أيونية نهائية لتعادل HNO_3 مع KOH.

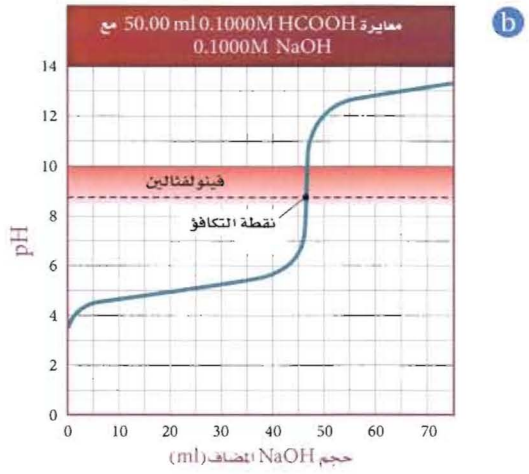
معايرة الأحماض والقواعد تتشابه الحسابات الكيميائية لحساب الكميات في تفاعل التعادل بين حمض وقاعدة مع أي تفاعل آخر يحدث في محلول. ففي تفاعل مضاد الحموضة الآتي، نجد أن $1mol\ Mg(OH)_2$ يعادل $2\ mol\ HCl$.

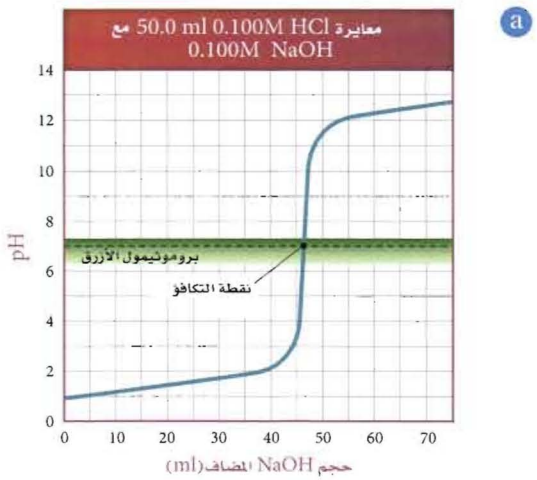
$$Mg(OH)_{2(aq)} + 2HCl_{(aq)} \rightarrow MgCl_{2(aq)} + 2H_2O_{(l)}$$

وتبين الحسابات الكيميائية أساس طريقة المعايرة، والتي 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 فسوف تعايره مع محلول قاعدي تركيزه معلوم. كما يمكنك معايرة قاعدة تركيزها غير معلوم مع حمض تركيزه معلوم. كيف تتم معايرة حمض وقاعدة؟ يبين **الشكل 21-3** نوعًا من المعدات المستخدمة في عملية المعايرة. ويستعمل في هذه الطريقة مقياس pH لمراقبة التغيّر في قيم pH في أثناء عملية المعايرة.



الشكل 21-3 عند معايرة حمض مع قاعدة يستعمل مقياس pH لقياس pH للمحلول الحمضي في الكأس، في حين تتم إضافة محلول قاعدي معروف التركيز بالسّحاحة.





الشكل 22-3 يدل الارتفاع الحاد في قيمة pH للمحلول الحمضي عند معايرة حمض قوي بقاعدة قوية. كما هو مبين في الشكل **a**. 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، نقطة التكافؤ للمعايرة. فيغير 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.

خطوات المعايرة كيف تتم معايرة حمض وقاعدة؟

1. يوضع حجم معين من المحلول الحمضي أو القاعدي غير المعروف التركيز في كأس زجاجية، ثم تغمس أقطاب مقياس 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 القياسي 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 نقطة يتساوى عندها عدد مولات H^+ من الحمض مع عدد مولات OH^- من القاعدة.

يبين **الشكل 22-3a** 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 تدريجيًا. 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 22-3b** أن نقطة التكافؤ في معايرة حمض الميثانويك ـ وهو حمض ضعيف ـ بهيدروكسيد الصوديوم ـ وهي قاعدة قوية ـ تقع بين pH 8 و 9.

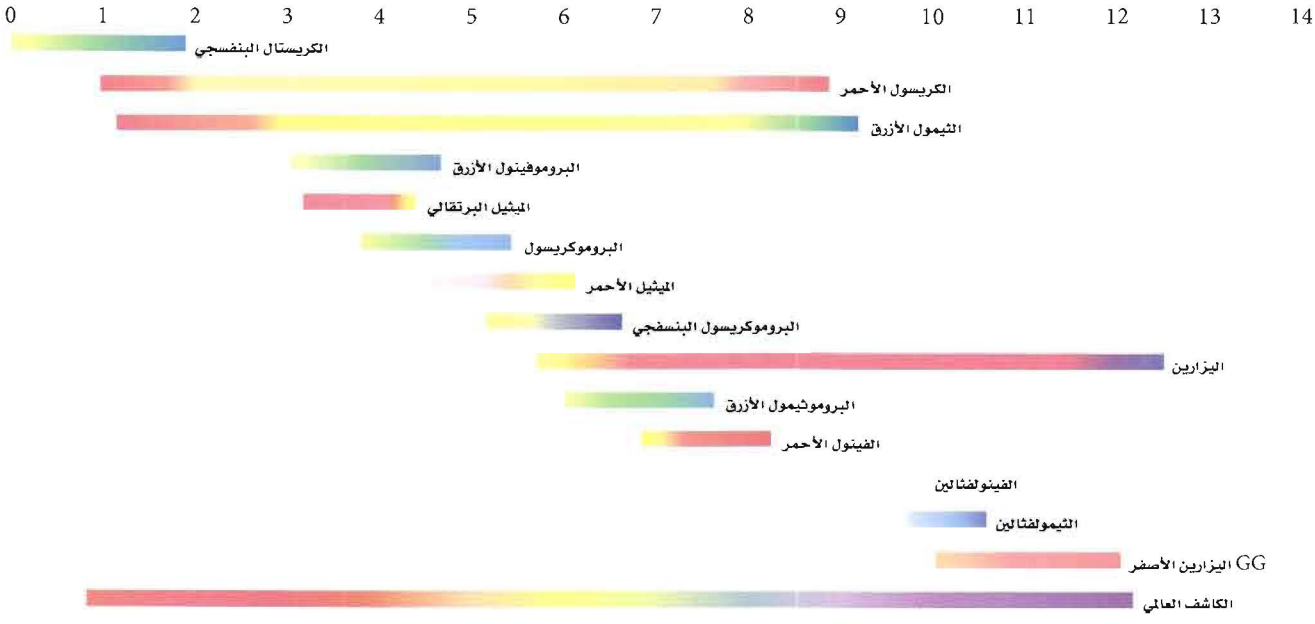
اختبار الرسم البياني **حدد** اختلافين بين الرسمين البيانيين في **الشكل 22-3**.

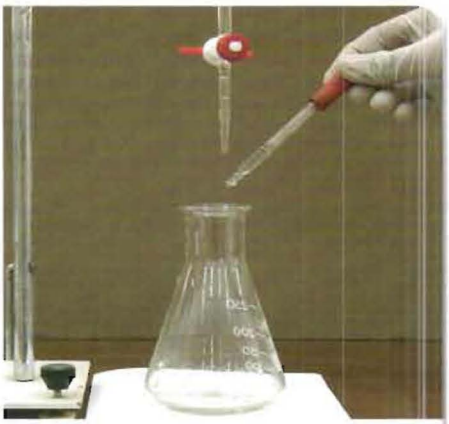


الشكل 23-3 يصبح لون الشاي الأحمر فاتحًا عند إضافة عصير الليمون إليه؛ لأنه يحتوي على مادة كيميائية تعد من الكواشف. ومعظم الكواشف جزيئات كبيرة تعمل بوصفها أحماضًا ضعيفة. ويعود السبب في تغير ألوان الكواشف إلى اختلافات يسيرة في أنماط الروابط عندما يتأين جزيء الكاشف أو لا يتأين.

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 23-3**؛ 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 24-3** 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 22-3**.

الشكل 24-3 إن عملية اختيار الكاشف الصحيح مهمة جدًّا؛ إذ يجب أن يغير الكاشف لونه عند نقطة التكافؤ التي لا تكون دائمًا عند pH = 7.





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



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



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.

الكواشف ونقطة نهاية المعايرة يعد الكثير من الكواشف المستعملة في المعايرة أحماضًا ضعيفة، لكل منها قيمة pH خاصة به، أو مدى pH يتغير لونه بعده. 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 25-3** طريقة معايرة محلول مجهول التركيز من حمض الميثانويك HCOOH مع محلول NaOH تركيزه 0.1000 M.

الشكل 25-3 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 الرئيس 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 المعياري 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 1:2 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. تمثل M_A مولارية الحمض، بينما تمثل V_A حجم الحمض L.

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

طبق هذه الاستراتيجية عند دراستك للمثال 6-3 في الصفحة الآتية.

مثال 6-3

حساب المولارية 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 المستعمله 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

حوّل حجم القاعدة من ml إلى L.

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

لحساب عدد مولات NaOH.

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

$$Mol\ NaOH = M_B V_B$$

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

$$Mol\ NaOH = (0.1000\ mol/l)(0.01828\ L)$$

لحساب مولات HCCOH.

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

طبق العلاقة المولية بين NaOH و HCOOH

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

لحساب مولارية HCOOH

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

استعمل العلاقة بين مولات الحمض، ومولارية 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 $V_A = 0.02500\ L$.

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

3 تقويم الإجابة

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

مسائل تدريبية

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

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

45. تحفيز كم ml من NaOH الذي تركيزه 0.500 M يمكن أن يتعادل مع 25.00 ml من H_3PO_4 تركيزه 0.100 M؟

تميّه الأملاح Salt Hydrolysis

أضيفت بضع قطرات من محلول كاشف البروموثيمول الأزرق ـ انظر **الشكل 26-3** 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 قاعدي وبعضها الآخر حمضي؟ 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 تمنح الأيونات الموجبة من الملح المتفكك أيونات الهيدروجين للماء.



الشكل 26-3 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، أما أيون $NH_4{}^+$ فهو 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.

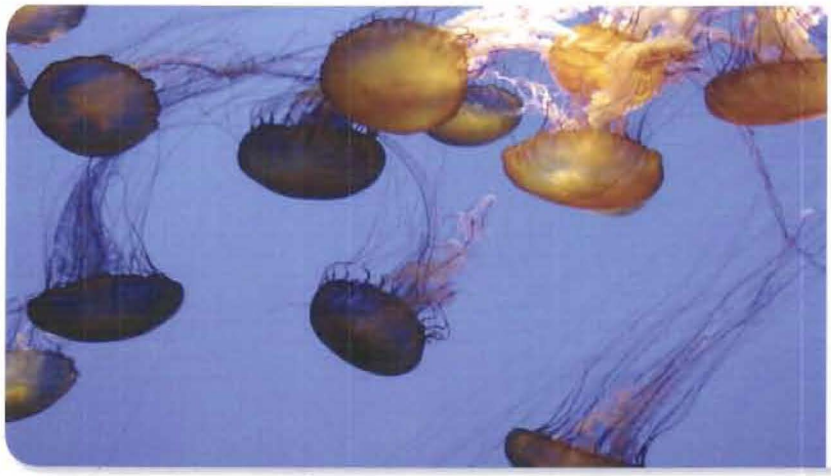
الأملاح التي تنتج محاليل متعادلة ينتج ملح نترات الصوديوم $NaNO_3$ عن حمض قوي HNO_3 وقاعدة قوية NaOH. لذلك قد يحدث تميّه بسيط جدًّا للملح، وقد لا يحدث تميّه أبدًا؛ لأن Na^+ و NO_3^- لا يتفاعلان مع الماء، لذا يكون محلول نترات الصوديوم متعادلاً.

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



الشكل 27-3 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 27-3** أن تبقى قيم pH لمياه أحواض الأحياء المائية ضمن مدى صغير. وكذلك الأمر لجسم الإنسان؛ فمن المهم أيضًا بقاء قيمة pH ثابتة؛ حيث يجب أن يبقى pH للدم في الجسم 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 من خلال 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 فقد 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.

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 يساوي تركيز الحمض تركيز القاعدة المرافقة له، أو تكاد تكون متساوية. تأمل النظام المنظم المكون من $H_2PO_4^-$ و HPO_4^{2-} الناتج عن خلط كميتين مولاريتين متساويتين من NaH_2PO_4 و Na_2HPO_4.

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

ما قيمة pH لهذا المحلول؟

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

لأن المحلول مكون من كميتين مولاريتين متساويتين من NaH_2PO_4 و Na_2HPO_4، فإن $[HPO_4^{2-}]$ يساوي $[H_2PO^{4-}]$.

لذا فإن التركيزين يختزلان في تعبير ثابت تأين الحمض.

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

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

وهكذا، عندما توجد كميات مولارية متساوية في نظام HPO_4^{2-} / $H_2PO_4^-$ المنظم فإن النظام يستطيع أن يحافظ على pH قريبًا من 7.21. لاحظ أن $pH = -\log K_a$. يحتوي **الجدول 7-3** على قائمة من أنظمة 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 مولاريتين متساويتين من حمض الميثانويك (الفورميك) وميثانوات (فورمات) الصوديوم.

الاستعمال الشائع: شيء يعمل حاجزًا واقيًا.

يعمل الجدار البحري العالي مصدًّا (Buffer) لحماية المنازل المبنية على الشاطئ من العواصف البحرية.

الجدول 7-3 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 التفسيرات 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 المنظمة 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، تعدِّل 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 تغيّر سرعة طرد CO_2 من الجسم عن طريق التنفس، وتستطيع الكليتان أن تغير سرعة إزالة أيونات HCO_3^-.

التفكير الناقد

1. **حدّد** كم 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 24 ساعة.

b. شخص يأخذ كمية كبيرة من $NaHCO_3$ لوقاية حرقة فم المعدة.

التقويم 3-4

الخلاصة

- يتفاعل حمض مع قاعدة لتكوين ملح وماء في تفاعل التعادل.
- تمثل المعادلة الأيونية النهائية الآتية تعادل حمض قوي مع قاعدة قوية:

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

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

48. الفكرة الرئيسة **فسّر** لماذا تكون المعادلة الأيونية النهائية 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 احتاج إلى 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 قيمة pH له 9.4؟ وما نسبتها؟ استعمل الجدول 7-3.
53. **صمّم تجربة** صف كيف تصمم معايرة وتجريها باستعمال HNO_3 تركيزه 0.250 M لتحديد مولارية محلول هيدروكسيد السيزيوم.

تفاعلات الأحماض والقواعد وعملية الخبز

هل رأيت تمثيلًا 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 التفاعل الكيميائي بين الحمض والقاعدة ـ انظر **الشكل 1** ـ هو من أسباب انتفاخ الخبز والعجنات. وتسمى المادة التي تؤدي إلى انتفاخ العجين عند خبزه عامل التخمير. والمادتان الكيميائيتان الرئيستان في التخمير 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 وغيرها.



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، وجب خبز العجين بسرعة وفورًا قبل أن تتمكن الفقاعات من الاختفاء. 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 فإن مسحوق الخبز يستعمل 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 تطلّبت وصفة استعمال الطحين والملح والسكر والنخالة والحليب والبيض والسمن أو الزيت النباتي، فهل تستعمل صودا الخبز أو مسحوق الخبز؟ فسّر إجابتك.

www.obeikaneducation.com

مختبر الكيمياء

معايرة القاعدة

الخلفية المعايرة إجراء يمكن به تحديد مولارية القاعدة.

سؤال كيف يمكنك تحديد مولارية محلول قاعدي؟

المواد والأدوات اللازمة

سحاحة سعتها 50 ml	هيدروكسيد الصوديوم NaOH
محلول فينولفثالين	ميزان حساس
قارورة غسل	حامل حلقة
فثالات البوتاسيوم الهيدروجينية $KHC_8H_4O_4$	
حامل سحاحة	دورق مخروطي سعته 250 ml
كأس زجاجية سعتها 250 ml	دورق مخروطي سعته 500 ml
ماء مقطر	ملعقة

إجراءات السلامة



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

الخطوات

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. ضع NaOH g 4 تقريبًا في الدورق المخروطي 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)، وضعها في الدورق المخروطي الذي 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 السحّاحة مرّر كمية صغيرة من القاعدة إلى وعاء المهملات. لاحظ حجم المحلول في 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 محلول القاعدة قطرة قطرة.
8. تكون نقطة النهاية حيث يتغير لون الحمض إلى اللون الوردي بعد إضافة قطرة قاعدة واحدة؛ ويبقى اللون الوردي بعدها 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 المستخدمة؟
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.

استقصاء موسع

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

الفصل 3 دليل مراجعة الفصل

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

3-1 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

الأفكار الرئيسة

- 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.

3-2 قوة الأحماض والقواعد

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

المفردات

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

الأفكار الرئيسة

- تتأين الأحماض والقواعد القوية كليًّا في المحاليل المائية المخففة، بينما تتأين الأحماض والقواعد الضعيفة جزئيًّا في المحاليل المائية المخففة.
- تعد قيمة ثابت تأين الحمض أو القاعدة الضعيفة قياسًا لقوة الحمض أو القاعدة.

3-3 أيونات الهيدروجين والرقم الهيدروجيني

الفكرة الرئيسة يعبِّر 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

الأفكار الرئيسة

- ثابت تأين الماء K_w يساوي حاصل ضرب تركيز أيون H^+ وتركيز 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.

3-4 التعادل

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

المفردات

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

الأفكار الرئيسة

- يتفاعل حمض مع قاعدة لتكوين ملح وماء في تفاعل التعادل.
- تمثل المعادلة الأيونية النهائية الآتية تعادل حمض قوي مع قاعدة قوية:

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

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

3-1

إتقان المفاهيم

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

55. اكتب معادلة كيميائية موزونة تمثل التأين الذاتي للماء.

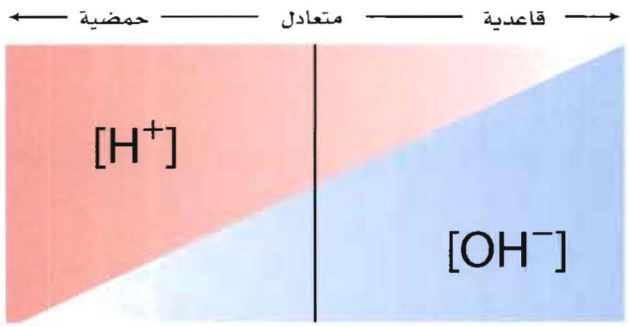
56. صنّف كلًّا مما يأتي إلى حمض أرهينيوس أو قاعدة أرهينيوس:

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 28-3**.



الشكل 28-3

59. اشرح الفرق بين الحمض الأحادي البروتون، والحمض الثنائي البروتون، والحمض الثلاثي البروتون، وأعط مثالًا 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 الماغنسيوم الصلب عند وضعه في الماء.

b. تفاعل فلز الماغنسيوم مع حمض الهيدروبروميك.

c. تأين حمض البروبانويك CH_3CH_2COOH في الماء.

d. التأين الثاني لحمض الكبريتيك في الماء.

3-2

إتقان المفاهيم

64. اشرح الفرق بين حمض قوي وحمض ضعيف.

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



الشكل 29-3

66. أيّ الكأسين في **الشكل 29-3** 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 يستعمل محلول الأمونيا منظفًا آمنا 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 $C_2H_5NH_2$.

72. تتفاعل القاعدة الضعيفة ZaH_2، مع الماء لتعطي محلولاً تركيز أيون OH^- فيه 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؟

3-3

إتقان المفاهيم

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

75. قيمة pH للمحلول A تساوي 2.0 وللمحلول B تساوي 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.

إتقان حل المسائل

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

79. ما قيمة pH و pOH للمحلول المذكور في السؤال 78؟

80. 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.

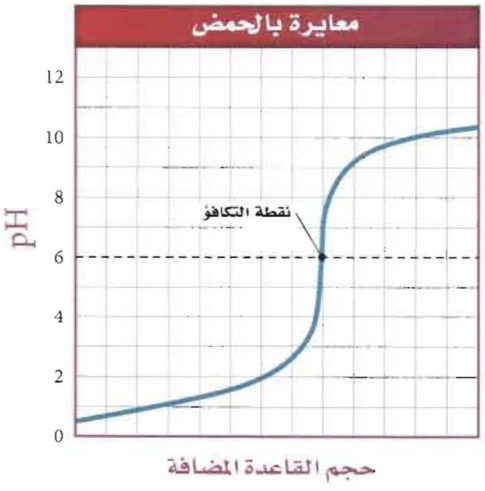
81. منظف الفلزات يستعمل حمض الكروميك منظفًا صناعيًّا للفلزات. احسب قيمة K_a للتأين الثاني لحمض الكروميك H_2CrO_4 إذا كان لديك محلول تركيزه 0.040 M من كرومات الصوديوم الهيدروجينية قيمة pH لها 3.946؟

3-4

إتقان المفاهيم

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

83. ما كواشف الأحماض والقواعد المبينة في **الشكل 24-3**، والتي من المناسب استعمالها في تفاعل التعادل المبين منحنى معايرته في **الشكل 30-3**؟ ولماذا؟



الشكل 30-3

تقويم الفصل 3

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

85. ماذا يحدث عند إضافة حمض إلى المحلول المنظم HF / F^-؟

86. 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 24-3**.

87. 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

88. اكتب معادلات كيميائية ومعادلات أيونية كليّة لتميه كل من الملحين الآتيين في الماء:

a. كربونات الصوديوم **b.** بروميد الأمونيوم

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

90. 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

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

92. كم ml من محلول HCl الذي تركيزه 0.225 M يُحتاج إليه لمعايرة 6.00 g من KOH؟

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

94. أي مما يأتي حمض متعدد البروتونات؟ اكتب معادلات تأين متتالية للأحماض المتعددة البروتونات في الماء.

a. H_3BO_3

b. CH_3COOH

c. HNO_3

d. H_2SeO_3

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

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

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

98. جهاز pH في **الشكل 31-3** مغموس في محلول حمض أحادي البروتون، HA، تركيزه 0.200 M عند درجة حرارة 303 K. ما قيمة K_a للحمض عند درجة حرارة 303 K؟



الشكل 31-3

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

التفكير الناقد

100. **انقد** العبارة الآتية: " يجب اعتبار المادة التي تحتوي صيغتها الكيميائية على مجموعة الهيدروكسيل قاعدةً".

101. **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 نموذج أرهينيوس؟ هل يمكن ألا يصنّف حمض لويس بوصفه حمض أرهينيوس أو برونستد – لوري؟ اشرح ذلك مع ذكر أمثلة.

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

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

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

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

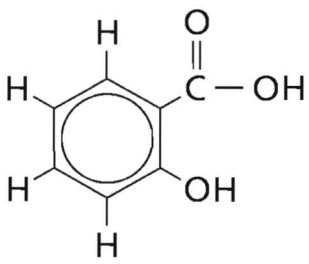
c. $SO_3 + H_2O \rightleftharpoons H_2SO_4$

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

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

106. **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 هذه، وقارن بينها. هل يصح القول إن pH للماء النقي دائمًا 7.0؟ اشرح إجابتك.

107. **توقع** يستعمل حمض الساليسليك ـ المبين في **الشكل 32-3** في تحضير الأسبرين. بناءً على معرفتك بالهيدروجين القابل للتأين في جزيء حمض الخل CH_3COOH، توقع أي ذرات الهيدروجين في حمض الساليسليك قد تكون قابلة للتأين؟



الشكل 32-3

مسألة تحفيز

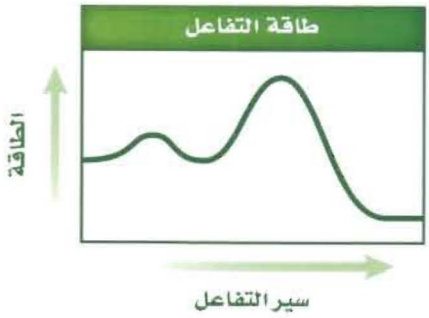
108. لديك 20.0 ml من محلول حمض ضعيف، HX ، $K_a = 2.14 \times 10^{-6}$. وقد وجد أن pH للمحلول 3.800. ما كمية الماء المقطر التي يجب إضافتها إلى المحلول لرفع pH إلى 4.000؟

مراجعة تراكمية

109. عند حرق 5.00 g من مركب في مسعر، ارتفعت درجة حرارة 2.00 kg من الماء من 24.5 °C إلى 240.5 °C. ما كمية الحرارة التي تنطلق عند حرق 1.00 mol من المركب (الكتلة المولية = 46.1 g/mol)؟

110. يبين **الشكل 33-3** تغير الطاقة في أثناء سير تفاعل.

هل التفاعل طارد أم ماص للطاقة؟



الشكل 33-3

111. يتفاعل الهيدروجين والفلور لتكوين HF حسب معادلة الاتزان الآتية:

$$H_{2(g)} + F_{2(g)} \rightleftharpoons 2HF \quad \Delta H = -538KJ$$

هل تؤدي زيادة درجة الحرارة إلى زيادة كمية المادة الناتجة؟ اشرح ذلك.

تقويم إضافي

الكتابة في الكيمياء

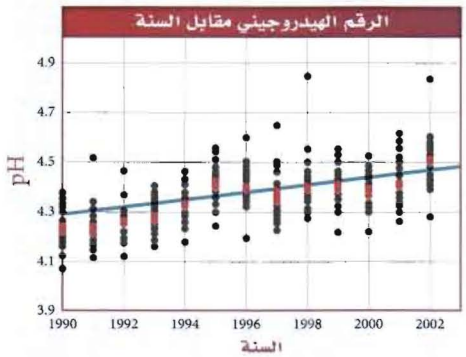
112. **نماذج الأحماض والقواعد** تخيل أنك الكيميائي برونستد في عام 1923م، وقد قمت بصياغة نظرية جديدة عن الأحماض والقواعد. اكتب رسالة إلى العالم السويدي أرهينيوس، تناقش فيها الفروق بين نظريتك ونظريته، وتشير فيها إلى مزايا نظريتك.

113. **الأحماض الأمينية** هناك عشرون حمضًا أمينيًّا تتحد لتكوين البروتينات في أجهزة المخلوقات الحية. اكتب بحثًا عن تراكيب وقيم Ka لخمسة أحماض أمينية وقوّمها. قارن بين قوى هذه الأحماض وقوى الأحماض في **الجدول 4-3**.

أسئلة المستندات

ماء المطر يبين **الشكل 34-3** 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 34-3

114. كيف يتغير متوسط pH للسنوات 2003م - 1990م؟

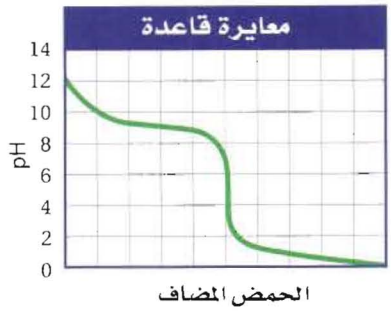
115. احسب $[H^+]$ لأدنى وأعلى pH مسجلة على الرسم البياني. وكم مرة تزيد حمضية ماء المطر الأكثر حمضية على حمضية ماء المطر الأقل حمضية؟

116. ما قيمة pH في عام 2003م؟ وما مقدار التغير في متوسط pH بين عامي 1990 و2003م؟

اختبار 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. الثايمول الأزرق الذي مداه 8.0 – 9.6

3. 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

4. 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

استعن بالجدول أدناه للإجابة عن الأسئلة 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. HX
d. HD

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 السيانوإيثانويك 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 الأمامي عالية عند الاتزان.
d. سرعة التفاعل العكسي عالية عند الاتزان.

أسئلة الإجابات القصيرة

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

المادة	pH
الأمونيا المنزلية	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 تركيز $[H^+]$ فيها 4.0×10^{-10} M
d. أي مادة قيمة pOH لها 11.0
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 Ka لحمض البنزويك يساوي $6.4 \times 10-5$، فما قيمة pH للمحلول؟

الفصل 4

تفاعلات الأكسدة والاختزال Redox Reactions

الفكرة العامة تعدُّ تفاعلات الأكسدة والاختزال من العمليات الكيميائية الشائعة في الطبيعة وفي الصناعة، وتتضمّن انتقالاً للإلكترونات.

4-1 الأكسدة والاختزال

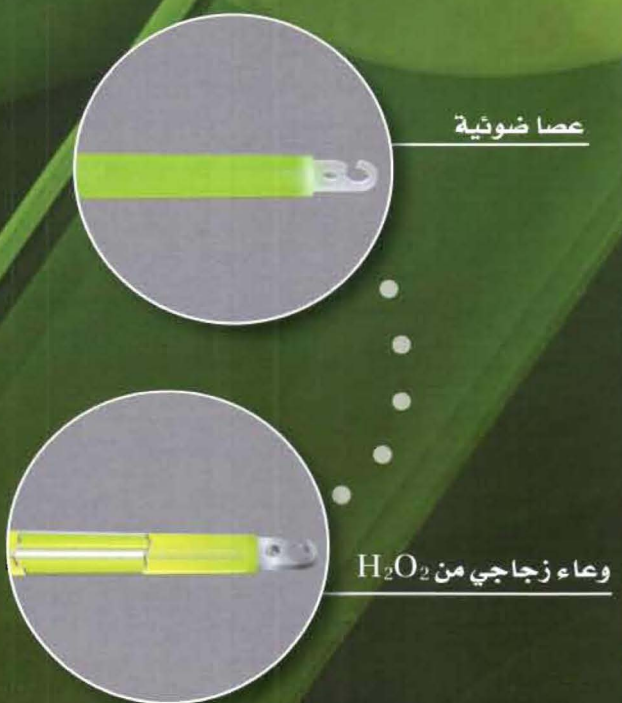
الفكرة الرئيسة يعدُّ تفاعلا الأكسدة والاختزال تفاعلين متكاملين؛ إذ تتأكسد ذرة وتُختزل الأخرى.

4-2 وزن معادلات الأكسدة والاختزال

الفكرة الرئيسة تصبح معادلات الأكسدة والاختزال موزونةً عندما تكون الزيادة الكلية في أعداد التأكسد مساويةً للانخفاض الكلي في أعداد التأكسد للذرات الداخلة في التفاعل.

حقائق كيميائية

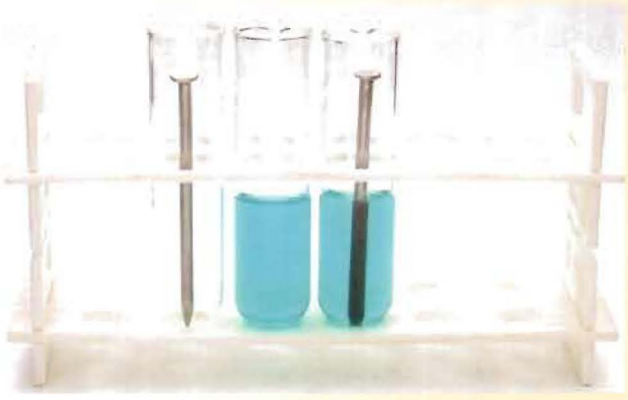
- يمكن زيادة لمعان العصا الضوئية النشطة من خلال تسخينها، لكن البريق لن يستمرَّ طويلًا.
- ليس بالضرورة أن يكون الضوء الناتج من تفاعلات الأكسدة والاختزال مصحوبًا بالحرارة.
- يستعمل نحو 90% تقريبًا من الأحياء البحرية شكلًا من أشكال الضوء الحيوي الذي يتولّد من تفاعلات الأكسدة والاختزال.



تجربة استهلالية

ماذا يحدث عندما يتفاعل الحديد وكبريتات النحاس II ؟

ينتج الصدأ عندما يتفاعل الحديد والأكسجين، ويتفاعل الحديد أيضًا مع مواد أخرى غير الأكسجين.



خطوات العمل

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. استعمل قطعةً من **الصوف** لتلميع **مسمار الحديد**.
3. أضف 3 ml تقريبًا من محلول **1.0 M** من **كبريتات النحاس II $CuSO_4$** إلى **أنبوب اختبار**، وضع المسمار الذي جرى تلميعه في محلول $CuSO_4$، ثم ضع أنبوب الاختبار في **حامل الأنابيب** وراقبه مدة 10دقائق ، ثم سجّل ملاحظاتك.

التحليل

1. **فسّر** ما يحدث للون محلول كبريتات النحاس.
2. **حدّد** المادة التي التصقت بالمسمار.
3. **اكتب** المعادلة الكيميائية الموزونة لهذا التفاعل.

استقصاء ماذا يمكن أن يحدث للنحاس لو وضع في محلول كبريتات الحديد؟ صمّم تجربةً لاختبار فرضيتك.

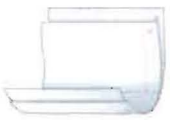
المطويات
منظمات الأفكار

وزن معادلات الأكسدة والاختزال صمّم المطوية الآتية لتساعدك على تلخيص المعلومات حول الطرائق المختلفة في وزن معادلات الأكسدة والاختزال.

الخطوة 1 اجمع طبقتين من الورق، واجعل طرف الورقة العلوية على بعد 2 cm من حافة الورقة السفلية كما في الشكل.



الخطوة 2 اثنِ الحواف السفلية باتجاهَ الأعلى لتكوّن أربعة تفرعات متساوية. ثم ثبّت الثنية بالضغط عليها لتحافظ على التفرع جيدًا في مكانه كما في الشكل المجاور.



الخطوة 3 ثبّت الثنيات وعنونها على النحو الآتي: وزن معادلات الأكسدة والاختزال. طريقة عدد التأكسد. معادلة الأكسدة والاختزال الأيونية الكلية. أنصاف التفاعل.



المطويات **استعمل المطوية في القسم 2–4**، لخّص ما تقرأه حول موازنة معادلات الأكسدة والاختزال، واعرض مثالاً لكل طريقة.

الكيمياء عبر المواقع الإلكترونية

لمراجعة محتوى هذا الفصل ونشاطاته ارجع إلى الموقع:

www.obeikaneducation.com

4–1

الأهداف

- **تصف** عمليات الأكسدة والاختزال.
- **تحدّد** العوامل المؤكسدة والمختزلة.
- **تحدّد** عدد التأكسد لعنصر في مركب.
- **تفسّر** تفاعلات الأكسدة والاختزال من حيث التغير في حالة التأكسد.

مراجعة المفردات

الأيون المتفرج الأيون غير المشترك في التفاعل ولا يظهر في المعادلة الأيونية.

المفردات الجديدة

تفاعل الأكسدة والاختزال

الأكسدة

الاختزال

العامل المؤكسد

العامل المختزل

الأكسدة والاختزال
Oxidation and Reduction

الفكرة الرئيسة **يُعدّ تفاعلا الأكسدة والاختزال تفاعلين متكاملين؛ إذ تتأكسد ذرة وتُختزل أخرى.**

الربط مع الحياة ينتج ضوء العصا الضوئية من تفاعل كيميائي، فعندما تكسر الكبسولة الزجاجية داخل الإطار البلاستيكي يحدث تفاعل بين مادتين، وتنتقل الإلكترونات، فتتحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة ضوئية.

انتقال الإلكترون وتفاعل الأكسدة والاختزال
Electron Transfer and Redox Reactions

يمكن تصنيف التفاعلات الكيميائية في العادة إلى خمسة أنواع من التفاعلات هي: التكوين، والتحلّل، والاحتراق، والإحلال البسيط، والإحلال المزدوج. ومن خواص تفاعلات الاحتراق والإحلال البسيط أنهما يتضمنان انتقال الإلكترونات من ذرة إلى أخرى كما هو الحال في الكثير من تفاعلات التكوين والتحلل. ففي تفاعل التكوين على سبيل المثال، يتفاعل الصوديوم Na، والكلور Cl_2 لتكوين المركب الأيوني NaCl، وينتقل إلكترونان من ذرتي صوديوم إلى جزيء الكلور Cl_2 ويتكون أيونان من الكلور، وتكون المعادلة الكيميائية لهذا التفاعل على النحو الآتي:

المعادلة الكيميائية الكاملة: $2Na_{(s)} + Cl_{2(g)} \rightarrow 2NaCl_{(s)}$

والمعادلة الأيونية الكلية: $2Na_{(s)} + Cl_{2(g)} \rightarrow 2Na^{+}{}_{(aq)} + 2Cl^{-}{}_{(aq)}$

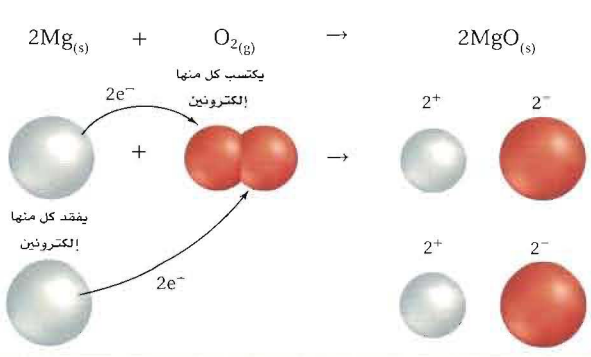
أما تفاعل الماغنيسيوم في الهواء الذي يتضمن انتقال الإلكترونات، فهو مثال على تفاعل الاحتراق.

المعادلة الكيميائية الكاملة: $2Mg_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow 2MgO_{(s)}$

المعادلة الأيونية الكلية (على صورة بلورات) $2Mg_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow 2Mg^{2+}{}_{(aq)} + 2O^{2-}{}_{(aq)}$

عندما يتفاعل الماغنيسيوم مع الأكسجين، كما في **الشكل 1-4**، فإنّ كلّ ذرة ماغنيسيوم تعطي إلكترونين إلى كل ذرة أكسجين، وتتحول ذرة الماغنيسيوم الى أيون Mg^{2+}، وتتحول

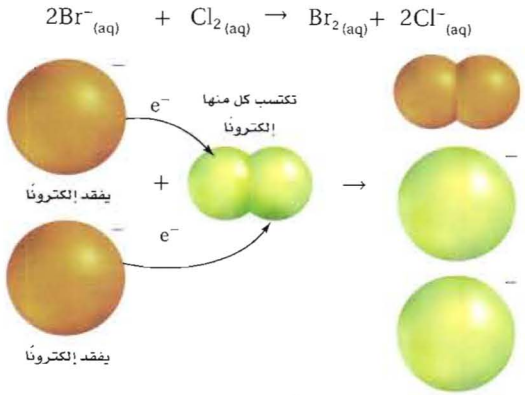




الشكل 1-4 يتضمن تفاعل الماغنيسيوم مع الأكسجين انتقال الإلكترونات من الماغنيسيوم إلى الأكسجين؛ لذا فإن هذا التفاعل هو تفاعل أكسدة واختزال.

صنّف التفاعل بين الماغنيسيوم والأكسجين.





الشكل 2-4 التفاعل بين محلول أيونات البروميد وغاز الكلور هو تفاعل أكسدة، هنا تنتقل الإلكترونات من أيونات البروم إلى الكلور.

ذرة الأكسجين الى الأيون O^{2-}، ويُسمى التفاعل الذي انتقلت فيه الإلكترونات من إحدى الذرات إلى ذرة أخرى **تفاعل الأكسدة والاختزال**.

لنأخذ تفاعل الإحلال البسيط بين المحلول المائي للكلور وأيونات البروميد لتكوين محلول مائي من بروميد البوتاسيوم الموضح في **الشكل 2-4**.

المعادلة الكيميائية الكاملة: $2KBr_{(aq)} + Cl_{2(aq)} \rightarrow 2KCl_{(aq)} + Br_{2(aq)}$

المعادلة الكلية: $2Br^-_{(aq)} + Cl_{2(aq)} \rightarrow Br_{2(aq)} + 2Cl^-_{(aq)}$

يُلاحظ أن الكلور يكتسب الإلكترونات من أيونات البروميد ليكوّن أيونات الكلوريد، وعندما يفقد أيونا البروميد الإلكترونات، تتحد ذرتا البروم برابطة تساهمية لتكوين جزيء Br_2. إن تكوين الرابطة التساهمية بمشاركة الإلكترونات هو أيضًا تفاعل أكسدة واختزال.

الأكسدة والاختزال أطلقت كلمة الأكسدة فيما مضى على التفاعلات التي تتضمن اتحاد المادة بالأكسجين، أما الآن فتعرّف عملية **الأكسدة** على أنها فقدان ذرة المادة للإلكترونات. تفحص مرةً أخرى معادلة تفاعل الصوديوم والكلور الكلية، تلاحظ أن الصوديوم قد تأكسد لأنه فقد إلكترونًا.

التأكسد: $Na_{(s)} \rightarrow Na^+_{(aq)} + e^-$

وحتى يحدث تفاعل الأكسدة، يجب أن تُكتسب الإلكترونات التي تفقدها المادة المتأكسدة من قبل ذرات أو أيونات مادة أخرى، وبعبارة أخرى يجب أن تكون هناك عملية مرافقة تتضمن اكتساب الإلكترونات المفقودة. أما عملية **الاختزال** فتعرّف على أنها اكتساب ذرات المادة للإلكترونات. وبالرجوع إلى مثال كلوريد الصوديوم فإن تفاعل الاختزال المرافق لتفاعل الأكسدة هو اختزال الكلور.

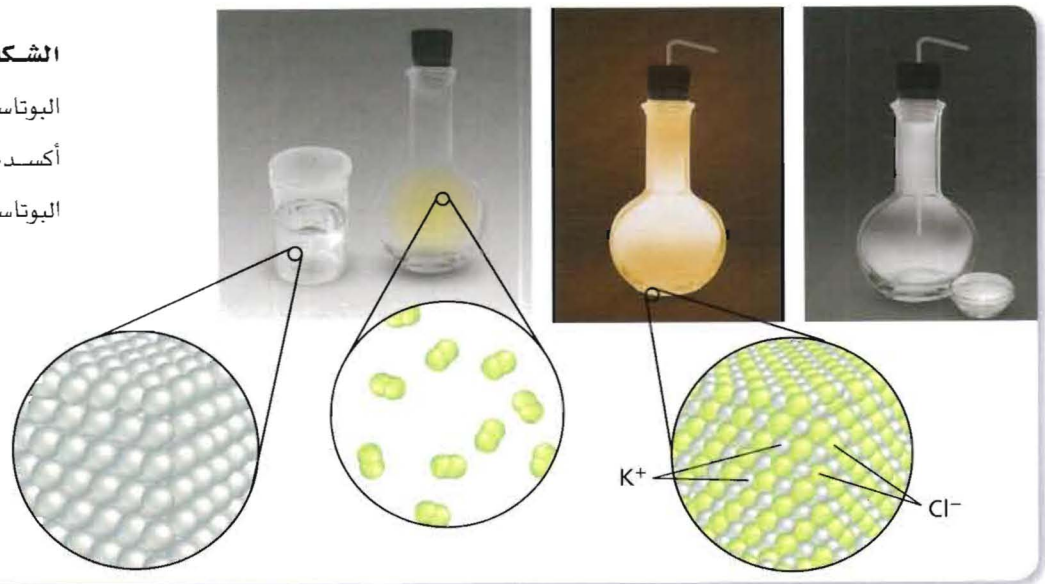
الاختزال: $Cl_{2(g)} + 2e^- \rightarrow 2Cl^-_{(aq)}$

إذن فالأكسدة والاختزال عمليتان مترافقتان متكاملتان؛ فلا يحدث تفاعل الأكسدة إلا إذا حدث تفاعل اختزال، ومن المهم جدًّا التمييز بين تفاعلي الأكسدة والاختزال.

المفردات

أصل الكلمة

الاختزال (Reduction) جاءت من الأصل اللاتيني re، وتعني الخلف، و ducere وتعني يقود.



الشكل 3-4 يتفاعل كل من فلز البوتاسيوم وغاز الكلور تفاعل أكسدة واختزال لتكوين كلوريد البوتاسيوم.

التغير في عدد التأكسد تتذكر أن عدد التأكسد لذرة في المركب الأيوني هو عدد الإلكترونات التي فقدتها أو اكتسبتها الذرة عندما كوّنت الأيونات، وأن تفاعل البوتاسيوم مع الكلور، الموضح في **الشكل 3-4**، هو تفاعل أكسدة واختزال، ومعادلة تفاعل فلز البوتاسيوم مع بخار الكلور هي على النحو الآتي:

المعادلة الكيميائية الكاملة: $2K_{(s)} + Cl_{2(g)} \rightarrow 2KCl_{(s)}$

المعادلة الأيونية الكلية: $2K_{(s)} + Cl_{2(g)} \rightarrow 2K^{+}_{(s)} + 2Cl^{-}_{(s)}$

يوجد البوتاسيوم ضمن عناصر المجموعة الأولى في الجدول الدوري، التي تميل إلى فقد إلكترون واحد في التفاعل؛ بسبب انخفاض كهروسالبيتها، وعدد تأكسدها 1+. ومن ناحية أخرى يوجد الكلور ضمن عناصر المجموعة 17 التي تميل إلى اكتساب الإلكترونات؛ لأن لها كهرو سالبية عاليةً، وعدد تأكسدها 1-. ففي مفهوم الأكسدة والاختزال يمكنك القول إن ذرات البوتاسيوم قد تأكسدت من حالة الصفر إلى حالة 1+؛ لأن كل ذرة فقدت إلكترونًا، واختزلت ذرات الكلور من الصفر إلى الحالة 1-، فكل ذرة اكتسبت إلكترونًا عندما اختُزلت الذرة أو الأيون فقلّت القيمة العددية لعدد تأكسدها. وعلى العكس من ذلك عندما تتأكسد ذرة أو أيون يزيد عدد تأكسدها.

ويعدّ عدد التأكسد أداةً يستعملها العلماء لكتابة المعادلة الكيميائية لمساعدتهم على الاحتفاظ بمسار حركة الإلكترونات في تفاعل الأكسدة. ويكتب عدد التأكسد مع الإشارة السالبة أو الموجبة قبل العدد (2+ ، 3+)، في حين تُكتَب إشارة الشحنة الأيونية بعد العدد (2+ ، 3+).

عدد التأكسد: 3+ الشحنة الأيونية: 3+

ماذا قرأت؟ **حدّد** أي العناصر أكثر قابليةً لاكتساب الإلكترونات: البوتاسيوم أم الكلور؟

مهن في الكيمياء

صانع الفخار هو فنان يصنع الفخار، ويستعمل مواد تحتوي أيونات فلزية لإضفاء الألوان المختلفة على الفخار عند حرقه. وتظهر المواد الزجاجية، التي تحتوي أيونات النحاس، باللون الأخضر المائل إلى الزرقة عند تأكسدها، وتعطي اللون الأحمر عند حرقها في الفرن.

العوامل المؤكسدة والعوامل المختزلة
Oxidizing and Reducing Agents

يمكن وصف تفاعل البوتاسيوم – الكلور في **الشكل 3-4** بأن البوتاسيوم قد تأكسد بواسطة الكلور. المادة التي يحدث لها اختزال (تكتسب إلكترونات) تُسمى **عاملًا مؤكسدًا**، أما المادة التي يحدث لها أكسدة (تفقد إلكترونات) تُسمى **عاملًا مختزلًا**؛ لذا فالعامل المختزل في تفاعل البوتاسيوم – الكلور هو البوتاسيوم؛ أي المادة التي تأكسدت.

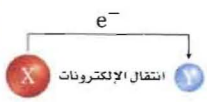
$$\overset{\text{أكسدة}}{2K_{(s)}} + Cl_{2(g)} \rightarrow \underset{\text{اختزال}}{2KCl_{(s)}}$$

العامل المختزل: K

العامل المؤكسد: Cl_2

وأحد التطبيقات الشائعة على تفاعلات الأكسدة والاختزال هي إزالة الشوائب من الفلزات. وتُعدُ العوامل المؤكسدة والمختزلة الأخرى مفيدة في الحياة اليومية. فعلى سبيل المثال عند إضافة مبيض الغسيل إلى الملابس لتبييضها، فإنك تستعمل محلولًا من هيبوكلورات الصوديوم NaClO؛ وهو عامل مؤكسد يؤدي إلى أكسدة البقع والأصباغ ومواد أخرى. ويلخص **الجدول 1-4** الطرائق المختلفة لوصف تفاعلات الأكسدة والاختزال.

الجدول 1-4 ملخص تفاعلات الأكسدة والاختزال

العملية	
	
الأكسدة	
• المادة المتفاعلة تفقد إلكترونًا.	• X يفقد إلكترونًا.
• يتأكسد العامل المختزل.	• X عامل مختزل ويتأكسد.
• يزيد عدد التأكسد.	• يزيد عدد التأكسد للمادة X.
الاختزال	
• المادة المتفاعلة الأخرى تكتسب إلكترونًا.	• Y يكتسب إلكترونًا.
• يختزل العامل المؤكسد.	• Y العامل المؤكسد يُختَزل.
• يقلّ عدد التأكسد.	• يقلّ عدد التأكسد للمادة Y.

تجربة

ملاحظة تفاعل الأكسدة والاختزال

كيف يمكن إزالة الشوائب من الفضة؟

الخطوات

1. اقرأ نموذج الأمان في المختبر.
2. لُفّ **قطعةً من رقائق الألمنيوم** برفق مستعملًا الصوف لإزالة أي طبقة مؤكسدة تغطيها.
3. لف **قطعةً صغيرةً متأكسدة** من معدن ما برقائق الألمنيوم، وتأكد من التصاق المنطقة المتأكسدة تمامًا برقائق الألمنيوم.
4. ضع القطعة الملفوفة في كأس حجمها 400 ml، وأضف كميةً محددةً **من ماء الصنبور** حتى تغطيها تمامًا.
5. أضف مقدار ملعقة من **صودا الخبز**، ومقدار ملعقة من **ملح المائدة** إلى الكأس.
6. أمسك الكأس بالماسك وضعها على السخان، وسخّن محتوياتها حتى درجة الغليان، مع الحفاظ على الحرارة مدة 15 دقيقة تقريبًا حتى تزول الشوائب.

التحليل

1. **اكتب** معادلة تفاعل الفضة مع كبريتيد الهيدروجين، التي تنتج كبريتيد الفضة والهيدروجين.
2. **اكتب** معادلة تفاعل كبريتيد الفضة (الشوائب) مع رقائق الألومنيوم والتي تنتج كبريتيد الألومنيوم والفضة.
3. **حدّد** أي الفلزات أكثر نشاطًا: الألومنيوم أم الفضة؟ وكيف تعرف ذلك من النتائج؟
4. **فسر** لماذا يجب ألا تستعمل أواني الألومنيوم عند تنظيف مواد مصنوعة من الفضة؟

تفاعلات الأكسدة والاختزال والكهروسالبية
Redox and Electronegativity

لا تقتصر تفاعلات الأكسدة والاختزال على تحول ذرات العناصر إلى أيونات أو العكس، بل تتضمن بعض تفاعلات الأكسدة والاختزال تغيرات في الجزيئات أو الأيونات الذرية التي تتّحد فيها الذرات تساهميًّا بذرات أخرى. فعلى سبيل المثال، تمثّل المعادلة الآتية تفاعل الأكسدة والاختزال المستعمل في صناعة الأمونيا NH_3:

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

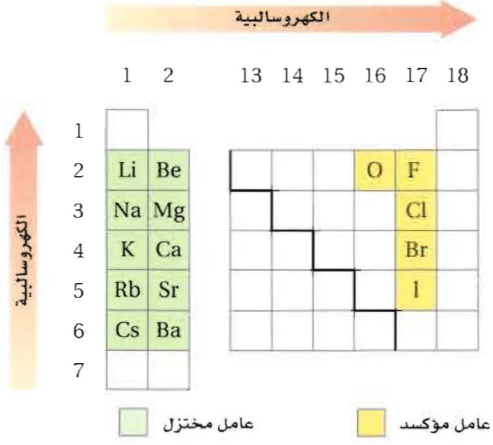
وهذه العملية لا تتضمن أيوناتٍ ولا انتقالاً للإلكترونات. فالمتفاعلات والنواتج جميعها مركبات جزيئية، ومع ذلك يعد تفاعل تأكسد واختزال؛ إذ يعدّ النيتروجين عاملًا مؤكسدًا، والهيدروجين عاملًا مختزلًا.

في وضع مثل الأمونيا حيث تتشارك ذرتان في الإلكترونات، كيف يمكننا القول إن إحدى الذرات فقدت الإلكترونات وتأكسدت، في حين اكتسبت الذرة الأخرى الإلكترونات واختزلت؟ للإجابة عن ذلك تحتاج إلى معرفة الذرة التي تجذب الإلكترونات بقوة أكبر، أو بعبارة أخرى معرفة أي الذرات لها كهروسالبية أكبر. يوضح **الشكل 4-4** تزايد الكهروسالبية من اليسار إلى اليمين عبر الدورة، وتقلّ بصورة عامة كلما اتجهنا في المجموعة إلى أسفل.

$$\underbrace{N_{2(g)} + 3H_{2(g)}}_{\text{اختزلت (اكتسبَ } e^-)} \rightarrow \underbrace{2NH_{3(g)}}_{\text{تأكسدت (فقدَ } e^-)}$$

وتعدّ عناصر المجموعتين 1 و2 ذات الكهروسالبية المنخفضة عوامل مختزلةً قويةً، وعناصر المجموعة 17 والأكسجين في المجموعة 16 ذات الكهروسالبية العالية عوامل مؤكسدة قوية.

وتساوي كهروسالبية الهيدروجين 2.20 تقريبًا، في حين تبلغ كهروسالبية النيتروجين 3.04 تقريبًا. وبهدف دراسة تفاعلات الأكسدة والاختزال فإنه كلما زادت كهروسالبية الذرة مثل النيتروجين في هذه الحالة، يُعامل كما لو اختزل باكتسابه الإلكترونات من الذرة الأخرى وهي الهيدروجين في هذه الحالة. وعلى العكس، فإنّ الذرة الأقل كهروسالبيةً وهي الهيدروجين قد تأكسدت، بفقدانها الإلكترونات لصالح الذرة الأخرى وهي النيتروجين.



الشكل 4-4 تزداد كهروسالبية العناصر من اليسار إلى اليمين عبر الجدول الدوري، وتقل بالاتجاه نحو أسفل عبر المجموعة الواحدة. وتعدّ العناصر ذات الكهروسالبية المنخفضة عوامل مختزلة قويةً، والعناصر ذات الكهروسالبية المرتفعة عوامل مؤكسدة قويةً.

توقع أي العناصر يمكن أن تكون الأقوى كعوامل مؤكسدة، وأيها الأقوى كعوامل مختزلةً؟

مثال 1-4

تفاعلات الأكسدة والاختزال تمثّل المعادلة الآتية تفاعل أكسدة واختزال الألومنيوم والحديد.

$$2Al_{(s)} + 2Fe^{3+}_{(aq)} + 3O^{2-}_{(aq)} \rightarrow 2Fe_{(s)} + 2Al^{3+}_{(aq)} + 3O^{2-}_{(aq)}$$

حدّد المادة التي تأكسدت والمادة التي اختزلت في هذا التفاعل.

حدّد العامل المؤكسد والعامل المختزل.

1 تحليل المسألة

لقد أُعطيتَ المتفاعلات والنواتج في التفاعل، لذا يتعين عليك تحديد انتقال الإلكترونات الحاصل، ثم يمكنك تطبيق تعريف العامل المؤكسد والعامل المختزل للإجابة عن السؤال.

2 حساب المطلوب

حدّد عمليتي التأكسد والاختزال.

فقد الألمنيوم 3 إلكترونات وأصبح أيون الألومنيوم. $Al_{(s)} \rightarrow Al^{3+}_{(aq)} + 3e^-$ (فقدان الإلكترونات - أكسدة)

اكتسب الحديد 3 إلكترونات فقدها الألومنيوم. $Fe^{3+}_{(aq)} + 3e^- \rightarrow Fe_{(s)}$ (اكتساب الإلكترونات - اختزال)

بما أن الألومنيوم تأكسد؛ لذا فهو العامل المختزل، وبما أن الحديد اختزل؛ لذا فهو العامل المؤكسد.

3 تقويم الإجابة

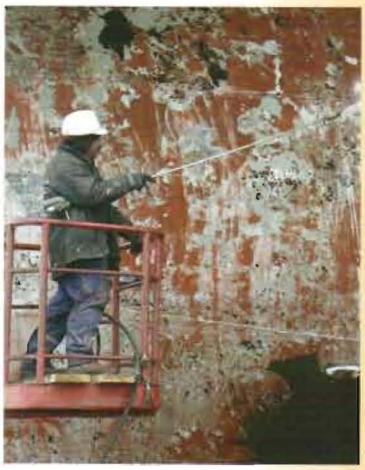
تأكسد الألومنيوم في هذه العملية بفقده الإلكترونات، في حين اختُزل الحديد واكتسب الإلكترونات، ومن ثَمّ يتفق تعريف كل من الأكسدة والاختزالَ والعامل المؤكسد والعامل المختزل مع ما تقدم. لاحظ أن عدد تأكسد الأكسجين لم يتغير في هذا التفاعل؛ لذا لا يعدّ الأكسجين عاملًا مفتاحيًّا لحل المسألة.

مسائل تدريبية

1. حدّد التغيرات، في كل مما يلي سواء أكانت أكسدة أم اختزالًا؟ وتذكر أن e^- هو رمز الإلكترون:
   - a. $I_{2(s)} + 2e^- \rightarrow 2I^-_{(aq)}$
   - b. $K_{(s)} \rightarrow K^+_{(aq)} + e^-$
   - c. $Fe^{2+}_{(aq)} \rightarrow Fe^{3+}_{(aq)} + e^-$
   - d. $Ag^+_{(aq)} + e^- \rightarrow Ag_{(s)}$
2. حدّد العناصر التي تأكسدت والعناصر التي اختزلت في العمليات الآتية:
   - a. $2Br^-_{(aq)} + Cl_{2(aq)} \rightarrow Br_{2(aq)} + 2Cl^-_{(aq)}$
   - b. $2Ce_{(s)} + 3Cu^{2+}_{(aq)} \rightarrow 3Cu_{(s)} + 2Ce^{3+}_{(aq)}$
   - c. $2Zn_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow 2ZnO_{(s)}$
   - d. $2Na_{(s)} + 2H^+_{(aq)} \rightarrow 2Na^+_{(aq)} + H_{2(g)}$
3. حدّد العامل المؤكسد والعامل المختزل في التفاعل الآتي:
   $Fe_{(s)} + 2Ag^+_{(aq)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + 2Ag_{(s)}$
4. حدّد العامل المؤكسد والعامل المختزل في التفاعل الآتي:
   - a. $Mg_{(s)} + I_{2(s)} \rightarrow MgI_{2(s)}$
   - a. $H_2S_{(g)} + Cl_{2(g)} \rightarrow S_{(s)} + 2HCl_{(g)}$

واقع الكيمياء في الحياة

الأكسدة



الصدأ يتأكسد الحديد عندما يلامسه الهواء الرطب، مكونًا أكسيد الحديد Fe_2O_3 ويسمى الصدأ، والصدأ شائع جدًّا؛ لأن مركبات الحديد سريعة التفاعل مع الأكسجين، والحديد النقي غير شائع في الطبيعة. وحاليًّا يستعمل الفولاذ وهو سبيكة يعدّ الحديد المكون الأساسي لها.

وهناك طرائق كثيرة يمكن اتباعها لحماية الحديد كالطلاء، والدهان، وإضافة المواد البلاستيكية لحماية منتجات الحديد من الأكسدة.

تحديد أعداد التأكسد
Determining Oxidation Numbers

لنفهم جميع أنواع تفاعلات الأكسدة والاختزال لا بد من تعرُّف الطريقة التي يتم بها تحديد عدد التأكسد (n) للعنصر للذرات الداخلة في التفاعل، ويلخص **الجدول 2-4** القواعد التي يستعملها الكيميائيون لتسهيل عملية التحديد.

تتضمن العناصر غير المحددة في القواعد الآتية الكثير من العناصر الأخرى، بما في ذلك العناصر الانتقالية وأشباه الفلزات واللافلزات التي قد يكون لها أكثر من عدد تأكسد في المركبات المختلفة. فعلى سبيل المثال للحديد أعداد تأكسد مختلفة يُستدلُّ عليها من خلال الألوان الموضحة في **الشكل 5-4**.

الجدول 2-4 قواعد تحديد أعداد التأكسد للعناصر

القاعدة	مثال	عدد التأكسد (n)
1. عدد تأكسد الذرة غير المتحدة يساوي صفرًا.	Na, O_2, Cl_2, H_2	0
2. عدد تأكسد الأيون أحادي الذرة يساوي شحنة الأيون.	Ca^{2+}	+2
	Br^-	−1
3. عدد تأكسد الذرة الأكثر كهروسالبية في الجزيء أو الأيون المعقد هو الشحنة نفسها التي سيكون عليها كما لو كان أيونًا.	N في NH_3	−3
	O في NO	−2
4. عدد تأكسد العنصر الأكثر كهروسالبية هو دائمًا 1- عندما يرتبط بعنصر آخر.	F في LiF	−1
5. عدد تأكسد الأكسجين في المركب دائمًا يساوي 2- ما عدا مركبات فوق الأكاسيد كما في المركب فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2، حيث يساوي 1-. وعندما يرتبط بالفلور العنصر الوحيد الذي له كهروسالبية أعلى من الأكسجين، يكون عدد تأكسده موجبًا.	O في NO_2	−2
	O في H_2O_2	−1
	O في OF_2	+2
6. عدد تأكسد الهيدروجين في الهيدريدات يساوي 1-	H في NaH	−1
7. عدد تأكسد فلزات المجموعتين الأولى والثانية والألومنيوم يساوي عدد إلكترونات المدار الخارجي.	K	+1
	Ca	+2
	Al	+3
8. مجموع أعداد التأكسد في المركبات المتعادلة يساوي صفرًا.	$CaBr_2$	$(+2) + 2(-1) = 0$
9. مجموع أعداد التأكسد للمجموعات الذرية يساوي شحنة المجموعة.	SO_3^{2-}	$(+4) + 3(-2) = -2$



الشكل 5-4 صخر يوضح طبقات من الحديد ناتجة عن الاختلاف في حالة تأكسد الحديد.

مثال 2-4

تحديد أعداد التأكسد استعمل قواعد تحديد أعداد التأكسد لحساب عدد التأكسد لكل عنصر في مركب كلورات البوتاسيوم $KClO_3$ وفي أيون الكبريتيت SO_3^{2-}.

1 تحليل المسألة

أُعطيتَ أعداد التأكسد في قواعد تحديد أعداد التأكسد لكلٍّ من الأكسجين والبوتاسيوم، وأُعطيتَ الشحنة الكلية للأيون أو المركب. استخدم هذه المعلومات، وطبّق القواعد، وحدّد عدد التأكسد لكلٍّ من الكلور والكبريت (اجعل n عدد التأكسد للعنصر في السؤال).

المعطيات	المطلوب
$KClO_3$	$n_{Cl} = ?$
SO_3^{2-}	$n_S = ?$
$n_O = -2$	
$n_K = +1$	

2 حساب المطلوب

بيّن أعداد التأكسد لكل من العناصر المعروفة، واجعل مجموع أعداد التأكسد للعناصر في المركب أو الأيون مساويةً للصفر أو لشحنة الأيون، ثم جد القيمة المجهولة من أعداد التأكسد.

مجموع أعداد التأكسد للمركب المتعادل هو صفر.

$$(n_K) + (n_{Cl}) + 3\,(n_O) = 0$$

ولفلزات المجموعة الأولى يكون $n = +1$.

عوّض $n_O = -2$ ، $n_K = +1$

$$(+1) + (n_{Cl}) + 3(-2) = 0$$

$$1 + n_{Cl} + (-6) = 0$$

جد قيمة n_{Cl}.

$$n_{Cl} = +5$$

مجموع أعداد التأكسد للأيون متعدد الذرات يساوي شحنة الأيون.

$$(n_S) + 3\,(n_O) = -2$$

عوّض $n_O = -2$

$$(n_S) + 3(-2) = -2$$

$$n_S + (-6) = -2$$

جد قيمة n_S.

$$n_S = +4$$

3 تقويم الإجابة

لقد طُبِّقت قواعد حساب أعداد التأكسد تطبيقًا صحيحًا. فجميع أعداد التأكسد لكل مادة جمعت للقيمة الصحيحة لها.

مسائل تدريبية

5. حدّد عدد التأكسد للعنصر المكتوب بلون داكن في الصيغ الجزيئية الآتية:

a. $NaClO_4$ **b.** $AlPO_4$ **c.** HNO_2

6. حدّد عدد التأكسد للعنصر المكتوب بلون داكن في صيغ الأيونات الآتية:

a. NH_4^+ **b.** AsO_4^{3-} **c.** CrO_4^{2-}

7. حدّد عدد التأكسد للنيتروجين في الجزيئات والأيونات الآتية:

a. NH_3 **b.** KCN **c.** N_2H_4

8. تحفيز حدّد التغير الكلي في عدد تأكسد كلٍّ من العناصر في معادلات الأكسدة والاختزال الآتية:

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

b. $Cl_{2(g)} + ZnI_{2(s)} \rightarrow ZnCl_{2(s)} + I_{2(s)}$

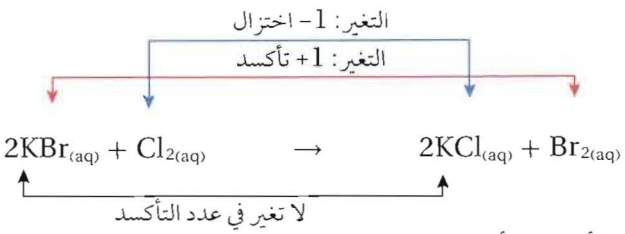
c. $CdO_{(g)} + CO_{(g)} \rightarrow Cd_{(s)} + CO_{2(g)}$

أعداد التأكسد في تفاعلات الأكسدة والاختزال
Oxidation Numbers in Redox Reactions

بعد أن درست أعداد التأكسد يتعين عليك أن تكون قادرًا على الربط بين تفاعلات الأكسدة والاختزال والتغير في عدد التأكسد. وبالرجوع إلى معادلة التفاعل الذي شاهدته في بداية الدرس وهو استبدال البروم بالكلور Cl_2 في محلول بروميد البوتاسيوم KBr.

$$2KBr_{(aq)} + Cl_{2(aq)} \longrightarrow 2KCl_{(aq)} + Br_{2(aq)}$$

ابدأ أولًا بتحديد عدد التأكسد لجميع العناصر في المعادلة الموزونة مستخدمًا **الجدول 3-4**، ثم راجع التغيرات كما هو موضح في المعادلة أدناه.



ستلاحظ أن عدد تأكسد البروم قد تغيّر من 1- إلى صفر، بزيادة مقدارها 1. وقد تغيّر في الوقت نفسه عدد تأكسد الكلور من صفر إلى 1-؛ أي قلّ بمقدار 1؛ لذا اختُزِل الكلور وتأكسد البروم.

عندما تتأكسد الذرة يزيد عدد التأكسد، وعندما تختزل يقلّ عدد التأكسد. لاحظ أنه ليس هناك تغير في عدد تأكسد البوتاسيوم؛ لأن أيون البوتاسيوم لا يشترك في التفاعل؛ ولذا يُعدّ أيونًا متفرجًا.

الجدول 3-4 التنوع في أعداد التأكسد

عدد التأكسد	+1	+2	+3	-1	-2
الألومنيوم			×		
الباريوم		×			
البروم				×	
الكاديوم		×			
الكالسيوم		×			
السيزيوم	×				
الكلور				×	
الفلور				×	
الهيدروجين	×			×	
اليود				×	
الليثيوم	×				
الماغنيسيوم		×			
الأكسجين					×
البوتاسيوم	×				
الصوديوم	×				
الفضة	×				
الإسترانشيوم		×			

التقويم 1-4

الخلاصة

- تتضمّن تفاعلات الأكسدة والاختزال انتقال الإلكترونات من ذرة إلى أخرى.
- عندما تختزل ذرة أو أيون يقل عدد تأكسدها، وعندما تتأكسد ذرة أو أيون يزداد عدد تأكسدها.
- في تفاعلات الأكسدة والاختزال التي تتضمّن مركبات جزيئيةً وأيونات متعددة الذرات بروابط تساهمية، تعامل الذرات الأعلى كهروسالبية كأنها تختزل، في حين تُعامل الذرات ذات الكهروسالبية الأقل كأنها تتأكسد.

9. الفكرة الرئيسة **فسّر** لماذا يجب أن يحدث تفاعلا الأكسدة والاختزال دائمًا معًا.

10. صف دور كل من العوامل المؤكسدة والمختزلة في تفاعلات الأكسدة والاختزال. وكيف يتغير كلٌّ منهما في التفاعل؟

11. اكتب معادلة تفاعل فلز الحديد مع حمض الهيدروبروميك لتكوين بروميد الحديد III وغاز الهيدروجين. ثم حدّد التغير الكلي في عدد تأكسد العنصر الذي اختُزِل والعنصر الذي تأكسد.

12. حدّد عدد التأكسد للعنصر الذي يظهر باللون الداكن في المركبات الآتية:

a. HNO_3 **b.** CaN_2 **c.** Sb_2O_5 **d.** $CuWO_4$

13. حدّد عدد التأكسد للعنصر الذي يظهر باللون الداكن في الأيونات الآتية:

a. IO_4^- **b.** MnO_4^- **c.** $B_4O_7^{2-}$ **d.** NH_2^-

14. الرسم البياني واستعماله تعدُّ الفلزات القلوية عوامل مختزلة قوية، ارسم رسمًا بيانيًّا توضح فيه كيف تزداد قابلية الفلزات القلوية للاختزال أو تقل كلما اتجهنا أسفل المجموعة ابتداءً من الصوديوم حتى الفرانسيوم.

4–2

الأهداف

- **تربط** التغير في عدد التأكسد بانتقال الإلكترونات.
- **تستعمل** التغير في عدد الأكسدة لوزن معادلات الأكسدة والاختزال.
- **تزن** معادلة الأكسدة والاختزال الأيونية الكلية مستعملًا طريقة نصف التفاعل.

مراجعة المفردات

المعادلة الأيونية الكلية: معادلة أيونية تتضمن الجسيمات المشاركة في التفاعل فقط.

المفردات الجديدة

طريقة عدد التأكسد

نصف التفاعل

وزن معادلات الأكسدة والاختزال
Balancing Redox Reactions

الفكرة الرئيسة **تصبح معادلات الأكسدة والاختزال موزونةً عندما تكون الزيادة الكلية في أعداد التأكسد مساويةً للانخفاض الكلي في أعداد التأكسد للذرات الداخلة في التفاعل.**

الربط مع الحياة عندما تفسد المواد الدهنية في الأطعمة، يقال إنها أصبحت حمضية؛ إذ تتكسر الجزيئات الكبيرة خلال تفاعلات الأكسدة والاختزال منتجة رائحة كريهة. وتعد المعادلة الخاصة بهذه العملية معقدة جدًّا، ولكننا نستطيع وزنها باستعمال القواعد نفسها التي استعملناها في وزن المعادلات الأبسط.

طريقة عدد التأكسد The Oxidation–Number Method

يجب وزن المعادلات الكيميائية لتوضيح الكميات الصحيحة للمتفاعلات والنواتج؛ لذا أدرس المعادلات غير الموزونة الآتية للتفاعل الذي يحدث عندما يوضع النحاس في محلول مركز من حمض النيتريك كما في **الشكل 6-4**. ينتج غاز بني اللون هو ثاني أكسيد النيتروجين NO_2 من اختزال أيونات النترات NO_3^-، أما المحلول الأزرق فينتج من تأكسد النحاس Cu إلى أيون النحاس (II) Cu^{2+}.

$$Cu_{(s)} + HNO_{3(aq)} \rightarrow Cu(NO_3)_{2(aq)} + NO_{2(g)} + H_2O_{(l)}$$

لاحظ أن الأكسجين يظهر فقط في مادة متفاعلة واحدة هي HNO_3، ولكنه يظهر في النواتج الثلاثة جميعها، أما النيتروجين فيظهر في HNO_3 وفي اثنين من النواتج. مثل معادلة الأكسدة والاختزال هذه التي يظهر فيها العنصر نفسه في عدة مواد متفاعلة وناتجة يصعب وزنها. وكما تعلم، فعندما تفقد الذرة الإلكترونات يزداد عدد تأكسدها، وعندما تكتسب الذرة الإلكترونات يقل عدد تأكسدها. ويجب أن يساوي عدد الإلكترونات المكتسبة عدد الإلكترونات المفقودة. وعليه، يجب أن يكون مجموع الزيادة في عدد التأكسد مساويًا لمجموع الانخفاض في أعداد التأكسد للذرات المشتركة في التفاعل. وتسمى مثل هذه الطريقة **طريقة عدد التأكسد**، وتعتمد على المبادئ في **الجدول 4-4**.

الشكل 6-4 من الصعب أحيانًا وزن بعض المعادلات الكيميائية كما في تفاعلات الأكسدة والاختزال بين النحاس وحمض النيتريك؛ لأن العناصر تظهر أكثر من مرة في كل جهة من المعادلة.



الجدول 4-4 طريقة عدد التأكسد

حدّد أعداد التأكسد لجميع الذرات في المعادلة.
حدّد الذرات التي تأكسدت والذرات التي اختزلت.
حدّد التغير في عدد التأكسد للذرات التي تأكسدت والذرات التي اختزلت.
اجعل التغير في أعداد التأكسد متساويًا في القيمة، وذلك بضبط المعاملات في المعادلة.
استعمل الطريقة التقليدية في وزن المعادلة الكيميائية الكلية، إذا كان ذلك ضروريًّا.

طريقة عدد التأكسد زن معادلة الأكسدة والاختزال الآتية: $Cu_{(s)} + HNO_{3(aq)} \rightarrow Cu(NO_3)_{2(aq)} + NO_{2(g)} + H_2O_{(l)}$

1 تحليل المسألة

استخدم قواعد تحديد عدد التأكسد، ويجب أن تتساوى زيادة عدد التأكسد للذرات المتأكسدة مع نقصان عدد التأكسد للذرات المختزلة.

ثم اضبط المعاملات لوزن المعادلة.

2 حساب المطلوب

حدّد أعداد التأكسد للذرات كلها في المعادلة:

يزداد عدد التأكسد للنحاس من صفر إلى 2+.

ويقل عدد التأكسد للنيتروجين من 5+ إلى 4+.

$$\overset{0}{Cu}_{(s)} + \overset{+1\,+5\,-2}{HNO_3}_{(aq)} \rightarrow \overset{+2\,+5\,-2}{Cu(NO_3)_2}_{(aq)} + \overset{+4\,-2}{NO_2}_{(aq)} + \overset{+1\,-2}{H_2O}_{(l)}$$

حدّد أعداد التأكسد للذرات كلها في المعادلة:

Cu تأكسدت N اختزلت H لم تتغير O لم تتغير N لم تتغير في أيون النترات NO_3^-

حدّد التغيرات في عدد التأكسد لجميع الذرات التي تأكسدت والذرات التي اختزلت.

تأكسد النحاس؛ لأنه خسر إلكترونات

التغير في عدد تأكسد $Cu = +2$

اختزل النيتروجين؛ لأنه اكتسب إلكترونًا

التغير في عدد تأكسد $N = -1$

اجعل التغير في أعداد التأكسد متساويًا في القيمة، وذلك بضبط المعاملات في المعادلة:

لمّا كان التغير في عدد التأكسد لـ N هو -1، فإنه يجب إضافة المعامل 2 إلى الوزن. وهذا المعامل ينطبق على كل من HNO_3 و NO_2.

$$Cu_{(s)} + 2HNO_{3(aq)} \rightarrow Cu(NO_3)_{2(aq)} + 2NO_{2(g)} + H_2O_{(l)}$$

استعمل الطريقة التقليدية في وزن بقية المعادلة:

يجب زيادة معامل HNO_3 من 2 إلى 4 لموازنة 4 ذرات نيتروجين في النواتج.

$$Cu_{(s)} + 2HNO_{3(aq)} \rightarrow Cu(NO_3)_{2(aq)} + 2NO_{2(g)} + H_2O_{(l)}$$

$$Cu_{(s)} + 4HNO_{3(aq)} \rightarrow Cu(NO_3)_{2(aq)} + 2NO_{2(g)} + H_2O_{(l)}$$

أُضيف المعامل 2 إلى H_2O لموازنة 4 ذرات هيدروجين في الجهة اليسرى.

$$Cu_{(s)} + 4HNO_{3(aq)} \rightarrow Cu(NO_3)_{2(aq)} + 2NO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)}$$

3 تقويم الإجابة

عدد ذرات كل عنصر متساوية على جانبي المعادلة.

مسائل تدريبية

استعمل طريقة عدد التأكسد في وزن معادلات الأكسدة والاختزال الآتية:

15. $HCl_{(aq)} + HNO_{3(aq)} \rightarrow HOCl_{(aq)} + NO_{(g)} + H_2O_{(l)}$

16. $SnCl_{4(aq)} + Fe_{(s)} \rightarrow SnCl_{2(s)} + FeCl_{3(aq)}$

17. $NH_{3(g)} + NO_{2(g)} \rightarrow N_{2(g)} + H_2O_{(l)}$

18. **تحفيز** $SO_{2(g)} + Br_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightarrow HBr_{(aq)} + H_2SO_{4(aq)}$

وزن معادلات الأكسدة والاختزال الأيونية الكلية

Balancing Net Ionic Redox Equations

يفضل الكيميائيون في بعض الأحيان التعبير عن تفاعلات الأكسدة والاختزال بأبسط ما يمكن- كما في المعادلات التي توضح عمليات الأكسدة والاختزال فقط، وبالرجوع مجددًا إلى المعادلة الموزونة لتفاعل تأكسد النحاس في محلول حمض النيتريك:

$$Cu_{(s)} + 4HNO_{3(aq)} \rightarrow Cu(NO_3)_{2(aq)} + 2NO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)}$$

نلاحظ أن التفاعل يحدث في محلول مائي؛ لذا فإن HNO_3، وهو حمض قوي سوف يتأين كليًّا، كما أن نترات النحاس II $Cu(NO_3)_2$ ستتفكك إلى أيونات؛ لذا يمكن كتابة المعادلة على النحو الآتي:

$$Cu_{(s)} + 4H^+_{(aq)} + 4NO_3^-{}_{(aq)} \rightarrow$$
$$Cu^{2+}_{(aq)} + 2NO_3^-{}_{(aq)} + 2NO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)}$$

توجد أربعة أيونات من النترات في طرف المواد المتفاعلة؛ اثنان منها فقط قد تغيرا إلى ثاني أكسيد النتروجين، وبقي الأيونان الآخران متفرجين بحيث يمكن حذفهما من المعادلة. ولتبسيط الأمور، يكتب الكيميائيون أيونات الهيدروجين على صورة $H^+_{(aq)}$ مع الاتفاق على وجودها بصورة $H_3O^+_{(aq)}$. والآن يمكن كتابة المعادلة لبيان المواد المشتركة في التفاعل على النحو الآتي:

$$Cu_{(s)} + 4H^+_{(aq)} + 2NO_3^-{}_{(aq)} \rightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + 2NO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)}$$

والآن إذا نظرت إلى المعادلة الآتية غير الموزونة:

$$Cu_{(s)} + H^+_{(aq)} + NO_3^-{}_{(aq)} \rightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + NO_{2(g)} + H_2O_{(l)}$$

تلاحظ أن التفاعل نفسه يُعبر عنه بطريقة توضح فقط المواد التي تأكسدت والتي اختزلت في وسط حمضي:

$$Cu_{(s)} + NO_3^-{}_{(aq)} \rightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + NO_{2(g)} \quad \text{(في وسط حمضي)}$$

وفي هذه الحالة، تحذف أيونات الهيدروجين وجزيئات الماء لأن أيًّا منها لم يحدث لها أكسدة أو اختزال. وتوجد في المحلول أيونات الهيدروجين H^+ وجزيئات الماء بوفرة وتستطيع المشاركة في تفاعل الأكسدة والاختزال سواء على صورة متفاعلات أو نواتج. وتحدث بعض تفاعلات الأكسدة والاختزال فقط في المحاليل القاعدية، وعند وزن معادلات هذه التفاعلات يمكنك إضافة أيونات الهيدروكسيد OH^- وجزيئات الماء إلى طرفي المعادلة.

مختبر تحليل البيانات

* مبنية على بيانات واقعية

حلّل واستنتج

كيف تعمل تفاعلات الأكسدة والاختزال على إطلاق المكوك الفضائي؟ يكتسب المكوك الفضائي 72% تقريبًا من قوة اندفاعه من صواريخ الإطلاق التي تستعمل الوقود الصلب خلال الدقيقتين الأوليين من عملية إطلاق الصاروخ، ويرتبط صاروخان على صورة قلم الرصاص بعضهما ببعض من كلا الجانبين بخزان الهيدروجين السائل ووقود الأكسجين. ويحتوي كل صاروخ 499,000 kg تقريبًا من مزيج الدفع.

البيانات والملاحظات

مزيج الدفع في صواريخ الإسناد	
المكونات	النسبة المئوية
فوق كلورات الأمونيوم	69.6
ألومنيوم	16
المادة المحفزة	0.4
الأسمنت	12.04
معامل المعالجة	1.96

أخذت هذه البيانات من:

*Dumoulin, Jim. "Solid Rocket Boosters." NSTS Shuttle Reference Manual. 1988

التفكير الناقد

1. **زن** استعمل طريقة عدد التأكسد في وزن المعادلة الكيميائية لتفاعل صاروخ الإسناد.

$$NH_4ClO_{4(s)} + Al_{(s)} \rightarrow$$
$$Al_2O_{3(g)} + HCl_{(g)} + N_{2(g)} + H_2O_{(g)}$$

2. **حدّد** أي العناصر تأكسدت؟ وأيها اختزلت؟
3. **استدل** ما مزايا استعمال تفاعل وقود صواريخ الصلب (solid rocket boosters(SRB في الدقيقتين الأوليين من الإطلاق؟
4. **احسب** ماعدد مولات بخار الماء الناتجة من تفاعل واحد من (SRB)؟

مثال 4-4

وزن معادلة الأكسدة والاختزال الأيونية الكلية زن معادلة الأكسدة والاختزال الآتية:

1 تحليل المسألة

$$ClO_4^-{}_{(aq)} + Br^-{}_{(aq)} \rightarrow Cl^-{}_{(aq)} + Br_{2(l)}$$

استعمل قواعد تحديد عدد التأكسد. يجب أن تتساوى الزيادة في عدد التأكسد للذرات التي تأكسدت مع النقصان في عدد التأكسد للذرات التي اختزلت. يحدث التفاعل في وسط حمضي، اضبط المعاملات لوزن التفاعل.

2 حساب المطلوب

حدّد أعداد التأكسد لجميع الذرات في المعادلة.

+7 −2 −1 −1 0

$$ClO_4^-{}_{(aq)} + Br^-{}_{(aq)} \rightarrow Cl^-{}_{(aq)} + Br_{2(g)}$$ (في الوسط الحمضي)

استعمل القواعد في الجدول 2-4

حدّد الذرات التي اختزلت والذرات التي تأكسدت.

ازداد عدد تأكسد البروم من 1− إلى الصفر — Br تأكسدت

نقص عدد تأكسد الكلور من 7+ إلى 1−. — Cl اختزلت

حدّد التغير في عدد التأكسد للذرات التي تأكسدت والذرات التي اختزلت. التغير في عدد التأكسد:

ازداد عدد تأكسد البروم من 1− إلى الصفر — التغير في عدد تأكسد Br = +1

نقص عدد تأكسد الكلور من 7+ إلى 1−. — التغير في عدد تأكسد Cl = −8

اجعل التغير في قيم عدد التأكسد متساويًا، وذلك بضبط معاملات المعادلة:

$$ClO_4^-{}_{(aq)} + 8Br^-{}_{(aq)} \rightarrow Cl^-{}_{(aq)} + 4Br_{2(g)}$$

بما أن التغير في عدد التأكسد لـBr هو 1+؛ لذا يجب أن تضيف المعامل 8 لوزن المعادلة الكيميائية. $4Br_2$ تمثل 8 ذرات Br لوزن 8Br − في الجانب الأيسر.

أضف عددًا كافيًا من أيونات الهيدروجين وجزيئات الماء إلى المعادلة؛ لوزن ذرات الأكسجين على طرفي المعادلة:

لأنك تعرف أن التفاعل يتم في وسط حمضي، يمكنك إضافة أيونات الهيدروجين H^+ إلى طرفي المعادلة.

$$ClO_4^-{}_{(aq)} + 8Br^-{}_{(aq)} + 8H^+{}_{(aq)} \rightarrow Cl^-{}_{(aq)} + 4Br_{2(g)} + 4H_2O_{(l)}$$

3 تقويم الإجابة

عدد ذرات كل عنصر متساوٍ في كلا طرفي المعادلة. وكما في المعادلة الأيونية فإن الشحنة الكلية في الطرف الأيمن تساوي الشحنة الكلية في الطرف الأيسر.

مسائل تدريبية

استعمل طريقة عدد التأكسد في وزن المعادلات الأيونية الكلية الآتية:

19. $H_2S_{(g)} + NO_3^-{}_{(aq)} \rightarrow S_{(s)} + NO_{(g)}$ (في الوسط الحمضي)

20. $Cr_2O_7^{2-}{}_{(aq)} + I^-{}_{(aq)} \rightarrow Cr^{3+}{}_{(aq)} + I_{2(s)}$ (في الوسط الحمضي)

21. $Zn_{(s)} + NO_3^-{}_{(aq)} \rightarrow Zn^{2+}{}_{(aq)} + NO_{2(g)}$ (في الوسط الحمضي)

22. تحفيز $I^-{}_{(aq)} + MnO_4^-{}_{(aq)} \rightarrow I_{2(s)} + MnO_{2(s)}$ (في الوسط القاعدي)

الربط مع علم الأحياء بماذا تشترك أسماك أعماق المحيط والذباب الناري مع البكتريا المضيئة؟ إن هذه الأنواع من الكائنات ـ وكائنات أخرى ـ تطلق الضوء. والضوء المنبعث ما هو إلا تحويل لطاقة الوضع في الروابط الكيميائية إلى طاقة ضوئية خلال تفاعلات الأكسدة والاختزال. وينبعث الضوء بوسائط مختلفة اعتمادًا على أنواع الكائنات. ففي الذباب الناري الموضح في **الشكل 7-4**، ينتج الضوء من تأكسد جزيئات اللوسيفيرن Luciferin. ولا يزال العلماء يكتشفون سر الإضاءة الحيوية، فبعض الكائنات المضيئة تطلق الضوء باستمرار، في حين تطلق الكائنات الأخرى ضوءًا عندما تتعرض للمضايقة. ويبدو أن بعض أسماك أعماق البحار وقناديل البحر لها قدرة على التحكم في الضوء الذي تطلقه.



الشكل 7-4 تُصدر بعض الكائنات الحية ضوءًا لأهداف مختلفة؛ بعضها يكون لجذب الإناث، أو الدفاع عن الصغار. ويساعد الضوء المنبعث على الرؤية والتمييز والإدراك.

وزن معادلة الأكسدة والاختزال باستعمال طريقة نصف التفاعل
Balancing Redox Reactions Using Half-Reactions

المواد في الكيمياء هي أي وحدات كيميائية توجد في المعادلة. حيث يوجد في معادلة الاتزان الآتية: $NH_{3\,(aq)} + H_2O_{\,(l)} \rightarrow NH_{4\,(aq)}^{+} + OH_{(aq)}^{-}$

أربعة أنواع من المواد هي: جزيئان من H_2O و NH_3 وأيونان من NH_4^+ و OH^-، وتحدث تفاعلات الأكسدة والاختزال عندما توجد مواد قادرة على منح الإلكترونات (عوامل مختزلة) لمواد أخرى قريبة منها، ولها قدرة على كسب هذه الإلكترونات (عوامل مؤكسدة). فعلى سبيل المثال يمكن للحديد أن يختزل أنواعًا عدة من العوامل المؤكسدة بما فيها الكلور. $2Fe_{(s)} + 3Cl_{2(g)} \rightarrow 2FeCl_{3(aq)}$

وفي هذا التفاعل تتأكسد كل ذرة حديد بفقدها 3 إلكترونات لتصبح أيون Fe^{3+}.

وفي الوقت نفسه، فإن كل ذرة كلور في Cl_2 تختزل باكتسابها إلكترونًا واحدًا لتصبح أيون Cl^-.

الأكسدة: $Fe_{(s)} \rightarrow Fe^{3+}_{(aq)} + 3e^-$

الاختزال: $Cl_{2\,(g)} + 2e^- \rightarrow 2Cl^-_{(aq)}$

تمثل هذه المعادلات أنصاف تفاعلات؛ حيث يُمثل كل **نصف تفاعل** أحد جزأي تفاعل الأكسدة والاختزال؛ أي تفاعل الأكسدة أو تفاعل الاختزال. ويبين **الجدول 5-4** التنوع في أنصاف تفاعلات الاختزال التي تتضمن تأكسد Fe إلى Fe^{3+}.

الجدول 5-4 تفاعلات الأكسدة والاختزال التي يحدث فيها تأكسد الحديد

التفاعل الكلي (غير الموزون)	نصف تفاعل التأكسد	نصف تفاعل الاختزال
$Fe + O_2 \rightarrow Fe_2O_3$		$O_2 + 4e^- \rightarrow 2O^{2-}$
$Fe + F_2 \rightarrow FeF_3$		$F_2 + 2e^- \rightarrow 2F^-$
$Fe + HBr \rightarrow H_2 + FeBr_3$	$Fe \rightarrow Fe^{3+} + 3e^-$	$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$
$Fe + AgNO_3 \rightarrow Ag + Fe(NO_3)_3$		$Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$
$Fe + CuSO_4 \rightarrow Cu + Fe_2(SO_4)_3$		$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$

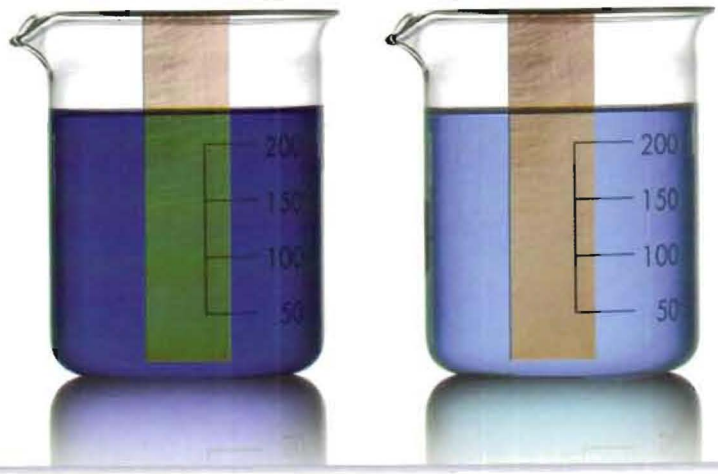
المفردات

الاستعمال العلمي مقابل الاستعمال الشائع

المواد (Species)

الاستعمال العلمي يطلق هذا التعبير في الكيمياء على أي جسيمات متضمنة في العملية: يتفاعل نوعان مختلفان من المواد في تفاعلات الاتحاد لتكوين مركب مفرد.

الاستعمال الشائع صنف من الأفراد يملكون صفات أو قدرات معينة.



الشكل 8-4 يترسب النحاس على الحديد نتيجة لتفاعل الأكسدة والاختزال بين الحديد ومحلول كبريتات النحاس، ويمكنك وزن المعادلة الكيميائية لهذا التفاعل بطريقة نصف التفاعل.

المطويات

ضمِّن مطويتك معلومات من هذا القسم.

المفردات

المفردات الأكاديمية

الطريقة (Method)

آلية لعمل شيء ما. يدرس الطلبة للامتحان مستعملين طرائق مختلفة.

سوف تتعلم المزيد عن أهمية أنصاف التفاعلات عند دراستك الكيمياء الكهربائية لاحقًا، ولكن في الوقت الحالي سوف نتعلم كيف تستعمل أنصاف التفاعل لوزن معادلة الأكسدة. فعلى سبيل المثال، تمثل المعادلة غير الموزونة الآتية التفاعل الذي يحدث عند وضع مسمار من الحديد في محلول كبريتات النحاس II كما في **الشكل 8-4**.

$$Fe_{(s)} + CuSO_{4(aq)} \rightarrow Cu_{(s)} + Fe_2(SO_4)_{3(aq)}$$

تتأكسد ذرات الحديد عندما تفقد الإلكترونات لأيونات النحاس II، أما خطوات وزن معادلات الأكسدة والاختزال باستخدام طريقة نصف التفاعل فهي موضحة في **الجدول 6-4**.

الجدول 6-4 طريقة نصف التفاعل

1. اكتب المعادلة الأيونية الكلية للتفاعل، مهملًا الأيونات المتفرجة.

$$Fe_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} + SO_4{}^{2-}_{(aq)} \rightarrow Cu_{(s)} + 2Fe^{3+}_{(aq)} + 3SO_4{}^{2-}_{(aq)}$$

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

2. اكتب نصفي تفاعل الأكسدة الاختزال للمعادلة الأيونية الكلية.

$$Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Cu_{(s)} \qquad Fe_{(s)} \rightarrow 2Fe^{3+}_{(aq)} + 6e^-$$

3. زن الذرات والشحنات في كل نصف تفاعل.

$$Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Cu_{(s)} \qquad 2Fe_{(s)} \rightarrow 2Fe^{3+}_{(aq)} + 6e^-$$

4. زن المعادلات على أن يكون عدد الإلكترونات المفقودة في التأكسد يساوي عدد الإلكترونات المكتسبة في الاختزال.

$$3Cu^{2+}_{(aq)} + 6e^- \rightarrow 3Cu_{(s)} \qquad 2Fe_{(s)} \rightarrow 2Fe^{3+}_{(aq)} + 6e^-$$

5. اجمع نصفي التفاعل الموزونين، وأعد الأيونات المتفرجة.

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

$$2Fe_{(s)} + 3CuSO_{4(aq)} \rightarrow 3Cu_{(s)} + Fe_2(SO_4)_{3(aq)}$$

وزن معادلة الأكسدة والاختزال باستعمال طريقة نصف التفاعل

زن معادلة التأكسد والاختزال للتفاعل الآتي مستعملًا طريقة نصف التفاعل:

$KMnO_{4(aq)} + SO_{2(g)} \rightarrow MnSO_{4(aq)} + K_2SO_{4(aq)}$ (في الوسط الحمضي)

1 تحليل المسألة

يحدث التفاعل في الوسط الحمضي، استعمل قواعد تحديد أعداد التأكسد وخطوات وزن المعادلة بطريقة نصف التفاعل لوزن معادلة التفاعل بين برمنجنات البوتاسيوم وثاني أكسيد الكبريت.

2 حساب المطلوب

اكتب المعادلة الأيونية الكلية للتفاعل.

احذف المعاملات، والأيونات المشاهدة وحالة الرموز.

$MnO_4^-{}_{(aq)} + SO_{2(g)} \rightarrow Mn^{2+}{}_{(aq)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)}$

اكتب معادلة نصفي تفاعل الأكسدة والاختزال للمعادلة الأيونية الكلية، متضمنة أعداد التأكسد.

استخدم القواعد الواردة في الجدولين 2-4 و 4-6

$SO_{2(g)} \rightarrow SO_4^{2-}{}_{(aq)} + 2e^-$ (تأكسد)

زن الذرات والشحنات في نصفي التفاعل.

$MnO_4^-{}_{(aq)} + 10e^- \rightarrow Mn^{2+}{}_{(aq)}$.

تتوافر جزيئات H_2O في الوسط الحمضي بكثرة، ويمكن استخدامها في وزن ذرات الأكسجين في أنصاف التفاعل؛ وكذلك تتوافر أيونات H^+ بسهولة، ويمكن أن تستخدم في وزن الشحنة.

$SO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)} \rightarrow SO_4^{2-}{}_{(aq)} + 2e^- + 4H^+{}_{(aq)}$ (تأكسد)

$MnO_4^-{}_{(aq)} + 5e^- + 8H^+{}_{(aq)} \rightarrow Mn^{2+}{}_{(aq)} + 4H2O_{(l)}$ (اختزال)

اضبط المعاملات على أن يكون عدد الإلكترونات المفقودة في التأكسد (2) يساوي عدد الإلكترونات المكتسبة في الاختزال (5).

المضاعف المشترك الاصغر لـ 2،5 هو 10، وبالضرب التبادلي ستحصل على وزن لنصفي تفاعل التأكسد والاختزال.

$5SO_{2(g)} + 10H_2O_{(l)} \rightarrow 5SO_4^{2-}{}_{(aq)} + 20\,H^+{}_{(aq)} + 10e^-$ (تأكسد)

$2MnO_4^-{}_{(aq)} + 16H^+{}_{(aq)} + 10e^- \rightarrow 2Mn^{2+}{}_{(aq)} + 8H_2O_{(l)}$ (اختزال)

اجمع نصفي التفاعل اللذين تم وزنهما، وبسّط المعادلة بحذف أو تجميع المواد المتشابهة في طرفي المعادلة.

$5SO_{2(g)} + 10H_2O_{(l)} + 2MnO_4^-{}_{(aq)} + 16H^+{}_{(aq)} + 10e^- \rightarrow 5SO_4^{2-}{}_{(aq)} + 20\,H^+{}_{+(aq)} + 10e^- + 2Mn^{2+}{}_{(aq)} + 8H_2O_{(aq)}$

$5SO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)} + 2MnO_4^-{}_{(aq)} \rightarrow 5SO_4^{2-}{}_{(aq)} + 4H^+{}_{(aq)} + 2Mn^{2+}{}_{(aq)}$

أعد وضع الأيونات المتفرجة (K^+)، وكذلك حالات المواد.

أضف أيونات K^+ إلى أيونات MnO_4^- في الجهة اليسرى، وأحد أيونات SO_4^{2-} إلى الجهة اليمنى. ثم وزع الأيونات المتبقية بين أيون H^+ وأيونات Mn^{2+}.

$5SO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)} + 2KMnO_{4(aq)} \rightarrow$

$K_2SO_{4(aq)} + 2H_2SO_{4(aq)} + 2MnSO_{4(aq)}$

3 تقويم الإجابة

تشير المراجعة للمعادلة الموزونة إلى أن عدد ذرات كل عنصر متساوٍ في طرفي المعادلة.

مسائل تدريبية

استعمل طريقة نصف التفاعل لوزن معادلات الأكسدة والاختزال الآتية:

23. $Cr_2O_7^{2-}{}_{(aq)} + I^-{}_{(aq)} \rightarrow Cr^{3+}{}_{(aq)} + I_{2(s)}$ (في الوسط الحمضي)

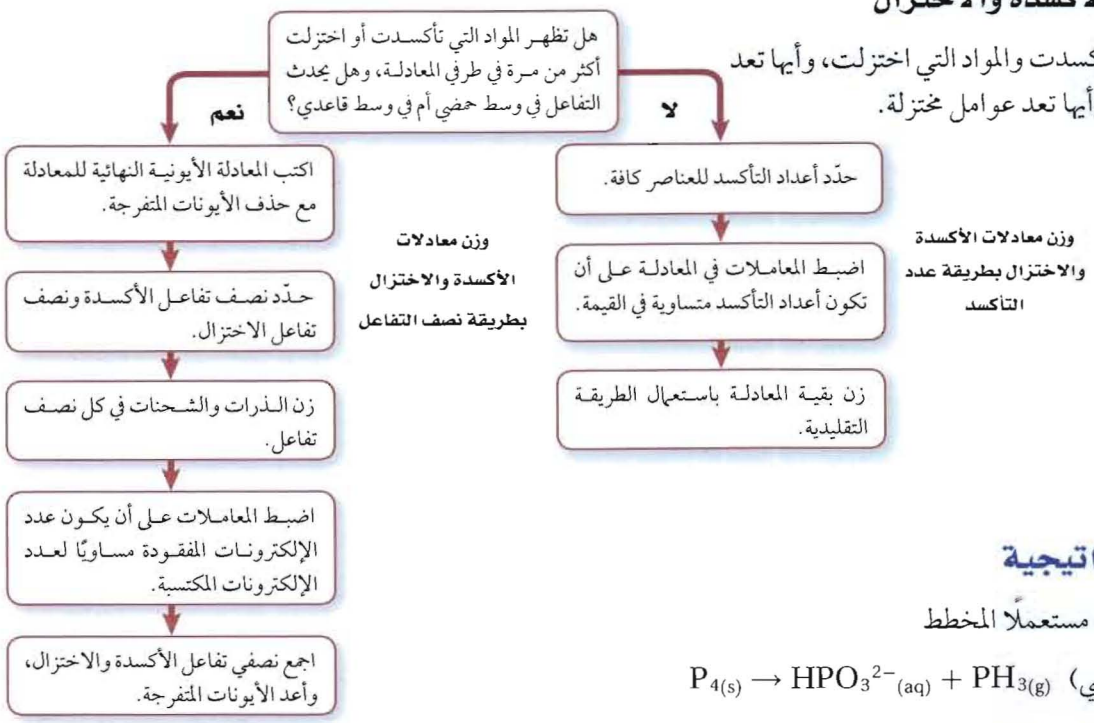
24. $Mn^{2+}{}_{(aq)} + BiO_3^-{}_{(aq)} \rightarrow MnO_4^-{}_{(aq)} + Bi^{2+}{}_{(aq)}$ (في الوسط الحمضي)

25. تحفيز $N_2O_{(g)} + ClO^-{}_{(aq)} \rightarrow NO_2^-{}_{(aq)} + Cl^-{}_{(aq)}$ (في الوسط القاعدي)

استراتيجية حل المسألة

وزن معادلات الأكسدة والاختزال

حدّد المواد التي تأكسدت والمواد التي اختزلت، وأيها تعد عوامل مؤكسدة وأيها تعد عوامل مختزلة.



طبق الاستراتيجية

زن المعادلة الآتية مستعملًا المخطط

(في الوسط الحمضي) $P_{4(s)} \rightarrow HPO_3{}^{2-}{}_{(aq)} + PH_{3(g)}$

التقويم 4-2

الخلاصة

- يصعب وزن معظم معادلات الأكسدة والاختزال باستعمال الطريقة التقليدية.
- تعتمد طريقة عدد التأكسد على مساواة عدد الإلكترونات المفقودة من الذرات بعدد الإلكترونات المكتسبة من قبل ذرات أخرى.
- لوزن معادلات التفاعلات في الوسط الحمضي، أضف عددًا كافيًا من أيونات الهيدروجين وجزيئات الماء.
- أضف عددًا كافيًا من أيونات الهيدروكسيد وجزيئات الماء، لوزن معادلات التفاعلات في الوسط القاعدي.
- نصف التفاعل هو أحد جزأي تفاعل الأكسدة والاختزال.

26. الفكرة الرئيسة **فسّر** كيف يرتبط التغير في عدد التأكسد بعمليات الأكسدة والاختزال؟

27. صف لماذا يُعد من المهم معرفة الظروف التي يتم فيها تفاعل الأكسدة والاختزال في المحلول المائي بهدف وزن معادلة التفاعل؟

28. فسّر خطوات طريقة عدد التأكسد لوزن المعادلة.

29. حدّد ماذا يوضح نصف تفاعل التأكسد؟ وماذا يوضح نصف تفاعل الاختزال؟

30. اكتب نصف تفاعل الأكسدة ونصف تفاعل الاختزال لتفاعل الأكسدة والاختزال الآتي: $Pb_{(s)} + Pd(NO_3)_{2(aq)} \rightarrow Pb(NO_3)_{2(aq)} + Pd_{(s)}$

31. حدّد إذا كان نصف تفاعل الأكسدة هو $Sn^{2+} \rightarrow Sn^{4+} + 2e^-$ ونصف تفاعل الاختزال هو $Au^{3+} + 3e^- \rightarrow Au$، فما أقل عدد من أيونات القصدير II وأيونات الذهب III يمكن أن تتفاعل حتى لا يتبقى إلكترونات؟

32. طبق زن المعادلات الآتية:

a. $HClO_{3(aq)} \rightarrow ClO_{2(g)} + HClO_{4(aq)} + H_2O_{(l)}$

b. $H_2SeO_{3(aq)} + HClO_{3(aq)} \rightarrow H_2SeO_{4(aq)} + Cl_{2(g)} + H_2O_{(l)}$

c. (في الوسط الحمضي) $Cr_2O_7{}^{2-}{}_{(aq)} + Fe^{2+}{}_{(aq)} \rightarrow Cr^{3+}{}_{(aq)} + Fe^{3+}{}_{(aq)}$

في الميدان

المهنة : محقق البحث الجنائي

الدم المضيء Blood That Glows

في رواية شكسبير " ماك بيث " تغسل السيدة ماك بيث يديها من دم الملك " دنكان " ومع ذلك يتبقى هناك احتمال لرؤية آثار الدماء. في الطب الشرعي الحديث يمكن استخدام مادة كيميائية تدعى " اللومينول "حيث تتيح للمحققين القدرة على رؤية الآثار.

الأثر الأزرق المخضر Blue-green whisper يتأكسد اللومينول عندما يلامس الحديد كما في **الشكل 1** . وتنتج في هذه العملية جزيئات الطاقة على صورة ضوء أزرق مخضر واضح، ويظهر الوهج الباهت الأزرق للومينول في الغرفة المظلمة للمحققين عند وجود آثار الدماء غير الظاهرة، وهي ما لا يمكن رؤيته بالعين المجردة. حيث تتكون خلايا الدم بشكل أساسي من الهيموجلوبين – وهو البروتين الذي يحتوي الحديد.

ولاستخدام اللومينول، يلجأ المحققون إلى مزج مسحوق أبيض $C_8H_7O_3N_3$ بـ فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2، وكيماويات أخرى؛ مما يجعل من المزيج سائلًا يمكن أن يُنشر في المنطقة التي يتوقع أن تحتوي كمية ضئيلة من الآثار فيجعلها تتوهج. يقوم المصور الفوتوجرافي للطب الشرعي بالتقاط صور فوتوجرافية سريعة بكاميرات خاصة يمكنها التقاط كل من الوهج الخافت للومينول والمنطقة المضيئة من حولها.



شكل 1 يتأكسد اللومينول في الكأس عند إضافة مسمار من الحديد.



شكل 2 يمكن مقارنة مظهر اللومينول من مسرح الجريمة ببصمات يد المتهم.

الأدلة المتوهجة Glowing evidence يمكن أن تكشف بقع الدم عن أنماط البقع، معطية دلائل حول نوعية السلاح المستخدم في إتمام الجريمة. إذ يمكن أن يرشد وهج اللومينول على السجاد المحققين حول بقع الدم. كما يمكن أن تدل البصمات الدموية في **الشكل 2** على المجرم.

وهناك مستخدمون آخرون للومينول إضافة إلى المحققين؛ ففي حوادث السيارات، يمكن أن يكشف اللومينول فيما إذا كان المهاجم مرتديًا حزام الأمان أم لا، حتى لو كانت السيارة صدمت في أثناء المطر، أو البرد، أو كانت متعرضة لأشعة الشمس المباشرة التي قد تغير بقع الدم.

رذاذ الملاذ الأخير Spray of last resort هناك مواد أخرى تحتوي الحديد بالإضافة إلى الدم وتجعل اللومينول يتوهج، ويمكن للخبراء فقط معرفة الاختلافات. والأكثر أهمية أن اللومينول يمكن أن يتداخل مع اختبارات أخرى؛ ولهذا السبب لا يلجأ رجال التحقيق إلى استخدام اللومينول حتى يكملوا جميع اختباراتهم الأخرى.

الكتابة في الكيمياء

صحيفة الأخبار اكتب مقالة لصحيفة الأخبار تصف فيها كيف يقود اللومينول المحققين إلى الاشتباه بالمجرمين. صف نوع الإثبات المستخدم في التحقيق.

مختبر الكيمياء

الطب الجنائي: تعرّف شاحنة متهالكة (قديمة)

الخلفية هناك شيء ما يتفاعل مع المعادن التي تتواجد على أجسام العديد من القوارب في النهر المجاور لشاحنة متهالكة (قديمة). وقد ربط المحقق ذلك بثلاثة أسباب محتملة، ترتبط بثلاثة ملوثات كيميائية. ومهمتك أن تختبر هذه الملوثات وتقارنها بعينة من النهر. والحيوانات التي تعتمد على مياه النهر كمصدر أساسي لها، تعتمد عليك في مساعدتها لحل لغز الشاحنة المتهالكة وبالتالي معرفة الملوثات الحقيقية لمياه النهر.

سؤال كيف يمكن استخدام سلسلة تفاعلات كيميائية في تحديد طبيعة الشيء الذي يؤدي إلى تلويث مصدر المياه؟

المواد الكيميائية والأدوات اللازمة

$0.1\ M\ AgNO_3$	برادة Fe
$0.1\ M\ HCl$	خراطة Mg
$0.1\ M\ ZnSO_4$	ملقط
محلول مجهول المكونات	قطارة عدد (4)
أسلاك نحاس	طبق تفاعلات بلاستيكي 24 فجوة
Pb صلب	

إجراءات السلامة



تحذير: تُعد نترات الفضة $AgNO_3$ مادة شديدة السميّة، وتؤدي إلى تكوّن البقع على الجلد والملابس.

خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. صمّم جدولًا لتسجيل بياناتك.
3. ضع طبق التفاعلات البلاستيكي على ورقة بيضاء.
4. ضع قطعة من أسلاك النحاس في أربع فجوات من الصف الأول.
5. كرر الخطوة 4، وذلك بإضافة عينات صغيرة من الحديد إلى أربع فجوات في الصف الثاني.
6. كرر الخطوة 4، وذلك بإضافة عينات صغيرة من الرصاص إلى أربع فجوات في الصف الثالث.
7. كرر الخطوة 4، وذلك بإضافة قطع من شريط الماغنيسيوم إلى أربع فجوات في الصف الرابع.
8. ضع 20 قطرة من محلول نترات الفضة $AgNO_3$ في كل فجوة من العمود الأول.
9. كرر الخطوة 8، بإضافة حمض الهيدروكلوريك HCl إلى العمود الثاني.

الملاحظات				
	$AgNO_3$	HCl	$ZnSO_4$	محلول مجهول
Cu				
Pb				
Fe				
Mg				

10. كرر الخطوة 8 بإضافة محلول كبريتات الخارصين $ZnSO_4$ إلى العمود الثالث.
11. كرر الخطوة 8، بإضافة المحلول المجهول الى العمود الرابع.
12. اسمح باستمرار التفاعلات مدة خمس دقائق، ثم صفها. واكتب "لا تفاعل" لأي حجرة لم يكن هناك دليل على حدوث تفاعل فيها.
13. **التنظيف والتخلص من النفايات** تخلص من النفايات الصلبة والمحاليل كما يرشدك المعلم. واغسل المواد والأدوات وأعدها إلى أماكنها.

حلل واستنتج

1. **لخص** النتائج التي لاحظتها في كل فجوة. وكيف عرفت بحدوث تفاعل كيميائي؟
2. **اعمل نموذجًا** اكتب معادلة تفاعل موزونة لكل تفاعل شاهدته. وحدد في كل معادلة المواد التي تأكسدت والمواد التي اختزلت.
3. **استنتج** استنادًا لبياناتك، أي المحاليل أكثر تلويثًا للمياه؟ فسرّ إجابتك.
4. **استخدم** المتغيرات والثوابت والضوابط لماذا كان مهمًا مقارنة التفاعلات للمحلول المجهول مع أكثر من محلول معروف واحد؟
5. **ابحث** اكتب تقريرًا حول أهمية الكيماويات التي توجد في النظام البيئي.
6. **توسع** ماذا تتوقع إذا كان محلول نترات الرصاص II $Pb(NO_3)_2$ أحد المحاليل المستعملة؟
7. **تحليل الخطأ** قارن إجابتك مع إجابات الطلبة الآخرين في المختبر. فسّر وجود أي من الفروقات.

استقصاء موسع

صمّم تجربة ضع فرضية حول الطريقة التي يمكنك بها إزالة الكيماويات من مصادر المياه دون إلحاق أذى إضافي بالبيئة والمنطقة المحيطة بها، ثم صمّم تجربة لاختبار فرضيتك.

الفصل 4

دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة تعدّ تفاعلات الأكسدة والاختزال من العمليات الكيميائية الشائعة في الطبيعة وفي الصناعة، وتتضمّن انتقالاً للإلكترونات.

4-1 الأكسدة والاختزال

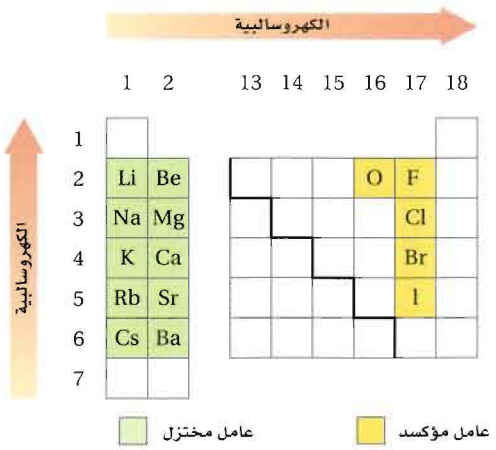
الفكرة الرئيسة يعدُّ تفاعلا الأكسدة والاختزال تفاعلين متكاملين؛ إذ تتأكسد ذرة وتُختزل الأخرى.

المفردات

- تفاعل الأكسدة والاختزال
- الأكسدة
- الاختزال
- العامل المؤكسد
- العامل المختزل

المفاهيم الرئيسة

- تتضمن تفاعلات الأكسدة والاختزال انتقال الإلكترونات من ذرة إلى أخرى.
- عندما تختزل ذرة أو أيون فإن عدد التأكسد ينخفض، وعندما تتأكسد ذرة أو أيون فإن عدد التأكسد يزداد.
- تُعامل الذرات ذات الكهروسالبية العالية، في تفاعلات الأكسدة والاختزال التي تتضمن مركبات جزيئية (والأيونات المتعددة الذرات التي تحتوي روابط تساهمية) كما لو اختزلت، في حين تُعامل الذرات ذات الكهروسالبية المنخفضة كما لو تأكسدت.



4-2 وزن معادلات الأكسدة والاختزال

الفكرة الرئيسة تصبح معادلات الأكسدة والاختزال موزونةً عندما تكون الزيادة الكلية في أعداد التأكسد مساويةً للانخفاض الكلي في أعداد التأكسد للذرات الداخلة في التفاعل.

المفردات

- طريقة عدد التأكسد
- نصف التفاعل

المفاهيم الرئيسة

- يصعب وزن معادلات الأكسدة والاختزال التي يظهر فيها العنصر نفسه في كل من المواد المتفاعلة والناتجة باستعمال الطريقة التقليدية.
- تعتمد طريقة عدد التأكسد على مساواة عدد الإلكترونات التي تفقد من الذرات مع عدد الإلكترونات التي تكتسب من ذرات أخرى.
- تُضاف أيونات الهيدروجين وجزيئات الماء لوزن معادلات التفاعلات في الوسط الحمضي.
- تُضاف أيونات الهيدروكسيد وجزيئات الماء لوزن معادلات التفاعلات في الوسط القاعدي.
- نصف التفاعل هو أحد جزأي تفاعل الأكسدة والاختزال.

4-1

إتقان المفاهيم

33. ما أهم خواص تفاعلات الأكسدة والاختزال؟

34. فسر، لماذا لا تتضمن جميع تفاعلات الأكسدة الأكسجين؟

35. ماذا يحدث للإلكترونات في الذرة عندما تتأكسد؟ أو تختزل؟

36. عرّف عدد التأكسد.

37. ما عدد التأكسد لكل من الفلزات القلوية الأرضية والفلزات القلوية في مركباتها؟

38. كيف يرتبط عدد التأكسد في عمليات التأكسد بعدد الإلكترونات المفقودة؟ وكيف يرتبط عدد التأكسد في عمليات الاختزال بعدد الإلكترونات المكتسبة؟



الشكل 9-4

39. ما سبب الاختلاف في أشكال خراطة النحاس الموضحة في الشكل 9-4؟

40. النحاس والهواء تبدأ تماثيل النحاس بالظهور بلون أخضر بعد تعرضها للهواء. ويتفاعل فلز النحاس في عملية الأكسدة هذه مع الأكسجين لتكوين أكسيد النحاس الصلب، والذي يكوّن الغطاء الأخضر. اكتب تفاعل الأكسدة والاختزال، وعرّف ما الذي تأكسد، وما الذي اختزل في هذه العملية.

إتقان حل المسائل

41. حدد المواد التي تأكسدت والتي اختزلت في معادلات الأكسدة والاختزال الآتية:

a. $2Br_{2(l)} + 2Ga_{(s)} \rightarrow 2GaBr_{3(s)}$

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

c. $3Mg_{(s)} + N_{2\,(g)} \rightarrow Mg_3N_{2(s)}$

42. عرّف العامل المؤكسد والعامل المختزل في كل من معادلات الأكسدة والاختزال الآتية:

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

b. $2Na_{(s)} + I_{2(s)} \rightarrow 2NaI_{(s)}$

ما العامل المختزل في المعادلة الموزونة الآتية؟

$$8H^+_{(aq)} + Sn_{(s)} + 6Cl^-_{(aq)} + 4NO_3^-{}_{(aq)} \rightarrow SnCl_6^{-2}{}_{(aq)} + 4NO_{2(g)} + 4H_2O_{(l)}$$

44. ما عدد التأكسد للمنجنيز في $KMnO_4$؟

45. حدّد عدد التأكسد للعنصر الظاهر باللون الداكن في المواد والأيونات الآتية:

a. $CaCrO_4$ **c.** NO_2^-

b. $NaHSO_4$ **d.** BrO_3^-

46. حدّد أي أنصاف التفاعلات الآتية أكسدة، وأيها اختزال:

a. $Al_{(s)} \rightarrow Al^{3+}{}_{(aq)} + 3e^-$

b. $Cu^{2+}{}_{(aq)} + e^- \rightarrow Cu^+{}_{(aq)}$

47. أي المعادلات الآتية لا تمثل تفاعل أكسدة واختزال؟ فسر إجابتك.

a. $LiOH_{(s)} + HNO_{3(aq)} \rightarrow LiNO_{3\,(s)} + H_2O_{\,(l)}$

b. $MgI_{2\,(s)} + Br_{2\,(l)} \rightarrow MgBr_{2\,(s)} + I_{2\,(s)}$

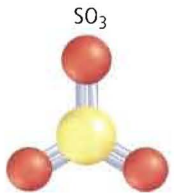
48. حدّد عدد التأكسد للنيتروجين في كل من الجزيئات أو الأيونات الآتية:

a. NO_3^- **b.** N_2O **c.** NF_3

49. حدّد أعداد التأكسد لكل عنصر في المركبات أو الأيونات الآتية:

a. $Au_2(SeO_4)_3$ سيلينات الذهب III

b. $Ni(CN)_2$ سيانيد النيكل II



الشكل 10-4

50. فسّر كيف يختلف أيون الكبريتيت SO_3^{2-} عن ثالث أكسيد الكبريت SO_3، الموضح في **الشكل 10-4**.

4-2

إتقان المفاهيم

51. قارن بين معادلة الأكسدة والاختزال الموزونة في الوسط الحمضي والوسط القاعدي.

52. فسر لماذا تعد كتابة أيون الهيدروجين على الصورة H^+ في تفاعلات الأكسدة والاختزال تبسيطًا للواقع.

53. لماذا يتعين عليك قبل أن تبدأ بوزن معادلة تفاعل الأكسدة والاختزال معرفة إذا كان التفاعل يحدث في وسط حمضي أو قاعدي؟

54. فسّر ما الأيون المتفرج؟

55. عرّف مصطلح أنواع المواد بدلالة تفاعلات الأكسدة والاختزال.

56. هل المعادلة الآتية موزونة؟ فسر إجابتك.

$$Fe_{(s)} + Ag^+_{(aq)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + Ag_{(s)}$$

57. هل المعادلة الآتية تمثل عملية أكسدة أم عملية اختزال؟ فسّر إجابتك.

$$Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Zn_{(s)}$$

58. صف ما يحدث للإلكترونات في كل نصف تفاعل من عملية الأكسدة والاختزال.

إتقان حل المسائل

59. استعمل طريقة عدد التأكسد لوزن معادلات الأكسدة والاختزال الآتية:

a. $Cl_{2\,(g)} + NaOH_{(s)} \rightarrow NaCl_{(s)} + HOCl_{(g)}$

b. $HBrO_{3\,(g)} \rightarrow Br_{2\,(l)} + H_2O_{(l)} + O_{2\,(g)}$

60. زن المعادلات الأيونية الكلية لتفاعلات الأكسدة والاختزال الآتية:

a. $Au^{3+}_{(aq)} + I^-_{(aq)} \rightarrow Au_{(s)} + I_{2(s)}$

b. $Ce^{4+}_{(aq)} + Sn^{2+}_{(aq)} \rightarrow Ce^{3+}_{(aq)} + Sn^{4+}_{(aq)}$

61. استخدم طريقة عدد التأكسد لوزن معادلات الأكسدة والاختزال الأيونية الآتية:

a. $Al + I_2 \rightarrow Al^{3+} + I^-$

b. $MnO_2 + Br^- \rightarrow Mn^{2+} + Br_2$ (في الوسط الحمضي)

62. استعمل طريقة عدد التأكسد لوزن معادلات الأكسدة والاختزال الآتية:

a. $PbS_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow PbO_{(s)} + SO_{2\,(g)}$

b. $NaWO_{3(s)} + NaOH_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow NaWO_{4\,(s)} + H_2O_{(g)}$

c. $NH_{3\,(g)} + CuO_{(s)} \rightarrow Cu_{(s)} + N_{2\,(g)} + H_2O_{\,(g)}$

d. $Al_2O_{3\,(s)} + C_{(s)} + Cl_{2(g)} \rightarrow AlCl_{3\,(s)} + CO_{(g)}$



الشكل 11-4

63. الياقوت يتكون معدن الكورنديوم من أكسيد الألومنيوم Al_2O_3 وهو عديم اللون، ويعد أكسيد الألومنيوم المكون الرئيس للياقوت، إلا أنه يحتوي مقادير بسيطة من Fe^{2+} و Ti^{4+}، ويعزى لون الياقوت إلى انتقال الإلكترونات من Fe^{2+} إلى Ti^{4+}. واستنادًا إلى **الشكل 11-4**، استنتج التفاعل الذي يحدث لينتج المعدن في الجهة اليمنى، وحدد العامل المؤكسد، والعامل المختزل.

64. اكتب نصفي تفاعل الأكسدة والاختزال في كل من معادلات الأكسدة والاختزال الآتية على الصورة الأيونية إذا حدث في المحلول المائي:

a. $PbO_{(s)} + NH_{3(g)} \rightarrow N_{2(g)} + H_2O_{(l)} + Pb$

b. $I_{2(s)} + Na_2S_2O_{3(aq)} \rightarrow Na_2SO_{4(aq)} + NaI$

c. $Sn_{(s)} + 2HCl_{(aq)} \rightarrow SnCl_{2(aq)} + H_{2(g)}$

65. اكتب نصفي التفاعل اللذين يكوّنان معادلة الأكسدة والاختزال الموزونة الآتية:

$$3H_2C_2O_{4(l)} + 2HAsO_{2(aq)} \rightarrow 6CO_{2(g)} + 2As_{(s)} + 4H_2O_{(l)}$$

66. أي أنصاف التفاعلات الآتية أكسدة وأيها اختزال؟

a. $Fe^{2+}_{(aq)} \rightarrow Fe^{3+}_{(aq)} + e^-$

b. $MnO_4^-{}_{(aq)} + 5e^- + 8H^+_{(aq)} \rightarrow Mn^{2+}_{(aq)} + 4H_2O_{(l)}$

c. $2H^+_{(aq)} + 2e^- \rightarrow H_{2(g)}$

d. $F_{2(g)} \rightarrow 2F^-_{(aq)} + 2e^-$



الشكل 12-4

67. النحاس عندما توضع شرائح النحاس في محلول نترات الفضة كما في **الشكل 12-4** يبدو فلز الفضة أزرق اللون، وتتكون نترات النحاس II. اكتب المعادلة الكيميائية غير الموزونة، ثم حدد حالة التأكسد لكل عنصر فيها. اكتب أيضًا نصفي معادلة التفاعل، وحدّد أيهما تأكسد، وأيهما اختزل. وأخيرًا اكتب المعادلة الكيميائية الموزونة للتفاعل.

68. استخدم طريقة عدد التأكسد لوزن معادلات الأكسدة والاختزال الأيونية الآتية:

a. $MoCl_{5(s)} + S^{2-}_{(aq)} \rightarrow MoS_{2(s)} + Cl^-_{(aq)} + S_{(s)}$

b. $TiCl_6^{2-}{}_{(aq)} + Zn_{(s)} \rightarrow Ti^{3+}_{(aq)} + Cl^-_{(aq)} + Zn^{2+}_{(aq)}$

69. استعمل طريقة نصف التفاعل لوزن معادلات تفاعلات الأكسدة والاختزال الآتية، مضيفًا جزيئات الماء وأيونات الهيدروجين (في الوسط الحمضي)، أو أيونات الهيدروكسيد (في الوسط القاعدي) إذا تطلب الأمر ذلك:

a. $NH_{3(g)} + NO_{2(g)} \rightarrow N_{2(g)} + H_2O_{(l)}$

b. $Br_{2(l)} \rightarrow Br^-_{(aq)} + BrO_3^-{}_{(aq)}$ (في الوسط القاعدي)

70. زن معادلة التأكسد والاختزال الآتية، وأعد كتابتها بشكلها الأيوني الكامل، ثم اشتق المعادلة الأيونية الكلية وزنها بطريقة نصف التفاعل. على أن تكون الإجابة النهائية بمعاملات الوزن ولكن على النحو الآتي:

$$KMnO_{4(aq)} + FeSO_{4(aq)} + H_2SO_{4(aq)} \rightarrow$$
$$Fe_2(SO_4)_{3(aq)} + MnSO_{4(aq)} + K_2SO_{4(aq)} + H_2O_{(l)}$$

71. استخدم طريقة عدد التأكسد في وزن معادلات الأكسدة والاختزال الآتية:

a. $PbO_{(s)} + NH_{3(g)} \rightarrow N_{2(g)} + H_2O_{(l)} + Pb_{(s)}$

b. $I_{2(s)} + NaS_2O_{3(aq)} \rightarrow N_2S_2O_{4(aq)} + NaI_{(aq)}$

c. $Sn_{(s)} + 2HCl_{(aq)} \rightarrow SnCl_{2(aq)} + H_{2(g)}$

72. استخدم طريقة نصف التفاعل في وزن هذه المعادلات مضيفًا جزيئات الماء وأيونات الهيدروجين (في الوسط الحمضي)، أو أيونات الهيدروكسيد (في الوسط القاعدي) عند الحاجة. واحتفظ بالمعادلات الموزونة على صورة معادلة أيونية نهائية:

a. $Cl^-_{(aq)} + NO_3^-{}_{(aq)} \rightarrow ClO^-_{(aq)} + NO\,(g)$
(في الوسط الحمضي)

b. $IO_3^-{}_{(aq)} + Br^-_{(aq)} \rightarrow Br_{2(l)} + IBr_{(s)}$
(في الوسط الحمضي)

c. $I_{2(s)} + Na_2S_2O_{3(aq)} \rightarrow Na_2S_2O_{4(aq)} + NaI_{(aq)}$
(في الوسط الحمضي)

مراجعة عامة

73. حدّد عدد التأكسد لكل عنصر من العناصر الظاهرة بلون داكن:

a. OF_2 **b.** UO_2^{2+} **c.** RuO_4 **d.** Fe_2O_3

74. حدّد كلًّا من التغيرات الآتية إذا كانت أكسدة أو اختزال:

a. $2Cl^-_{(aq)} \rightarrow Cl_{2(g)} + 2e^-$

b. $Na_{(s)} \rightarrow Na^+_{(aq)} + e^-$

c. $Ca^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Ca_{(s)}$

d. $O_{2(g)} + 4e^- \rightarrow 2O^{2-}_{(aq)}$

75. استعمل قواعد تحديد عدد التأكسد لإكمال **الجدول 7-4**.

الجدول 7 – 4 بيانات المركبين

العنصر	عدد التأكسد	القاعدة
K in KBr	+1	
Br in KBr		8
Cl in Cl_2		1
K in KCl		7
Cl in KCl	−1	
Br in Br_2	0	

76. حدد العوامل المختزلة في المعادلات الآتية:

a. $4NH_{3(g)} + 5O_{2(g)} \rightarrow 4NO_{(g)} + 6H_2O_{(l)}$

b. $Na_2SO_{4(aq)} + 4C_{(s)} \rightarrow Na_2S_{(s)} + 4CO_{(g)}$

c. $4IrF_{5(aq)} + Ir_{(s)} \rightarrow 5IrF_{4(s)}$

77. اكتب معادلة أيونية موزونة مستعملًا أزواج أنصاف تفاعلات الأكسدة والاختزال الآتية:

a. $Fe_{(s)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^-$, $Te^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Te_{(s)}$

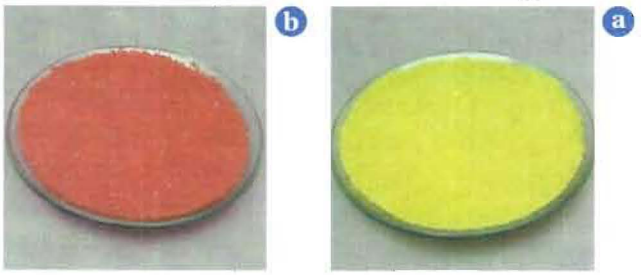
b. $IO_4^-{}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow IO_3^-{}_{(aq)}$ (في الوسط الحمضي)

$Al_{(s)} \rightarrow Al^{3+}_{(aq)} + 3e^-$

c. $I_{2(aq)} + 2e^- \rightarrow 2I^-_{(aq)}$

$N_2O_{(g)} \rightarrow 2NO_3^-{}_{(aq)} + 8e^-$ (في الوسط القاعدي)

78. ما عدد تأكسد الكروم في كل من المركبات الموضحة في **الشكل 13-4**؟



الشكل 13-4

79. زن معادلات الأكسدة والاختزال الأيونية الآتية بأي طريقة من طرائق وزن المعادلات.

a. $Sb^{3+}_{(aq)} + MnO_4^-{}_{(aq)} \rightarrow SbO_4^{3-}{}_{(aq)} + Mn^{2+}_{(aq)}$ (في الوسط الحمضي)

b. $N_2O_{(g)} + ClO^-_{(aq)} \rightarrow Cl^-_{(aq)} + NO_2^-{}_{(aq)}$ (في الوسط القاعدي)

80. **الأحجار الكريمة** الياقوت حجر كريم يتكون من أكسيد الألومنيوم، أما لونه الأحمر فقد جاء من احتوائه على مقادير ضئيلة من أيونات الكروم III التي تحل محل أيونات الألومنيوم. ارسم تركيب أكسيد الألومنيوم، ووضح التفاعل الذي تحل فيه أيونات الكروم محل أيونات الألومنيوم، وهل هذا التفاعل تفاعل تأكسد واختزال؟

81. زن معادلات الأكسدة والاختزال الأيونية الآتية بأية طريقة من طرائق الوزن:

a. $Mg_{(s)} + Fe^{3+}_{(aq)} \rightarrow Mg^{2+}_{(aq)} + Fe_{(s)}$

b. $ClO_3^-{}_{(aq)} + SO_{2(g)} \rightarrow Cl^-_{(aq)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)}$ (في الوسط الحمضي)

82. زن معادلات الأكسدة والاختزال الآتية بأية طريقة من طرائق الوزن:

a. $P_{(s)} + H_2O_{(l)} + HNO_{3(aq)} \rightarrow H_3PO_{4(aq)} + NO_{(g)}$

b. $KClO_{3(aq)} + HCl_{(aq)} \rightarrow Cl_{2(g)} + ClO_{2(g)} + H_2O_{(l)} + KCl_{(s)}$

التفكير الناقد

83. **طبق** تبين المعادلات الآتية تفاعلات الأكسدة والاختزال التي تستخدم لتحضير غاز النيتروجين النقي وغاز ثاني أكسيد النيتروجين وغاز أول أكسيد النيتروجين N_2O في المختبر:

$$NH_4NO_{2(s)} \rightarrow N_{2(g)} + 2H_2O_{(l)}$$
$$NH_4NO_{3(s)} \rightarrow N_2O_{(g)} + 2H_2O_{(l)}$$

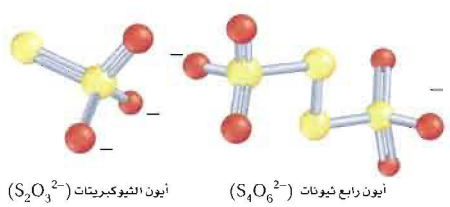
a. حدّد عدد التأكسد لكل عنصر في المعادلتين، ثم ارسم مخططًا توضح فيه التغير في عدد التأكسد الذي يحدث في كل تفاعل.

b. حدّد الذرة التي تأكسدت والذرة التي اختزلت في كلا التفاعلين.

c. حدّد العامل المؤكسد والعامل المختزل لكلا التفاعلين.

d. اكتب جملة توضح فيها كيف انتقال الإلكترونات الذي حدث في هذين التفاعلين عن التفاعل الآتي:

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



الشكل 14-4

84. **حلّل** ادرس المعادلة الأيونية الكلية أدناه، للتفاعل الذي يحدث عند تأكسد أيون الثيوكبريتات $S_2O_3^{2-}$ إلى أيون رابع ثيونات $S_4O_6^{2-}$. زن المعادلة مستعملًا طريقة نصف التفاعل. وسوف يساعدك **الشكل 14-4** على تحديد أعداد التأكسد لاستعمالها.

(في الوسط الحمضي) $S_2O_3^{2-}{}_{(aq)} + I_{2(s)} \rightarrow I^-_{(aq)} + S_4O_6^{2-}{}_{(aq)}$

85. **توقع** اعتبر أن جميع المركبات الآتية مركبات مستقرة حقيقة. ما الذي يمكنك أن تستدل عليه عن حالة التأكسد للفوسفور في مركباته؟

PH_3, PCl_3, P_2H_4, PCl_5, H_3PO_4, Na_3PO_3

86. **جد الحل** تؤكسد برمنجنات البوتاسيوم أيونات الكلوريد لتكون غاز الكلور. قم بموازنة معادلة تفاعل التأكسد والاختزال الذي يحدث في الوسط الحمضي.

87. في نصف التفاعل $NH_4^+ \rightarrow NO_3^-$، في أي من الطرفين يجب إضافة الإلكترونات؟ قم بإضافة العدد الصحيح من الإلكترونات للطرف الذي يحتاج لذلك، ثم أعد كتابة المعادلة.



الشكل 15-4

88. استعمل طريقة نصف التفاعل لوزن معادلة تفاعل الأكسدة والاختزال الذي يحدث بين أيونات ثاني كرومات وأيونات اليوديد في الوسط الحمضي، والذي يوضحه **الشكل 15-4**.

مسألة تحفيز

89. اكتب المعادلة الكيميائية لكل تفاعل موصوف فيما يأتي دون كتابة المعاملات لوزنها، ثم حدد حالة التأكسد لكل عنصر في المعادلة. ثم اكتب نصفي التفاعل محددًا أيهما نصف تفاعل أكسدة وأيهما نصف تفاعل اختزال.

a. عند وضع أكسيد الزئبق الصلب في أنبوب وتسخينه بلطف يتكون أكسيد الزئبق السائل في قاع أنبوب الاختبار وتتصاعد فقاعات غاز الأكسجين من أنبوب الاختبار.

b. عند وضع قطع من النحاس الصلب في محلول نترات الفضة، تتكون نترات النحاس II الأزرق ويظهر فلز الفضة في المحلول.

4 تقويم الفصل

مراجعة تراكمية

استخدم ما يأتي للإجابة عن الأسئلة من 93 - 90.

لدينا 5 كؤوس يحتوي كل منها على 500 ml من محلول مائي تركيزه 0.250 M من إحدى المواد الآتية:

A. KCl

B. CH_3OH

C. $Ba(OH)_2$

D. CH_3COOH

E. $NaOH$

90. أي المواد ستتفكك لأكبر عدد من الجسيمات عندما تكون في المحلول؟

91. أي المواد لها أكبر كتلة مولية؟

92. أي الكؤوس يمكن أن تحتوي على 9.32g من المادة الكيميائية؟

93. أي الكؤوس تتكون محتوياته من 18.6% أكسجين؟

تقويم إضافي

الكتابة في الكيمياء

94. **الفولاذ** ابحث عن دور تفاعلات الأكسدة والاختزال في صناعة الفولاذ، واكتب ملخصًا للنتائج التي حصلت عليها متضمنًا الرسوم المناسبة والمعادلات التي تمثل التفاعلات.

95. **الأواني الفضية** اكتب طريقة لتنظيف الأواني الفضية من الملوّثات الناتجة عن عمليات الأكسدة والاختزال. وتأكد من تضمين ذلك معلومات نظرية تصف فيها العملية في خطوات متسلسلة تجعل أي شخص قادرًا على تنفيذ هذه المهمة.

96. **النحاس** كان النحاس فلزًّا مهمًّا قبل استخلاص فلزات الحديد والفضة والذهب خاصة، واستعمال خاماتها كأدوات وأوانٍ ومجوهرات وأعمال فنية. وكان يصهر بتسخين خاماته مع الفحم إلى درجة حرارة عالية كما كان الحال قبل 8000 سنة. قارن بين عمليات استخراج النحاس واستعمالاته في الحضارات القديمة والآن.

أسئلة المستندات

أعمال الزجاج تتأثر الألوان المتكونة في زجاج السيراميك كما في **الشكل 16-4** بدرجة حرارة التسخين، حيث تعطي الأيونات الفلزية للنحاس الذي له أكثر من حالة أكسدة ألوانًا مختلفة عند تسخينه. تتوفر كميات كبيرة من الأكسجين في أثناء عمليات الحرق مما يجعل أيونات النحاس الموجودة في الزجاج تلون اللهب باللون الأخضر المائل إلى الزرقة. وفي حالة الاختزال يوجد الأكسجين بكميات قليلة، وتزداد كمية ثاني أكسيد الكربون مما يجعل أيونات النحاس في الزجاج تميل إلى اللون الأحمر.



الشكل 16-4

97. اكتب معادلة لما يحدث في الآنية الخزفية الموضحة في **الشكل 16-4**.

98. استنادًا إلى لون آنية النحاس الخزفية، أيهما أكثر ميلاً للتأكسد؟ وأيهما أكثر ميلاً للإختزال؟

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

1. أي مما يأتي لا يعد عاملًا مختزلًا في تفاعل الأكسدة والاختزال؟

a. المادة التي تأكسدت
b. مستقبل الإلكترون
c. المادة الأقل كهروسالبية
d. مانح الإلكترون

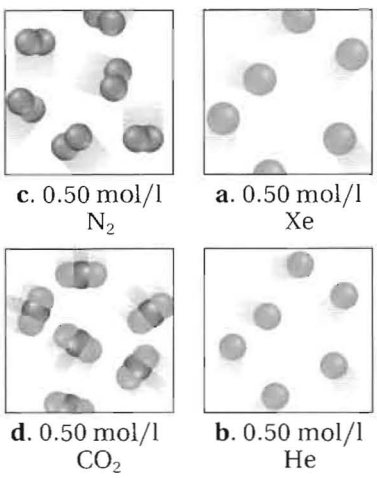
2. التفاعل بين النيكل وكلوريد النحاس II موضح على النحو الآتي:

$$Ni_{(s)} + CuCl_{2(aq)} \rightarrow Cu_{(s)} + NiCl_{2(aq)}$$

ما نصفي تفاعل الأكسدة والاختزال للتفاعل؟

a. $Ni_{(s)} \rightarrow Ni^{2+}{}_{(aq)} + 2e^-, Cl2_{(g)} \rightarrow 2Cl^-{}_{(aq)} + 2e^-$
b. $Ni_{(s)} \rightarrow Ni^{2+}{}_{(aq)} + e^-, Cu^+{}_{(aq)} + e^- \rightarrow Cu_{(s)}$
c. $Ni_{(s)} \rightarrow Ni^{2+}{}_{(aq)} + 2e^-, Cu^{2+}{}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Cu_{(s)}$
d. $Ni_{(s)} \rightarrow Ni^{2+}{}_{(aq)} + 2e^-, 2Cu^+{}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Cu_{(s)}$

استعمل الأشكال الآتية للإجابة عن السؤالين 3 و 4، علمًا أن جميع الأوعية حجمها 5.0 L، عند درجة الحرارة نفسها:



c. 0.50 mol/l N_2 | **a.** 0.50 mol/l Xe

d. 0.50 mol/l CO_2 | **b.** 0.50 mol/l He

3. أي من الأوعية أعلاه يحتوي 110 g من الغاز؟

a. A
b. B
c. C
d. D

4. إذا أُحدث ثقب في الأوعية كلها، بحيث أصبح الغاز قادرًا على التسرب من الوعاء، فأي الغازات سيكون له أعلى معدل انتشار؟

a. A
b. B
c. C
d. D

5. النظام الآتي في حالة اتزان:

$$2S_{(s)} + 5F_{2(g)} \rightleftharpoons SF_{4(g)} + SF_{6(g)}$$

ما الذي يجعل الاتزان يتجه إلى اليمين؟

a. زيادة تركيز SF_4
b. زيادة تركيز SF_6
c. زيادة الضغط على النظام
d. تقليل الضغط على النظام

استخدم الجدول الآتي للإجابة عن السؤال 6.

بيانات تكوين كبريتات الكوبلت II عند درجة 25°C

$$Co_{(s)} + S_{(s)} + 2O_{2(g)} \rightarrow CoSO_{4(s)}$$

ΔH_f°	−888.3 kJ/mol
ΔS_f°	118.0 J/mol·K
ΔG_f°	?

6. ما مقدار ΔG_f° لتكوين كبريتات الكوبلت II من عناصره؟

a. −853.1 Kg/mol
b. −885.4 Kg/mol
c. −891.3 Kg/mol
d. −823.5 Kg/mol

7. ماذا تؤثر زيادة درجة حرارة التفاعل في نظام متزن إذا علمت أن التفاعل الطردي ماص للحرارة؟

a. سيزاح الاتزان للجهة اليسرى.
b. سيزاح الاتزان للجهة اليمنى.
c. سيقل معدل سرعة التفاعل الطردي.
d. سيقل معدل سرعة التفاعل العكسي.

8. التفاعل بين يوديد الصوديوم والكلور موضح على النحو الآتي:

$$2NaI_{(aq)} + Cl_{2(aq)} \rightarrow 2NaCl_{(aq)} + I_{2(aq)}$$

أي الأسباب الآتية تبقي حالة تأكسد الصوديوم دون تغيير:

a. Na^+ أيون متفرج.

b. Na^+ لا يمكن أن يختزل.

c. Na^+ عنصر غير متحد.

d. Na^+ أيون أحادي الذرة.

أسئلة الإجابات القصيرة

استعمل المعادلة أدناه للإجابة عن السؤالين 9,10، علمًا أن المعادلة الأيونية الكلية بين اليود وأكسيد الرصاص IV موضحة على النحو الآتي:

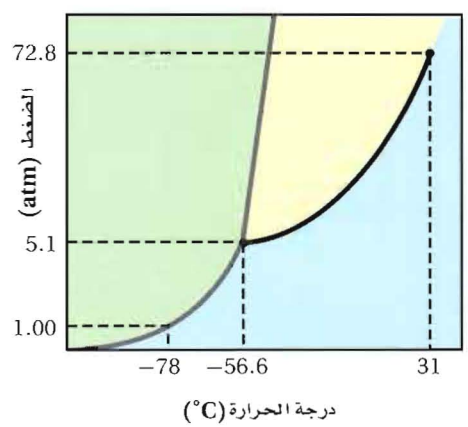
$$I_{2(s)} + PbO_{2(s)} \rightarrow IO_3^-{}_{(aq)} + Pb^{2+}{}_{(aq)}$$

9. حدد عدد التأكسد لكل مشارك في التفاعل.

10. فسّر كيف تحدد العنصر الذي تأكسد والعنصر الذي اختزل.

أسئلة الإجابات المفتوحة

استعمل الرسم البياني الآتي لغاز CO_2 للإجابة عن الأسئلة من 11 إلى 13.



11. فسّر ما الحالة أو الحالات التي توجد عليها المادة عند درجة الحرارة 56.6 °C−، وضغط مقداره 31.1 atm.

12. افترض أن لديك عينة من CO_2 عند درجة 35°C و 83 atm. فما حالة المادة في هذه العينة؟ فسّر كيف يمكنك توقع هذا من الرسم البياني.

13. أيهما يكون أكثر كثافة: ثاني أكسيد الكربون في حالته السائلة أم في حالته الصلبة؟ استخدم الرسم البياني لتفسير ذلك.

الفصل 5

الكيمياء الكهربائية Electrochemistry



الفكرة العامة يمكن تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية، كما يمكن تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية.

5-1 الخلايا الجلفانية

الفكرة الرئيسة تحدث الأكسدة في الخلايا الجلفانية عند الأنود منتجة إلكترونات تتدفق نحو الكاثود حيث يحدث الاختزال.

5-2 البطاريات

الفكرة الرئيسة البطاريات خلايا جلفانية تستعمل التفاعلات التلقائية لإنتاج الطاقة لأغراض متعددة.

5-3 التحليل الكهربائي

الفكرة الرئيسة يؤدي وجود مصدر تيار كهربائي في التحليل الكهربائي إلى حدوث تفاعل غير تلقائي في الخلايا الكهروكيميائية.

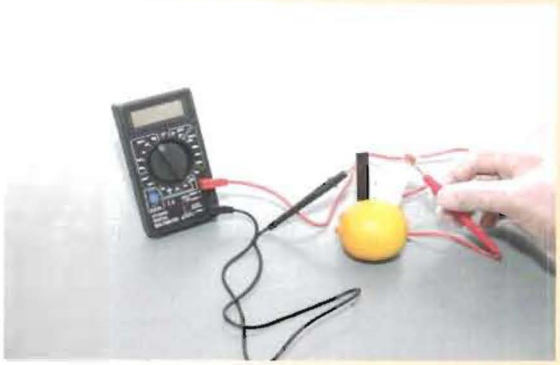
حقائق كيميائية

- التقطت كاميرا خاصة هذه الصورة لأسد الجبل، ويعد استعمال هذه الكاميرا طريقة غير مؤذية لدراسة الحيوانات.
- توصل هذه الكاميرا بجهاز استشعار يجعلها تعمل عند اقتراب الحيوان.
- يعمل جهاز الاستشعار عادة بالأشعة تحت الحمراء، ولكن قد تستعمل أيضًا مجسّات الضغط الحساسة.
- تزود البطارية كلًّا من الكاميرا وجهاز الاستشعار بالطاقة، وتشكل الحرارة والرطوبة والبرودة تحديات لأداء كل منهما.
- يمكن تعديل المجسّات لتعمل في أوقات معينة فقط؛ وذلك للمحافظة على البطارية.

تجربة استهلالية

كيف يمكن عمل بطارية من حبة ليمون؟

يمكن شراء بطارية بوصفها مصدرًا للطاقة المحمولة من أي متجر، كما يمكنك أيضًا إضاءة مصباح كهربائي باستعمال ليمونة. كيف يتشابه مصدرا الطاقة هذان؟



خطوات العمل

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. اغرس **شريحة من الخارصين** وأخرى من **النحاس** في حبة **ليمون**، واترك بينهما مسافة 2 cm.
3. صل الطرف الأسود لمقياس الجهد بشريحة الخارصين، وصل شريحة النحاس بطرفه الأحمر. ثم لاحظ قراءة فرق الجهد، وسجلها.
4. انزع إحدى الشريحتين المعدنيتين من الليمونة، ولاحظ ما يحدث لقراءة فرق الجهد على المقياس.

التحليل

1. **اشرح** الغرض من شريحتي الخارصين والنحاس.
2. **استنتج** دور الليمونة.

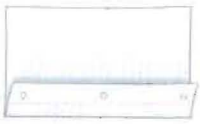
استقصاء هل تعتقد أنه يمكنك عمل بطارية من أطعمة غير الليمون؟ ضع فرضية لأنواع الأطعمة التي يمكن استعمالها في عمل بطارية، ثم ابدأ في تصميم البطارية، وطبّق فرضيتك بعد موافقة معلمك عليها.

المطويات منظمات الأفكار

الخلايا الكهروكيميائية

قم بإعداد المطوية الآتية لمساعدتك على مقارنة الخلايا الكهروكيميائية بخلايا التحليل الكهربائي.

الخطوة 1 اثنِ 5 cm من أسفل الورقة أفقيًّا.



الخطوة 2 اثنِ الورقة رأسيًا على نصفين.



الخطوة 3 افتح الورقة، ثم ثبت الثنية في أسفلها لعمل قسمين منفصلين، وعنونهما كما في الشكل.



المطويات **استعمل هذه المطوية مع القسمين 1–5 و 3–5**، وذلك عند قراءتك للخلايا الكهروكيميائية. لخص المعلومات على بطاقات، واحفظها في القسم الخاص بها.

الكيمياء عبر المواقع الالكترونية

لمراجعة محتوى هذا الفصل ونشاطاته ارجع إلى الموقع: www.obeikaneducation.com

5–1

الأهداف

- **تصف** طريقة للحصول على طاقة كهربائية من تفاعل أكسدة واختزال.
- **تحدد** أجزاء الخلية الجلفانية، وتفسر كيفية عمل كل من هذه الأجزاء.
- **تحسب** جهد الخلية، وتحدد تلقائية تفاعل الأكسدة والاختزال فيها.

مراجعة المفردات

الأكسدة فقدان الذرات للإلكترونات؛ أو الزيادة في عدد التأكسد.

الاختزال اكتساب الذرات للإلكترونات؛ أو النقص في عدد التأكسد.

المفردات الجديدة

القنطرة الملحية

الخلية الكهروكيميائية

الخلية الجلفانية

نصف الخلية

الأنود

الكاثود

جهد الاختزال

قطب الهيدروجين القياسي

الخلايا الجلفانية Voltaic Cells

الفكرة الرئيسة **تحدث الأكسدة في الخلايا الجلفانية على الأنود منتجة إلكترونات تتدفق نحو الكاثود حيث يحدث الاختزال.**

الربط مع الحياة إذا تم قص ورقة نقدية من فئة الريال إلى نصفين. ما الذي يمكن عمله بأحد النصفين؟ لا يمكن استعماله دون النصف الآخر. وهذا ينطبق أيضًا على الخلايا الجلفانية التي تتكون من نصفي خلية؛ إذ يجب وجودهما معًا لإنتاج الطاقة.

الأكسدة والاختزال في الكيمياء الكهربائية
Redox in Electrochemistry

الكيمياء الكهربائية هي دراسة عمليات الأكسدة والاختزال التي تتحول من خلالها الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية، وبالعكس.

من المعروف أن تفاعلات الأكسدة والاختزال جميعها تتضمن انتقال الإلكترونات من المواد المتأكسدة إلى المواد المختزلة. ويوضح كل من **الشكلين 1–5** و **2–5** تفاعلاً بسيطًا للأكسدة والاختزال؛ حيث تتأكسد ذرات الخارصين لتكوّن أيونات الخارصين Zn^{2+}، ويكتسب أيون النحاس Cu^{2+} الإلكترونين اللذين فقدتهما ذرة خارصين ليكوّن ذرة النحاس. وتبين المعادلة الأيونية الكلية الآتية انتقال الإلكترونات:

$$Zn_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} \xrightarrow{2e^-} Zn^{2+}_{(aq)} + Cu_{(s)}$$

أنصاف التفاعل يتألف هذا التفاعل من نصفي تفاعل الأكسدة والاختزال الآتيين:

نصف تفاعل الأكسدة: فقدان الإلكترونات $Zn_{(s)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^-$

نصف تفاعل الاختزال: اكتساب الإلكترونات $Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Cu_{(s)}$

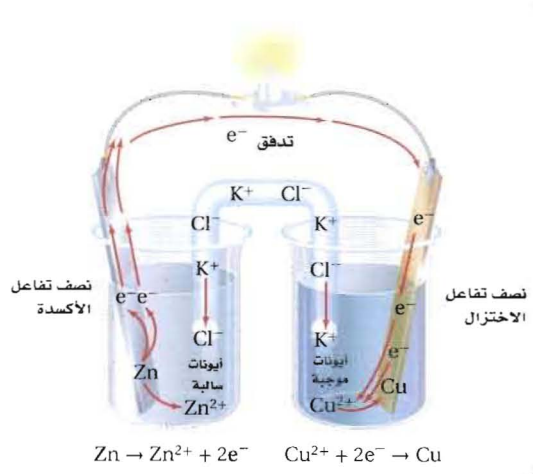
ترى، ماذا يحدث لو فصل نصف تفاعل الأكسدة عن نصف تفاعل الاختزال؟ وهل يمكن أن يحدث التفاعل؟ مع الأخذ في الاعتبار **الشكل 1a–5** الذي غُمست فيه شريحة الخارصين في محلول كبريتات الخارصين، وغُمست فيه شريحة النحاس في محلول كبريتات النحاس II.



الشكل 1-5

a. غُمست شريحة الخارصين في محلول 1M من كبريتات الخارصين، وغمست شريحة النحاس في محلول 1M من كبريتات النحاس.

b. تم توصيل شريحتي الخارصين والنحاس بسلك كهربائي لتوفير طريق لتدفق الإلكترونات، إلا أن الطريق لم تكتمل بعد، ولا يمكن مرور الإلكترونات فيها.

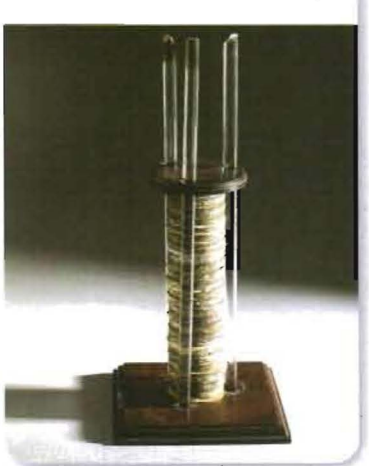


الشكل 2-5 إضافة القنطرة الملحية إلى جانب السلك تعمل على إكمال طريق التدفق؛ فتتحرك الأيونات السالبة خلال القنطرة الملحية نحو الخارصين أما الأيونات الموجبة فتتحرك خلال القنطرة نحو النحاس.

هناك مشكلتان تمنعان حدوث تفاعل الأكسدة والاختزال: الأولى أنه لا يوجد أي طريق لنقل الإلكترونات من ذرات الخارصين إلى أيونات النحاس، وهذه يمكن حلها بتوصيل شريحتي الخارصين والنحاس بأسلاك معدنية، كما في **الشكل 1b-5**؛ إذ يعمل السلك عمل ممر لتدفق الإلكترونات من الخارصين إلى النحاس. أما الثانية فعندما توضع الشرائح المعدنية في محاليلها تبدأ الأكسدة عند الخارصين، في حين يبدأ الاختزال عند النحاس. إلا أن هذه التفاعلات لا تستمر؛ لأن أيونات الخارصين الموجبة تتراكم حول قطب الخارصين خلال تأكسده، كما تتراكم أيونات الكبريتات السالبة حول قطب النحاس خلال اختزاله، وهذا التراكم للأيونات يوقف أي استمرار للتفاعل. ولحل هذه المشكلة تستعمل **القنطرة الملحية**؛ وهي ممر لتدفق الأيونات من جهة إلى أخرى، كما في **الشكل 2-5**. وتتكون من أنبوب يحتوي على محلول موصل للتيار الكهربائي لملح ذائب في الماء مثل KCl، ويحفظ داخل الأنبوب بواسطة جل هلامي أو أي غطاء يسمح للأيونات بالحركة من خلاله، على ألا يختلط المحلولان في الكأسين.

وعندما يوضع السلك المعدني والقنطرة الملحية في مكانيهما يبدأ تفاعل الأكسدة والاختزال التلقائي، وتنتقل الإلكترونات عبر السلك من نصف تفاعل الأكسدة إلى نصف تفاعل الاختزال، في حين تنتقل الأيونات السالبة والموجبة خلال القنطرة الملحية. ويسمى تدفق الأجسام المشحونة التيار الكهربائي. ففي **الشكل 2-5** تتدفق الإلكترونات خلال السلك، وتتدفق الأيونات خلال القنطرة الملحية، فيتكون ما يعرف بالتيار الكهربائي. وتستعمل طاقة تدفق الإلكترونات لإضاءة المصابيح.

الخلايا الكهروكيميائية يبين **الشكل 2-5** نوع من الخلايا الكهروكيميائية يعرف بالخلايا الجلفانية. و**الخلية الكهروكيميائية** جهاز يستعمل تفاعل التأكسد والاختزال لإنتاج طاقة كهربائية، أو يستعمل الطاقة الكهربائية لإحداث تفاعل كيميائي. و**الخلية الجلفانية** نوع من الخلايا الكهروكيميائية التي تحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية بواسطة تفاعل الأكسدة والاختزال التلقائي. وقد سميت أيضًا الخلايا الفولتية نسبة إلى أليساندرو فولتا Alessandro Volta (1745- 1827م) العالم الفيزيائي الإيطالي الذي نسب إليه الاختراع عام 1800م، انظر **الشكل 3-5**.



الشكل 3-5 خلية نسخة طبق الأصل من أول خلية لأليساندرو فولتا تتكون من ألواح من الخارصين والنحاس مرتبة في طبقات متبادلة ومفصولة بقطع قماش أو ورق مقوى مغموس بمحلول حمضي. وتزداد شدة التيار الكهربائي المتولد بزيادة عدد الأقراص المعدنية المستخدمة.

كيمياء الخلايا الجلفانية Chemistry of Voltaic Cells

تتكـون الخلايـا الكهروكيميائية من جزأين يطلق عـلى كل منهما **نصف الخلية**؛ حيث يحـدث فيهما تفاعـلات الأكسـدة والاختزال المنفصلـين. ويحتـوي كل نصف خلية عـلى قطـب ومحلول يشـتمل على أيونـات. ويتكون القطـب من مادة موصلـة للتيار الكهربائـي، وعـادة ما تكون هـذه المادة قطعة معدنية أو قطعة مـن الجرافيت توصل الإلكترونـات من محلـول نصف الخليـة وإليه. ويوضـح **الشـكل 2-5** كأس قطب الخارصـين التـي يحـدث فيها نصف تفاعـل الأكسـدة، وكأس قطب النحـاس التي يحدث فيها نصف تفاعل الاختزال. ويسمى التفاعل الذي يحدث في كل نصف خلية تفاعل نصف الخلية. ويسـمى القطب الذي يحدث عنده تفاعل الأكسـدة **الأنود**، في حين يسمى القطب الذي يحدث عنده تفاعل الاختزال **الكاثود**.

ماذا قرأت؟ **حدّد** أي الكأسين في **الشكل 2-5** تحتوي على الأنود؟

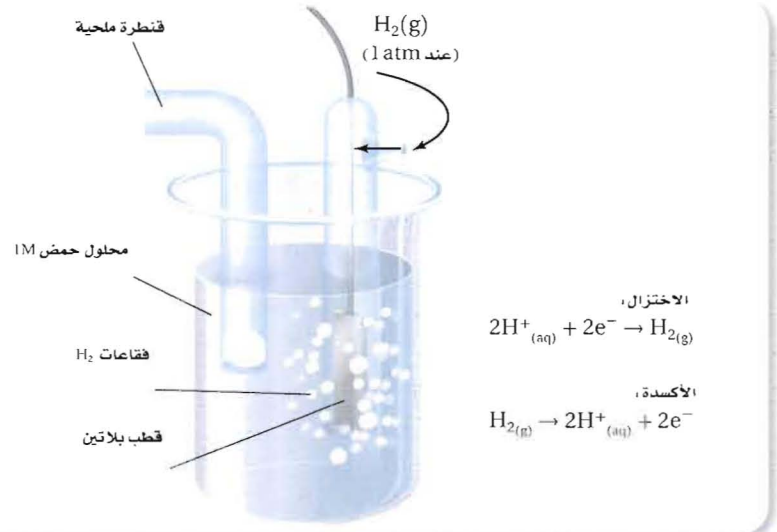
الخلايـا الجلفانية والطاقة بما أن طاقة الوضع لأي جسـم ناتجة عن موضعه أو مكوناتـه. لذا تعد طاقة الوضع الكهربائية في الكيمياء الكهربائية مقياس كمية التيار التـي يمكن توليدها من خلية جلفانية للقيام بشـغل. وتسـتطيع الشـحنة الكهربائية الانتقـال بين نقطتين فقط عندما يكون هناك فـرق في طاقة الوضع الكهربائية بينهما. وهاتـان النقطتـان في الخلايا الكهروكيميائية هما القطبـان؛ حيث تدفع الإلكترونات المتكونـة عنـد الأنود موقع التأكسـد أو تتحرك نحو الكاثود بواسـطة القـوة الدافعة الكهربائية التي تنشأ عن وجود فرق في طاقة الوضع الكهربائية بين القطبين، وتعرف بجهد الخلية. والفولت هو الوحدة المسـتعملة في قياس جهد الخلية. وفرق الجهد في الخلية الجلفانية هو إشـارة إلى كمية الطاقة المتوافرة لدفع الإلكترونات من الأنود إلى الكاثود.

انظر إلى التماثل الظاهر في **الشكل 4-5**، حيث تقف الأفعوانية عند قمة المنحدر لحظة قصيرة، ثم تتحرك من موقعها المرتفع نزولاً إلى أسفل؛ بسبب اختلاف طاقة الوضع للجاذبيـة الأرضية بين قاع المسـار وقمته. وتتحدد طاقة الأفعوانية الحركية بواسـطة الاختـلاف في الارتفـاع بين قاع المسـار وقمتـه. وكذلك تتحدد طاقـة الإلكترونات المتدفقة من الأنود إلى الكاثود في الخلايا الجلفانية بواسطة الاختلاف في طاقة الوضع الكهربائية بين القطبين. ووفقًا لمفردات تفاعل الأكسدة والاختزال يتحدد فرق جهد الخليـة بمقارنـة مدى الفـرق في قابلية مـادتي الأقطاب على اكتسـاب الإلكترونات؛ فكلما زاد الفرق بين القطبين زاد فرق جهد الخلية وزاد معه أيضًا جهد الخلية.





الشكل 4-5 تمتلك عندما تكون الأفعوانية في قمة المسار تمتلك طاقة وضع عالية نسبة إلى المسار المنخفض بسبب اختلاف الارتفاع، وبالمثل تمتلك الخلية الكهروكيميائية طاقة وضع لإنتاج تيار بسبب اختلاف قابلية الأقطاب لتحريك الإلكترونات من الأنود إلى الكاثود.



الشكل 5-5 يتكون قطب الهيدروجين القياسي من قطب بلاتين يتدفق فوقه غاز الهيدروجين عند 1atm ويضخ في محلول حمضي يحتوي على أيونات هيدروجين بتركيز 1 M. ويعرف فرق جهد الاختزال لهذا الترتيب بالقيمة 0.000 V.

وتسحب قوة الجاذبية الغواصين دائماً للسقوط نحو وضع منخفض من الطاقة، وليس إلى أعلى أبدًا حيث يكون مستوى الطاقة أعلى. وعندما يقفز الغواص من فوق لوح الغوص تكون حركته إلى أسفل بصورة تلقائية. وكذلك في خلية الخارصين – النحاس وتحت الظروف القياسية، تكتسب أيونات النحاس عند الكاثود إلكترونات بسهولة أكثر من الخارصين عند الأنود، لذا يحدث تفاعل الأكسدة والاختزال بتلقائية فقط عندما تتدفق الإلكترونات من الخارصين إلى النحاس.

حساب فرق الجهد في الخلايا الكهروكيميائية
Calculating Electrochemical Cell Potentials

من المعروف أن اكتساب الإلكترونات يسمى اختزالاً. وبناءً على هذه الحقيقة فإن مدى قابلية المادة لاكتساب الإلكترونات هو **جهد الاختزال** لهذه المادة. ولا يمكن تحديد جهد اختزال القطب بصورة مباشرة؛ وذلك لأن نصف تفاعل الاختزال لا بد أن يقترن بنصف تفاعل الأكسدة. وعند اقتران نصفي التفاعل فإن الجهد الناتج يساوي فرق الجهد لنصفي التفاعل. ويعبر عن فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين بالفولت V.

قطب الهيدروجين القياسي قرر علماء الكيمياء منذ زمن بعيد أن يقيسوا جهد الاختزال لكل الأقطاب مقابل قطب واحد، فاختاروا **قطب الهيدروجين القياسي** الذي يتكون من شريحة صغيرة من البلاتين مغموسة في محلول حمض الهيدروكلوريك HCl الذي يحتوي على أيونات هيدروجين بتركيز 1M. ويتم ضخ غاز الهيدروجين H_2 في المحلول عند ضغط 1 atm ودرجة حرارة 25 °C كما في **الشكل 5-5**، ويكون فرق الجهد لقطب الهيدروجين القياسي، المسمى جهد الاختزال القياسي (E°) مساويًا 0.000 V، ويعمل هذا القطب بوصفه نصف تفاعل اختزال، أو نصف تفاعل أكسدة؛ اعتمادًا على نصف الخلية الموصلة به. والتفاعلان اللذان يمكن حدوثهما عند قطب الهيدروجين هما:

$$2H^+_{(aq)} + 2e^- \underset{\text{الأكسدة}}{\overset{\text{الاختزال}}{\rightleftarrows}} H_{2(g)} \qquad E^\circ = 0.000\ V$$

المفردات

أصل الكلمة

التطابق: (Correspond)
الموافقة أو الانسجام
تتوافق الاتجاهات مع الخريطة...

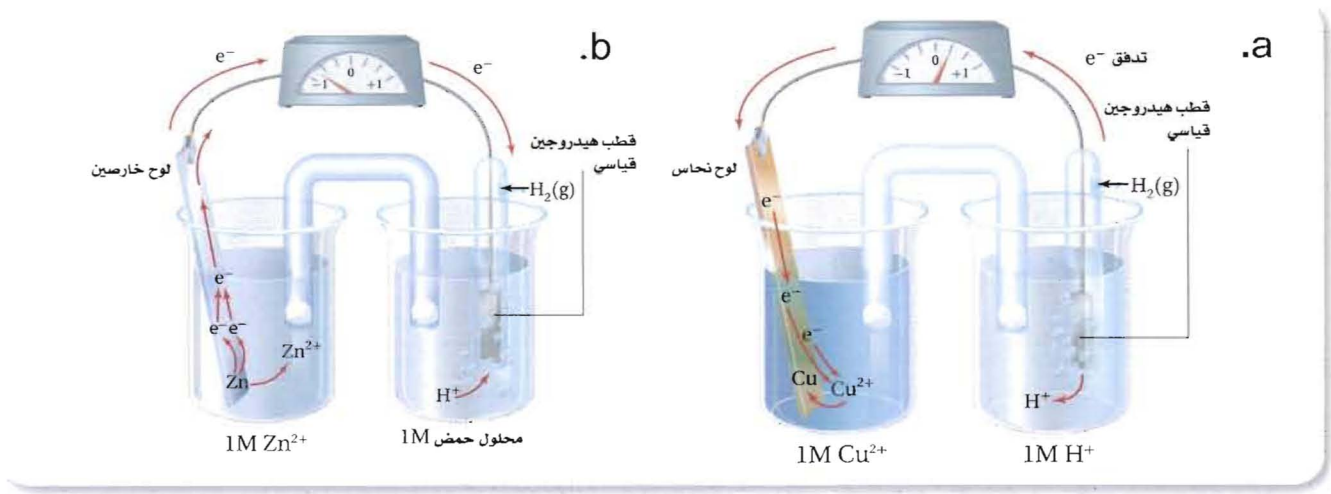
المطويات

ضمن مطويتك معلومات من هذا القسم.

جهود نصف الخلية قام الكيميائيون عبر السنين بقياس جهود الاختزال القياسية وتسجيلها لعدد من أنصاف الخلايا. ويرتب **الجدول 1-5** بعض تفاعلات نصف الخلية الشائعة تصاعديًّا حسب قيم جهود الاختزال. وقد تم الحصول على القيم في الجدول من خلال قياس الجهد عند توصيل كل نصف خلية بنصف خلية الهيدروجين القياسية. وقد كتبت التفاعلات في **الجدول 1-5** جميعها في صورة تفاعلات اختزال. ومع ذلك ففي أي خلية جلفانية تحتوي دائمًا على نصفي تفاعل سيحدث نصف التفاعل الذي له جهد اختزال أقل في اتجاه عكسي، ويصبح تفاعل أكسدة؛ أي أن نصف التفاعل الذي له جهد اختزال موجب أكبر يحدث في صورة اختزال، أما نصف التفاعل الذي له جهد اختزال سالب أكبر فيحدث في صورة أكسدة. ويجب أن يقاس جهد القطب تحت الظروف القياسية، وهي غمس القطب في محلول من أيوناته تركيزه 1 M عند 25°C و 1 atm. حيث يشير الصفر فوق الترميز E° باختصار إلى أن القياس تم تحت ظروف قياسية.

الجدول 1-5 جهود الاختزال القياسية

نصف التفاعل	E^0 (V)	نصف التفاعل	E^0 (V)
$Cu^{2+} + e^- \rightarrow Cu^+$	+0.153	$Li^+ + e^- \rightarrow Li$	−3.0401
$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$	+0.3419	$Ca^{2+} + 2e^- \rightarrow Ca$	−2.868
$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$	+0.401	$Na^+ + e^- \rightarrow Na$	−2.71
$I_2 + 2e^- \rightarrow 2I^-$	+0.5355	$Mg^{2+} + 2e^- \rightarrow Mg$	−2.372
$Fe^{3+} + e^- \rightarrow Fe^{2+}$	+0.771	$Be^{2+} + 2e^- \rightarrow Be$	−1.847
$NO_3^- + 2H^+ + e^- \rightarrow NO_2 + H_2O$	+0.775	$Al^{3+} + 3e^- \rightarrow Al$	−1.662
$Hg_2^{2+} + 2e^- \rightarrow 2Hg$	+0.7973	$Mn^{2+} + 2e^- \rightarrow Mn$	−1.185
$Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$	+0.7996	$Cr^{2+} + 2e^- \rightarrow Cr$	−0.913
$Hg^{2+} + 2e^- \rightarrow Hg$	+0.851	$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$	−0.8277
$2Hg^{2+} + 2e^- \rightarrow Hg_2^{2+}$	+0.920	$Zn^{2+} + 2e^- \rightarrow Zn$	−0.7618
$NO_3^- + 4H^+ + 3e^- \rightarrow NO + 2H_2O$	+0.957	$Cr^{3+} + 3e^- \rightarrow Cr$	−0.744
$Br_{2(l)} + 2e^- \rightarrow 2Br^-$	+1.066	$S + 2e^- \rightarrow S^{2-}$	−0.47627
$Pt^{2+} + 2e^- \rightarrow Pt$	+1.18	$Fe^{2+} + 2e^- \rightarrow Fe$	−0.447
$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$	+1.229	$Cd^{2+} + 2e^- \rightarrow Cd$	−0.4030
$Cl_2 + 2e^- \rightarrow 2Cl^-$	+1.35827	$PbI_2 + 2e^- \rightarrow Pb + 2I^-$	−0.365
$Au^{3+} + 3e^- \rightarrow Au$	+1.498	$PbSO_4 + 2e^- \rightarrow Pb + SO_4^{2-}$	−0.3588
$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$	+1.507	$Co^{2+} + 2e^- \rightarrow Co$	−0.28
$Au^+ + e^- \rightarrow Au$	+1.692	$Ni^{2+} + 2e^- \rightarrow Ni$	−0.257
$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow 2H_2O$	+1.776	$Sn^{2+} + 2e^- \rightarrow Sn$	−0.1375
$Co^{3+} + e^- \rightarrow Co^{2+}$	+1.92	$Pb^{2+} + 2e^- \rightarrow Pb$	−0.1262
$S_2O_8^{2-} + 2e^- \rightarrow 2SO_4^{2-}$	+2.010	$Fe^{3+} + 3e^- \rightarrow Fe$	−0.037
$F_2 + 2e^- \rightarrow 2F^-$	+2.866	$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$	0.0000



الشكل 5-6

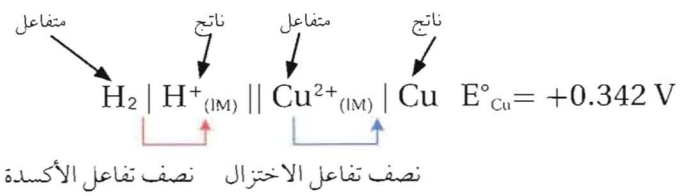
a. عند توصيل قطب $Cu \mid Cu^{2+}$ بقطب هيدروجين تتدفق الإلكترونات نحو لوح النحاس، فتختزل أيونات Cu^{2+} إلى ذرات Cu، وفرق الجهد لهذا التفاعل يساوي 0.342+ V.

b. وعند توصيل قطب $Zn|Zn^{2+}$ بقطب الهيدروجين تتدفق الإلكترونات مبتعدة عن لوح الخارصين، فتتأكسد ذرات الخارصين إلى أيونات Zn^{2+}. وفرق الجهد لهذا التفاعل يساوي 0.762- V.

تحديد جهود اختزال الخلية الكهروكيميائية يمكنك استعمال الجدول **1-5** في حساب الجهد الكهربائي لخلية جلفانية مكونة من قطب نحاس وقطب خارصين تحت الظروف القياسية. وتكون الخطوة الأولى هي تحديد جهد الاختزال القياسي لنصف خلية النحاس E°_{Cu} عند توصيل قطب النحاس بقطب الهيدروجين القياسي، كما في **الشكل 5-6a**؛ حيث تتدفق الإلكترونات من قطب الهيدروجين إلى قطب النحاس، وتختزل أيونات النحاس إلى فلز النحاس، وتساوي قيمة E°_{Cu} المقيسة بواسطة مقياس فرق الجهد (voltmeter) 0.342+ V. ويشير الجهد الموجب إلى أن أيونات Cu^{2+} عند قطب النحاس تكتسب إلكترونات بصورة أسهل من أيونات H^+ عند قطب الهيدروجين القياسي؛ لذا يحدث الاختزال عند قطب النحاس، في حين تحدث الأكسدة عند قطب الهيدروجين، وتكون أنصاف تفاعلات الأكسدة والاختزال والتفاعل الكلي كما يلي:

$$H_{2(g)} \rightarrow 2H^+_{(aq)} + 2e^- \quad \text{(نصف تفاعل التأكسد)}$$
$$Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Cu_{(s)} \quad \text{(نصف تفاعل الاختزال)}$$
$$H_{2(g)} + Cu^{2+}_{(aq)} \rightarrow 2H^+_{(aq)} + Cu_{(s)} \quad \text{(التفاعل الكلي)}$$

ويمكن كتابة هذا التفاعل بصيغة تعرف بـ "رمز الخلية":

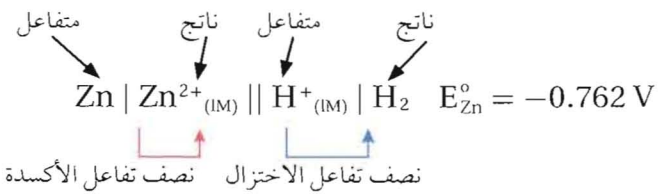


تكتب الذرات/ الأيونات (التركيز) الداخلة في عملية الأكسدة أولاً وبالترتيب الذي تظهر به في نصف تفاعل الأكسدة، ويوضع بعدهما خطان عموديان (||) يمثلان السلك والقنطرة الملحية وتربطان نصفي الخلية. ثم تكتب الأيونات (التركيز)/ الذرات الداخلة في الاختزال بالترتيب نفسه. لاحظ ضرورة وضع إشارة ناتج الجمع لقيم E° قبل قيمة الجهد.

إن الخطوة الآتية هي تحديد جهد الاختزال القياسي لنصف خلية الخارصين E°_{Zn} عند قياس جهد اختزال الخارصين مقابل قطب الهيدروجين القياسي تحت الظروف القياسية، كما في **الشكل 5-6b**، حيث تتدفق الإلكترونات من قطب الخارصين إلى قطب الهيدروجين. وعند قياس قيمة E° لنصف خلية الخارصين بواسطة مقياس الجهد فإنها تساوي $-0.762V$، وهذا يعني أن أيونات الهيدروجين عند قطب الهيدروجين تكتسب إلكترونات أسهل من أيونات الخارصين، لذا يكون جهد اختزال أيونات الهيدروجين أعلى من جهد اختزال أيونات الخارصين. تذكر أن جهد الاختزال للهيدروجين تم تعيينه بالقيمة 0.00 V، لذا فإن جهد اختزال قطب الخارصين يجب أن يكون قيمة سالبة. ويمكن كتابة تفاعلي أنصاف الخلية والتفاعل الكلي على النحو الآتي:

$$Zn_{(s)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^{-} \quad \text{(نصف تفاعل الأكسدة)}$$
$$2H^{+}_{(aq)} + 2e^{-} \rightarrow H_{2(g)} \quad \text{(نصف تفاعل الاختزال)}$$
$$Zn_{(s)} + 2H^{+}_{(aq)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + H_{2(g)} \quad \text{(التفاعل الكلي)}$$

ويمكن كتابة هذا التفاعل بصيغة تعرف بـ "رمز الخلية":



أما الخطوة النهائية في حساب جهد الخلية الكهروكيميائية فتكون بجمع نصفي تفاعل النحاس والخارصين، على أنهما خلية جلفانية، وهذا يعني حساب جهد الخلية الجلفانية القياسي باستعمال المعادلة الآتية:

معادلة جهد الخلية

$$E^{0}_{cell} = E^{0}_{cathode} - E^{0}_{anode}$$

E^{0}_{cell} تمثل الجهد الكلي القياسي للخلية.
$E^{0}_{cathode}$ تمثل جهد نصف الخلية القياسي لتفاعل الاختزال.
E^{0}_{anode} تمثل جهد نصف الخلية القياسي لتفاعل التأكسد.

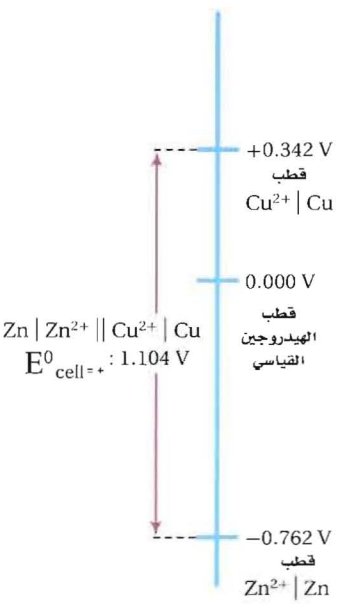
جهد الخلية القياسي يساوي الجهد القياسي لنصف خلية الاختزال مطروحًا منه الجهد القياسي لنصف خلية التأكسد.

ولما كان الاختزال يحدث عند قطب النحاس، والأكسدة تحدث عند قطب الخارصين، فإن قيم E° يمكن تعويضها على النحو الآتي:

$$E^{\circ}_{cell} = E^{\circ}_{Cu^{2+}|\,Cu} - E^{\circ}_{Zn^{2+}|\,Zn}$$
$$= +0.342\ V - (-0.762\ V)$$
$$= +1.104\ V$$

و**الشكل 7-5** يوضح طريقة حساب الجهد الكلي لهذه الخلية.

الشكل 7-5 يوضح كيف يحسب جهد الخلية الكلي من فرق جهود الاختزال لقطبين.



أيهما يتأكسد بصورة أسهل من الهيدروجين: النحاس أم الخارصين؟

حساب جهد الخلية تمثل أنصاف تفاعلات الاختزال الآتية نصفي خلية جلفانية:

$$I_{2(s)} + 2e^- \rightarrow 2I^-_{(aq)}$$

$$Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Fe_{(s)}$$

حدّد التفاعل الكلي للخلية وجهدها القياسي، ثم اكتب رمز الخلية.

1 تحليل المسألة

لقد أعطيت معادلات أنصاف الخلية، ويمكن إيجاد جهود الاختزال القياسية من الجدول 1-5 . وسيكون نصف التفاعل الذي له أقل جهد اختزال هو تفاعل الأكسدة، ويمكنك بهذه المعلومة كتابة التفاعل الكلي للخلية وكتابة رمزها.

المعطيات

جهود الاختزال القياسية لأنصاف الخلايا

$E^0_{cell} = E^0_{cathode} - E^0_{anode}$

المطلوب

التفاعل الكلي للخلية = ؟

E°_{cell} = ؟

رمز الخلية = ؟

2 حساب المطلوب

أوجد قيم جهود الاختزال القياسية لكل نصف خلية من **الجدول 1-5**.

$I_{2(s)} + 2e^- \rightarrow 2I^-_{(aq)}$ $\quad E^0_{I_2|I^-} = +0.536\ V$

$Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Fe_{(s)}$ $\quad E^0_{Fe^{2+}|Fe} = -0.447\ V$

لما كان لاختزال اليود أكبر جهد اختزال فإن نصف التفاعل هذا يستمر في الاتجاه الطردي في صورة اختزال، في حين يستمر نصف تفاعل الحديد في الاتجاه العكسي في صورة أكسدة .

أعد كتابة نصف تفاعل الحديد في الاتجاه الصحيح.

$Fe_{(s)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^-$ (نصف تفاعل الأكسدة)

$I_{2(s)} + 2e^- \rightarrow 2I^-_{(aq)}$ (نصف تفاعل الاختزال)

اجمع المعادلتين.

$I_{2(s)} + Fe_{(s)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + 2I^-_{(aq)}$

التفاعل الكلي للخلية $I_{2(s)} + Fe_{(s)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + 2I^-_{(aq)}$.

احسب جهد الخلية القياسي.

ضع معادلة جهد الخلية

$E^0_{cell} = E^0_{cathode} - E^0_{anode}$

عوض $E^\circ_{I_2|I^-}$ و $E^\circ_{Fe^{2+}|Fe}$ في المعادلة العامة.

$E^0_{cell} = E^\circ_{I_2|I^-} - E^\circ_{Fe^{2+}|Fe}$

عوض عن $E^\circ_{I_2|I^-}$ بالقيمة $+0.536\ V$، وعن $E^\circ_{Fe^{2+}|Fe}$ بالقيمة $-0.447\ V$

$E^0_{cell} = +0.536\ V - (-0.447\ V)$

$E^0_{cell} = +0.983\ V$

كتابة رمز الخلية.

اكتب أولاً نصف تفاعل الأكسدة باستعمال رمز المادة المتفاعلة ثم الناتجة.

$Fe \mid Fe^{2+}$

واكتب بعد ذلك نصف تفاعل الاختزال على اليمين، وافصل بين نصفي التفاعل بخطين عموديين.

$Fe \mid Fe^{2+}_{(1M)} \parallel I_2 \mid I^-_{(1M)}$

رمز الخلية $Fe \mid Fe^{2+}_{(1M)} \parallel I_2 \mid I^-_{(1M)}$

3 تقويم الإجابة

جهد الاختزال المحسوب معقول بالنظر إلى جهود أنصاف الخلية.

مسائل تدريبية

اكتب معادلة موزونة لتفاعل الخلية الكلي لكل من أزواج أنصاف التفاعلات الآتية. احسب جهد الخلية القياسي، ثم اكتب رمز الخلية. ارجع إلى قواعد وزن معادلات الأكسدة والاختزال التي درستها سابقًا.

1. $Pt^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Pt_{(s)}$ و $Sn^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Sn_{(s)}$

2. $Co^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Co_{(s)}$ و $Cr^{3+}_{(aq)} + 3e^- \rightarrow Cr_{(s)}$

3. $Hg^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Hg_{(l)}$ و $Cr^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Cr_{(s)}$

4. **تحفيز** اكتب معادلة موزونة لتفاعل الخلية، واحسب جهد الخلية القياسي للتفاعل الذي يحدث عندما يتم توصيل هذه الخلايا معًا، ثم اكتب رمز الخلية.

$$NO^-_{3\,(aq)} + 4H^+_{(aq)} + 3e^- \rightarrow NO_{(g)} + 2H_2O_{(l)}$$

$$O_{2(g)} + 2H_2O_{(l)} + 4e^- \rightarrow 4OH^-_{(aq)}$$

استعمال جهود الاختزال القياسية
Using Standard Reduction Potentials

توضح الأمثلة كيفية استعمال البيانات في **الجدول 1-5** لحساب الجهد القياسي للخلايا الجلفانية. والاستعمال الآخر المهم لجهود الاختزال القياسية هو تحديد هل سيكون التفاعل المقترح تحت الظروف القياسية تلقائيًا؟ وكيف يمكن أن تكون جهود الاختزال القياسية مؤشرًا على التلقائية؟ تتدفق الإلكترونات في الخلية الجلفانية من نصف الخلية ذات جهد الاختزال القياسي الأقل إلى نصف الخلية ذات جهد الاختزال القياسي الأكبر؛ لتعطي جهدًا موجبًا للخلية. ولتتوقع حدوث تفاعل أكسدة واختزال معين بشكل تلقائي، اكتب التفاعل في صورة أنصاف تفاعل، وابحث عن جهد الاختزال لكل منها. واستخدم هذه القيم لحساب جهد الخلية الجلفانية. إذا كان الجهد المحسوب موجبًا فالتفاعل تلقائي، أما إذا كانت القيمة سالبة فالتفاعل غير تلقائي. إلا أن التفاعل العكسي لتفاعل غير تلقائي سيحدث؛ إذ سيكون له جهد خلية موجب؛ مما يعني أن التفاعل العكسي هو التلقائي.

ماذا قرأت؟ **حدّد** إشارة جهد تفاعل الأكسدة والاختزال الذي يحدث بصورة تلقائية.

مسائل تدريبية

احسب جهد الخلية لتحديد إذا كانت تفاعلات الأكسدة والاختزال الآتية تحدث بصورة تلقائية كما هي مكتوبة أم لا، واستخدم **الجدول 1-5** لمساعدتك على تحديد أنصاف التفاعل الصحيحة:

5. $Sn_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} \rightarrow Sn^{2+}_{(aq)} + Cu_{(s)}$

6. $Mg_{(s)} + Pb^{2+}_{(aq)} \rightarrow Pb_{(s)} + Mg^{2+}_{(aq)}$

7. $2Mn^{2+}_{(aq)} + 8H_2O_{(l)} + 10Hg^{2+}_{(aq)} \rightarrow 2MnO_4{}^-_{(aq)} + 16H^+_{(aq)} + 5Hg_2{}^{2+}_{(aq)}$

8. $2SO_4{}^{2-}_{(aq)} + Co^{2+}_{(aq)} \rightarrow Co_{(s)} + S_2O_8{}^{2-}_{(aq)}$

9. **تحفيز** اكتب المعادلة، وحدّد جهد الخلية $E°$ للخلية الآتية باستعمال **الجدول 1-5**. هل التفاعل تلقائي؟

$$Al \mid Al^{3+}_{(1M)} \parallel Hg^{2+}_{(1M)} \mid Hg_2{}^{2+}_{(1M)}$$

استراتيجية حل المسألة

تحديد جهود الخلية

تلخص الخطوات الخمس الآتية إجراءات حساب جهد الخلية الجلفانية التي يحدث فيها تفاعل الأكسدة والاختزال بشكل تلقائي.

افترض أن عليك كتابة معادلة للخلية التي تتكون من أنصاف التفاعل الآتية وحساب جهدها:

$Fe^{3+}_{(aq)} + 3e^- \rightarrow Fe_{(s)}$ و $Mn^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Mn_{(s)}$

كل ما تحتاج إليه هو جدول لجهود الاختزال، مثل الجدول **1-5**.

1. ابحث عن نصفي التفاعل في **الجدول 1-5**.

2. قارن بين جهد نصفي الخلية؛ فنصف الخلية التي لها جهد اختزال أعلى هي التي سيحدث عندها الاختزال، في حين يحدث أكسدة في نصف الخلية التي لها جهد اختزال أقل.

$Fe^{3+}_{(aq)} + 3e^- \rightarrow Fe_{(s)}$ (اختزال) $E^0 = -0.037\ V$

$Mn^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Mn_{(s)}$ (أكسدة) $E^0 = -1.185\ V$

3. اكتب معادلة الاختزال كما هي في **الجدول 1-5**، واكتب معادلة أكسدة في الاتجاه المعاكس.

$Fe^{3+}_{(aq)} + 3e^- \rightarrow Fe_{(s)}$ و $Mn \rightarrow Mn^{2+}_{(aq)} + 2e^-$

4. زن الإلكترونات في معادلات نصفي الخلية بضرب كلتا المعادلتين في المعامل المناسب، ثم اجمعهما.

اضرب في 2 $2Fe^{3+}_{(aq)} + 6e^- \rightarrow 2Fe_{(s)}$

اضرب في 3 $3Mn_{(s)} \rightarrow 3Mn^{2+}_{(aq)} + 6e^-$

اجمع المعادلتين $3Mn^{2+}_{(aq)} + 2Fe^{3+}_{(aq)} + 3Mn_{(s)} \rightarrow 2Fe_{(s)}$

5. لا تؤثر مساواة الإلكترونات المفقودة والمكتسبة في E° للتفاعل الكلي. استخدم الصيغة $E^\circ_{cell} = E^\circ_{cathode} - E^\circ_{anode}$ للحصول على جهد الخلية.

$$E^0_{cell} = E^0_{Fe^{3+}\cdot Fe} - E^0_{Mn^{2+}\cdot Mn} = -0.037\ V - (-1.185\ V)$$

$$= +1.148\ V$$

استراتيجية حل المسألة

حدّد E° لتفاعل التأكسد والاختزال التلقائي الذي يحدث بين الماغنيسيوم والنيكل.

التقويم 1-5

الخلاصة

- يحدث تفاعل الأكسدة والاختزال في الخلايا الجلفانية على أقطاب منفصلة بعضها عن بعض.
- جهد نصف خلية التفاعل القياسي هو جهد التيار الناتج عند اقترانها بقطب الهيدروجين القياسي تحت الظروف القياسية.
- يكون جهد اختزال نصف الخلية سالبًا إذا حدث لها أكسدة عند توصيلها بقطب الهيدروجين القياسي، ويكون لها جهد اختزال موجب إذا حدث لها اختزال عند توصيلها بقطب الهيدروجين القياسي.
- الجهد القياسي لخلية جلفانية هو الفرق بين جهود الاختزال لأنصاف الخلايا.

10. الفكرة الرئيسة صف الظروف التي يؤدي عندها تفاعل الأكسدة والاختزال إلى تدفق التيار الكهربائي خلال السلك.

11. حدّد مكوّنات الخلية الجلفانية، وفسّر دور كل مكوّن في عملية تشغيل الخلية.

12. اكتب المعادلة الموزونة لتفاعل الخلية التلقائي الذي يحدث في الخلية التي لها أنصاف تفاعل الاختزال الآتية:

a. $Ni^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Ni_{(s)}$ و $Ag^+_{(aq)} + e^- \rightarrow Ag_{(s)}$

b. $2H^+_{(aq)} + 2e^- \rightarrow H_{2(g)}$ و $Mg^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Mg_{(s)}$

c. $Fe^{3+}_{(aq)} + 3e^- \rightarrow Fe_{(s)}$ و $Sn^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Sn_{(s)}$

d. $Pt^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Pt_{(s)}$ و $PbI_{2(s)} + 2e^- \rightarrow Pb_{(s)} + 2I^-_{(aq)}$

13. حدّد الجهد القياسي للخلايا الكهروكيميائية، حيث تمثل كل معادلة التفاعل الكلي للخلية. وحدد أيضًا هل التفاعلات المكتوبة أدناه تلقائية أم غير تلقائية.

a. $2Al^{3+}_{(aq)} + 3Cu_{(s)} \rightarrow 3Cu^{2+}_{(aq)} + 2Al_{(s)}$

b. $Hg^{2+}_{(aq)} + 2Cu^+_{(aq)} \rightarrow 2Cu^{2+}_{(aq)} + Hg_{(l)}$

c. $Cd_{(s)} + 2NO_3^-{}_{(aq)} + 4H^+_{(aq)} \rightarrow Cd^{2+}_{(aq)} + 2NO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)}$

14. صمّم خريطة مفاهيم للقسم 1-5 مبتدئًا بالمصطلح "خلية كهروكيميائية"، ثم أدرج جميع المصطلحات الجديدة في خريطتك.

5–2

الأهداف

- **تصف** تركيب البطارية الجافة التقليدية المصنوعة من الكربون والخارصين ومكوّناتها وآلية عملها.
- **تميز** بين البطاريات الأولية والثانوية، وتعطي مثالين على كل نوع.
- **تفسّر** تركيب خلية الوقود (الهيدروجين- الأكسجين) وعملها.
- **تصف** عملية تآكل الحديد وطرائق حمايته من التآكل.

مراجعة المفردات

التفاعل العكسي التفاعل الذي يمكن أن يحدث في الاتجاهين الطردي والعكسي.

المفردات الجديدة

البطارية

الخلية الجافة

البطارية الأولية

البطارية الثانوية

خلية الوقود

التآكل

الجلفنة

البطاريات Batteries

الفكرة الرئيسة **البطاريات خلايا جلفانية تستعمل التفاعلات التلقائية لإنتاج الطاقة لأغراض متعددة.**

الربط مع الحياة تأمل قليلاً عند كتابة قائمة بالأشياء التي تستعمل فيها البطاريات؛ فقد تضم قائمتك المصباح الكهربائي والسيارات والهواتف والمذياع والحاسبات والساعات والألعاب وغيرها. فهل جميع البطاريات في هذه الأجهزة متشابهة؟

الخلايا الجافة Dry Cells

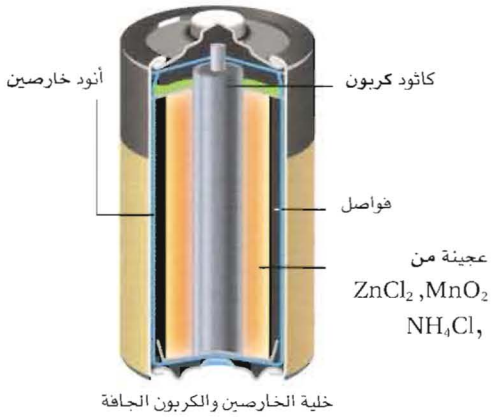
تزود بعض تفاعلات الخلايا التلقائية التي درستها البطاريات بالطاقة التي نستعملها يوميًّا. **والبطارية** عبارة عن خلية جلفانية أو أكثر في عبوة واحدة تنتج التيار الكهربائي. ولقد كانت البطارية الجافة المكونة من الخارصين والكربون، كما في **الشكل 8-5** هي الأكثر استعمالاً منذ اكتشاف البطارية عام 1860 م حتى الآن.

خلية الخارصين والكربون الجافة **الخلية الجافة** هي خلية جلفانية، حيث يكون المحلول الموصل للتيار عجينة رطبة تتكون من خليط من كلوريد الخارصين وأكسيد المنجنيز IV وكلوريد الأمونيوم وكمية قليلة من الماء داخل حافظة من الخارصين. وحافظة الخارصين هي الأنود في الخلية؛ حيث يحدث تأكسد الخارصين حسب المعادلة الآتية:

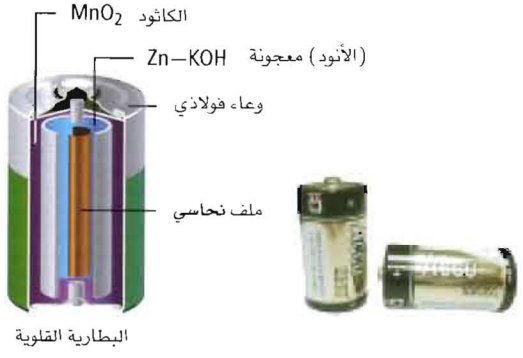
$$Zn_{(s)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^-$$

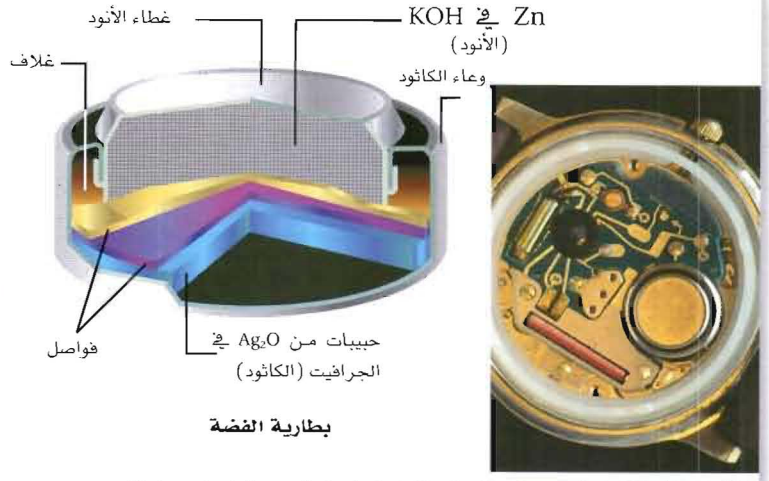
ويعمل عمود الكربون أو الجرافيت في مركز الخلية الجافة عمل الكاثود، ولكن تفاعل الاختزال لنصف الخلية يحدث داخل العجينة. ويسمى عمود الكربون في هذا النوع من الخلايا الجافة بالكاثود غير الفعال؛ لأنه يتكون من مادة لا تساهم في تفاعل الأكسدة والاختزال، إلا أن القطب غير الفعال له غرض مهم في توصيل الإلكترونات. ويتم تفاعل الاختزال لنصف الخلية على النحو الآتي:

$$2NH_4^+{}_{(aq)} + 2MnO_{2(s)} + 2e^- \rightarrow Mn_2O_{3(s)} + 2NH_{3(aq)} + H_2O_{(l)}$$



الشكل 8-5 تتكون ما يطلق عليه الخلية الجافة من عجينة رطبة يحدث فيها نصف تفاعل الاختزال، وتعمل حافظة الخارصين في خلية الخارصين والكربون عمل الأنود.





بطارية الفضة

تشبه بطارية الفضة إلى حد كبير البطارية القلوية على الرغم من انها تظهر مختلفة وتستعمل أكسيد الفضة Ag_2O في الكاثود بدلاً من أكسيد المنجنيز

تستخدم البطارية القلوية مسحوق الخارصين كأنود

يوجد في خلية الخارصين والكربون الجافة فواصل رقيقة مصنوعة من مادة مسامية تحتوي على عجينة رطبة تفصلها عن أنود الخارصين. وتعمل هذه الفواصل عمل القنطرة الملحية للسماح بتحرك الأيونات، ومن ثم فإنها تشبه إلى حد كبير نموذج الخلية الجلفانية الذي درسته في القسم 1-5 . وتنتج خلية الخارصين والكربون الجافة 1.5 V حتى يبدأ إنتاج الأمونيا بوصفه ناتج تفاعل الاختزال عن محلولها المائي في صورة غاز. وعندها ينخفض الجهد إلى مستوى يجعل البطارية غير نافعة.

البطاريات القلوية لقد حلت الخلية القلوية الجافة الأكثر كفاءة، محل خلية الخارصين والكربون الجافة في الكثير من التطبيقات كما في **الشكل 9-5**. ويوجد الخارصين في الخلية القلوية على هيئة مسحوق، مما يوفر مساحة سطح أكبر للتفاعل، ويخلط بعجينة مع هيدروكسيد البوتاسيوم، وهي قاعدة قوية، وتوضع العجينة في علبة من الفولاذ. ويقوم مخلوط من ثاني أكسيد المنجنيز وهيدروكسيد البوتاسيوم مقام الكاثود. ويمكن تمثيل تفاعل الأنود لنصف الخلية على النحو الآتي:

$$Zn_{(s)} + 2OH^-_{(aq)} \rightarrow ZnO_{(s)} + H_2O_{(l)} + 2e^-$$

أما تفاعل الكاثود لنصف الخلية فهو:

$$MnO_{2(s)} + 2H_2O_{(l)} + 2e^- \rightarrow Mn(OH)_{2(s)} + 2OH^-_{(aq)}$$

ولا تحتاج البطاريات القلوية إلى عمود الكربون بوصفه كاثودًا؛ لذا يمكن تصنيعها بأحجام صغيرة، ولها استعمالات متعددة في الأجهزة الصغيرة.

بطاريات الفضة بطاريات الفضة الموضحة في **الشكل 9-5** أصغر حجمًا، وتستعمل في تزويد الأجهزة بالطاقة، ومنها سماعات الأذن والساعات وآلات التصوير. وتَستعمل بطاريات الفضة تفاعل أنود نصف خلية البطاريات القلوية. أما تفاعل الكاثود لنصف الخلية فهو على النحو الآتي:

$$Ag_2O_{(s)} + H_2O_{(l)} + 2e^- \rightarrow 2Ag_{(s)} + 2OH^-_{(aq)}$$

ماذا قرأت؟ **حدّد** أنصاف التفاعلات التي تحدث في كل من البطاريات القلوية، وبطاريات الفضة.

الشكل 9-5 البطاريات القلوية أكثر كفاءة من خلية الخارصين والكربون الجافة، وأكثر نفعًا عند الحاجة إلى بطاريات صغيرة الحجم. أما بطاريات الفضة فهي أصغر حجمًا من القلوية، وتناسب الأجهزة الصغيرة الحجم مثل الساعات.

البطاريات الأولية والثانوية تقسم البطاريات إلى نوعين اعتمادًا على عملياتها الكيميائية. وتصنف خلايا الخارصين والكربون، والقلوية، والفضة على أنها بطاريات أولية. و**البطاريات الأولية** هي التي تنتج طاقة كهربائية من تفاعل الأكسدة والاختزال الذي لا يحدث بشكل عكسي بسهولة، وتصبح البطارية غير صالحة للاستعمال بعد انتهاء التفاعل. ويسمى النوع الآخر **البطاريات الثانوية**، وهي تعتمد على تفاعل الأكسدة والاختزال العكسي، لذا فإنه يمكن شحنها. فبطارية السيارة والحاسوب المحمول مثالان على هذا النوع من البطاريات التي تُسمى في بعض الأحيان بطاريات التخزين. وعادة ما تكون بطاريات التخزين التي تستعمل في آلات الحلاقة وآلات التصوير الرقمية بطاريات نيكل - كادميوم قابلة للشحن، وتسمى في بعض الأحيان بطاريات NiCad، كما في **الشكل 10-5**. وللحصول على الكفاءة القصوى للبطارية يصنع كل من الأنود والكاثود من أشرطة دقيقة طويلة من مواد مفصولة بطبقة يمكن للأيونات أن تمر من خلالها. وتلف الأشرطة في لفائف ضيقة وتعبأ داخل علبة فولاذية. ويتمثل تفاعل الأنود الذي يحدث عند استعمال البطارية لتوليد تيار كهربائي في أكسدة الكادميوم في وسط قاعدي:

$$Cd_{(s)} + 2OH^-_{(aq)} \rightarrow Cd(OH)_{2(s)} + 2e^-$$

أما تفاعل الكاثود فهو اختزال النيكل من حالة تأكسد 3+ إلى 2+ .

$$NiO(OH)_{(s)} + H_2O_{(l)} + e^- \rightarrow Ni(OH)_{2(s)} + OH^-_{(aq)}$$

وتحدث هذه التفاعلات بشكل عكسي عند شحن البطارية.



الشكل 10-5 تزود الأدوات والهواتف اللاسلكية عادة بالطاقة بواسطة بطاريات يمكن إعادة شحنها، ويتم إعادة شحن بطارية NiCad عند توصيلها بمصدر كهربائي يزودها بالطاقة لتدفع تفاعل الشحن غير التلقائي للحدوث .

بطاريات تخزين المركم الرصاصي
Lead–Acid Storage Battery

شائعة الاستخدام في السيارات. وتتكون معظم بطاريات السيارات من 6 خلايا تولد كل واحدة منها 2V بناتج كلي 12V. ويتكون الأنود في كل خلية من شبكتين مساميتين أو أكثر من الرصاص. أما الكاثود فيتكون من شبكة واحدة من الرصاص المملوءة بأكسيد الرصاص IV. ويجب أن يسمى هذا النوع من البطاريات بطارية رصاص - أكسيد الرصاص IV، إلا أن بطاريات الرصاص الحمضية هو الاسم الأكثر شيوعًا لها؛ لأن المحلول الموصل في البطارية هو محلول حمض الكبريتيك، وهي بطارية غير جافة.

وتمثل المعادلات الآتية تفاعل الأكسدة لنصف الخلية عند الأنود؛ حيث يتأكسد الرصاص من حالة تأكسد 0.0 إلى 2+ في $PbSO_4$.

$$Pb_{(s)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)} \rightarrow PbSO_{4(s)} + 2e^-$$

ويختزل الرصاص من حالة تأكسد 4+ إلى 2+ عند الكاثود، ويمثل تفاعل الاختزال لنصف الخلية عند الكاثود كما يلي:

$$SO_4^{2-}{}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow PbSO_{4(s)} + 2H_2O_{(l)}$$

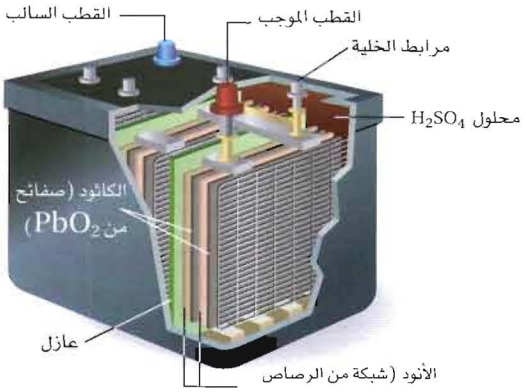
لذا فإن التفاعل الكلي هو:

$$Pb_{(s)} + PbO_{2(s)} + 4H^+_{(aq)} + 2SO_4^{2-}{}_{(aq)} \rightarrow 2\,PbSO_{4(s)} + 2H_2O_{(l)}$$

وبالنظر إلى تفاعلات نصفي الخلية يمكنك ملاحظة أن كبريتات الرصاص II $PbSO_4$ هي ناتج الأكسدة والاختزال. وكذلك فإن كلًا من PbO و Pb و $PbSO_4$ هي مواد صلبة، لذا تبقى في مكان تكوُّنها نفسه. لذا تكون المواد المتفاعلة في الأماكن المطلوبة سواء أكانت البطارية في حالة استعمال أو شحن.



يسبب انخفاض مستوى المحلول الموصل نفاد شحنة البطارية . وتقوم أسلاك الشحن بوصل التيار من سيارة بها بطارية جيدة لإعادة شحن البطارية المستهلكة.



تحتوي بطاريات المركم الرصاصي على صفائح من الرصاص وأكسيده ، والمحلول الموصل عبارة عن محلول حمض الكبريتيك وأكسيد الرصاص، وعند استعمال البطارية يُستهلك الحمض ويصبح المحلول الموصل أقل كثافة .

يعمل حمض الكبريتيك عمل محلول موصل بالبطارية، إلا أنه يُستهلك في أثناء توليد البطارية للتيار الكهربائي، كما توضح معادلة الخلية الكلية ذلك. ماذا يحدث عند إعادة شحن البطارية؟ يصبح التفاعل في هذه الحالة عكسيًّا؛ لينتج الرصاص وأكسيد الرصاص IV وحمض الكبريتيك، والموضح بالجزء في المعادلة $4H^+_{(aq)} + 2SO_4{}^{2-}_{(aq)}$ من المعادلة الكلية للبطارية.

وتعد بطاريات تخزين المراكم الرصاصية في **الشكل 11-5** اختيارًا جيدًا للسيارات؛ لأنها تزود المحرك بطاقة ابتدائية عالية جدًّا في البداية، ولها زمن حفظ طويل قبل البيع، ويُعتمد عليها عند انخفاض درجات الحرارة.

الشكل 11-5 تستهلك بطاريات المركم الرصاصي المستعملة في السيارات عند تشغيل السيارة، وتشحن عندما يعمل المحرك.

ماذا قرأت؟ **حدّد** المواد التي تتأكسد والمواد التي تختزل عند شحن بطارية المركم الرصاصي.

بطاريات الليثيوم Lithium Batteries

على الرغم من أن بطاريات المركم الرصاصي موثوق بها ومناسبة للكثير من التطبيقات، فما زال المهندسون يطورون بطاريات بكتلة أقل وقدرة أكبر لتزويد الأجهزة بالطاقة؛ بدءًا من ساعة اليد إلى السيارات الكهربائية. وفي التطبيقات التي تكون فيها البطارية هي المكوّن الأهم ويجب تزويدها بكميات كبيرة من القدرة - كما في عملية تشغيل السيارات الكهربائية - فإن بطاريات المركم الرصاصي تكون ثقيلة جدًّا وبالتالي لا تكون عملية.

ولقد كان الحل في تطوير بطارية ذات وزن خفيف، تخزن كميات كبيرة من الطاقة بالنسبة لحجمها. لذا ركز المهندسون انتباههم على عنصر الليثيوم لسببين، هما: أن الليثيوم أخف فلز معروف، وله أقل جهد اختزال قياسي بالنسبة للعناصر الفلزية الأخرى V 3.04- كما في **الجدول 1-5**. لذا تولد البطارية التي تؤكسد الليثيوم على الأنود V 2.3 تقريبًا أكثر من البطاريات المشابهة، وتؤدي إلى تأكسد الخارصين.

قارن بين نصف تفاعل التأكسد للخارصين والليثيوم وجهود اختزالهما القياسية.

$$Zn_{(s)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^- \qquad (E^0_{Zn^{2+}|Zn} = -0.762\ V)$$

$$Li_{(s)} \rightarrow Li^+_{(aq)} + e^- \qquad (E^0_{Li^+|Li} = -3.04\ V)$$

$$E^0_{Zn^{2+}|Zn} - E^0_{Li^+|Li} = +2.28\ V$$

المفردات

أصل الكلمة

السعة (Capacity):
من أصل لاتيني وتعني القدرة على الاستيعاب أو الاحتواء.



تزود بطاريات الليثيوم سيارة التجربة هذه بطاقة تجعلها تسير بسرعة قصوى مقدارها 113 km/h قبل أن يعاد شحنها . كما أنها تستطيع السير مسافة 320 km



تنتج بطاريات الليثيوم عادة 3 و 9 فولت، ولها عدة حجوم لتناسب الأجهزة المختلفة

الشكل 12-5 الصفات التي تجعل بطاريات الليثيوم الاختيار الأمثل للعديد من الاستعمالات هي خفة الوزن وطول العمر والجهد العالي.

يمكن لبطاريات الليثيوم أن تكون أولية أو ثانوية اعتمادًا على أي تفاعلات اختزال تم دمجها مع تأكسد الليثيوم. تستخدم بعض بطاريات الليثيوم مثلاً تفاعل الكاثود نفسه الذي تستعمله الخلايا الجافة الخارصين والكربون، وهو اختزال أكسيد المنجنيز IV MnO_2 إلى أكسيد المنجنيز III Mn_2O_3، وتنتج هذه البطاريات تيارًا ذا جهد يساوي 3 V مقارنة بـ 1.5 V لخلايا الخارصين والكربون. وتستمر بطاريات الليثيوم لفترة أطول من أنواع البطاريات الأخرى. ونتيجة لذلك تستعمل عادة في الساعات والحواسيب وآلات التصوير للحفاظ على الزمن والتاريخ والذاكرة والاستعدادات الشخصية حتى عند إطفاء الجهاز. **والشكل 12-5** يوضح التطبيقات الحالية والمطورة لبطاريات الليثيوم.

ماذا قرأت؟ اذكر ثلاث مزايا لبطاريات الليثيوم.

خلايا الوقود Fuel Cells

ينفجر الهيدروجين بقوة كبيرة عند احتراقه في الهواء، وينتج عنه ضوء وحرارة.

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

فهل يمكن أن يحدث هذا التفاعل تحت ظروف مضبوطة داخل الخلية؟

الربط مع الفيزياء **خلية الوقود** هي خلية جلفانية؛ حيث ينتج تأكسد الوقود طاقة كهربائية. وتختلف خلايا الوقود عن البطاريات الأخرى؛ لأنها تزود بالوقود باستمرار من مصدر خارجي. ويعتقد الكثيرون أن خلايا الوقود اختراع حديث، إلا أن الخلايا الأولى عُرضت عام 1839م عن طريق عالم الكيمياء الكهربائية البريطاني وليام جروف William Jrove والذي سمّى خليته بطارية الغاز. وقد بدأ بعض العلماء عملاً جادًّا في خمسينيات القرن الماضي لتطوير خلايا وقود عملية ذات كفاءة لبرامج الفضاء. وإذا كان يتعين على رواد الفضاء الطيران في سفن فضائية فإنهم يحتاجون إلى الماء للمحافظة على حياتهم في السفينة، ومصدر كهربائي موثوق به لتزويد أنظمة السفينة المختلفة بالكهرباء. وكلتا الحاجتين الأوليين ساعدتا على تطوير خلايا وقود الهيدروجين التي تضبط عملية تأكسد الهيدروجين وتزود السفينة بالماء والكهرباء؛ إذ لا يصاحب ذلك إنتاج مواد جانبية ينبغي التخلص منها أو تخزينها على السفينة خلال الرحلة.

واقع الكيمياء في الحياة

خلايا الوقود



التقليل من التلوث تعد السيارات من أكبر مصادر تلوث الهواء في المدن. وقد تم تزويد حافلات - تحت التجربة في بعض المدن الأوروبية - بخلايا وقود الهيدروجين على إحداث فرق في كمية التلوث. كما تخلو عوادم هذه الحافلات من ثاني أكسيد الكربون أو أي من أكاسيد النيتروجين أو الكبريت. والماء النقي هو الناتج الوحيد.

كيف تعمل خلية الوقود؟ لخلية الوقود - كما في الخلايا الجلفانية الأخرى - أنود وكاثود، وتتطلب محلولاً موصلًا؛ حتى تستطيع الأيونات الانتقال بين الأقطاب. والمحلول الموصل الشائع في خلية الوقود محلول قلوي من هيدروكسيد البوتاسيوم. وكل قطب عبارة عن وعاء أجوف جدرانه من كربون مسامّيّ تسمح بالاتصال بين الحجرة الداخلية والمحلول الموصل المحيط بها. ويكتب نصف تفاعل الأكسدة للخلية على الأنود على النحو الآتي:

$$2H_{2(g)} + 4OH^-_{(aq)} \rightarrow 4H_2O_{(l)} + 4e^-$$

يستعمل التفاعل أيونات الهيدروكسيد المتوافرة في المحلول الموصل القلوي، ويطلق إلكترونات على الأنود. فتتدفق الإلكترونات الناتجة عن أكسدة الهيدروجين خلال الدائرة الخارجية نحو الكاثود؛ حيث يحدث نصف تفاعل الاختزال على النحو الآتي:

$$O_{2(g)} + 2H_2O_{(l)} + 4e^- \rightarrow 4OH^-_{(aq)}$$

تختزل الإلكترونات الأكسجين عند وجود الماء لإنتاج 4 أيونات هيدروكسيد تم على تعويض أيونات الهيدروكسيد المستخدمة عند الأنود. وعند جمع معادلتي نصفي التفاعل تكون المعادلة الكلية هي معادلة احتراق الهيدروجين في الأكسجين نفسها.

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

ولما كانت الخلية تزود بالوقود من مصدر خارجي فإن خلية الوقود لا تنفد مثل سائر البطاريات، حيث تستمر في إنتاج الكهرباء ما دام الوقود متوافرًا.

وتستخدم بعض الخلايا وقودًا غير الهيدروجين. فمثلاً يستبدل الهيدروجين بالميثان في بعض الخلايا إلا أنه قد يؤدي إلى إنتاج ثاني أكسيد الكربون كغاز الدفيئة. وتستعمل خلايا الوقود كما في **الشكل 13-5** صفيحة بلاستيكية تسمى غشاء تبادل البروتون(PEM)، مما يستبعد الحاجة إلى محلول موصل سائل.

ماذا قرأت؟ **قارن** خلايا الوقود بغيرها من الخلايا الجلفانية.

مهن في الكيمياء

أختصاصي الطاقة البديلة

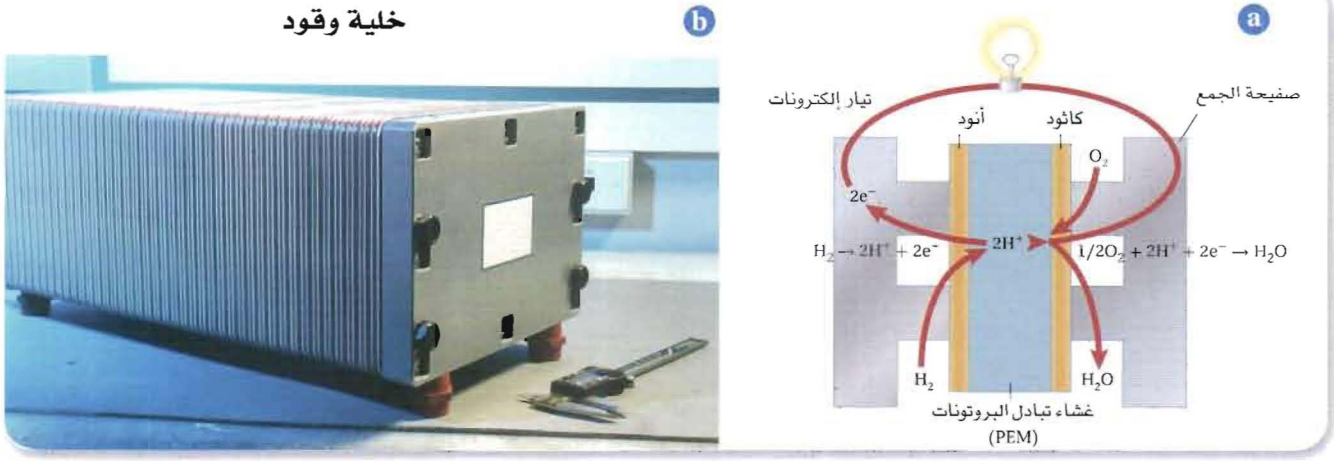
إذا كنت ترغب في اختراع أشياء جديدة وجعلها تعمل فقد تكون مهتمًّا بالمساعدة على تطوير مصادر طاقة لهذا العالم يعتمد عليها بصورة متزايدة. وتتضمن هذه التقنيات: الطاقة الشمسية، والرياح، والطاقة الجوفية وطاقة التيارات المائية، واستعمال تدرج درجات الحرارة في تجمعات الماء، وغيرها.

الشكل 13-5

a. يكون الهيدورجين هو الوقود. ويتم فصل نصفي التفاعل بواسطة غشاء لتبادل البروتونات حيث تتدفق الإلكترونات المفقود من عملية الأكسدة في الدائرة الخارجية للوصول إلى موقع الاختزال، وخلال انتقالها تقوم بعمل مفيد كتشغيل محرك إلكتروني. أما الناتج الجانبي لتفاعل الأكسدة والاختزال فهو الماء .

b. يمكن لخلايا الحزمة من نوع PEM إنتاج طاقة كافية لتشغيل سيارة كهربائية .

خلية وقود



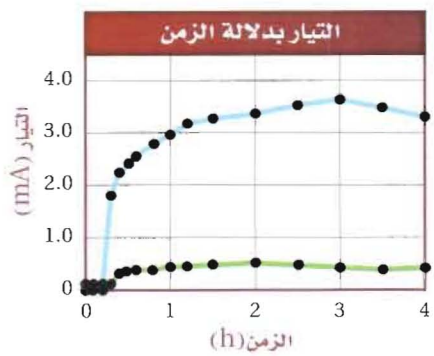
مختبر تحليل البيانات

تفسير الرسوم البيانية

كيف يمكنك الحصول على التيار الكهربائي من الميكروبات؟ درس العلماء استعمال الميكروبات كخلايا وقود حيوية؛ حيث تحوّل هذه الخلايا الطاقة الأيضية الميكروبية بصورة مباشرة إلى طاقة كهربائية. ويسهّل إلكترون وسيط انتقال الإلكترونات إلى القطب. والإلكترون الوسيط عبارة عن مركب يدخل ضمن سلسلة انتقال الإلكترون للخلايا ويسرق الإلكترونات المنتجة.

البيانات والملاحظات

يوضح الرسم البياني التيار الناتج عن خلية وقود حيوية باستعمال إلكترون وسيط (الخط الأزرق)، ودون استعماله (الخط الأخضر).



التفكير الناقد

1. **استنتج** الزمن التقريبي لإدخال الإلكترون الوسيط.
2. **حدّد** هل أحدث إدخال الإلكترون الوسيط اختلافًا في إنتاج التيار؟ فسّر إجابتك.
3. **حلّل** ما أعلى شدة تيار تم الحصول عليها من الخلية؟

التآكل Corrosion

من المعروف ان تفاعلات الأكسدة والاختزال التلقائية في الخلايا الجلفانية، حيث تحدث هذه التفاعلات أيضًا في الطبيعة. ومن ذلك تآكل الحديد المعروف بالصدأ. التآكل هو خسارة الفلز الناتج عن تفاعل أكسدة واختزال بين الفلز والمواد التي في البيئة. وعلى الرغم من الاعتقاد أن الصدأ ناتج عن تفاعل الحديد مع الأكسجين إلا أنه تفاعل أكثر تعقيدًا. ولما كان الصدأ يحدث عند توافر كل من الماء والأكسجين، لذا فإن قطعة الحديد التي تركت معرضة للهواء والرطوبة تكون أكثر عرضة للصدأ، كما في **الشكل 14-5**؛ حيث يصدأ الجزء المتصل بالتربة الرطبة أولاً. ويبدأ الصدأ عند وجود شق أو كسر في سطح الحديد. ويصبح هذا الجزء أنود الخلية؛ حيث تبدأ ذرات الحديد في فقدان الإلكترونات، كما في **الشكل 15-5**.

$$Fe_{(s)} \rightarrow Fe^{2+}{}_{(aq)} + 2e^-$$

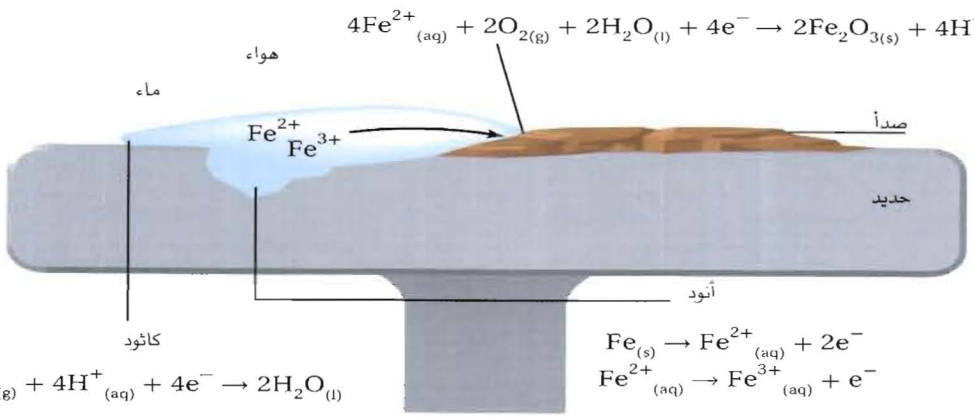
وتصبح أيونات الحديد II جزءًا من المحلول المائي، في حين تتحرك الإلكترونات خلال القطعة الحديدية إلى منطقة الكاثود، فتصبح القطعة الحديدية هي الدائرة الخارجية والأنود في آنٍ واحد. ويقع الكاثود عادة على حافة قطرة الماء، حيث يتم الاتصال بين الماء والهواء وقطعة الحديد. وهناك تختزل الإلكترونات الأكسجين من الهواء، كما في المعادلة الآتية:

$$O_{2(g)} + 4H^+{}_{(aq)} + 4e^- \rightarrow 2H_2O_{(l)}$$

ويتم تزويد أيونات H^+ على الأرجح من تكوّن حمض الكربونيك الناتج عن ذوبان CO_2 من الهواء في الماء.

الشكل 14-5 يتأكسد الحديد ببطء عند تركه مكشوفًا ومعرضًا للهواء والرطوبة مكونًا الصدأ Fe_2O_3





الشكل 5-15 يحدث التآكل عندما يكوّن كل من الماء والهواء والحديد خلية جلفانية.

سمّ المادتين اللتين تأكسدتا عند الأنود.

ثم تتأكسد أيونات الحديد Fe^{2+} في المحلول إلى أيونات Fe^{3+} عن طريق التفاعل مع الأكسجين الذائب في الماء. وتتحد أيونات Fe^{3+} بالأكسجين لتكوين صدأ غير ذائب من Fe_2O_3

$$4Fe^{2+}_{(aq)} + 2O_{2(g)} + 2H_2O_{(l)} + 4e^- \rightarrow 2Fe_2O_{3(s)} + H^+_{(aq)}$$

وعند جمع المعادلات الثلاث تنتج المعادلة الكلية لتفاعل الخلية لتآكل الحديد:

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

والصدأ عملية بطيئة؛ لأن قطرات الماء تحتوي على كمية قليلة من الأيونات، لذا فهي محاليل موصلة غير جيدة. أما إذا كان الماء يحتوي على كمية كبيرة من الأيونات - كما في ماء البحر أو المناطق التي ترش فيها الطرق بالملح شتاءً - فإن التآكل يحدث بسرعة أكبر؛ لأن الماء يصبح محلولاً موصلاً جيدًا .

منع التآكل لما كان تآكل السيارات والجسور والسفن وهياكل المباني الفولاذية والعديد من الأشياء الفلزية يكلف أكثر من 100 بليون دولار من الخسائر سنويًّا في الولايات المتحدة، لذا تم ابتكار طرائق عديدة لتقليل هذا التآكل. ومن هذه الطرائق عمل غطاء من الطلاء لعزل الماء والهواء. ونظرًا لأن الطلاء يتلف مع الزمن، كالجسر الذي في **الشكل 16-5** مثلًا، فإنه يجب إعادة طلائه مرات عديدة.



الشكل 5-16 لما كان التآكل يسبب الكثير من الضرر، لذا فإنه من الأهمية بمكان إيجاد طرائق لمنع الصدأ. والطلاء أو أي غطاء حماية آخر هو أحد طرائق حماية هياكل المباني الفولاذية من التآكل.

تجربة

ملاحظة التآكل

أي الفلزات ستتآكل؟



خطوات العمل

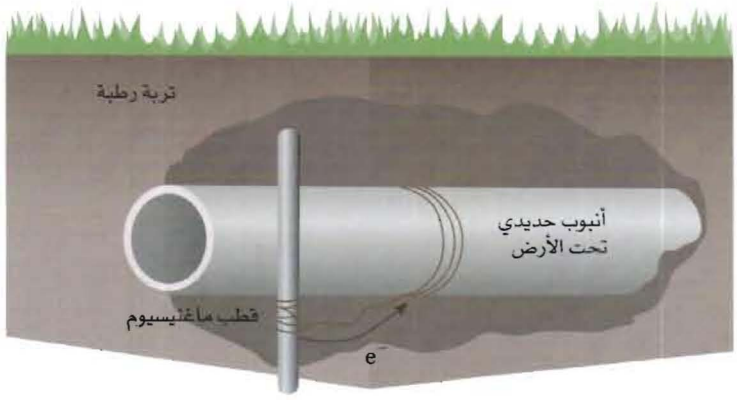
1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. استعمل ورق **الصنفرة** لتلميع سطوح أربعة **مسامير حديد**، وغلّف مسمارين **بشريط ماغنيسيوم**، وغلف مسمارين آخرين بقطع من **النحاس**، وتأكد من إحكام لفّ المسامير حتى لا تنزلق.
3. ضع المسامير في **كؤوس** منفصلة، وأضف **ماءً مقطّرًا** إلى أحد المسمارين الملفوفين بالماغنيسيوم وأحد المسمارين الملفوفين بالنحاس. وأضف كمية ماء كافية حتى تغمر المسمارين، ثم أضف **ماء مالحًا** إلى **الكأسين الأخريين**، وسجل ملاحظاتك عن المسامير في كل كأس.
4. اترك الكؤوس في أكثر الأماكن دفئًا خلال الليل، وافحص المسامير والمحاليل في اليوم التالي، وسجل ملاحظاتك.

التحليل

1. **صف** الاختلاف بين المسامير الملفوفة بالنحاس في الماء المقطر والماء المالح بعد تركها خلال الليل.
2. **صف** الاختلاف بين المسامير الملفوفة بالماغنيسيوم في الماء المقطر والماء المالح بعد تركها خلال الليل.
3. **فسّر** الاختلاف بين المسامير الملفوفة بالنحاس والمسامير الملفوفة بالماغنيسيوم.

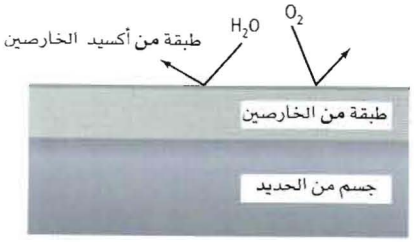
لما كانت هياكل السفن تتصل بصورة دائمة بالماء المالح، لذا فإن منع التآكل شيء حيوي. وعلى الرغم من إمكانية طلاء الهيكل إلا أن هناك طريقة أخرى تستعمل في تقليل التآكل؛ حيث توصل كتل من الفلز مثل الماغنيسيوم أو الألومنيوم أو التيتانيوم بالهيكل الفولاذي، فتتأكسد هذه الكتل أسهل من الحديد، وتصبح الأنود في خلية التآكل، في حين يبقى حديد الهيكل دون تآكل أو أكسدة. وتستعمل التقنية نفسها في حماية أنابيب الحديد المدفونة في الأرض؛ حيث يلف الماغنيسيوم بواسطة أسلاك بالأنابيب، فيتآكل الماغنسيوم بدلاً من الأنابيب، كما في **الشكل 17-5**.

الشكل 17-5 يستعمل الماغنيسيوم أو أي فلز نشط آخر لمنع التآكل؛ إذ يتأكسد الماغنيسيوم الملفوف حول أنابيب الحديد المدفونة في الأرض أولًا مما يساعد على منع تأكل الأنابيب.



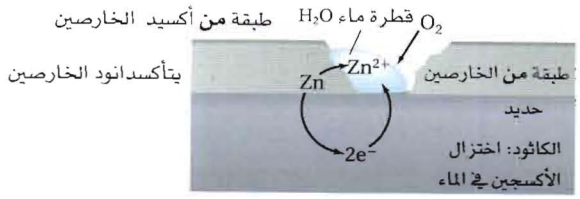
الأكسدة : $Mg_{(s)} \rightarrow Mg^{2+}_{(aq)} + 2e^-$

الاختزال : $O_{2(g)} + 4H^+_{(aq)} + 4e^- \rightarrow 2H_2O_{(l)}$



جسم مجلفن بطبقة خارصين سليمة

تعزل طبقة الخارصين الحديد عن الماء والهواء عن طريق تكوين حاجز من أكسيد الخارصين يصد الماء والأكسجين.



جسم مجلفن بطبقة خارصين مشققة

إذا تشققت طبقة الخارصين يصبح الخارصين هو الأنود، المضحي؛ حيث يتأكسد غطاء الخارصين بدلاً من الحديد

والطريقة الأخرى لمنع التآكل هي تغليف الحديد بفلز أكثر مقاومة للتأكسد منه. ففي عملية **الجلفنة** يتم تغليف الحديد بطبقة من الخارصين؛ إما عن طريق غمس القطعة الحديدية بمصهور الخارصين، وإما بطلاء الجسم بالخارصين كهربائيًّا. وعلى الرغم من أن الخارصين يتأكسد بسهولة أكثر من الحديد إلا أنه واحد من مجموعة العناصر التي تحمي نفسها وتتضمن الألومنيوم والكروم. فعند تعرضها للهواء يتأكسد سطحها مكوّنًا طبقة رقيقة من أكسيد الفلز تحمي الفلز من التأكسد مرة أخرى.

وتحمي الجلفنة الحديد بطريقتين ما دامت طبقة الخارصين سليمة؛ إذ لا تمكّن الماء والهواء من الوصول إلى سطح الحديد. ولكن عند تشقق طبقة الخارصين فإنه يقوم بحماية الحديد من التآكل السريع بأن يصبح الخارصين أنود الخلية الجلفانية المتكونة ملامسة الهواء والماء للحديد والخارصين في الوقت نفسه. ويوضح **الشكل 18-5** كيف تعمل طريقتا الحماية من التآكل.

الشكل 18-5 تساعد الجلفنة على منع التآكل بطريقتين.

التقويم 5-2

الخلاصة

- تستخدم البطاريات الأولية مرة واحدة فقط، ولكن يمكن شحن البطاريات الثانوية.
- تُزوَّد البطارية عند شحنها بطاقة كهربائية تعكس اتجاه تفاعل البطارية التلقائي.
- خلايا الوقود بطاريات تكون فيها المادة المتأكسدة وقودًا من مصدر خارجي.
- طرائق الحماية من التآكل هي: الطلاء، أو التغليف بفلز آخر، أو استعمال أنود مضحٍّ.

15. الفكرة الرئيسة **حدّد** ما الذي يتأكسد؟ وما الذي يختزل في بطارية الخلية الجافة الخارصين والكربون؟ وما الخواص التي تجعل الخلية الجافة القلوية أكثر تطورًا من أنواع البطاريات الجافة الأقدم؟

16. **فسر** ماذا يحدث عند إعادة شحن البطارية؟

17. **صف** أنصاف التفاعل التي تحدث في خلية وقود الهيدروجين، واكتب معادلة التفاعل الكلية.

18. **صف** عمل أنود عندما يستخدم قطبًا مضحيًا. وكيف يتشابه عمله مع الجلفنة؟

19. **فسّر** لماذا يعد الليثيوم اختيارًا جيدًا ليكون أنودًا للبطارية؟

20. **احسب** باستعمال بيانات الجدول 1-5 جهد خلية وقود الهيدروجين-الأكسجين الموضحة في صفحة 53.

21. **صمّم تجربة** استخدم معرفتك بالأحماض في ابتكار طريقة لتحديد ما إذا كان المركم الرصاصي مشحونًا بصورة كاملة أم أنه بدأ ينفد شحنه.

5–3

الأهداف

- **تصف** كيف يمكن عكس تفاعل الأكسدة والاختزال التلقائي في الخلية الكهروكيميائية.
- **تقارن** التفاعلات المرتبطة مع التحليل الكهربائي لمصهور كلوريد الصوديوم بالتفاعلات المرتبطة مع التحليل الكهربائي لماء البحر.
- **تناقش** أهمية التحليل الكهربائي في عملية صهر الفلزات وتنقيتها.

مراجعة المفردات

تفاعل الأكسدة والاختزال التفاعل الذي يتضمن فقد واكتساب الإلكترونات.

المفردات الجديدة

التحليل الكهربائي

خلية التحليل الكهربائي

التحليل الكهربائي Electrolysis

الفكرة الرئيسة **يؤدي وجود مصدر تيار كهربائي في التحليل الكهربائي إلى حدوث تفاعل غير تلقائي في الخلايا الكهروكيميائية.**

الربط مع الحياة لا يتطلب الهبوط بالدراجة الهوائية إلى أسفل التل بذل أي جهد؛ لأنها تهبط بفعل الجاذبية. ولكن الأمر يختلف عند الصعود إلى أعلى التل؛ إذ عليك بذل طاقة كبيرة لقيادة الدراجة.

عكس تفاعلات الأكسدة والاختزال
Reversing Redox Reactions

عندما تولّد بطاريةٌ تيارًا كهربائيًّا تتدفق الإلكترونات الناتجة عند الأنود من خلال الدائرة الخارجية إلى الكاثود؛ حيث تستعمل في تفاعل الاختزال. والبطاريات الثانوية نوع من البطاريات يمكن إعادة شحنها عن طريق تمرير تيار كهربائي من خلالها في الاتجاه المعاكس. ولمساعدتك على فهم العملية ادرس الخلايا الكهروكيميائية في **الشكل 19–5**. حيث تحتوي الكؤوس التي في الجهة اليسرى على قطعة خارصين في محلول أيونات الخارصين، في حين تحتوي الكؤوس التي في الجهة اليمنى على قطعة نحاس في محلول أيونات النحاس. وتزود إحدى الخلايا الكهروكيميائية المصباح بالكهرباء لإضاءته عن طريق تفاعل الأكسدة والاختزال التلقائي. وتتدفق الإلكترونات تلقائيًّا من جهة الخارصين إلى جهة النحاس مولّدة تيارًا كهربائيًّا. ويستمر التفاعل حتى تستهلك قطعة الخارصين وعندئذٍ يتوقف التفاعل. إلا أنه يمكن تجديد الخلية إذا تم تزويدها بتيار في الاتجاه المعاكس باستعمال مصدر طاقة خارجي، وهو مطلوب؛ لأن التفاعل في الاتجاه العكسي غير تلقائي. وإذا تم تزويد الطاقة من مصدر خارجي لفترة زمنية كافية فسوف تعود البطارية إلى قوتها الأصلية تقريبًا.

ويسمى استعمال الطاقة الكهربائية لإحداث تفاعل كيميائي **التحليل الكهربائي**. وتسمى الخلية الكهروكيميائية التي يحدث فيها تحليل كهربائي **خلية التحليل الكهربائي**. فعند إعادة شحن بطارية ثانوية مثلاً فإنها تعمل عمل خلية تحليل كهربائي.



خلية التحليل الكهربائي
عندما يتم تزويد الخلية بطاقة خارجية ينعكس تدفق الإلكترونات ويحدث التفاعل غير التلقائي، والذي يستعيد الوضع الأصلي للخلية.



الخلية الجلفانية
تعمل أكسدة الخارصين في هذه الخلية على تزويد المصباح بالإلكترونات لإضاءته واختزال أيونات النحاس. ويستمر التفاعل التلقائي حتى يستهلك الخارصين.

الشكل 19-5 يمكن أن تكون خلية الخارصين والنحاس الكهروكيميائية خلية جلفانية أو خلية تحليل كهربائي.

استنتج أي الفلزين يتأكسد، وأيهما يختزل في كل من الخليتين؟

تطبيقات التحليل الكهربائي
Applications of Electrolysis

تقوم الخلايا الجلفانية بتحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية نتيجة تفاعل الأكسدة والاختزال التلقائي. وتعمل خلايا التحليل الكهربائي على عكس ذلك؛ حيث تستعمل الطاقة الكهربائية لإحداث تفاعل أكسدة واختزال غير تلقائي، ومن الأمثلة الشائعة التحليل الكهربائي للماء؛ حيث يعد هذا التفاعل عكس احتراق الهيدروجين في خلية الوقود:

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

والتحليل الكهربائي للماء هو إحدى طرائق إنتاج الهيدروجين لاستعمالات تجارية.

التحليل الكهربائي لمصهور NaCl لمّا كان التحليل الكهربائي يستطيع تحليل الماء إلى عناصره، لذا فإنه يمكنه أيضًا أن يحلل مصهور كلوريد الصوديوم إلى فلز الصوديوم وغاز الكلور. وتحدث هذه العملية في حجرة خاصة تعرف بخلية داون Down's cell ، كما في **الشكل 20-5**؛ حيث يتكون الموصل في الخلية من مصهور كلوريد الصوديوم نفسه . تذكر أن المركبات الأيونية يمكنها توصيل التيار الكهربائي فقط عندما تكون أيوناتها حرة الحركة، وذلك عند ذوبانها في الماء أو انصهارها.

يتأكسد أيون الكلوريد عند الأنود إلى غاز الكلور Cl_2:

$$2Cl^-_{(l)} \rightarrow Cl_{2(g)} + 2e^-$$

أما عند الكاثود، فتختزل أيونات الصوديوم إلى فلز الصوديوم:

$$Na^+_{(l)} + e^- \rightarrow Na_{(l)}$$

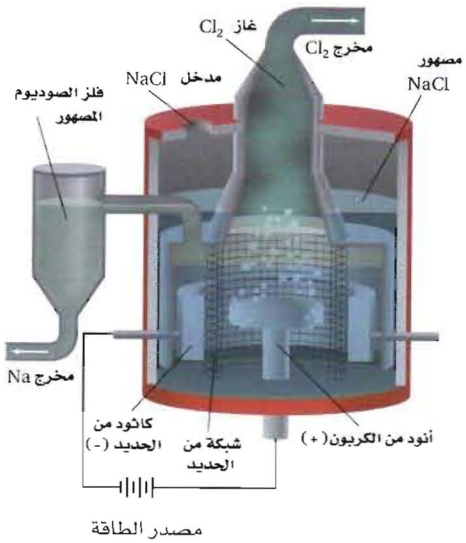
ويكون التفاعل الكلي للخلية كما يلي

$$Na^+_{(l)} + 2Cl^-_{(l)} \rightarrow Na_{(l)} + Cl_{2(g)}$$

ويمكن تقدير أهمية خلية داون بصورة ممتازة اعتمادًا على أهمية الدور الذي يؤديه كل من الصوديوم والكلور في حياة كل فرد. إذ يستعمل الكلور في جميع أنحاء العالم في تنقية المياه لأغراض الشرب والسباحة. وتحتوي الكثير من منتجات التنظيف التي نستعملها - وخصوصًا المبيضات المنزلية - على مركبات الكلور. كما تُتخذ مركبات الكلور وسيلة لمعالجة الكثير من المنتجات، ومنها: الورق والبلاستيك ومبيدات الحشرات والقماش والأصباغ والطلاء التي تحتوي على الكلور أو استعمل في إنتاجها.

ويستعمل الصوديوم في حالته النقية مبرِّدًا في المفاعلات النووية ومصابيح الصوديوم الغازية المستعملة في الإضاءة الخارجية. أما في مركباته الأيونية فما عليك إلا النظر في قائمة محتويات المنتجات المستهلكة لتجد مدى تنوع أملاح الصوديوم في المنتجات التي نستخدمها ونأكلها.

ماذا قرأت؟ **فسّر** لماذا يجب أن يكون كلوريد الصوديوم مصهورًا في خلية داون؟



خلية داون Down's cell

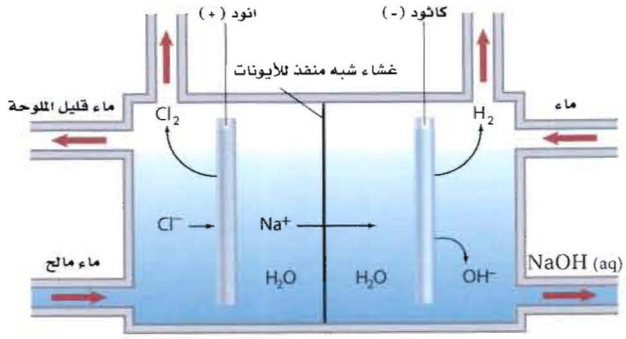
الشكل 20-5 في خلية داون، تستخدم الإلكترونات التي يوفرها المولد لاختزال أيونات الصوديوم وعند انتزاع الإلكترونات من الأنود تتأكسد أيونات الكلوريد إلى غاز الكلور .

المطويات

ضمّن مطويتك معلومات من هذا القسم.



يستعمل الكلور في صناعة بوليمر كلوريد الفينيل الذي يستعمل في صناعة الأنابيب.



تقوم بعض الصناعات على استعمال غاز الهيدروجين والكلور ومحلول هيدروكسيد الصوديوم التي تنتج من التحليل الكهربائي لماء البحر.

الشكل 21-5 لا ينتج الصوديوم من التحليل الكهربائي لماء البحر؛ لأن جزيئات الماء لديها ميل للاختزال أكثر من الصوديوم.

المفردات

الاستعمال العلمي مقابل الاستعمال الشائع

يختزل Reduce:

الاستعمال العلمي: تقليل عدد التأكسد بإضافة إلكترونات. يختزل الخارصين أيونات النحاس II إلى ذرات النحاس بفقدان إلكترونين.

الاستعمال الشائع: تقليل الحجم أو الكمية أو البعد أو العدد.

التحليل الكهربائي لماء البحر يتم تحليل ماء البحر - وهو محلول مائي لكلوريد الصوديوم - بواسطة التحليل الكهربائي أيضًا، ويوضح **الشكل 21-5** خلية تحليل كهربائي نموذجية، ونواتج التحليل الكهربائي؛ حيث يوجد احتمال لحدوث تفاعلين عند الكاثود، هما: اختزال أيونات الصوديوم، أو الهيدروجين في جزيئات الماء.

$$Na^+_{(aq)} + e^- \rightarrow Na_{(s)}$$

$$2H_2O_{(l)} + 2e^- \rightarrow H_{2(g)} + 2OH^-_{(aq)}$$

إلا أن اختزال أيونات الصوديوم Na^+ لا يحدث؛ بسبب أن اختزال الماء أسهل حدوثًا، ومن ثمّ يتم الاختزال التفضيلي. وكذلك هناك احتمال لحدوث تفاعلين عند الأنود، هما: تأكسد أيونات الكلوريد، أو تأكسد الأكسجين في جزيئات الماء.

$$2Cl^-_{(aq)} \rightarrow Cl_{2(g)} + 2e^-$$

$$2H_2O_{(l)} \rightarrow O_{2(g)} + 4H^+_{(aq)} + 4e-$$

ولما كان الناتج المرغوب فيه هو الكلور Cl_2 فإن تركيز أيونات الكلوريد تبقى مرتفعة، لذلك يحدث نصف التفاعل هذا. أما التفاعل الكلي للخلية فهو على النحو الآتي:

$$2H_2O_{(l)} + 2NaCl_{(aq)} \rightarrow H_{2(g)} + Cl_{2(g)} + 2NaOH^-_{(aq)}$$

وتكون النواتج الثلاثة جميعها مواد ذات أهمية تجارية.

ماذا قرأت؟ **سمِّ** الأنواع التي تأكسدت والتي اختزلت في التحليل الكهربائي لماء البحر.

إنتاج الألومنيوم كان فلز الألومنيوم حتى أواخر القرن التاسع عشر ذا قيمة أكثر من الذهب؛ إذ لم يكن أحد يعرف كيف يُنقّى بكميات كبيرة. قام تشارلز مارتن هول Charles Martin Hall وهو في سن 22 عامًا (1863-1914م) عام 1886م بتطوير عملية إنتاج الألومنيوم بالتحليل الكهربائي؛ حيث استعمل الكير (آلة الحداد) في الحصول على الحرارة، والبطاريات المنزلية في الحصول على الكهرباء، واتخذ من المقلاة أقطابًا. وفي الوقت نفسه اكتشف أحد طلبة لوتشاتلييه Lechatelie وهو هيرولييت T.Heroult البالغ من العمر 22 عامًا أيضًا (1863-1914م) العملية نفسها. لذا تسمى هذه العملية هول-هيرولييت، وهي موضحة في **الشكل 22-5**.

يتم الحصول على فلز الألومنيوم في النموذج الحديث لطريقة هول- هيروليت من التحليل الكهربائي لأكسيد الألومنيوم والمكرر من خام البوكسيت $Al_2O_3.2H_2O$؛ حيث يذوب أكسيد الألومنيوم عند 1000°C في مصهور الكريوليت الصناعي. أما Na_3AlF_6 فهو مركب آخر للألومنيوم؛ حيث تُغطى الخلية من الداخل بطبقة من الجرافيت لتعمل عمل كاثود للتفاعل، كما في **الشكل 22-5**. وهناك مجموعة أخرى من أصابع الجرافيت تُغمس في المصهور وتعمل عمل الأنود، ومن ثم يحدث التفاعل الآتي عند الكاثود:

$$Al^{3+}_{(l)} + 3e^- \rightarrow Al_{(l)}$$

يستقر الألومنيوم المصهور في قاع الخلية، ويسحب بصورة دورية. وتتأكسد أيونات الأكسيد عند الأنود في نصف التفاعل الآتي:

$$2O^{2-}_{(aq)} \rightarrow O_{2(g)} + 4e^-$$

لما كانت درجات الحرارة عالية، لذا فإن الأكسجين الناتج يتفاعل مع كربون الأنود لتكوين ثاني أكسيد الكربون:

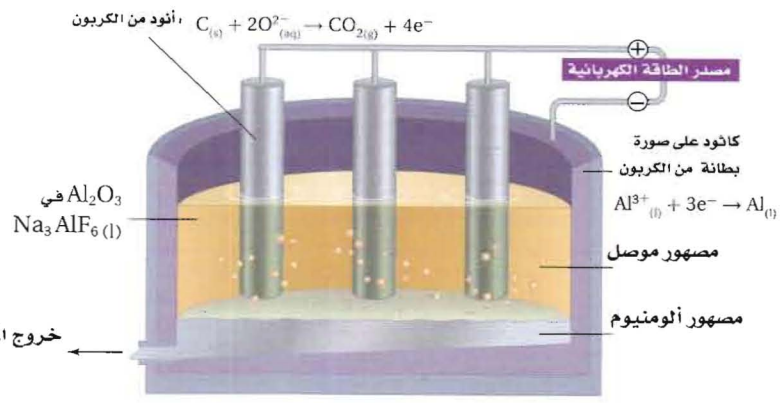
$$C_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)}$$

تستخدم عملية هول- هيروليت كميات ضخمة من الطاقة الكهربائية؛ لذا يتم إنتاج الألومنيوم في مصانع قريبة من محطات طاقة كهربائية؛ حيث تقل تكلفة الطاقة الكهربائية. والكمية الهائلة من الكهرباء التي يتطلبها إنتاج الألومنيوم من الخام هي السبب الأولي لإعادة تدوير الألومنيوم، الذي كان قد حلّل كهربائيًّا من قبل، لذا فالطاقة الوحيدة اللازمة لجعله قابلاً للاستعمال هي الحرارة التي يتطلبها صهره في الفرن.

تنقية الخامات يستعمل التحليل الكهربائي أيضًا في تنقية الفلزات، ومنها النحاس. ويستخرج معظم النحاس على شكل خامات الكالكوبرايت $CuFeS_2$ والكالكوسايت Cu_2S والملاكايت $Cu_2CO_3(OH)_2$. وتعد الكبريتيدات أكثر توافرًا، وتنتج فلز النحاس عند تسخينها بقوة بوجود الأكسجين.

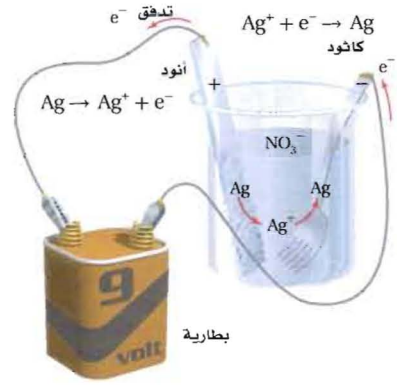
$$Cu_2S_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow 2Cu_{(s)} + SO_{2(g)}$$

الشكل 22-5 تتم عملية هول - هيروليت عند درجة 900°C في مصهر مشابه لهذا . ويستعمل الجرافيت أنودًا وكاثودًا . وتتم إضافة الألومنيوم المدوّر إلى الخلية مع الألومنيوم لتساعد في خفض درجة الانصهار.





يوفر كل طن يعاد تدويره من الألومنيوم كميات كبيرة من الطاقة الكهربائية التي تستعمل في إنتاج ألومنيوم جديد من خاماته.



الشكل 23-5 هناك حاجة إلى الطاقة لتأكسد الفضة على الأنود واختزالها على الكاثود. وفي خلية التحليل الكهربائي المستعملة للطلاء بالفضة، يوضع الجسم أو الشيء المراد طلاؤه على الكاثود؛ حيث يتم اختزال أيونات الفضة في المحلول إلى ذرات الفضة، وتترسب على الجسم.

ويحتوي النحاس المستخلص من هذه العملية على الكثير من الشوائب، ومن ثم يلزم تنقيته. لذا يصب مصهور النحاس في قوالب كبيرة وسميكة تستعمل مصاعد في خلية تحليل كهربائي تحتوي على محلول كبريتات النحاس II. أما كاثود الخلية فهو عبارة عن شريحة رقيقة من النحاس النقي. وتتأكسد ذرات النحاس غير النقي على الأنود خلال مرور التيار الكهربائي في الخلية إلى أيونات النحاس II. وتنتقل أيونات النحاس خلال المحلول إلى الكاثود؛ حيث يتم اختزالها إلى ذرات النحاس مرة أخرى، وتصبح هذه الذرات جزءًا من الكاثود، في حين تترسب الشوائب في قاع الخلية.

الطلاء بالكهرباء يمكن طلاء الأشياء كهربائيًا بفلز مثل الفضة بطريقة تشبه طريقة تنقية النحاس؛ حيث يوصل الجسم المراد طلاؤه بالفضة بكاثود خلية تحليل كهربائي، ويكون الأنود عبارة عن قطعة فضة نقية، كما في **الشكل 23-5**، فتتأكسد الفضة عند الأنود إلى أيونات الفضة عند انتزاع الإلكترونات منها بواسطة مصدر الطاقة. وتختزل عند الكاثود أيونات الفضة إلى فلز الفضة بواسطة إلكترونات من مصدر الطاقة الخارجي، فتكوّن الفضة طبقة رقيقة تغلف الجسم. لذا يجب مراقبة شدة التيار المار في الخلية والتحكم فيها للحصول على طبقة تغليف فلزية ناعمة ومتساوية.

وتستعمل فلزات أخرى للطلاء الكهربائي. ولعل المجوهرات المطلية بالذهب تكون مألوفة لديك، وقد تُعجب بسيارة طُليت أجزاؤها الفولاذية - مثل ماصات الصدمات لتكون مقاومة للتآكل عن طريق طلائها بالنيكل أولاً ثم بالكروم.

التقويم 5-3

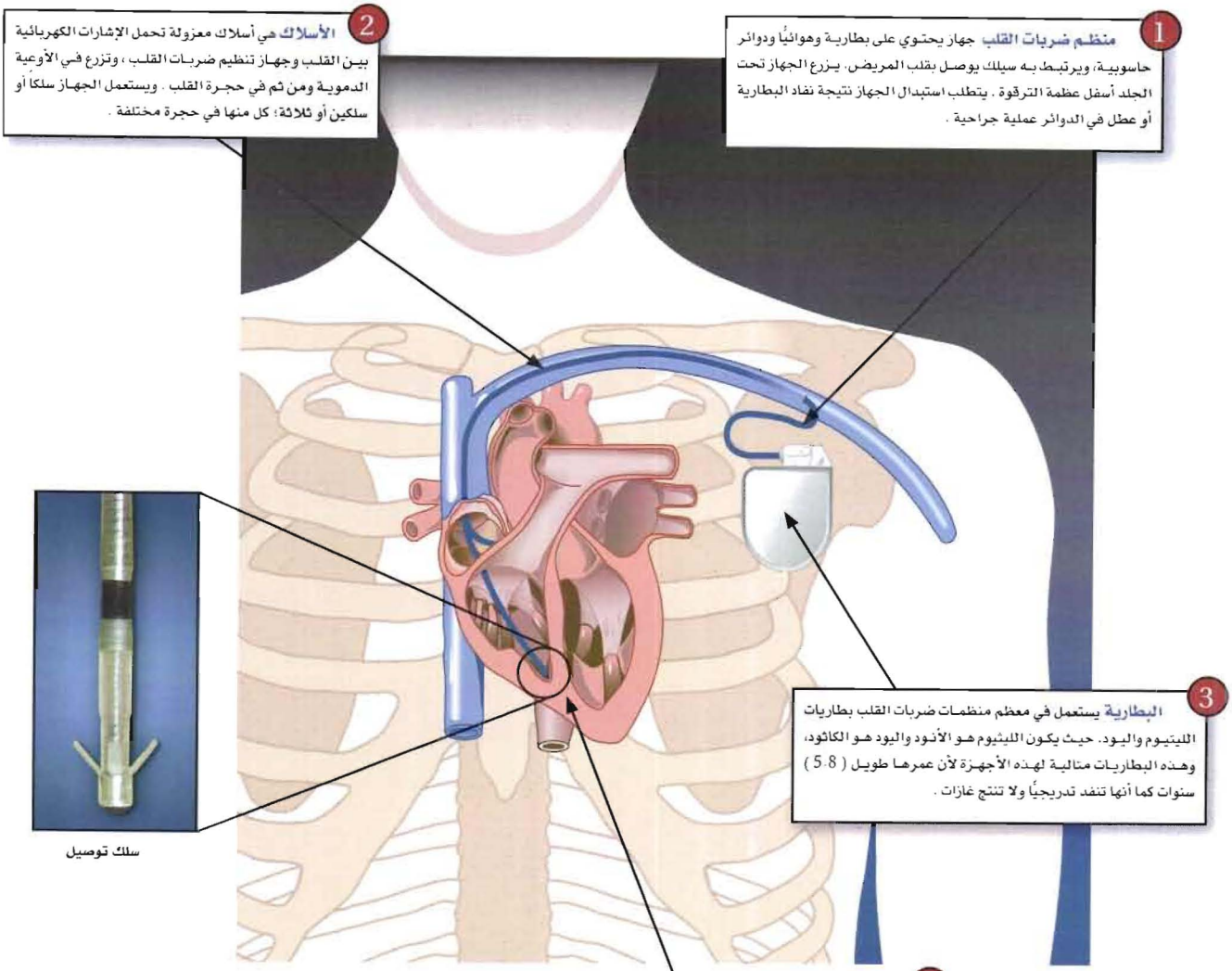
الخلاصة

- يسبب مصدر خارجي للطاقة في خلية التحليل الكهربائي حدوث تفاعل أكسدة واختزال غير تلقائي.
- يُنتج التحليل الكهربائي لمصهور كلوريد الصوديوم فلز الصوديوم وغاز الكلور، في حين ينتج التحليل الكهربائي لماء البحر غاز الكلور والهيدروجين وهيدروكسيد الصوديوم.
- يتم تنقية الفلزات ومنها النحاس في خلايا التحليل الكهربائي.
- يستعمل التحليل الكهربائي في طلاء الأجسام والأشياء وإنتاج الألومنيوم النقي من خامه.

22. الفكرة الرئيسة **عرّف** التحليل الكهربائي واربطه مع تلقائية تفاعل الأكسدة والاختزال.
23. **فسّر** اختلاف نواتج التحليل الكهربائي لكل من مصهور كلوريد الصوديوم وماء البحر.
24. **صف** كيف تتم تنقية النحاس المستخرج من مصهور خامه بالتحليل الكهربائي؟
25. **فسّر** أهمية إعادة تدوير الألومنيوم، بالرجوع إلى عملية هول-هيرولیت .
26. **صف** الأنود والكاثود في خلية تحليل كهربائي يستعمل فيها الذهب لطلاء الأشياء والأجسام.
27. **فسّر** لماذا يحتاج إنتاج كيلوجرام واحد من أيونات الفضة بواسطة التحليل الكهربائي إلى طاقة كهربائية أقل من إنتاج كيلوجرام واحد من أيونات الألومنيوم .
28. **احسب** جهد خلية داون باستعمال الجدول 1-5، وهل يجب أن يكون هذا الجهد موجبًا أو سالبًا؟
29. **لخص** اكتب فقرة تتعلق بكل هدف من الأهداف الثلاثة للقسم 3-5 بلغتك الخاصة.

منظم ضربات القلب: The Pacemaker

يتكون القلب من أنسجة عضلية تنقبض وتنبسط باستمرار، وينتج هذا الخفقان عن نبضات كهربائية تتحرك على طول مسارات تتخلل القلب. وتولد مجموعة من الخلايا المتخصصة في الجدار العلوي من الأذين الأيمن للقلب - الحجرة العلوية - نبضات كهربائية، وإذا فشلت هذه الخلايا في العمل أو تعطلت طرائق النبضات الكهربائية فإن القلب لا يخفق بصورة طبيعية. ومنظم ضربات القلب جهاز كهربائي يراقب ضربات القلب غير الاعتيادية ويصححها. فكيف يعمل هذا الجهاز؟



1 **منظم ضربات القلب** جهاز يحتوي على بطارية وهوائيًا ودوائر حاسوبية، ويرتبط به سيلك يوصل بقلب المريض. يزرع الجهاز تحت الجلد أسفل عظمة الترقوة . يتطلب استبدال الجهاز نتيجة نفاد البطارية أو عطل في الدوائر عملية جراحية .

2 **الأسلاك** هي أسلاك معزولة تحمل الإشارات الكهربائية بين القلب وجهاز تنظيم ضربات القلب ، وتزرع في الأوعية الدموية ومن ثم في حجرة القلب . ويستعمل الجهاز سلكًا أو سلكين أو ثلاثة؛ كل منها في حجرة مختلفة .

سلك توصيل

3 **البطارية** يستعمل في معظم منظمات ضربات القلب بطاريات الليثيوم واليود. حيث يكون الليثيوم هو الأنود واليود هو الكاثود، وهذه البطاريات مثالية لهذه الأجهزة لأن عمرها طويل (5.8) سنوات كما أنها تنفد تدريجيًا ولا تنتج غازات .

4 **آلية عمل الجهاز** ترسل أطراف الأسلاك الموصلة في أنسجة القلب نبضات كهربائية وفحص ضربات القلب المنتظمة. يستطيع الجهاز تحفيز ضربات القلب البطيئة. ويصحح الضربات غير المنتظمة أو ينشط ضربات القلب المتوقف .

الكتابة في الكيمياء

لخص منظم ضربات القلب هو مثال على تقدم التكنولوجيا الطبية . اكتب فقرة من طريقة غيرت فيها التكنولوجيا الطبية حياتك أو حياة من تعرفه. كيف يمكن للتكنولوجيا الطبية أن تغير المستقبل؟

مختبر الكيمياء

قياس جهد الخلية الجلفانية

الخلفية **عند توصيل نصفي خلية ينتج فرق جهد يمكن قياسه بواسطة الفولتمتر.**

السؤال كيف يقارن الجهد المقيس بالجهد المحسوب للخلية الجلفانية؟

المواد والأدوات اللازمة

- قطع فلزية من النحاس والألومنيوم والخارصين والماغنيسيوم بقياس تقريبًا (0.6 cm × 1.3 cm)
- 1M نترات النحاس II
- 1M نترات الألومنيوم
- 1M نترات الخارصين
- 1M نترات الماغنيسيوم
- طبق تفاعلات بلاستيكي ذو 24 فجوة
- عدد 5 ماصات
- مقياس فرق الجهد (فولتمتر)
- 1M نترات البوتاسيوم
- ملاقط
- صوف أو ورق زجاج
- جدول جهود الاختزال القياسية

إجراءات السلامة



تحذير: للصوف حواف حادة قد تخترق الجلد؛ لذا استعمله بحذر.

خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. خطّط كيف تقوم بترتيب الخلايا الجلفانية باستعمال مجموع الفلزات الأربعة في طبق التفاعلات البلاستيكي (24 فجوة). دع معلمك يوافق على الخطة.
3. انقع قطعًا من ورق الترشيح في محلول نترات البوتاسيوم لاتخاذها قنطرة ملحية، وثبتها بملاقط .
4. ركّب الخلايا باستعمال الفلزات الأربعة و 1M من محاليلها، وضع الفلزات في التجويف الذي يحتوي على المحلول المناسب. ضع الخارصين مثلاً في التجويف الذي يحتوي على نترات الخارصين. واستعمل قنطرة ملحية مختلفة لكل خلية، ثم اربط مقياس فرق الجهد بالفلزات. وإذا حصلت على قراءة مقياس فرق الجهد بالسالب فاعكس التوصيل.
5. سجل في جدول البيانات أي الفلزات أنود، وأيها كاثود في كل خلية؟ فالطرف الأسود لمقياس فرق الجهد يوصل بالأنود، في حين يوصل الطرف الأحمر لمقياس فرق الجهد بالكاثود.
6. سجل فرق الجهد لكل خلية.
7. **التنظيف والتخلص من النفايات** استعمل الملاقط لإزالة القطع الفلزية من الصفيحة المجهرية، ونظفها بورق الزجاج أو الصوف، ثم اغسلها بالماء.

حلل واستنتج

1. **طبق** اكتب في جدول البيانات **معادلات** أنصاف التفاعل التي تحدث عند الأنود والكاثود في كل خلية جلفانية، ثم ابحث عن جهود أنصاف التفاعل في **الجدول 1-5**، وسجلها في الجدول.
2. **احسب** الجهد النظري لكل خلية جلفانية وسجله.
3. **توقع** ترتيب الفلزات، بدءًا من أكثرها إلى أقلها نشاطًا، اعتمادًا على بياناتك.
4. **تحليل الخطأ** احسب النسبة المئوية للخطأ، ولماذا تكون هذه النسبة مرتفعة في بعض الخلايا ومنخفضة في بعضها الآخر؟

استقصاء موسع

صمّم تجربة لتقليل النسبة المئوية للخطأ التي نوقشت في السؤال 4.

دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة يمكن تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية، كما يمكن تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية.

5-1 الخلايا الجلفانية

الفكرة الرئيسة تحدث الأكسدة في الخلايا الجلفانية عند الأنود منتجةً إلكترونات تتدفق نحو الكاثود حيث يحدث الاختزال.

المفردات

- القنطرة الملحية
- الخلية الكهروكيميائية
- الخلية الجلفانية
- نصف الخلية
- الأنود
- الكاثود
- جهد الاختزال
- قطب الهيدروجين القياسي

المفاهيم الرئيسة

- يحدث تفاعل الأكسدة والاختزال في الخلايا الجلفانية على أقطاب منفصلة بعضها عن بعض.
- جهد نصف خلية التفاعل القياسي هو جهد التيار الناتج عند اقترانها بقطب الهيدروجين القياسي تحت الظروف القياسية.
- يكون جهد اختزال نصف خلية سالبًا إذا حدث لها تأكسد عند توصيلها بقطب الهيدروجين القياسي، ويكون لها جهد اختزال موجب إذا حدث لها اختزال عند توصيلها بقطب الهيدروجين القياسي.
- الجهد القياسي لخلية جلفانية هو الفرق بين جهود الاختزال لأنصاف الخلايا:

$$E^0_{cell} = E^0_{cathode} - E^0_{anode}$$

5-2 البطاريات

الفكرة الرئيسة البطاريات خلايا جلفانية تستعمل تفاعلات تلقائية لإنتاج الطاقة لأغراض متعددة.

المفردات

- البطارية
- خلية الوقود
- الخلية الجافة
- التآكل
- البطارية الأولية
- الجلفنة
- البطارية الثانوية

المفاهيم الرئيسة

- تستعمل البطارية الأولية مرة واحدة، في حين يمكن شحن البطارية الثانوية.
- يتم تزويد البطارية عند شحنها بطاقة كهربائية تعكس اتجاه تفاعل البطارية التلقائي.
- تحصل بطاريات خلايا الوقود على المادة المتأكسدة من مصدر خارجي.
- طرائق الحماية من التآكل هي: الطلاء، والتغليف بفلز آخر، واستعمال الأنود المضحى.

5-3 التحليل الكهربائي

الفكرة الرئيسة يؤدي وجود مصدر تيار كهربائي في التحليل الكهربائي إلى حدوث تفاعل غير تلقائي في الخلايا الكهروكيميائية.

المفردات

- التحليل الكهربائي
- خلية التحليل الكهربائي

المفاهيم الرئيسة

- يؤدي وجود مصدر خارجي للتيار في خلية التحليل الكهربائي إلى حدوث تفاعل أكسدة واختزال غير تلقائي.
- ينتج عن التحليل الكهربائي لمصهور كلوريد الصوديوم فلز الصوديوم وغاز الكلور، في حين ينتج عن التحليل الكهربائي لماء البحر غاز الكلور والهيدروجين وهيدروكسيد الصوديوم.
- تُنقّى الفلزات ومنها النحاس بواسطة خلايا التحليل الكهربائي.
- يستعمل التحليل الكهربائي في طلاء الأجسام والأشياء وإنتاج الألومنيوم النقي من خامه.

5-1

إتقان المفاهيم

30. ما الخواص التي تسمح باستعمال تفاعلات الأكسدة والاختزال في توليد تيار كهربائي؟

31. صف العملية التي تنتج الإلكترونات في الخلية الجلفانية خارصين – نحاس.

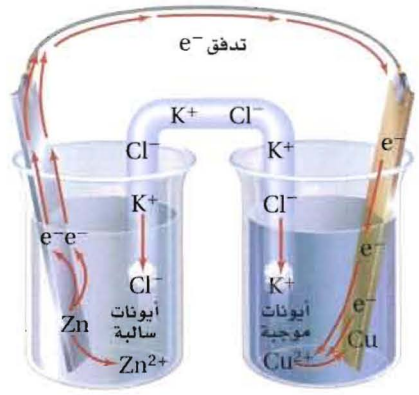
32. ما وظيفة القنطرة الملحية في الخلية الجلفانية؟

33. ما المعلومات اللازمة لتحديد الجهد القياسي للخلية الجلفانية؟

34. في الخلية الجلفانية الممثلة بالرموز الآتية:

$Al|Al^{3+}_{(1M)}||Cu^{2+}{}_{(1M)}|Cu$، ما الذي يتأكسد، وما الذي يختزل عندما يمر التيار في الخلية؟

35. عند أي ظروف يتم قياس جهد الاختزال القياسي؟



الشكل 24-5

36. حدّد كلًّا من الفلز الذي تأكسد والكاثود في **الشكل 5-24**.

37. تملأ القنطرة الملحية بـ KNO_3. فسّر لماذا يُعد من الضروري أن تتحرك أيونات البوتاسيوم عبر القنطرة الملحية إلى الكاثود.

38. تذكّر أن العامل المختزل هو المادة التي تتأكسد، وأن العامل المؤكسد هو المادة التي تُختزل. استعمل **الجدول 1-5** لاختيار العامل المؤكسد الذي سيحوّل Au إلى Au^{3+} ولا يحول Co^{2+} إلى Co^{3+}.

إتقان حل المسائل

39. استعمل **الجدول 1-5** في كتابة رمز الخلية القياسية لكل نصف خلية مما يأتي وموصلة بقطب الهيدروجين القياسي.

a. $Zn|Zn^{2+}_{(1M)}$ **c.** $Cu|Cu^{2+}_{(1M)}$

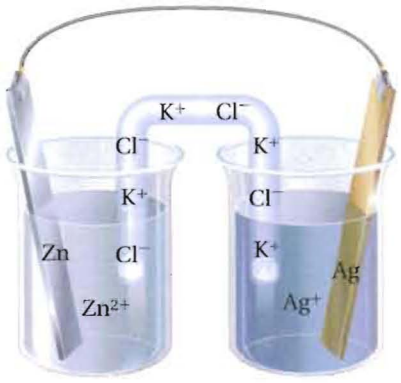
b. $Hg|Hg^{2+}_{(1M)}$ **d.** $Al|Al^{3+}_{(1M)}$

40. اكتب معادلة كيميائية موزونة لكل ترميز يمثل الخلايا القياسية الآتية:

a. $I^- \mid I_{2(1M)} \,||\, Fe^{3+}_{(1M)} \mid Fe^{2+}$

b. $Sn \mid Sn^{2+}_{(1M)} \,||\, Ag^{+}_{(1M)} \mid Ag$

c. $Zn \mid Zn^{2+}_{(1M)} \,||\, Cd^{2+}_{(1M)} \mid Cd$



الشكل 25-5

41. يوضح **الشكل 25-5** خلية جلفانية تتكون من قطعة خارصين في 1.0 M من محلول نترات الخارصين، وقطعة فضة في 1.0 M من محلول نترات الفضة. استعمل الشكل والجدول 1-5 في الإجابة عن الأسئلة الآتية:

a. حدّد الأنود.

b. حدّد الكاثود.

c. أين تحدث الأكسدة؟

e. أين يحدث الاختزال؟

f. ما اتجاه مرور التيار خلال أسلاك التوصيل؟

g. ما اتجاه مرور الأيونات الموجبة خلال القنطرة الملحية؟

h. ما جهد الخلية عند 25°C و 1 atm؟

42. احسب جهد الخلية لكل من الخلايا الجلفانية الآتية:

a. $2Ag^{+}_{(aq)} + Pb_{(s)} \rightarrow Pb^{2+}_{(aq)} + 2Ag_{(s)}$

b. $Mn_{(s)} + Ni^{2+}_{(aq)} \rightarrow Mn^{2+}_{(aq)} + Ni_{(s)}$

c. $I_{2(aq)} + Sn_{(s)} \rightarrow 2I^{-}_{(aq)} + Sn^{2+}_{(aq)}$

5-2

إتقان المفاهيم

43. أي جزء في خلية الخارصين والكربون الجافة يمثل الأنود؟ وما التفاعل الذي يحدث عنده؟

44. كيف تختلف البطاريات الأولية عن الثانوية؟

45. بطارية الرصاص الحمضية ما المادة التي تختزل في بطاريات تخزين المراكم الرصاصية؟ وما المادة التي تتأكسد؟ وما المواد التي تنتج في كل تفاعل؟

46. خلية الوقود الحيوي يختزل Fe^{3+} عند كاثود خلية الوقود الحيوي، في بوتاسيوم سداسي سيانيد الحديد III ($K_3[Fe(CN)_6]$) إلى Fe^{2+} في بوتاسيوم سداسي سيانيد الحديد II ($K_4[Fe(CN)_6]$). ويختزل عند الأنود نيكوتين أميد – أدنين – ثنائي النيوكليوتيد (NADH) التي تتأكسد إلى NAD^{+}. استعل جهود الاختزال القياسية الآتية لتحديد جهد الخلية:

$$NAD^{+} + H^{+} + 2e^{-} \rightarrow NADH \quad E^{0} = -0.320\ V$$

$$[Fe(CN)_6]^{3-} + 1e^{-} \rightarrow [Fe(CN)_6]^{4-} \quad E^{0} = +0.36\ V$$

47. خلايا الوقود اذكر طريقتين تختلف فيهما خلية الوقود عن البطارية العادية.

48. الجلفنة ما الجلفنة؟ وكيف تحمي الجلفنة الحديد من التآكل؟

49. البطاريات فسّر لماذا لا تنتج بطاريات المراكم الرصاصية التيار عند انخفاض مستوى H_2SO_4؟

50. الصوف حزمة من الشعيرات الفولاذية المصنوعة من الفولاذ، وهي سبيكة من الحديد والكربون. ما أفضل طريقة لتخزين سلك المواعين المستعمل في غسل الأواني؟

a. تخزينه في الماء.

b. تخزينه في الهواء الطلق.

c. تخزينه في وعاء التجفيف.

51. الحماية من التآكل اذكر ثلاث طرائق لحماية الفلز من التآكل؟

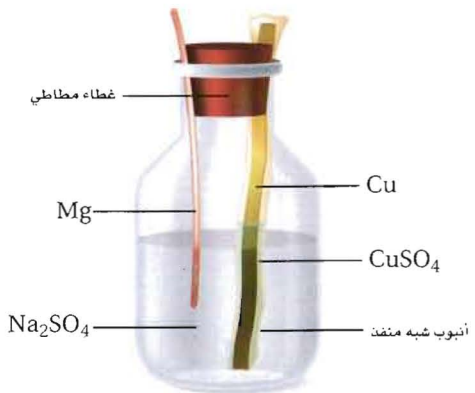
إتقان حل المسائل

52. فيما يأتي أنصاف تفاعل بطاريات تخزين المراكم الرصاصية:

$$PbO_{2(s)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)} + 4H_3O^{+}_{(aq)} + 2e^{-} \rightarrow PbSO_{4(s)} + 6H_2O_{(l)} \qquad E^{0} = +1.685V$$

$$PbSO_{4(s)} + 2e^{-} \rightarrow Pb_{(s)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)} \qquad E^{0} = -0.356V$$

ما جهد الخلية القياسي لخلية واحدة في بطارية السيارة؟



الشكل 26-5

53. التركيب في **الشكل 26-5** يعمل عمل بطارية.

a. حدّد التفاعل الذي يحدث عند قطعة النحاس.

b. حدّد التفاعل الذي يحدث عند سلك الماغنيسيوم.

c. حدّد الأنود.

d. حدّد الكاثود.

e. احسب جهد الخلية القياسي لهذه البطارية.

54. قمت بتصميم بطارية تستعمل نصف خلية تتكون من Sn و Sn^{2+}، ونصف خلية أخرى تتكون من Cu و Cu^{2+}، مع العلم أن قطب النحاس هو الكاثود وقطب القصدير هو الأنود. ارسم البطارية، ثم اكتب أنصاف التفاعل التي تحدث في كل نصف خلية. ما أكبر جهد يمكن أن تنتجه هذه الخلية؟

5-3

إتقان المفاهيم

55. كيف يمكن عكس تفاعل الأكسدة والاختزال التلقائي لخلية جلفانية؟

56. أين يحدث تفاعل الأكسدة في خلية التحليل الكهربائي؟

57. خلية داون ما التفاعل الذي يحدث عند الكاثود في أثناء التحليل الكهربائي لمصهور كلوريد الصوديوم؟

58. صناعة فسّر لماذا يستعمل التحليل الكهربائي لماء البحر في جميع أرجاء العالم بكميات كبيرة؟

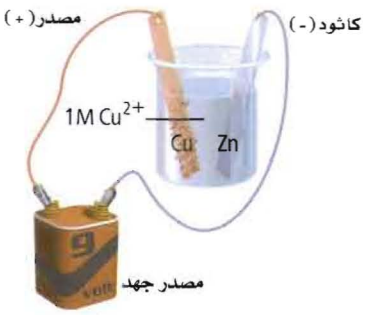
59. إعادة تدوير فسّر كيف تحفظ عملية إعادة تدوير الألومنيوم الطاقة؟

60. صف ماذا يحدث عند الأنود والكاثود في التحليل الكهربائي لمحلول KI؟



الشكل 27-5

61. الطلاء بالكهرباء يوضح الشكل 27-5 مفتاحًا يُطلى كهربائيًّا بالنحاس في خلية تحليل كهربائي. فأين تحدث الأكسدة؟ فسر إجابتك.



الشكل 28-5

62. اعتمادًا على **الشكل 28-5**، أجب عن الأسئلة الآتية:

a. أي الأقطاب يزداد حجمه؟ اكتب معادلة التفاعل الذي يحدث عند هذا القطب.

b. أي الأقطاب يقل حجمه؟ اكتب معادلة التفاعل الذي يحدث عند هذا القطب.

63. فسّر، مستعينًا **بالشكل 28-5**، ماذا يحدث لأيونات النحاس في المحلول؟

مراجعة عامة

64. لماذا تتدفق الإلكترونات من قطب إلى آخر في الخلية الجلفانية؟

65. إنتاج الألومنيوم ما المادة التي يتم تحليلها كهربائيًّا في العملية الصناعية لإنتاج فلز الألومنيوم؟

66. اكتب أنصاف تفاعل الأكسدة والاختزال للخلية الجلفانية فضة -كروم، وحدّد الأنود والكاثود واتجاه تدفق الإلكترونات.

67. حدّد ما إذا كانت تفاعلات الأكسدة والاختزال الآتية تلقائية أو غير تلقائية:

a. $Mn^{2+}_{(aq)} + 2Br^{-}_{(aq)} \rightarrow Br_{2\,(l)} + Mn_{(s)}$

b. $2Fe^{2+}_{(aq)} + Sn^{2+}_{(aq)} \rightarrow 2Fe^{3+}_{(aq)} + Sn_{(s)}$

c. $Ni^{2+}_{(aq)} + Mg_{(s)} \rightarrow Mg^{2+}_{(aq)} + Ni_{(s)}$

d. $Pb^{2+}_{(aq)} + 2Cu^{+}_{(aq)} \rightarrow Pb_{(s)} + 2Cu^{2+}_{(aq)}$

5 تقويم الفصل

68. حدّد جهد الخلية المتكونة من كل نصف خلية مما يأتي مرتبطة مع نصف خلية $Ag|Ag^+$:

a. $Be^{2+}{}_{(1M)} \mid Be$ **c.** $Au^+{}_{(1M)} \mid Au$

b. $S \mid S^{2-}{}_{(1M)}$ **d.** $I_2 \mid I^-{}_{(1M)}$

69. التآكل فسّر لماذا يعد وجود الماء ضروريًّا لحدوث تآكل الحديد؟

70. السفر عبر الفضاء تستخدم السفن الفضائية خلايا الوقود H_2/O_2 في إنتاج الكهرباء.

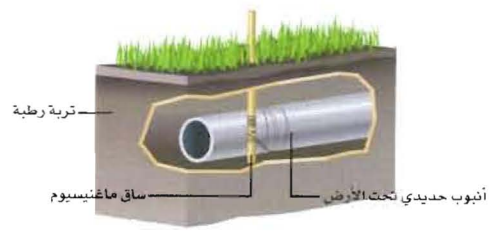
a. ما التفاعل الذي يحدث عند الأنود والكاثود؟

b. ما جهد الخلية القياسي لخلية الوقود؟

71. خلايا الوقود فسّر الاختلاف بين تأكسد الهيدروجين في خلية الوقود وتأكسده عند احتراقه في الهواء.

72. تنقية النحاس عند تنقية النحاس بالتحليل الكهربائي، ما العوامل التي تحدد أي قطعة نحاس هي الأنود، وأيها الكاثود؟

73. بطاريات التخزين تسمى المراكم الرصاصية وغيرها من البطاريات التي يمكن إعادة شحنها أحيانًا ببطاريات التخزين. فما الذي يخزن في هذه البطاريات؟



الشكل 29-5

74. منع التآكل يوضح **الشكل 29-5** كيف يتم حماية أنابيب الحديد المدفونة من التآكل؛ إذ توصل هذه الأنابيب بفلز أكثر نشاطًا يتآكل بدلاً من الحديد.

a. حدّد الكاثود والأنود.

b. فسّر كيف يعمل الماغنسيوم على حماية الأنابيب.

التفكير الناقد

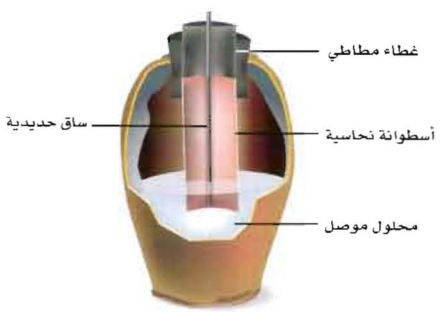
75. التوقع افترض أن العلماء قد اختاروا نصف خلية $Cu|Cu^{2+}{}_{(1M)}$ على أنها خلية قياسية بدلاً من نصف الخلية $H_2|H^+{}_{(1M)}$، فما مقدار جهد قطب الهيدروجين إذا كان قطب النحاس هو القطب القياسي؟ وكيف يمكن أن تتغير العلاقات بين جهود الاختزال القياسية؟

76. طبق افترض أن لديك خلية جلفانية يتكون أحد أنصافها من قطعة من القصدير مغموسة في محلول من أيونات القصدير II.

a. كيف تعرف من قياس جهد الخلية إذا كانت شريحة القصدير تمثل الكاثود أو الأنود؟

b. كيف تعرف عن طريق الملاحظة البسيطة ما إذا كانت شريحة القصدير تمثل الكاثود أو الأنود؟

77. ضع فرضية لما كان جهد نصف الخلية يتغير بتغير تركيز المتفاعلات والنواتج فإن الجهود القياسية تقاس عند تركيز 1M. كما أن الحفاظ على ضغط 1atm له أهمية خاصة في أنصاف الخلايا التي تحتوي على غازات بوصفها متفاعلات أو نواتج. فلماذا يعد ضغط الغاز نقطة حرجة في هذه الخلايا؟



الشكل 30-5

78. حلّل تم اكتشاف وعاء فخاري سنة 1938م بالقرب من بغداد. وكان هذا الوعاء القديم يحتوي على قضيب من الحديد محاط بأسطوانة من النحاس، كما في **الشكل 30-5**. وعند ملء هذا الوعاء بمحلول موصل كالخل فإنه قد يعمل عمل بطارية.

a. حدّد الكاثود.

b. حدّد الأنود.

c. احسب جهد الخلية القياسي لهذه البطارية.

79. **طبق** تنتج خلية تحليل كهربائي أبخرة البروم وغاز الهيدروجين خلال عملية تحليل كهربائي. وقد تبين بعد انتهاء التحليل الكهربائي أن الخلية تحتوي على محلول مركز من هيدروكسيد البوتاسيوم. ما محتويات الخلية قبل عملية التحليل الكهربائي؟

80. **ضع فرضية** افترض أنه في إحدى عمليات الجلفنة تم طلاء الحديد بالنحاس بدلاً من الخارصين، فهل يمكن للنحاس أن يحمي الحديد من التآكل مثل الخارصين، حتى لو تصدعت طبقة النحاس؟ فسر إجابتك.

مسألة تحفيز

81. إذا تم تركيب بطارية باستعمال القصدير والزئبق، وكانت أنصاف تفاعلات الاختزال فيها على النحو الآتي:

$$Sn^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Sn_{(s)}$$

$$Hg^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Hg_{(s)}$$

a. اكتب معادلة موزونة لتفاعل الخلية.

b. ما الذي تأكسد؟ وما الذي اختزل؟ حدد العامل المؤكسد والعامل المختزل.

c. ما التفاعل الذي يحدث عند كل من الأنود والكاثود؟

d. ما جهد الخلية؟ استخدم الجدول **1-5**.

e. إذا كانت القنطرة الملحية تحتوي على محلول كبريتات الصوديوم، ففي أي اتجاه تتحرك أيونات الكبريتات؟

مراجعة تراكمية

82. فسّر، لماذا تجد الكرسي المصنوع من الألمنيوم أكثر سخونة من الكرسي المصنوع من الخشب عند وضع كلا الكرسيين تحت أشعة الشمس للفترة الزمنية نفسها.

83. علامَ تدل الإشارة السالبة للطاقة الحرة للتفاعل؟

$$\Delta G_{system} = \Delta H_{system} - \Delta T_{Ssystem}$$

84. اعتمادًا على نموذج التصادم للتفاعلات الكيميائية، فسّر كيف يمكن لجزيئين أن يتصادما ولا يتفاعلا.

85. عدّد خمسة عوامل تؤثر في سرعة التفاعل.

86. يصل تفاعل التفكك $A_2B \rightarrow 2A + B$ إلى الاتزان عند 499^oC، ويوضح تحليل خليط الاتزان أن $[A_2B] = 0.855\ mol/l$ و $[A] = 2.045\ mol/l$ و $[B] = 1.026\ mol/l$. فما قيمة K_{eq} ؟

87. ما ذائبية يوديد الفضة AgI بوحدة mol/l إذا علمت أن قيمة K_{sp} لـ يوديد الفضة تساوي 3.5×10^{-15} ؟

88. إذا كان لديك محلول من حمض قوي، فهل يعني ذلك أن لديك محلولاً مركزًا من ذلك الحمض؟ فسر إجابتك.

89. ما أعداد التأكسد لكل عنصر في الأيون PO_4^{3-}؟

5 تقويم الفصل

تقويم إضافي

90. الكتابة في الكيمياء **السفن الغارقة** كشفت دراسة سفينة التيتانك الغارقة في المحيط مجالاً لاحتمال أن سبب تلف الهيكل الحديدي يعود جزئيًا إلى وجود بيئات ملائمة للصدأ. ابحث كيف يؤدي هذا النشاط الحيوي إلى تأكسد الحديد، واكتب مقالاً تصف فيه دور المجتمعات الملائمة للصدأ في تدمير التايتنك.

91. تمثال الحرية: حدث صدأ للهيكل الداعم لتمثال الحرية قبل عدة سنوات بصورة كبيرة جدًّا إلى الحد الذي تطلب استبداله كاملاً. ابحث عن المادة التي صُنع منها التمثال، ولماذا تآكل بصورة سيئة جدًّا؟ واكتب تقريرًا تفسّر فيه العملية الكيميائية التي حدثت، وضمّنه خط زمن التمثال بدءًا من صناعته في فرنسا سنة 1886م حتى الآن.

أسئلة المستندات

التفاعلات البيولوجية الكهروكيميائية: يتضمن **الجدول 2-5** قائمة بجهود الاختزال القياسية لبعض التفاعلات الحيوية المهمة، ويعد الأكسجين أقوى العوامل المؤكسدة الموجودة في الأنظمة الحيوية. تأمل تأكسد مادة نيكوتين أميد – أدنين – ثنائي النيوكليوتيد (NADH) المختزلة بواسطة جزيء أكسجين، والذي يمكن تمثيله على النحو الآتي:

$$2NADH + 2H^+_{(aq)} + O_{2(g)} \rightarrow 2NAD^+ + 2H_2O_{(l)}$$

الجدول 2-5

زوج القطب	E°
$2H^+_{(aq)} + 2e^- \rightarrow H_{2(g)}$	−0.4141
$NAD^+ + H^+_{(aq)} + 2e^- \rightarrow NADH$	−0.320
$HOOCCOCH_3^* + 2H^+_{(aq)} + 2e^- \rightarrow HOOCCHOHCH_3^{**}$	+0.19
$Fe^{3+}_{(aq)} + e^- \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)}$	+0.769
$O_{2(g)} + 4H^+_{(aq)} + 4e^- \rightarrow 2H_2O_{(l)}$	+0.8147

* $HOOCCOCH_3$ (حمض البيروفييك)

** $HOOCCHOHCH_3$ (حمض اللاكتيك)

92. اكتب نصفي التفاعل اللذين يحدثان في هذا التفاعل.

93. احسب جهد الخلية لهذا التفاعل باستعمال **الجدولين 1-5 و 2-5**.

94. وهل يستطيع NAD^+ أكسدة Fe^{2+} إلى Fe^{3+}؟ فسّر إجابتك.

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

استخدم الجدول الآتي للإجابة عن الأسئلة من 1 إلى 4.

جهود الاختزال القياسية لبعض أنصاف الخلايا عند 25°C و1M

الاسم	E^0 (V)
$Mg^{2+} + 2e^- \rightarrow Mg$	−2.372
$Al^{3+} + 3e^- \rightarrow Al$	−1.662
$Pb^{2+} + 2e^- \rightarrow Pb$	−0.1262
$Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$	0.7996
$Hg^{2+} + 2e^- \rightarrow Hg$	0.851

1. أي الأيونات الآتية أسهل اختزالاً؟

a. Mg^{2+} **b.** Hg^{2+}

c. Ag^+ **d.** Al^{3+}

2. اعتمادًا على جهود الاختزال القياسية الموضحة في الجدول، أي رمز للخلية يمثل خليته الجلفانية بصورة صحيحة؟

a. $Ag|Ag^+ \,||\, Al^{3+}|Al$

b. $Mg|Mg^{2+} \,||\, H^+|H_2$

c. $H_2|H^+ \,||\, Pb^{2+}|Pb$

d. $Pb|pb^{2+} \,||\, Al^{3+}|Al$

3. خلية جلفانية تتكون من قضيب من الماغنيسيوم مغموس في محلول أيونات Mg^{2+} تركيزه 1M، وقضيب من الفضة مغموس في محلول أيونات Ag^+ تركيزه 1M. ما الجهد القياسي لهذه الخلية؟

a. 1.572 v **b.** 3.172 v

c. 0.773 v **d.** 3.971 v

4. لو افترضنا توافر الشروط القياسية، فأي الخلايا الآتية تعطي جهدًا مقداره 2.513 V؟

a. $Al\,|Al^{3+} \,||\, Hg^{2+}|Hg$

b. $Hg^{2+}|Hg \,||\, H_2|H^+$

c. $Mg|Mg^{2+}|| \,Al^{3+}|Al$

d. $Pb|pb^{2+} \,||\, Ag|Ag^+$

5. أي العبارات الآتية المتعلقة بالبطاريات غير صحيحة؟

a. البطاريات نماذج مضغوطة من الخلايا الجلفانية.

b. البطاريات الثانوية من بطاريات التخزين.

c. يمكن أن تتكون البطاريات من خلية واحدة.

d. تفاعل الأكسدة والاختزال في البطاريات التي يمكن إعادة شحنها تفاعل معكوس.

6. أي مما يأتي ليس من خواص القواعد؟

a. طعمها مرّ **c.** تتفاعل مع بعض الفلزات

b. موصلة للكهرباء **d.** ملمسها لزج

7. إذا كانت قيمة pH للمشروب الغازي = 2.5 فما تركيز أيونات H^+ في هذا المشروب؟

a. 3×10^{-12} M **c.** 4×10^{-1} M

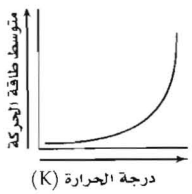
b. 3×10^{-3} M **d.** 1×10^{1} M

8. أي الرسوم البيانية الآتية يوضح بصورة صحيحة العلاقة بين متوسط الطاقة الحركية للجسيمات ودرجة حرارة العينة؟

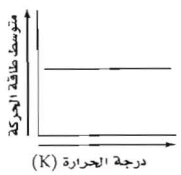
a.



b.



c.



d.



أسئلة الإجابات القصيرة

استعمل الوصف الآتي للإجابة عن الأسئلة من 9 إلى 11.

عند الإعـداد لإحدى التجارب وضع غازا النيتروجين والكلور في وعاءين منفصلين يتصلان معًا بمحبس، وبعد ساعة من فتح المحبس اختلط الغازان كليًّا.

9. أيّ الغازين قطع مسافة أكبر بعد فتح المحبس بخمس دقائق: الكلور أم النيتروجين؟

10. ما النسبة بين سرعة النيتروجين إلى سرعة الكلور؟

11. قوّم العبارة الآتية: توقفت دقائق الغازين عن الحركة بعد ساعة؛ لأنها اختلطت بشكل كلي.

استعن بالشكل أدناه للإجابة عن الأسئلة من 12 إلى 14.



الخلية الجلفانية

12. حدد القطب الموجب والقطب السالب في هذا الجهاز.

13. اكتب نصف تفاعل الأكسدة.

14. اشرح وظيفة القنطرة الملحية في هذا الجهاز.

أسئلة الإجابات المفتوحة

استعمل الجدول الآتي في الإجابة عن السؤال 15.

جهود اختزال قياسية مختارة عند 25°C و 1atm وتركيز 1 M	
$Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$	0.7996
$Cr^{3+} + 3e^- \rightarrow Cr$	−0.744

15. إذا وصّل قطب فضة بقطب كروم في خلية جلفانية فأي القطبين سيتأكسد، وأيهما سيختزل؛ اعتمادًا على جهود الاختزال القياسية أعلاه؟ فسر إجابتك.

16. استعمل مبدأ لوتشاتلييه لتفسير لماذا تتطلب تعليمات التجارب الكيميائية أحيانًا تبريد التفاعل في حمام ثلجي.

الفصل 6

المركبات العضوية الحيوية
The Chemistry of Life



الفكرة العامة تقوم المركبات العضوية الحيوية: البروتينات والكربوهيدرات والليبيدات بالنشاطات الضرورية للخلايا الحية.

6-1 البروتينات

الفكرة الرئيسة تؤدي البروتينات وظائف أساسية تشمل تنظيم التفاعلات الكيميائية، والدعم البنائي، ونقل المواد، وتقلصات العضلات.

6-2 الكربوهيدرات

الفكرة الرئيسة تزود الكربوهيدرات المخلوقات الحية بالطاقة والمواد البنائية.

6-3 الليبيدات

الفكرة الرئيسة تكوّن الليبيدات الأغشية الخلوية، وتختزن الطاقة، وتنظم العمليات الخلوية.

6-4 الأحماض النووية

الفكرة الرئيسة تخزن الأحماض النووية المعلومات الوراثية وتنقلها.

حقائق كيميائية

- يعطي جرام واحد من الدهون أكثر من ضعف الطاقة التي تعطيها الكمية نفسها من الكربوهيدرات والبروتينات.
- الليبيدات الفوسفورية هي ليبيدات خاصة تكوّن الأغشية الخلوية للخلايا الحية.
- يتكوّن الكروموسوم البشري الواحد من جزيء DNA الذي يبلغ طوله 5 cm تقريبًا إذا قمنا بشدّه.

تجربة استهلالية

كيف تختبر وجود السكريات البسيطة؟

تـزود العديد من مصـادر الغـذاء المختلفة الجسـم بالطاقة التي يستعملها باستمرار. وتُختزن هـذه الطاقة في روابـط جزيئات تدعى السكريات.

خطوات العمل

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. املأ **كأسًا سعتها 400 ml** بالمـاء إلى ثلثهـا، وضعها على سخان كهربائي، وسخنه حتى يغلي الماء.
3. استخدم **مخبارًا مدرجًا** لقياس 5 ml مـن **محلول جلوكوز تركيزه 10%**، واسكبه في أنبوب اختبار.
4. **أضـف** 3.0 ml مـن محلول بندكـت إلى أنبـوب الاختبار، واخلط المحلولين مستخدمًا **ساق التحريك**. وأضف **رقاقة غليان** إلى أنبوب الاختبار.

تحذير: محلول بندكت مهيج للعيون والجلد.

5. ضـع أنبوب الاختبار في حمـام الماء المغلي باسـتعمال **الملقط**، مدة 5 دقائق.
6. يـدل تغير اللـون إلى الأصفر أو البرتقالي على وجود سـكر بسيط. سجل مشاهداتك.
7. كرّر الخطوات السابقة مستعملًا **محلول النشا 10%** ومعلق **الجيلاتين 10%**، وبضع قطرات من **معلق العسل في الماء**.

تحليل النتائج

1. **صف** تغيرات الألوان التي شاهدتها.
2. **صنّف** أي الأغذية تحتوي على سكر بسيط؟

استقصاء فكر في وجبة العشاء التي تناولتها أمس. ما الأغذية التي احتوت على سكريات بسيطة؟ وكيف يمكن اختبار هذه الأغذية للكشف عن ذلك؟

المطويات
منظمات الأفكار

المركبات العضوية الحيوية:
اعمل المطوية الآتية لمساعدتك على تنظيم المعلومات المتعلقة بالمركبات العضوية الحيوية.



الخطـوة 1 اطـو ورقـة مـن أوراق دفتر الملاحَظات طوليًّا، تـاركًا حاشـية عـلى الجانـب الأيسر.



الخطوة 2 قصّ الجزء العلوي إلى ثلاثة ألسنة.

الخطـوة 3 اكتـب العنـوان الآتي عـلى الحاشـية. "المركبات العضويـة الحيويـة". واكتـب عـلى كلٍّ مـن الألسـنة الأربعة أحـد المصطلحـات الآتيـة: البروتينـات، الكربوهيدرات، الليبيدات، والأحماض النووية.



المطويات **استخدم هذه المطوية مع الأقسام 1–6، و2–6، و3–6، و4–6** لخص في أثناء قراءتك هذه الأقسام التركيب العام ووظيفة المركبات العضوية الحيوية، وأعط أمثلة على كل منها.

الكيمياء عبر المواقع الإلكترونية
لمراجعة محتوى هذا الفصل ونشـاطاته ارجع إلى الموقع: www.obeikaneducation.com

6–1

الأهداف

- **تحدّد** المكوّنات البنائية للأحماض النووية.
- **تربط** وظيفة DNA بتركيبه.
- **تصف** تركيب RNA ووظيفته.

مراجعة المفردات

البوليمرات مركبات كبيرة تتكون من وحدات متكررة عديدة تسمى المونومرات.

المفردات الجديدة

البروتينات

الأحماض الأمينية

الرابطة الببتيدية

الببتيد

تغير الخواص الطبيعة الأصلية

الإنزيم

المادة الخاضعة لفعل الإنزيم

الموضع النشط

البروتينات Proteins

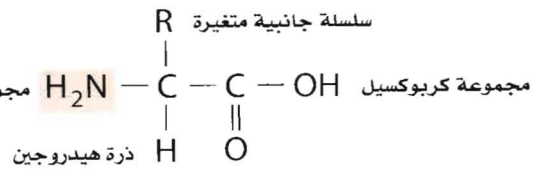
الفكرة الرئيسة **تؤدي البروتينات وظائف أساسية تشمل تنظيم التفاعلات الكيميائية، والدعم البنائي، ونقل المواد، وتقلصات العضلات.**

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. و**البروتينات** بوليمرات عضوية تتكون من أحماض أمينية مرتبطة معًا بترتيب معين. والبروتينات ليست مجرد سلاسل كبيرة من الأحماض الأمينية مرتبة عشوائيًا. ويجب أن يكون البروتين مطويًا في تركيب معين ثلاثي الأبعاد حتى يعمل بشكل صحيح. وجميع المخلوقات الحية؛ ومنها ماعز الجبل والنباتات المبينة في **الشكل 1-6**، تتكون من البروتينات.

الأحماض الأمينية توجد مجموعات وظيفية كثيرة ومختلفة من الأحماض الأمينية في المركبات العضوية. و**الأحماض الأمينية**، كما يدل اسمها، جزيئات عضوية توجد فيها مجموعة الأمين ومجموعة الكربوكسيل الحمضية. والشكل الآتي يبين التركيب العام للحمض الأميني:



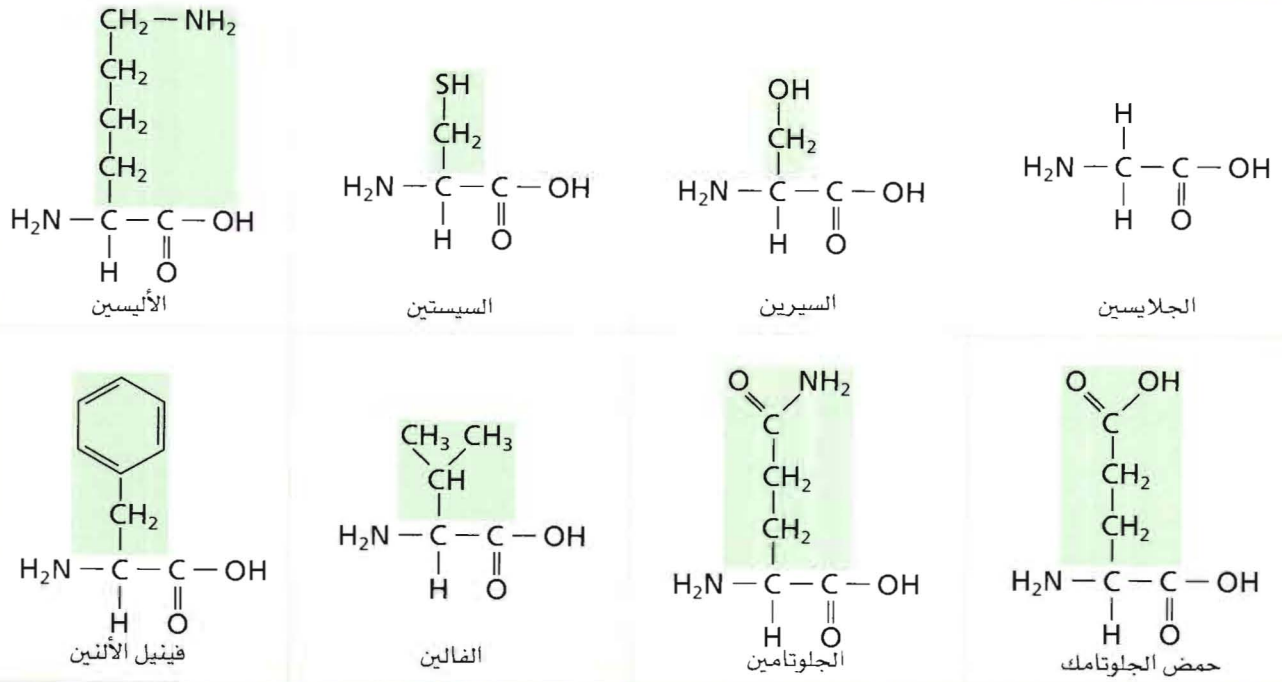
يوجد في كل حمض أميني ذرة كربون مركزية محاطة بأربع مجموعات: مجموعة الأمين ($-NH_2$)، ومجموعة الكربوكسيل ($-COOH$)، وذرة هيدروجين، وسلسلة جانبية متغيرة R. وتتفاوت السلسلة الجانبية من ذرة هيدروجين واحدة إلى تركيب معقد ذي حلقتين.





الشكل 1-6 تحتوي جميع المخلوقات الحية على البروتينات؛ فشعر الماعز وحوافره وعضلاته جميعها تتكون من بروتينات بنائية، كما هو الحال بالنسبة لجذور النباتات وأوراقها.

الجدول 1-6 أمثلة على الأحماض الأمينية

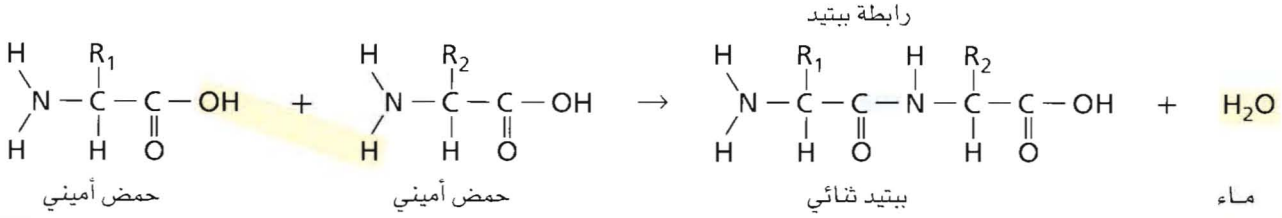


ادرس السلاسل الجانبية المختلفة للأحماض الأمينية المبينة في **الجدول 1—6**، وحدّد الألكانات غير القطبية، ومجموعات الهيدروكسيل القطبية، والمجموعات الحمضية والقاعدية مثل مجموعات الكربوكسيل والأمين، والحلقات الأروماتية، والمجموعات التي تحتوي على الكبريت. يزود هذا التنوع الواسع للسلاسل الجانبية الأحماض الأمينية المختلفة بتنوع كبير من الخواص الكيميائية والفيزيائية، ويساعد البروتينات على أداء وظائف عديدة ومختلفة.

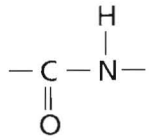
الرابطة الببتيدية توفر مجموعات الأمين والكربوكسيل مواضع ربط مناسبة لربط الأحماض الأمينية معًا. ولأن الحمض الأميني هو في الوقت نفسه أمين وحمض كربوكسيلي، لذا يستطيع حمضان أمينيان أن يتحدا لتكوين أميد، وينطلق ماء في هذه العملية. هذا التفاعل هو تفاعل تكاثف. وكما يبين **الشكل 2—6**، فإن مجموعة الكربوكسيل لأحد الحمضين الأمينيين تتحد مع مجموعة الأمين في الحمض الثاني لتكوين مجموعة الأميد الوظيفية.

ماذا قرأت؟ اشرح كيف تتكون مجموعة الأميد الوظيفية.

الشكل 2-6 ترتبط مجموعة الأمين لأحد الحمضين الأمينيين بمجموعة الكربوكسيل لحمض أميني آخر لتكوين ببتيد ثنائي وماء. والمجموعة العضوية الوظيفية التي تتكون تسمى رابطة ببتيد.



يطلق المختصون في الكيمياء الحيوية على رابطة الأميد المبينة في **الشكل 3-6**، والتي تجمع حمضين أمينيين اسم **الرابطة الببتيدية**. كما يطلق على السلسلة المكونة من حمضين أمينيين أو أكثر مرتبطة معًا بروابط ببتيدية **الببتيد**. أما الجزيء المكون من حمضين أمينيين مرتبطين معًا برابطة ببتيدية فيسمى ثنائي الببتيد. ويبين **الشكل 4a-6** تركيب ثنائي ببتيد مكونًا من الحمضين الأمينيين الجلايسين (Gly) وفينيل الألنين (Phe). في حين يبين **الشكل 4b-6** ثنائي ببتيد آخر مختلفًا مكوَّنًا أيضًا من الجلايسين وفينيل الألنين. فهل Gly- Phe هو المركب Phe-Gly نفسه؟ لا، إنهما مختلفان. تفحّص هذين المركبين ثنائي الببتيد لترى أن الترتيب الذي يرتبط فيه ثنائي الببتيد مهم، فما زال كل طرف من وحدة الحمضين الأمينيين في ثنائي الببتيد لديه مجموعة حرة: أحد الطرفين لديه مجموعة كربوكسيل حرة، والطرف الآخر لديه مجموعة أمين حرة. وتستطيع كل من هاتين المجموعتين الارتباط مع الطرف المقابل من حمض أميني آخر، مكونة المزيد من الروابط الببتيدية. وتقوم الخلايا الحية دائمًا ببناء الببتيدات بإضافة أحماض أمينية إلى الطرف الكربوكسيلي من الطرف النامي.



رابطة ببتيدية

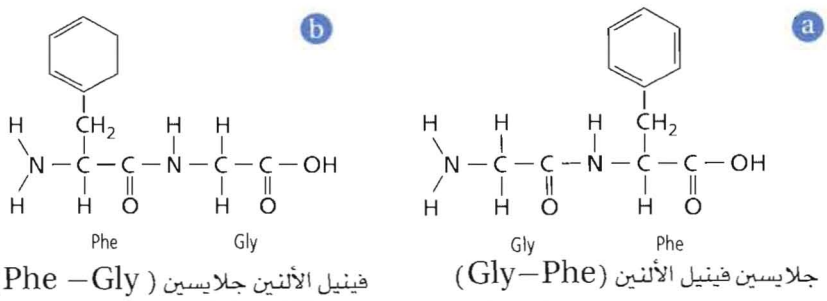
الشكل 3-6 تجمع الرابطة الببتيدية حمضين أمينيين لتكوين ثنائي الببتيد.

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 5-6** مثالاً على عديد الببتيد. وعندما يصل طول السلسلة نحو 50 حمضًا أمينيًا يطلق عليها اسم بروتين.

ولأن هناك 20 حمضًا أمينيًا فقط تستطيع تكوين البروتينات، لذا فقد يبدو منطقيًا وجود عدد محدود فقط من تراكيب البروتينات. ولكن البروتين يمكن أن يحتوي على 50 حمضًا أمينيًا 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 أمينيًا 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 أمينيًا 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 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.

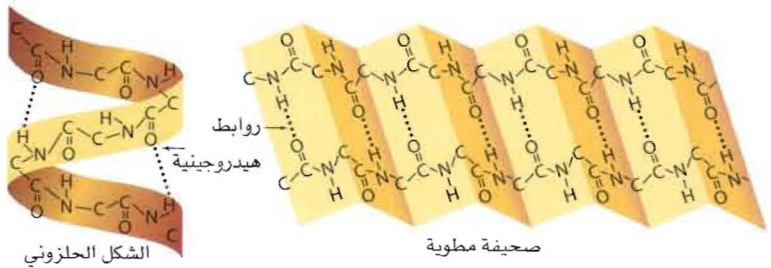


جلايسين فينيل الألنين (Gly–Phe)

فينيل الألنين جلايسين (Phe – Gly)

الشكل 4-6 يمكن أن يتحد الجلايسين (Gly) مع الفينيل الألنين (Phe) بطريقتين.

اشرح لماذا يعد هذان التركيبان مادتين مختلفتين؟



الشكل 5-6 يتضمن طي سلاسل الببتيد في صورة شكل حلزوني أو صحيفة مطوية تثبيتَ الأحماض الأمينية في مواقع معينة بواسطة الروابط الهيدروجينية. وهناك عدد من التفاعلات بين السلاسل لا تظهر هنا، ولكنها تؤدي دورًا مهمًّا في تحديد الشكل الثلاثي الأبعاد لعديد الببتيد.

تركيب البروتين الثلاثي الأبعاد تبدأ السلاسل الطويلة المكونة من الأحماض الأمينية بالطيّ مكونة أشكالاً ثلاثية الأبعاد قبل أن يكتمل تكوينها. ويتحدد الشكل الثلاثي الأبعاد عن طريق التفاعلات بين الأحماض الأمينية. فقد تتكون بعض أجزاء عديد الببتيد في صورة شكل حلزوني يشبه لفات 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 5-6** نمط الطي للولب نموذجي وصحيفة. والشكل الكلي الثلاثي الأبعاد للعديد من البروتينات شكل كروي غير منتظم. وهناك أنواع أخرى من البروتينات لها شكل ليفي طويل. وشكل البروتين مهم لعمله، فإذا تغير هذا الشكل فقد لا يستطيع أن يقوم بعمله داخل الخلية.

تغير الخواص الطبيعية ينتج عن التغيرات في درجة الحرارة وقوة الرابطة الأيونية والرقم الهيدروجيني pH والعوامل الأخرى انفكاك طيات البروتين ولوالبه، **فيؤدي هذا إلى تغيُّر الخواص الطبيعية** الأصلية للبروتين، وهي العملية التي تشوه تركيب البروتين الطبيعي الثلاثي الأبعاد وتمزقه أو تتلفه.

ويؤدي الطبخ عادة إلى تغير الخواص الطبيعية للبروتينات في الأغذية. فعند سلق بيضة تصبح صلبة لأن زلال البيضة الغني بالبروتين يتصلب نتيجة تغير الخواص الطبيعية للبروتين. ولما كانت البروتينات تعمل بصورة صحيحة فقط عندما تكون مطوية، لذا فإنها تصبح غير فعالة بصورة عامة إذا 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.

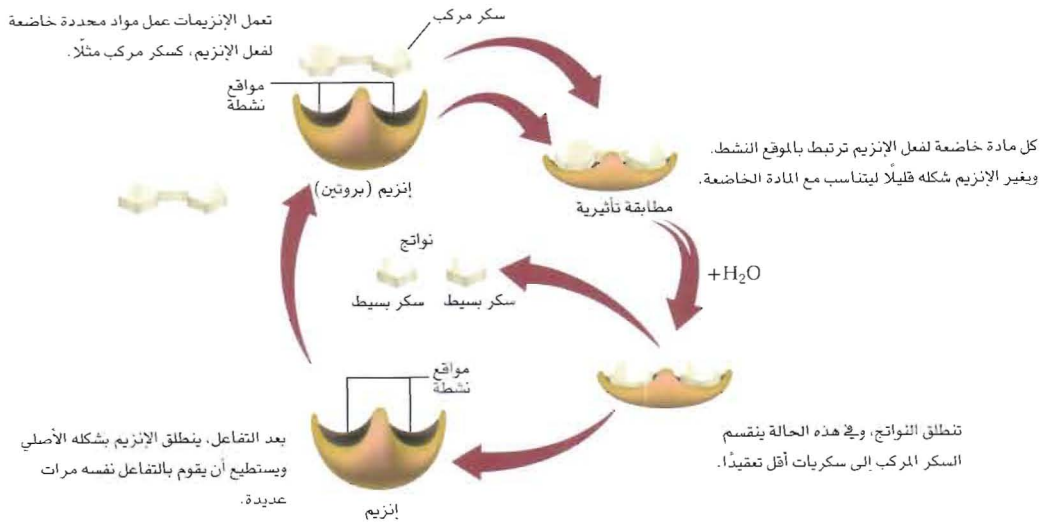
تسريع التفاعلات يعمل العدد الأكبر من البروتينات في معظم المخلوقات الحية عمل الإنزيمات والعوامل المحفزة للتفاعلات الكثيرة التي تحدث في الخلايا الحية. يعد **الإنزيم** عاملاً محفزًا حيويًّا؛ حيث يعمل على تسريع التفاعل الكيميائي دون أن يُستهلك في هذا التفاعل. ويؤدي عادة إلى تخفيض طاقة تنشيط التفاعل عن طريق تثبيت الحالة الانتقالية.

واقع الكيمياء في الحياة

الإنزيمات



البابايين هو أحد أمثلة الإنزيمات التي قد تكون استعملتها ويوجد في البابايا، والأناناس، ومصادر نباتية أخرى. ويعمل هذا الإنزيم عاملًا مساعدًا في التفاعل الذي يفكك جزيئات البروتين، ويحوّلها إلى أحماض أمينية حرة. والبابايين هو العامل الفعّال في بقاء اللحوم طرية؛ فعندما تنثر البابايين المجفف على اللحم الرطب فإنه يكوّن محلولاً يكسر ألياف البروتين القاسية في اللحم فيجعله أكثر طراوة.



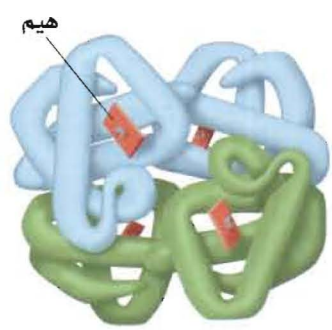
الشكل 6-6 تخفض الإنزيمات طاقة التنشيط اللازمة لحدوث التفاعل، وتغير السرعة التي يحدث بها التفاعل دون أن تتغير هي في التفاعل.

كيف تعمل الإنزيمات؟ إن مصطلح **مادة خاضعة لفعل الإنزيم** يشير إلى مادة متفاعلة في تفاعل يعمل فيه الإنزيم عمل عامل محفز، كما في **الشكل 6-6**. وترتبط المواد الخاضعة لفعل الإنزيم بمواضع معينة على جزيئات الإنزيم، وهي عادة عبارة عن جيوب أو شقوق. وتسمى النقطة التي ترتبط بها المواد الخاضعة لفعل الإنزيم **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.

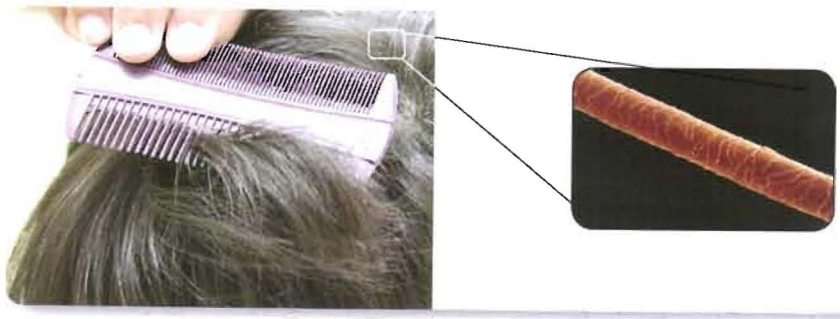
ويسمى التركيب المتكون من الإنزيم والمادة الخاضعة عند ارتباطهما مركبَ الإنزيم والمادةَ الخاضعة. فالحجم الكبير لجزيئات الإنزيم يمكّنها من تكوين روابط متعددة مع المواد الخاضعة، كما يسمح التنوع الكبير للسلاسل الجانبية للأحماض الأمينية في الإنزيم بتكوين عدد من القوى بين الجزيئية المختلفة. وتخفّض القوى بين الجزيئية هذه طاقة التنشيط اللازمة للتفاعل حيث تتكسر الروابط وتتحول المادة الخاضعة لفعل الإنزيم إلى النواتج.

ماذا قرأت؟ **صف** بكلماتك الخاصة كيف يعمل الإنزيم.

بروتينات النقل تنقل بعض البروتينات جسيمات أصغر منها في أرجاء الجسم. ويبين **الشكل 7-6** بروتين الهيموجلوبين، الذي ينقل الأكسجين في الدم من الرئتين إلى سائر الجسم. وهناك بروتينات أخرى تتحد بجزيئات حيوية تسمى ليبيدات؛ لتنقلها من جزء من الجسم إلى جزء آخر خلال مجرى الدم.



الشكل 7-6 الهيموجلوبين هو بروتين كروي فيه أربع سلاسل متعددة الببتيد، يحتوي كل منها على مجموعة حديد تسمى هيم يرتبط معها الأكسجين.



الشكل 8-6 يتكون شعر الإنسان من بروتين ليفي يسمى الكيراتين.

الدعم البنائي تقتصر الوظيفة الوحيدة لبعض البروتينات على تكوين تراكيب حيوية للمخلوقات الحية، وتعرف هذه الجزيئات باسم البروتينات البنائية. والبروتين البنائي الأكثر توافرًا في معظم الحيوانات هو الكولاجين، وهو جزء من الجلد والأوتار والأربطة والعظام. وتشمل البروتينات البنائية الأخرى: الريش والفرو والصوف والحوافر والأظفار والشرنقات، والشعر، كما في **الشكل 8-6**.

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.

المطويات

ضمِّن مطويتك معلومات من هذا القسم.

التقويم 6-1

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 الرئيسة** **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 1-6** يمكن تصنيفه في كل فئة من الأزواج الآتية:

a. غير قطبي مقابل قطبي **b.** أروماتي مقابل أليفاتي **c.** حمضي مقابل قاعدي

6–2

الأهداف

- **تصف** تراكيب السكريات الأحادية، والثنائية، وعديدة التسكر.
- **تشرح** وظائف الكربوهيدرات في المخلوقات الحية.

مراجعة المفردات

المتشكلات الفراغية نوع من المتشكلات ترتبط ذراتها بالترتيب نفسه، ولكنها تتجه في اتجاهات مختلفة في الفراغ.

المفردات الجديدة

الكربوهيدرات

السكريات الأحادية

السكريات الثنائية

السكريات عديدة التسكر

الكربوهيدرات Carbohydrates

الفكرة الرئيسة **تزود الكربوهيدرات المخلوقات الحية بالطاقة والمواد البنائية.**

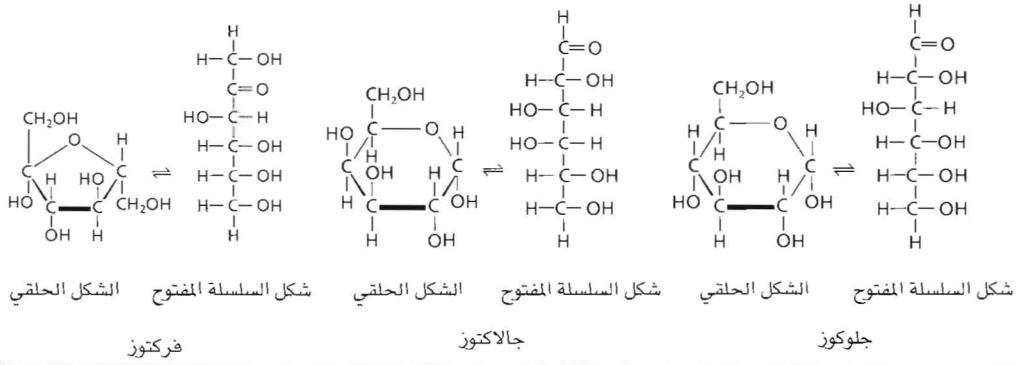
الربط مع الحياة هناك تركيز كبير من وسائل الإعلام على الكربوهيدرات. فقد أصبح النظام الغذائي القليل الكربوهيدرات طريقة مفضلة للتحكم في الوزن، إلا أن الكربوهيدرات مصدر مهم لطاقة الجسم.

أنواع الكربوهيدرات Kinds of Carbohydrates

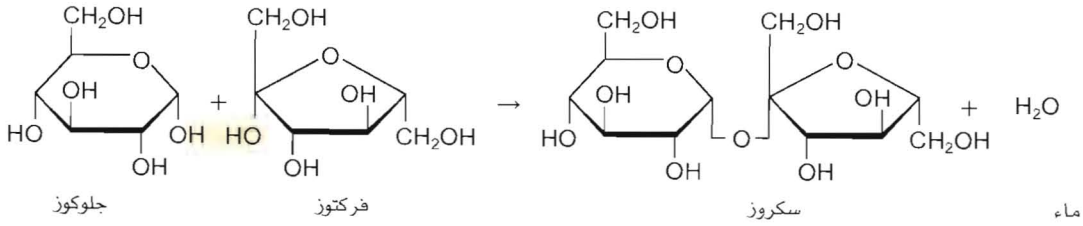
يعطي تحليل كلمة كربوهيدرات لمحة عن تركيب هذه المجموعة من الجزيئات. لقد أدت الملاحظات القديمة -التي بينت أن الصيغة الكيميائية العامة لهذه المركبات هي $C_n(H_2O)_n$، والتي تبدو وكأنها هيدرات الكربون- إلى تسميتها كربوهيدرات. ومع أن العلماء الآن يعرفون أنه لا توجد جزيئات ماء كاملة مرتبطة مع الكربوهيدرات إلا أن الاسم بقي دون تغيير.

الوظيفة الرئيسة للكربوهيدرات في المخلوق الحي هي أنها مصدر للطاقة المختزنة. وتضم الأغذية الغنية بالكربوهيدرات الحليب والفواكه والخبز والبطاطس. **والكربوهيدرات** مركبات عضوية تحتوي على عدة مجموعات من الهيدروكسيل (OH−)، بالإضافة إلى مجموعة الكربونيل الوظيفية (C=O). وهذه الجزيئات تتراوح في قياسها بين وحدة بنائية واحدة إلى بوليمرات مكونة من مئات أو حتى آلاف وحدات البناء الأساسية.

السكريات الأحادية أبسط أنواع الكربوهيدرات، والتي كثيرًا ما تسمى سكريات بسيطة، هي **السكريات الأحادية**. تحتوي أكثر السكريات الأحادية شيوعًا خمسًا أو ست ذرات كربون. ويبين **الشكل 9-6** أمثلة على السكريات الأحادية. لاحظ وجود مجموعة كربونيل على إحدى ذرات الكربون ومجموعات هيدروكسيل على معظم ذرات الكربون الأخرى. إن وجود مجموعة الكربونيل يجعل هذه المركبات إما ألدهيدات وإما كيتونات، وذلك حسب موقع مجموعة الكربونيل. كما أن تعدد المجموعات القطبية يجعل السكريات الأحادية قابلة للذوبان في الماء، ويعطيها درجات انصهار عالية.



الشكل 9-6 الجلوكوز، والجلاكتوز، والفركتوز سكريات أحادية. وتكون في المحاليل المائية في حالة اتزان بين الشكل الحلقي وشكل السلسلة المفتوح.



الشكل 10-6 عندما يتحد الجلوكوز والفركتوز يتكون السكر الثنائي السكروز. لاحظ أن الماء 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. ويوجد بتركيز عالٍ في الدم؛ لأنه يعمل بوصفه مصدرًا رئيسًا للطاقة الفورية للجسم. ولهذا السبب يسمى الجلوكوز في كثير من الأحيان سكرَ الدم.

والجلاكتوز سكر على علاقة وثيقة بالجلوكوز، ويختلف عنه فقط في كيفية اتجاه ذرة الهيدروجين ومجموعة الهيدروكسيل في الفراغ حول إحدى ذرات الكربون الست. وتجعل هذه العلاقة من الجلوكوز والجلاكتوز متشكلين هندسيين. فالفركتوز، الذي يعرف أيضًا بسكر الفاكهة؛ لأنه الكربوهيدرات الرئيس 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. وتلاحظ في **الشكل 9-6** أن مجموعات الكربونيل توجد فقط في تركيب السلسلة المفتوحة. وفي التركيب الحلقي تتحول مجموعات الكربونيل إلى مجموعات هيدروكسيل.

السكريات الثنائية تستطيع السكريات الثنائية 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 10-6**، ويطلق على الرابطة الجديدة المتكوّنة الرابطة الأيثرية C-O-C.

والسكروز هو أحد السكريات الثنائية، ويعرف أيضًا بسكر المائدة؛ لأنه يستعمل بشكل رئيس في التحلية. ويتكون السكروز من اتحاد الجلوكوز مع الفركتوز. كما أن اللاكتوز سكر ثنائي شائع أيضًا، وهو الكربوهيدرات الأهم في الحليب، ويسمى غالبًا سكر الحليب. ويتكون اللاكتوز عندما يتحد الجلوكوز والجلاكتوز.

السكريات عديدة التسكر يستعمل اسم الكربوهيدرات المعقدة أو **السكريات عديدة التسكر** للبوليمرات التي تتكون من السكريات البسيطة وتحتوي على 12 وحدة بناء أساسية أو أكثر. وترتبط الوحدات الأساسية في عديدة التسكر بروابط من نوع الروابط نفسها التي تجمع سكرين أحاديين لتكوين سكر ثنائي. أما الجلايكوجين، المبين في **الشكل 11-6**، فهو من السكريات العديدة التسكر، ويتألف من وحدات جلوكوز تختزن الطاقة، ويوجد غالبًا في الكبد وعضلات الإنسان وحيوانات أخرى. كما يوجد في بعض أنواع المخلوقات المجهرية، ومنها البكتيريا والفطريات.

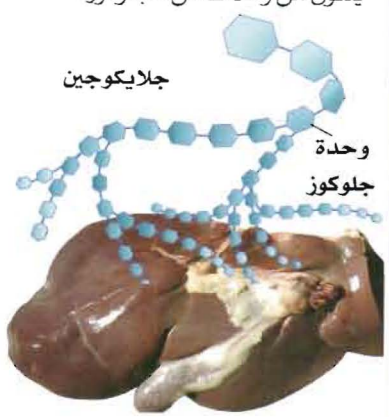
ماذا قرأت؟ **قارن** بين السكريات الأحادية والثنائية وعديدة التسكر.

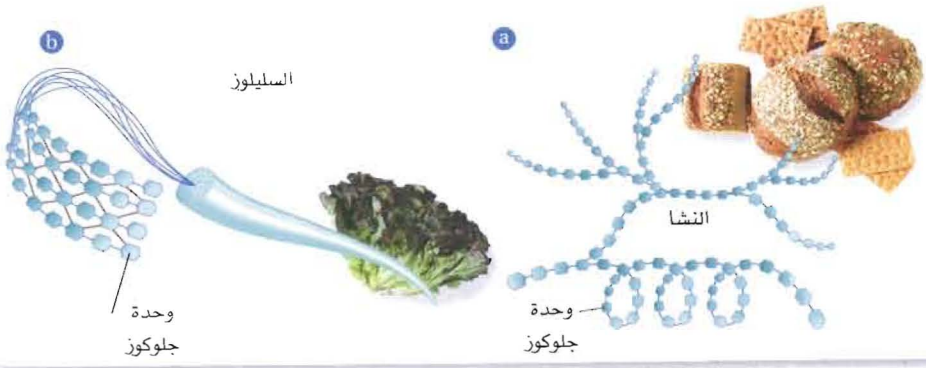
المفردات

أصل الكلمة

عديدة التسكر (Polysaccharide) اشتق هذا الاسم من الكلمة اليونانية Polys، والتي تعني "متعدد"، والكلمة السنسكريتية القديمة Sakkara، والتي تعني "سكر".

الشكل 11-6 يعد الجلايكوجين الموجود في عضلات وكبد الحيوانات من السكريات عديدة التسكر؛ حيث يتكون من وحدات من الجلوكوز.





الشكل 12-6 النشا والسليلوز نوعان مهمان من السكريات العديدة التسكر

a. النشا لديه تركيب متفرع أو غير متفرع.

b. السليلوز لديه تركيب غير متفرع يشبه السياج ذا السلاسل المتقاطعة.

يبين **الشكل 12-6** 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، بينما تختلف خواصها ووظائفها. 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؛ 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.

التقويم 6-2

الخلاصة

- الكربوهيدرات مركبات تحتوي على مجموعات هيدروكسيل (OH-) متعددة، ومجموعة الكربونيل الوظيفية (C=O).
- يتراوح حجم الكربوهيدرات بين وحدات بناء أساسية مفردة إلى بوليمرات تتكون من مئات أو آلاف الوحدات الأساسية.
- توجد السكريات الأحادية في المحاليل المائية في تراكيب حلقية ومفتوحة السلسلة.

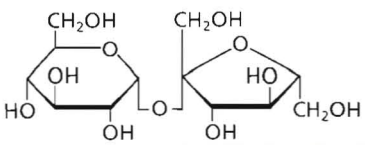
7. الفكرة الرئيسة **اشرح** وظائف الكربوهيدرات في المخلوقات الحية.

8. **صف** تراكيب السكريات الأحادية والثنائية 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 الأيثر الوظيفية التي تربط الوحدات الأساسية السكرية معًا.



6–3

الأهداف

- **تصف** تراكيب الأحماض الدهنية، الجليسريدات الثلاثية والليبيدات الفوسفورية والستيرويدات.
- **تشرح** وظائف الليبيدات في المخلوقات الحية.
- **تحدد** بعض تفاعلات الأحماض الدهنية.
- **تربط** بين تركيب الأغشية الخلوية ووظيفتها.

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?

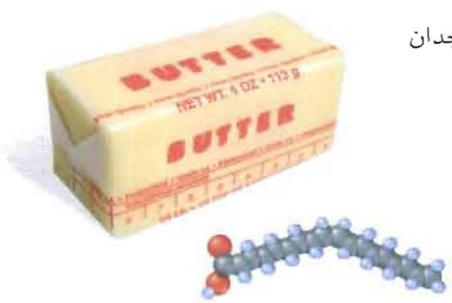
الليبيدات جزيئات حيوية كبيرة لا قطبية. ولما كانت الليبيدات لا قطبية فهي غير قابلة للذوبان في الماء. وتؤدي الليبيدات وظيفتين رئيستين في المخلوقات الحية؛ تختزن الطاقة بشكل فعّال، وتكوّن معظم تركيب الأغشية الخلوية، كما أنها تختلف عن البروتينات والكربوهيدرات في أنها ليست بوليمرات ذات وحدات بناء أساسية متكررة.

الأحماض الدهنية على الرغم من أن الليبيدات ليست بوليمرات، إلا أن لديها وحدة بناء رئيسة مشتركة. ووحدات البناء هذه هي **الأحماض الدهنية**، وهي أحماض كربوكسيلية ذات سلاسل طويلة. وتحوي معظم الأحماض الدهنية الطبيعية ما بين 12 و 24 ذرة كربون. ويمكن تمثيل تركيبها بالصيغة الآتية: $CH_3(CH_2)_nCOOH$

تحتوي معظم الأحماض الدهنية على عدد زوجي من ذرات الكربون، وهذا ناتج عن إضافتها ذرتين معًا في الوقت نفسه في تفاعلات إنزيمية. كما يمكن وضع الأحماض الدهنية في مجموعتين رئيستين؛ اعتمادًا على وجود أو عدم وجود روابط ثنائية بين ذرات الكربون.

تسمى الأحماض الدهنية التي لا تحتوي على روابط ثنائية بالمشبعة، في حين تسمى غيرَ المشبعة إذا احتوت على رابطة ثنائية أو أكثر. ويبين **الشكل 13–6** تركيبي حمضين دهنيين شائعين.

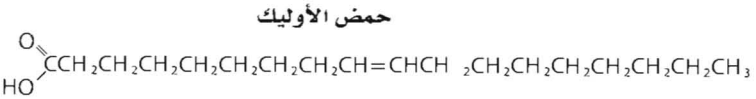
ماذا قرأت؟ **اشرح** لماذا يوصف حمض الأوليك بأنه غير مشبع؟



الشكل 13-6 حمض الأوليك غير المشبع ذو 13 ذرة كربون وحمض الستيريك المشبع يوجدان في العديد من الأطعمة، ومنها الزبد.

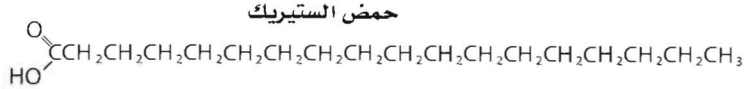
فسّر كيف يتأثر تركيب الجزيء بوجود الرابطة الثنائية؟

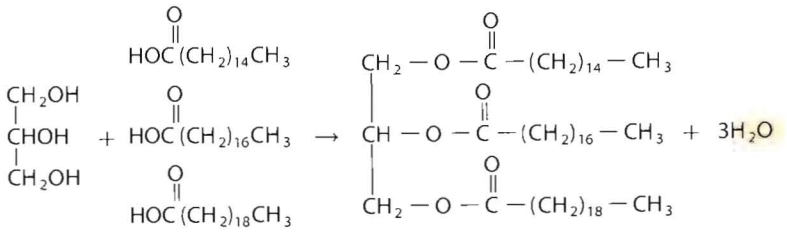
حمض الأوليك



حمض الستيريك







الشكل 14-6 تتكون روابط الإستر في الجليسريد الثلاثي عندما تتحد مجموعات الهيدروكسيل الموجودة في الجليسرول بمجموعات الكربوكسيل الموجودة في الأحماض الدهنية.

المفردات

الاستخدام العلمي والاستخدام الشائع

يُشَبِّع (Saturate)

الاستخدام العلمي: يضيف شيئًا إلى حد أنه يمكن معه استيعاب المزيد أو ذوبانه أو الاحتفاظ به، مثل تشبّع الماء المالح بالملح.

الاستخدام الشائع: يزود السوق بمنتج أو منتجات إلى الحد الأقصى لطاقته الاستهلاكية.

يمكن أن يتشبع الحمض الدهني غير المشبع إذا تفاعل مع الهيدروجين. ومن المعروف أن الهدرجة هي تفاعل إضافة يتم فيه تفاعل غاز الهيدروجين مع ذرات الكربون المرتبطة بروابط متعددة. وتستطيع كل ذرة كربون غير مشبعة أن تستوعب ذرة هيدروجين إضافية واحدة لتصبح مشبعة. فمثلاً، يمكن أن تتم هدرجة حمض الأوليك، في **الشكل 13-6**، ليكوّن حمض الستيريك.

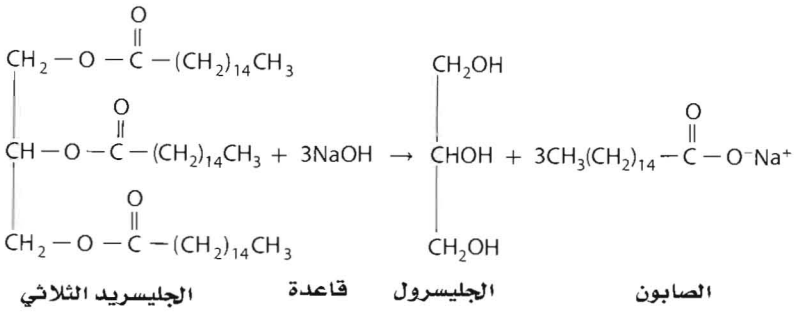
توجد الروابط الثنائية في الأحماض الدهنية الطبيعية جميعها تقريبًا في صورة المتشكل الهندسي سيس. ونظرًا إلى اتجاه سيس فإن هذا لا يساعد على وجود تركيب الأحماض الدهنية غير المشبعة متراصّة. ونتيجة لذلك لا تستطيع أن تكوّن تجاذبات بين جزيئية كثيرة مثل جزيئات الأحماض الدهنية المشبعة، ومن ثم تكون درجات انصهار الأحماض الدهنية غير المشبعة أدنى.

الجليسريدات الثلاثية على الرغم من أن الأحماض الدهنية موجودة بكثرة في المخلوقات الحية، إلا أنها نادرًا ما تكون وحدها. فهي تكون غالبًا مرتبطة بالجليسرول، وهو جزيء من ثلاث ذرات كربون، ترتبط كل منها مع مجموعة هيدروكسيل. وعندما ترتبط ثلاثة أحماض دهنية بالجليسرول بروابط إستر يتكون **الجليسريد الثلاثي**. ويبين **الشكل 14-6** تكوين الجليسريد الثلاثي. ويمكن أن تكون الجليسريدات الثلاثية صلبة أو سوائل في درجة حرارة الغرفة، كما في **الشكل 15-6**. وعندما تكون سوائل تسمى عادة زيوتًا. فإذا كانت صلبة في درجة حرارة الغرفة تسمى دهونًا.

ماذا قرأت؟ **حدد** اثنين من الزيوت النباتية واثنين من الدهون الحيوانية.

الشكل 15-6 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 في درجة حرارة الغرفة.





الشكل 16-6 يتكون الصابون من تفاعل الجليسريد الثلاثي وقاعدة قوية.

تُختزن الأحماض الدهنية في الخلايا الدهنية في الجسم على شكل جليسريد ثلاثي. وعندما تتوافر الطاقة بكثرة تخزّن الخلايا الدهنية الطاقة الفائضة في الأحماض الدهنية على هيئة جليسريد ثلاثي. وعندما تقلّ الطاقة تقوم الخلايا بتحليل الجليسريد الثلاثي مطلقةً الطاقة التي استعملت في تكوينها. ومع أن الإنزيمات تحلل الجليسريد الثلاثي داخل الخلايا الحية إلا أنه يمكن إجراء تفاعل مشابه لذلك خارج الخلايا باستعمال قاعدة قوية مثل هيدروكسيد الصوديوم. ويُسمّى هذا التفاعل - تميُّه الجليسريد الثلاثي مع وجود محلول مائي لقاعدة قوية لتكوين أملاح الكربوكسيلات والجليسرول- **التصبُّن**، ويستعمل تفاعل التصبُّن كما في **الشكل 16-6**، 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.

تجربة

تفاعل التصبّن

كيف يصنع الصابون؟ يُسمى التفاعل بين الجليسريد الثلاثي وقاعدة قوية التصبُّن. كما في **الشكل 16-6**.

خطوات العمل

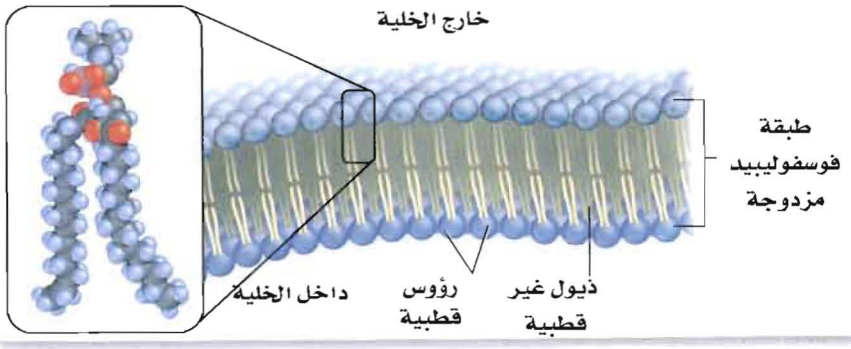
1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.
2. ضع **كأسًا سعتها 250ml** على سخان كهربائي. وأضف 25g من السمن النباتي الصلب إليها. ثم أشعل السخان الكهربائي على درجة حرارة متوسطة.
3. استخدم **مخبارًا مدرجًا سعته 25ml** لإضافة 12ml إيثانول ببطء في أثناء انصهار السمن النباتي، ثم أضف 5ml من **NaOH** تركيزه **6.0M** إلى الكأس.

تحذير: الإيثانول قابل للاشتعال، و NaOH يسبب حروقًا للجلد؛ لذا البس القفازين.

4. سخّن الخليط مدة 15 دقيقة تقريبًا، وحركه بساق التحريك من حين إلى آخر، دون أن يغلي.
5. ضع الكأس جانبًا، باستعمال الملقط، وعندما يجمد الخليط دعه يبرد مدة 5 دقائق، ثم ضعه في **كأس سعتها 600 ml** مملوءة بالماء البارد.
6. أضف 25ml من محلول NaCl المشبع إلى الخليط الذي في الكأس. 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

1. **فسّر** ما نوع الروابط التي تتحلل في الجليسريد الثلاثي في أثناء تفاعل التصبّن؟
2. **حدّد** نوع الملح الذي تكوّن في هذا التفاعل الكيميائي.
3. **حدّد** ما الطرف القطبي لجزيء الصابون؟ وما الطرف غير القطبي؟



الشكل 6-17 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 تكوّن الجزء القطبي من الجزيء رأسًا، كما في **الشكل 17-6**، وتبدو الأحماض الدهنية غير القطبية في صورة ذيول. ويتكون الشكل النموذجي للغشاء البلازمي من طبقتين من الليبيد الفوسفوري، وهي مرتبة بحيث تكون ذيولها غير القطبية متجهة نحو الداخل ورؤوسها القطبية متجهة إلى الخارج. ويسمى هذا الترتيب الليبيد الثنائي الطبقة. ولما كان تركيب هذا الليبيد يعمل بوصفه حاجزًا، فإن الخلية تستطيع أن تنظم المواد التي تدخل خلال هذا الغشاء وتخرج منه.

الربط مع علم الأحياء يحتوي سُمّ الأفاعي السامة نوعًا من الإنزيمات يعرف بالليبيز الفوسفوري. وتعمل هذه الإنزيمات عاملًا محفزًا لتحليل الليبيد الفوسفوري – وهو جليسريد ثلاثي استبدل فيه أحد الأحماض الدهنية بمجموعة فوسفات. ويحتوي سمّ أحد أنواع 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.

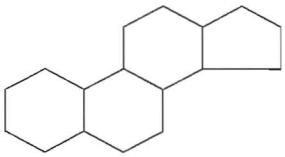
$$CH_3(CH_2)_x - \overset{O}{\overset{\|}{C}} - O - (CH_2)_yCH_3$$

تنتج النباتات والحيوانات الشمع، وكثيرًا ما تُغطّى أوراق النبات بالشمع الذي يمنع فقدان الماء. ويبين **الشكل 18-6** كيف أن قطرات المطر تكون كرات كالخرز على أوراق النبات، مما يشير إلى وجود طبقة شمعية. كما أن أقراص العسل التي يبنيها النحل مصنوعة أيضًا من الشمع الذي يعرف عادة باسم شمع النحل. واتحاد حمض البالمتيك المكون من حمض دهني ذي 16 ذرة كربون مع كحول يحتوي على سلسلة من 30 ذرة كربون يؤدي إلى تكوين نوع شائع من شمع النحل. وتُصنع الشموع أحيانًا من شمع العسل؛ لأنه يميل إلى الاحتراق ببطء وهدوء.



الشكل 18-6 تنتج النباتات شمعًا يُغطي أوراقها ويحميها من الجفاف.

الستيرويدات لاتحتوي جميع الليبيدات على سلاسل أحماض دهنية. **فالستيرويدات** ليبيدات تحتوي تراكيبها على حلقات متعددة. وجميع الستيرويدات مبنية من تركيب الستيرويد الأساسي المكوّن من الحلقات الأربع المبينة أدناه.



وبعض الهرمونات - ومنها العديد من الهرمونات الجنسية- هي ستيرويدات تنظم عمليات الأيض. ويُعد الكولسترول - وهو ستيرويد آخر - مكونًا بنائيًّا مهمًّا للأغشية الخلوية، كما أن فيتامين د أيضًا يحتوي على تركيب الستيرويد ذي الحلقات الأربع، ويؤدي دورًا في تكوين العظام. أما العلجوم البحري العملاق ***Bufo marinus***، كما في **الشكل 19-6**، فيستعمل ستيرويد يسمى بوفوتوكسين بوصفه آلية دفاعية؛ إذ يفرز السم من نتوءات صغيرة على ظهره ومن غدد خلف عينيه مباشرة. هذا السمّ هو مجرد مادة مهيّجة بالنسبة للإنسان. أما بالنسبة إلى الحيوانات الصغيرة فإنه يؤدي إلى إسالة لعابها، وفقدان التوازن، والتشنجات، والموت.



الشكل 19-6 يستعمل العلجوم البحري العملاق سُمًّا ستيرويديًّا يُدعى بوفوتوكسين كآلية دفاع. ويُعد هذا السمّ قاتلاً لبعض الحيوانات كالكلاب والقطط.

المطويات

ضمِّن مطويتك معلومات من هذا القسم.

التقويم 6-3

الخلاصة

- الأحماض الدهنية أحماض كربوكسيلية طويلة السلاسل تحتوي عادة 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 **c.** الشموع

b. الليبيدات الفوسفورية **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.

6–4

الأهداف

- **تحدّد** المكوّنات البنائية للأحماض النووية.
- **تربط** وظيفة DNA بتركيبه.
- **تصف** تركيب RNA ووظيفته.

مراجعة المفردات

المعلومات الوراثية: سلسلة يتم توريثها موجودة في RNA أو DNA وتنتقل السمات والخصائص من جيل إلى الجيل الذي يليه.

المفردات الجديدة

الحمض النووي
النيوكليوتيد

الأحماض النووية Nucleic Acids

الفكرة الرئيسة **تخزن الأحماض النووية المعلومات الوراثية وتنقلها.**

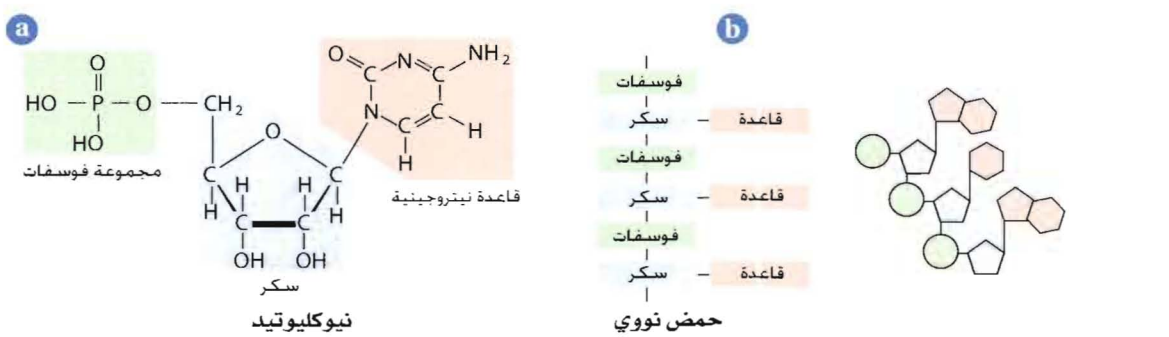
الربط مع الحياة أصبح فحص DNA شيئًا عاديًّا في الطب والعلم الجنائي، وعلم الأنساب، وتَعرّف ضحايا الكوارث. ولقد مكّنتنا التقنية الحديثة من الحصول على عينة DNA مفيدة من مصادر مدهشة كشعرةٍ أو لعابٍ جافٍّ على طابع بريدي.

تركيب الأحماض النووية Structure of Nucleic Acids

تشكل الأحماض النووية نوعًا رابعًا من الجزيئات الحيوية. وهي جزيئات تخزين المعلومات في الخلية. وقد أخذت هذه الجزيئات اسمها من الموقع الخلوي الذي توجد فيه هذه الجزيئات بشكل رئيسي وهو النواة. وتقوم الأحماض النووية بوظائفها الرئيسة من مركز التحكم هذا. والحمض النووي هو مبلمر حيوي يحتوي على النيتروجين، ويقوم بتخزين المعلومات الوراثية ونقلها. وتُدعى وحدة البناء الأساسية للحمض النووي النيوكليوتيد. ولكل نيوكليوتيد ثلاثة أجزاء: مجموعة فوسفات غير عضوية، وسكر أحادي ذو خمس ذرات كربون، وتركيب يحتوي على نيتروجين يدعى قاعدة نيتروجينية. تفحص أجزاء **الشكل 6–20a**، فعلى الرغم من أن مجموعة الفوسفات هي نفسها في جميع النيوكليوتيدات، إلا أن السكر والقاعدة النيتروجينية يختلفان.

يحتوي الحمض النووي على سكر أحادي النيوكليوتيدات مرتبطًا بفوسفات نيوكليوتيد آخر، كما في **الشكل 6–20b** . وهكذا تشكل النيوكليوتيدات سلسلة، أو شريطًا، يحتوي على سكر ومجموعات فوسفات متناوبة. وكل سكر يرتبط أيضًا بقاعدة نيتروجينية تبرز من السلسلة. وتتكدس القواعد النيتروجينية على وحدات النيوكليوتيدات المتجاورة واحدة فوق الأخرى في وضع منحرف قليلاً، فتشبه درجات السلّم، كما في **الشكل 6–20b** . وتبقي القوى بين الجزيئية كل قاعدة نيتروجينية قريبة من القواعد النيتروجينية التي فوقها والتي تحتها.

الشكل 6-20 النيوكليوتيدات هي وحدات البناء الأساسية التي تتكون منها مبلمرات الأحماض النووية.



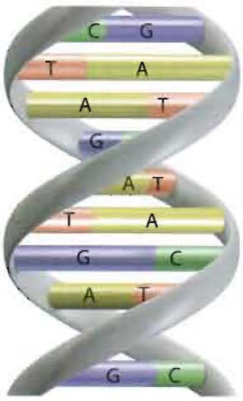
الحموض النووية هي سلاسل طولية من سكريات ومجموعات فوسفات متعاقبة. ويرتبط بكل سكر قاعدة نيتروجينية، وبما أن النيوكليوتيدات ملتوية فإن السلاسل تشبه درجات السلم.

يحتوي كل نيوكليوتيد على قاعدة تحتوي على نيتروجين وسكر خماسي ومجموعة فوسفات.

DNA: اللولب المزدوج DNA: The Double Helix

ربما سمعت عن حمض ديوكسي رايبونيوكلييك DNA، وهو أحد نوعين من الأحماض النووية التي توجد في الخلايا الحية. إذ يحتوي DNA على الخطط الرئيسية لبناء جميع بروتينات جسم المخلوق الحي.

تركيب DNA يتكون DNA من سلسلتين طويلتين من النيوكليوتيدات ملتفتين معًا لتشكّلا بناءً حلزونيًّا كما في **الشكل 21-6**. ويحتوي كل نيكوكليوتيد في DNA على مجموعة فوسفات، وسكر ديوكسي رايبوز ذي الخمس ذرات من الكربون، وقاعدة نيتروجينية. وتشكل جزيئات السكر ومجموعات الفوسفات المتعاقبة في كل سلسلة الجزء الخارجي، أو العمود الفقري للتركيب اللولبي. أما القواعد النيتروجينة فتوجد داخل التركيب. ولأن البناء اللولبي يتكون من سلسلتين، فهو يعرف باللولب المزدوج.



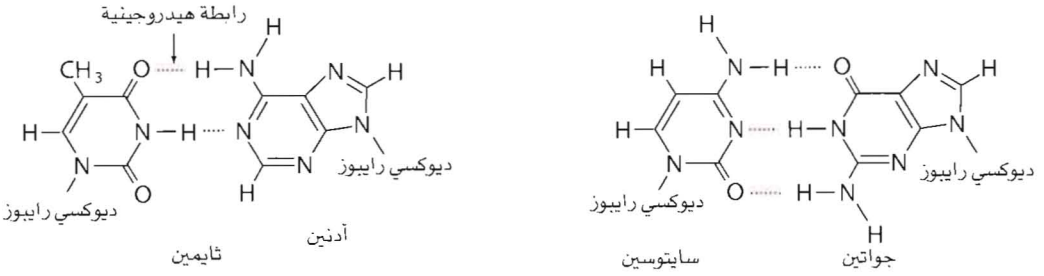
الشكل 21-6 تركيب DNA هو لولب مزدوج يشبه سحابًا منزلقًا ملتويًا. ويتكوّن العمودان الفقريان من السكر والفوسفات، ويشكّلان الجانبين الخارجيين للسحاب المنزلق.

ماذا قرأت؟ صف مم يتكون أسنان سَحّاب DNA المنزلق؟

يحتوي DNA على أربع قواعد نيتروجينية مختلفة هي: الأدنين (A)، الثايمين (T)، السايتوسين (C)، والجوانين (G). إذ يحتوي كل من الأدنين والجوانين على حلقة مزدوجة كما في **الشكل 21-6**. أما الثايمين والسايتوسين فلهما تركيبان أحاديا الحلقة. انظر مرة أخرى إلى **الشكل 21-6** تلاحظ أن كل قاعدة نيتروجينية على شريط من اللولب تقابلها قاعدة نيتروجينية على الشريط المقابل، بالطريقة نفسها التي تتقابل فيها أسنان السحّاب المنزلق. وتتقارب أزواج القواعد المتجاورة إلى حدّ تتكوّن بينها روابط هيدروجينية. ولما كانت كل قاعدة نيتروجينية لديها ترتيب فريد من المجموعات الوظيفية العضوية التي تستطيع أن تكوّن روابط هيدروجينية، فإن القواعد النيتروجينية تشكل دائمًا أزواجًا بطريقة معينة، حيث يتكون دائمًا العدد الأفضل من الروابط الهيدروجينية.

ويرتبط الجوانين دائمًا بالسايتوسين، ويرتبط الأدنين دائمًا بالثايمين كما في **الشكل 22-6**. وتسمى أزواج G–C وA–T أزواجًا قاعدية متطابقة. ولذلك تساوي كمية الأدنين في جزيء DNA دائمًا كمية الثايمين، وكمية السايتوسين دائمًا تساوي كمية الجوانين. وفي عام 1953م استخدم جيمس واطسون وفرانسيس كريك هذه الملاحظة ليقوما بأحد أعظم الاكتشافات العلمية في القرن العشرين عندما حدّدا تركيب DNA الثنائي اللولب. لقد حقّقا هذا الإنجاز دون أن يقوما بالعديد من التجارب المخبرية، بل قاما بدلاً من ذلك بتجميع أعمال عدد كبير من العلماء الذين قاموا بدراسة DNA وتحليلها.

الشكل 22-6 يحدث تزاوج القواعد في DNA بين قاعدة ذات حلقتين وقاعدة ذات حلقة واحدة؛ حيث يتزاوج الأدنين والثايمين دائمًا ويشكلان زوجًا بينهما رابطتان هيدروجينيتان، ويتزاوج الجوانين والسايتوسين دائمًا فيكونان زوجًا يرتبطان بروابط تحت هيدروجينية.

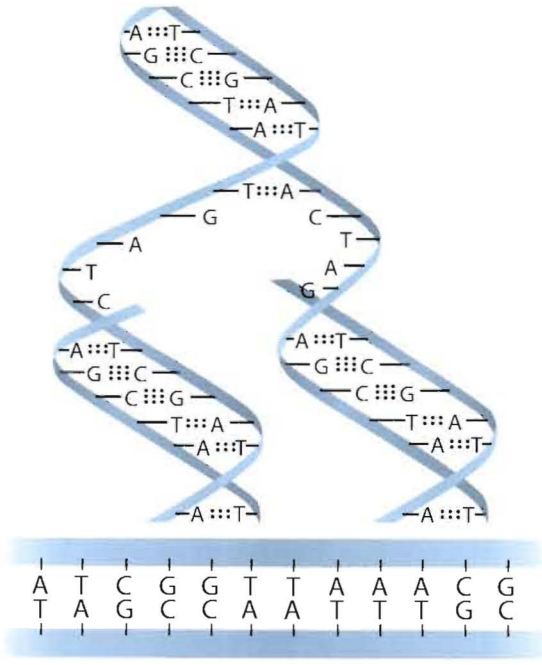


وظيفة DNA استخدم واطسون وكريك نموذجهما لتوقع كيف يمكن أن يؤدي تركيب DNA الكيميائي وظيفته. يختزن DNA المعلومات الوراثية للخلية في النواة، ويُنسخ DNA قبل انقسام الخلية حتى يحصل الجيل الجديد من الخلايا على المعلومات الوراثية نفسها. وبعد أن قرر واطسون وكريك أن سلسلتي لولب DNA تكملان بعضهما بعضًا، أدركا أن الأزواج القاعدية المتطابقة تنسخ المادة الوراثية للخلية بطريقة آلية. فقواعد DNA النيتروجينية الأربع تتخذ حروفًا أبجدية في لغة تخزين المعلومات للخلايا الحية. ويمثل التسلسل المحدد لهذه الحروف التعليمات الشاملة للمخلوق الحي، كما يحمل تسلسل الحروف في كلمات جملة ما معنى خاصًا. ويختلف تسلسل القواعد في كل نوع من المخلوقات الحية، مما يسمح بتنوع ضخم من أشكال الحياة- وكل ذلك عن طريق لغة تستخدم أربعة حروف فقط. ويُقدَّر أن DNA الخلية البشرية يحتوي نحو ثلاثة بلايين زوج متطابق من القواعد، مرتبة في تسلسل خاص بالبشر.

مختبر حل المشكلات

كوّن نموذجًا

كيف يتضاعف DNA؟ يتضاعف DNA قبل انقسام الخلية، حيث تحصل كل من الخليتين الجديدتين على مجموعة كاملة من التعليمات الوراثية. وعندما يبدأ DNA بالتضاعف، يبدأ شريط النيوكليوتيد بالانفكاك، ويقوم إنزيم بفك الروابط الهيدروجينية بين القواعد النيتروجينية فينفصل الشريطان. كما تقوم إنزيمات أخرى بإيصال نيوكليوتيدات حرة من الوسط المحيط إلى القواعد النيتروجينية المكشوفة، فيرتبط الأدنين برابط هيدروجينية مع الثايمين، ويرتبط السايتوسين بالجوانين. وهكذا يقوم كل شريط ببناء شريط مكمّل عن طريق مزاوجة القواعد بالنيوكليوتيدات الحرة. وهذه العملية موضحة في الرسم المجاور. وبعد أن يتم ارتباط النيوكليوتيدات الحرة بالروابط الهيدروجينية في أماكنها، تقوم السكريات والفوسفات بالارتباط بروابط تساهمية بالسكريات ومجموعات الفوسفات على النيوكليوتيدات المجاورة لتكوّن عمودًا فقريًا جديدًا. ويرتبط كل شريط من جزيء DNA الأصلي بشريط جديد.



التحليل

يبين الرسم السفلي إلى اليسار قطعة صغيرة من جزيء DNA. انسخ تسلسل القواعد على ورقة نظيفة، وكن حذرًا حتى لا تخطئ في النسخ. وبيّن خطوات التضاعف لإنتاج قطعتين من DNA.

التفكير الناقد

1. **صف** قارن بين التسلسل في الشريط الذي صُنع حديثًا والتسلسل في الشريط الأصلي الذي يرتبط به.
2. **اشرح** إذا لوُنّت قطعة DNA الأصلية باللون الأحمر ولوِّنت النيوكليوتيدات الحرة باللون الأزرق، فما نمط الألوان الذي سيكون في قطعة DNA التي تكوّنت حديثًا؟ وهل ستكون جميع القطع الجديدة لها الألوان ذاتها؟
3. **اشرح** كيف يمكن أن يتأثر المخلوق الحي إذا حدث خطأ في أثناء تضاعف DNA فيه؟ وهل التأثيرات دائمة؟ وضح إجابتك.



الشكل 23-6 يختلف DNA وRNA من حيث مكوناتهما؛ فالتركيبان على اليمين موجودان في DNA، أما التركيبان على اليسار فموجودان في RNA.
حدّد اختلافين في تركيبي RNA و DNA.

RNA

حمض الرايبونيوكلييك حمض نووي، يختلف تركيبه العام عن تركيب DNA في ثلاث طرق مهمة، كما في **الشكل 23-6**. أولاً أن DNA يحتوي على القواعد النيتروجينية الأدنين، والسايتوسين، والجوانين، والثايمين. في حين يحتوي RNA على الأدنين، والسايتوسين، والجوانين، واليوراسيل. ولا يوجد الثايمين أبدًا في RNA. ثانيًا، يحتوي RNA على سكر الرايبوز، في حين يحتوي DNA على سكر الديوكسي رايبوز الذي يوجد فيه ذرة هيدروجين مكان مجموعة هيدروكسيل في أحد المواقع.

أمّا الفرق الثالث بين DNA وRNA فهو في الشكل؛ إذ يكون DNA عادة على شكل لولب ثنائي حيث تقوم الروابط الهيدروجينية بربط السلسلتين معًا عن طريق قواعدها. في حين يتكون RNA من شريط واحد دون وجود روابط هيدروجينية بين القواعد.

ويخزن DNA المعلومات الوراثية، في حين يمكّن RNA الخلايا من استخدام المعلومات الموجودة في DNA. لقد قرأت أن المعلومات الوراثية للخلية موجودة في تسلسل من القواعد النيتروجينية في جزيء DNA. وتقوم الخلايا باستعمال تسلسل القواعد هذا لتكوّن RNA بتسلسل متطابق. ومن ثم يستعمل RNA لصنع بروتينات بتسلسل من الأحماض الأمينية يتقرر بترتيب القواعد النيتروجينية في RNA، وتدعى هذه التسلسلات باسم الشيفرة الوراثية؛ ولما كانت البروتينات هي الأدوات الجزيئية التي تقوم بمعظم النشاطات في الخلية، لذا يعد اللولب المزدوج لـ DNA هو المسؤول في النهاية عن التحكم في الآلاف من التفاعلات الكيميائية التي تحدث في الخلايا.

المطويات
ضمّن مطويتك معلومات من هذا القسم.

التقويم 6-4

الخلاصة

- الأحماض النووية هي مبلمرات من النيوكليوتيدات التي تتكون من قاعدة نيتروجينية، ومجموعة فوسفات، وسكر.
- DNA و RNA هي جزيئات تخزين معلومات للخلية.
- يتكون DNA من شريطين، في حين يتكون RNA من شريط واحد.

20. الفكرة الرئيسة اشرح الوظيفة الأساسية لكل من RNA و DNA.

21. **حدّد** المكونات البنائية الخاصة لكل من RNA وDNA.

22. **اربط** وظيفة DNA بتركيبه.

23. **حلّل** تركيب الأحماض النووية لتحديد التركيب الذي يجعلها أحماضًا.

24. **توقع** ماذا سيحدث إذا احتوى DNA الذي يحمل شيفرة صنع بروتين على تسلسل قواعد خاطئ؟

في الميدان

المهنة: عالم البيولوجيا الجزيئية

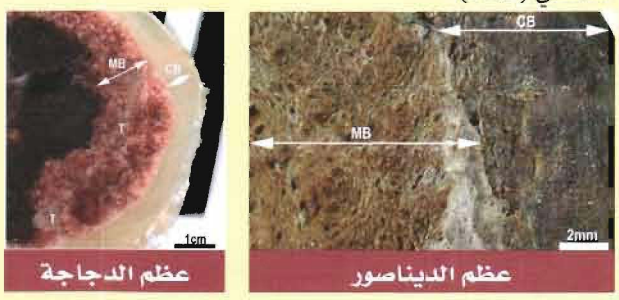
فحص الحمض يكشف مفاجأة

"لا يوجد عالم بيولوجيا جزيئية ذو تفكير صحيح يعمل ما عملته ماري شفايتزر Mary Schweitzer. نحن لا نبذل كل هذا الجهد لإخراج هذه الأشياء من الأرض لندمرها في حمض". هذا ما قاله أحد زملاء ماري شفايتزر، العالمة التي استخدمت تقنيات البيولوجيا الجزيئية لتكشف نسيجًا لينًا يجب ألا يكون موجودًا في عظم فخذ ديناصور متحجر منذ 68 مليون سنة.

الأم بوب Mother Bob عندما قام علماء البيولوجيا الجزيئية باستخراج الديناصور المتحجر الذي أطلق عليه لقب "بوب" عام 2003 م من منطقة نائية في ولاية مونتانا الأمريكية، وضعت العظام في غطاء من الجبس لحمايتها في أثناء عملية النقل. ولكن كان وزن العظام والجبس يفوق قدرة الطائرة العمودية على حمله، مما اضطر علماء البيولوجيا الجزيئية أن يكسروا عظم الفخذ لكي يستطيعوا نقل الديناصور من تلك المنطقة النائية. وقد أخذت شفايتزر كِسَرًا من عظم الفخذ لدراستها دراسة إضافية.

وقد جاءت المفاجأة الأولى بسرعة؛ حيث كانت "بوب" أنثى، وكانت تنتج البيض عند وفاتها. والعظم الذي درسته شفايتزر يسمى عظمًا 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)، وعظم ألين يسمى العظم 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 كليًا 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 طريًا 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 يمكن استنساخ الحيوانات المنقرضة من DNA الذي يتم الحصول عليه؟ اكتب مقالة إقناعية تعبر فيها عن رأيك حول هذا السؤال.

مختبر الكيمياء

فعل الإنزيم ودرجة الحرارة

الخلفية النظرية الإنزيمات عوامل محفزة طبيعية تستعملها المخلوقات الحية لتسريع التفاعلات، ولهذه البروتينات تراكيب متخصصة تمكّنها من التفاعل مع مواد محددة.

سؤال كيف تؤثر درجة الحرارة في عمل الإنزيمات؟

المواد والأدوات اللازمة

- لب البطاطس الحمراء
- 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 في درجة حرارة الغرفة، والثالثة على ماء في درجة حرارة الجسم، والرابعة على ماء في درجة الغليان (100 °C) أو قريبًا منها.
7. ضع أنبوب اختبار واحدًا في كل من الكؤوس الأربع مستخدمًا ماسك أنابيب الاختبار.
8. قس درجة حرارة كل كأس 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 في درجة حرارة الغرفة		
ماء في درجة حرارة الجسم		
ماء مغلي (قريب من 100 °C)		
الكبد		
ماء مثلج		
ماء في درجة حرارة الغرفة		
ماء في درجة حرارة الجسم		
ماء مغلي (قريب من 100 °C)		

14. **التنظيف والتخلص من النفايات** تخلص مما تبقى من المحاليل 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 في درجة الحرارة التي وجدتها؟
3. **السبب والنتيجة** أيّ الأنابيب كانت فيها الرغوة لكل من البطاطس والكبد هي الأقل؟ اقترح تفسيرًا لما حدث.
4. **قارن** هل أيّدت البيانات المختبرية فرضيتك في الخطوة 2؟ وضح إجابتك.
5. **نموذج** اكتب معادلة موزونة لتَحَلُّل فوق أكسيد الهيدروجين لكل تفاعل. كيف يتشابه التفاعلان؟ ولماذا؟
6. **تحليل الخطأ** حدّد مصادر الخطأ المحتملة لهذه التجربة، واقترح طرائق لتصحيحها.

استقصاء موسع

صمّم تجربة هل يؤثر التغير في pH في النتائج؟ صمّم تجربة لتكتشف الإجابة.

دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة تقوم المركبات العضوية الحيوية: البروتينات، والكربوهيدرات، والليبيدات بالنشاطات الضرورية للخلايا الحية.

6-1 البروتينات

الفكرة الرئيسة تؤدي البروتينات وظائف ضرورية 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.

6-2 الكربوهيدرات

الفكرة الرئيسة تزود الكربوهيدرات المخلوقات الحية بالطاقة والمواد البنائية.

المفردات

- الكربوهيدرات
- السكريات الأحادية
- السكريات الثنائية
- السكريات العديدة 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.

6-3 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.

6-4 الأحماض النووية

الفكرة الرئيسة تختزن الأحماض النووية المعلومات الوراثية وتنقلها.

المفردات

- الحمض النووي
- النيوكليوتيد

المفاهيم الرئيسة

- الأحماض النووية هي مبلمرات من النيوكليوتيدات التي تتكون من قاعدة نيتروجينية، ومجموعة فوسفات، وسكر.
- DNA و RNA هي جزيئات تخزين معلومات للخلية.
- يتكون DNA من شريطين، في حين يتكون RNA من شريط واحد.

6-1

إتقان المفاهيم

25. ماذا تُسمى السلسلة المكوّنة من ثمانية أحماض أمينية؟ والسلسلة المكوّنة من 200 حمض أميني؟

26. سمِّ نوعين من المجموعات الوظيفية التي تتفاعل معًا لتكوين رابطة ببتيدية، وسمِّ أيضًا المجموعة الوظيفية في الرابطة الببتيدية نفسها.

27. 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: ●

28. تشريح جسم الإنسان سمِّ خمسة أجزاء من الجسم تحتوي بروتينات بنائية.

29. عدّد أربع وظائف رئيسة للبروتينات، وأعط مثالاً واحدًا على بروتين يقوم بكل وظيفة من هذه الوظائف.

30. صف شكلين شائعين لتركيب البروتين الثلاثي الأبعاد.

31. سمِّ المجموعات الوظيفية في السلاسل الجانبية للأحماض الأمينية الآتية:

a. الجلوتامين

b. السيرين

c. حمض الجلوتاميك

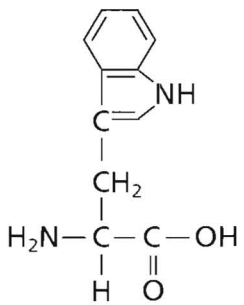
d. اللايسين

32. اشرح كيف يعمل الموضع النشط للإنزيم.

33. أعطِ مثالاً على حمض أميني له حلقة أروماتية في سلسلته الجانبية.

34. سمِّ حمضين أمينيين لا قطبيين وآخرين قطبيين.

35. التركيب المبين في **الشكل 24-6** للتريبتوفان. صف بعض الخواص التي تتوقعها للتريبتوفان، بناءً على تركيبه. وإلى أي من المركبات العضوية الحيوية ينتمي التريبتوفان؟ وضح إجابتك.



الشكل 24-6

36. هل ثنائي ببتيد اللايسين- الفالين هو المركب نفسه كثنائي ببتيد الفالين - اللايسين؟ وضح إجابتك.

37. إنزيمات كيف تخفّض الإنزيمات طاقة التنشيط لتفاعلٍ ما؟

38. 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

39. بكم طريقة يمكنك ترتيب ثلاثة أو أربعة أو خمسة أحماض أمينية مختلفة في الببتيد؟

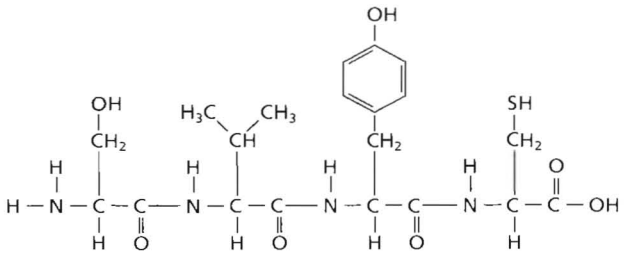
40. كم رابطة ببتيدية توجد في ببتيد يحوي خمسة أحماض أمينية؟

41. 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)

42. حدّد عدد الأحماض الأمينية والروابط الببتيدية التي توجد في الببتيد المبين في **الشكل 25-6**.



الشكل 25-6

43. معدل الكتلة المولية لحمض أميني هو 110 g/mol، احسب عدد الأحماض الأمينية التقريبي في بروتين كتلته المولية 36,500 g/mol

6-2

إتقان المفاهيم

44. الكربوهيدرات صنّف الكربوهيدرات الآتية إلى سكريات أحادية، أو ثنائية، أو عديدة التسكر:

a. النشا
b. الجلوكوز
c. السكروز
d. الرايبوز
e. السليلوز
f. الجلايكوجين
g. الفركتوز
h. اللاكتوز

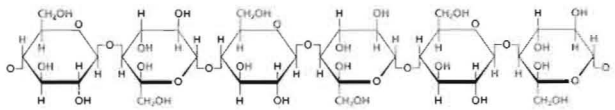
45. سمِّ متشكلين للجلوكوز.

46. ما نوع الرابطة التي تتكون عند اتحاد سكرين أحاديين لتكوين سكر ثنائي؟

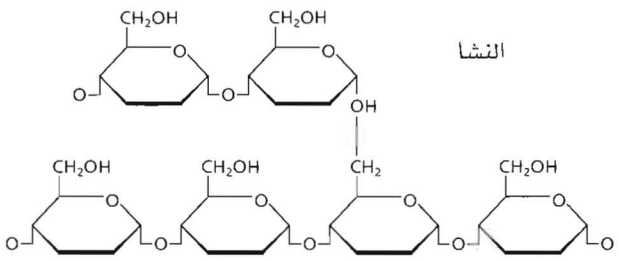
47. السكريات أعط مصطلحًا علميًّا لكل مما يأتي:

a. سكر الدم
b. سكر المائدة
c. سكر الفاكهة
d. سكر الحليب

48. السليلوز والنشا قارن بين التراكيب الجزيئية للسليلوز والنشا المبينة في **الشكل 26-6**.



السليلوز



النشا

الشكل 26-6

49. الكيمياء في النباتات قارن بين وظائف النشا والسليلوز في النباتات، ووضح أهمية التركيب الجزيئي لكل منهما بالنسبة لوظيفته.

50. استنتج كيف تعطي الاختلافات في ترتيبات الروابط في السليلوز والنشا خواص مختلفة؟

51. يتكون السكر الثنائي المالتوز من وحدتي جلوكوز. ارسم تركيبه.

52. لماذا يُنتج تميّه السليلوز، والجلايكوجين، والنشا سكرًا أحاديًّا واحدًا فقط؟ وما السكر الأحادي الذي ينتج؟

53. الهضم لماذا لا يمكن أن يتحلل السكر الثنائي أو العديد التسكر عند عدم وجود الماء؟ دعّم إجابتك بمعادلة.

54. 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.

55. السكريات قارن من حيث الصيغة الجزيئية والكتلة المولية والمجموعات الوظيفية لكل من الجلوكوز والفركتوز.

56. منظور تاريخي الكربوهيدرات ليست هيدرات الكربون كما يوحي الاسم بذلك. اشرح كيف حدث هذا المفهوم غير الصحيح.

إتقان حل المسائل

57. 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؟

6-3

إتقان المفاهيم

58. قارن بين تركيبي الجليسريد الثلاثي و الليبيد الفوسفوري.

59. توقع أيهما تكون درجة انصهاره أعلى: الجليسريد الثلاثي المأخوذ من دهن البقر، أو الجليسريد الثلاثي المأخوذ من زيت الزيتون؟ فسّر إجابتك.

60. الصابون والمنظفات اشرح كيف أن تركيب الصابون يجعله عامل تنظيف فعّالاً.

61. ارسم جزءًا من غشاء ليبيدي ذي طبقتين، وأشر إلى الأجزاء القطبية وغير القطبية من الغشاء.

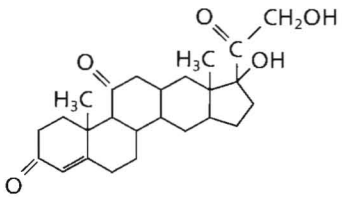
62. أين تُختزن الأحماض الدهنية في جسم الإنسان؟ وفي أي صورة؟

63. ما نوع الليبيد الذي لا يحتوي على سلاسل أحماض دهنية؟ ولماذا تُصنّف هذه المركبات على أنها ليبيدات؟

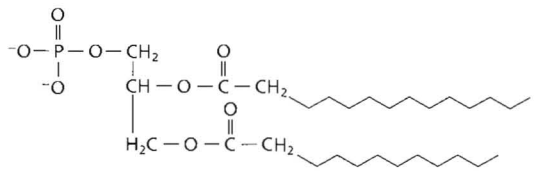
64. الصابون ارسم تركيب صابون بالمتات الصوديوم. (البالمتات هو القاعدة المرافقة للحمض الدهني المشبع ذي 16 ذرة كربون والمعروف باسم حمض البالمتيك). وأشر إلى طرفيه: القطبي واللاقطبي.

65. حدّد هل يعد كل تركيب مما يأتي: حمضًا دهنيًّا، أو جلسريد ثلاثيًّا، أو ليبيد فوسفوريًّا، أو ستيرويد، أو شمعًا؟ فسّر إجابتك.

a.



b.



إتقان حل المسائل

66. إذا كانت كثافة حمض البالمتيك الدهني 0.853g/ml عند 62 °C، فما كتلة عينة من حمض البالمتيك حجمها 0.886 L عند درجة الحرارة نفسها؟

67. 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:

$CH_3CH_2CH{=}CHCH_2CH{=}CHCH_2CH{=}CH(CH_2)_7COOH$

6-4

إتقان المفاهيم

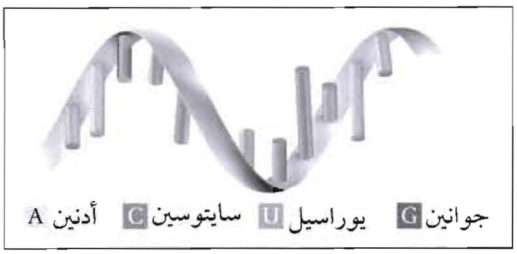
68. ما التراكيب الثلاثة التي تكوّن النيوكليوتيد؟

69. سمِّ حمضين نوويين موجودين في المخلوقات الحية

70. اشرح دور DNA و RNA في إنتاج البروتينات.

71. أين يوجد DNA في الخلايا الحية؟

72. صف أنواع الروابط والتجاذبات التي تربط وحدات البناء الأساسية معًا في جزيء DNA.



الشكل 27-6

73. صنّف التركيب النووي المبين في **الشكل 27-6** إلى DNA أو RNA، فسّر إجابتك.

74. ترتبط القاعدة جوانين في تركيب DNA ثنائي اللولب دائمًا بالسايتوسين، ويرتبط الأدنين دائمًا بالثايمين. فماذا تتوقع أن تكون النسب بين كميات A، T، C، و G في طول معين من DNA؟

75. نسخ DNA يحتوي أحد أشرطة جزيء DNA الترتيب القاعدي التالي. فما تعاقب القواعد على الشريط الآخر في جزيء DNA؟

C-C-G-T-G-G-A-C-A-T-T-A

76. العمليات الحيوية قارن بين التفاعلات الضافية للبناء الضوئي والتنفس الخلوي من حيث المواد المتفاعلة، والنواتج، والطاقة.

إتقان حل المسائل

77. الشيفرة الوراثية هي شيفرة ثلاثية؛ أي أنه تعاقب من ثلاث قواعد في RNA يدل على كل حمض أميني في سلسلة ببتيدية أو بروتين. فكم عدد قواعد RNA الضرورية للدلالة على بروتين يحتوي على 577 حمضًا أمينيًّا؟

78. مقارنات DNA تحتوي خلية البكتيريا إيشيريشياكولاي زوجًا من قواعد DNA، في حين تحتوي كل خلية بشرية نحو زوجًا من قواعد DNA. فما النسبة المئوية التي يمثلها DNA في إيشيريشياكولاي بالنسبة إلى الخريطة الوراثية البشرية؟

79. كم جرامًا من الجلوكوز يمكن أن يتأكسد كليًّا بوساطة 2.0 L من غاز O_2 في الظروف المعيارية في أثناء التنفس الخلوي؟

80. الطاقة احسب مجموع الطاقة بوحدة kJ التي تتحول إلى ATP في أثناء عمليات التنفس الخلوي والتخمر، وقارن بينها.

مراجعة عامة

81. ارسم مجموعات الكربونيل الوظيفية في الجلوكوز والفركتوز. فيم تتشابه هذه المجموعات، وفيم تختلف؟

82. سمِّ وحدات البناء الأساسية التي تكوّن البروتينات والكربوهيدرات المركبة.

83. صف وظائف البروتينات، والكربوهيدرات، والليبيدات، في الخلايا الحية.

84. اكتب معادلات موزونة للبناء الضوئي، والتنفس الخلوي، وتمثيه اللاكتوز.

85. اكتب معادلة موزونة لتركيب السكروز من الجلوكوز والفركتوز.

التفكير الناقد

86. 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؟

87. تعرّف السبب والنتيجة تقترح بعض الأنظمة الغذائية تحديدًا شديدًا لكمية الليبيدات، فلماذا لا يُعد حذف الليبيدات من الغذاء كليًّا فكرة جيدة؟

88. الرسوم البيانية واستعمالها يبين **الجدول 2-6** 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 2-6 الخواص الفيزيائية لبعض الأحماض الدهنية المشبعة

الاسم	عدد ذرات الكربون	درجة الانصهار (°C)	الكثافة (g/ml) (عند 60-80 °C)
حمض البالمتيك	16	63	0.853
حمض الميريستيك	14	58	0.862
حمض 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 تحفيز

89. احسب كم مولاً من ATP يمكن أن ينتج الجسم البشري من السكر الموجود في 28 kg من التفاح الأحمر. استخدم الإنترنت للحصول على معلومات لحل المسألة.

مراجعة تراكمية

90. حدد الحمض والقاعدة في المواد المتفاعلة لكل مما يلي:

a. $HBr + H_2O \longrightarrow H_3O^+ + Br^-$

b. $NH_3 + HCOOH \longrightarrow NH_4^+ + HCOO^-$

c. $HCO_3^- + H_2O \longrightarrow CO_3^{2-} + H_3O^+$

91. ما الخلية الجلفانية؟

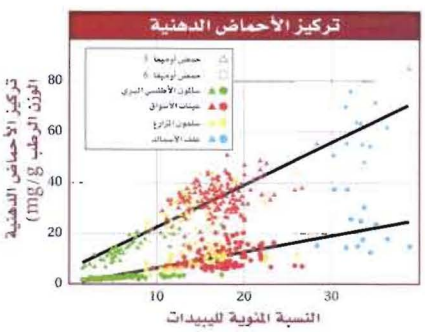
تقويم إضافي

الكتابة في الكيمياء

92. **الكولسترول** استعمل المكتبة أو الإنترنت لعمل بحث عن الكولسترول. واكتب مقالة صحفية تتعلق بالكولسترول موجهة إلى القرّاء في سن المراهقة. وتأكد من الإجابات عن الأسئلة الآتية في المقالة: أين يستعمل هذا المركب في جسمك؟ ما وظيفته؟ لماذا يعد الإكثار من الكولسترول في الغذاء غير مناسب؟ هل الوراثة عامل في ارتفاع الكولسترول؟

أسئلة المستندات

الأحماض الدهنية 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. وتأثير هذه الأحماض الدهنية 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 ثلاثة مصادر مختلفة، وفي الغذاء المستعمل في مزارع السلمون أيضًا. ويبين **الشكل 28-6** النسبة المئوية للأحماض الدهنية أوميغا -3 وأوميغا-6 مقارنة بمجموع كمية الليبيدات في العينات.



الشكل 28-6

93. أي نوع من السمك احتوى أكبر كمية من الأحماض الدهنية أوميغا؟

94. بناءً على هذه الدراسة، أي أنواع السلمون تنصح به لشخص يريد الإكثار من كمية الأحماض الدهنية أوميغا-3 وأوميغا-6 في غذائه؟

95. 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 مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

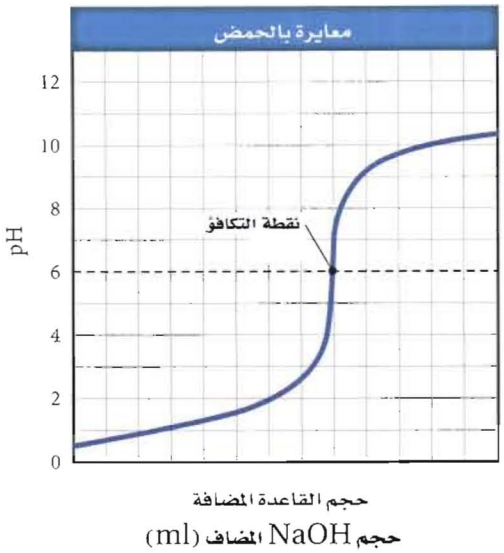
1. أي الكواشف الكيميائية الآتية أكثر فاعلية في تحديد نقطة النهاية لهذه المعايرة؟ استخدم الرسم الآتي للإجابة عن هذا السؤال.

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 متشكلاً بنائيًا للصيغة:

$CH_2=CHCH_2CH=CHCH_3$

a. $CH_2=CHCH_2CH_2CH=CH_2$

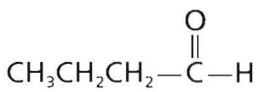
b. $CH_3CH=CHCH_2CH=CH_2$

c. $CH_3CH=CHCH=CHCH_3$

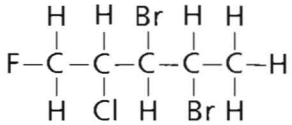
d. $CH_2=C=CHCH_2CH_2CH_3$

أسئلة الإجابات القصيرة

5. ما نوع المجموعة الوظيفية في المركب الآتي؟



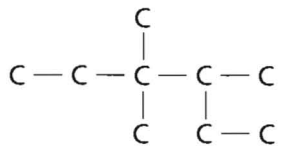
6. اكتب الاسم العلمي وفقًا لنظام الأيوباك IUPAC للمركب العضوي الموضح في الشكل الآتي؟



7. ما الصيغة البنائية المختصرة للهبتان؟

أسئلة الإجابات المفتوحة

استخدم الشكل أدناه للإجابة عن السؤال 8.



8. سجل أحد الطلاب 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.

(أ)

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 الأمينية Amino Acid جزيئات عضوية توجد فيها مجموعة الأمين ومجموعة الكربوكسيل الحمضية.

الاختزال Reduction اكتساب ذرات المادة للإلكترونات.

الارتفاع في درجة الغليان Booling Point Elevation خاصية جامعة تتناسب قيمتها تناسبًا طرديًّا مع مولالية المحلول.

الأزواج المترافقة Conjugate Pairs مادتان ترتبطان معًا عن طريق منح واستقبال أيون الهيدروجين.

الأكسدة Oxidation فقدان ذرات المادة للإلكترونات.

الانخفاض في الضغط البخاري Vapor Pressure Lowering الضغط الذي تحدثه جزيئات السائل في وعاء مغلق والتي تتطاير من سطح السائل متحولة الى الحالة الغازية.

الانخفاض في درجة التجمد Freezing-Point Depression الفرق بين درجة غليان المحلول ودرجة غليان المذيب النقي.

الإنزيمات Enzymes عوامل محفزةٌ حيويةٌ تعمل على تسريع التفاعلات الكيميائية دون أن تستهلك.

الأنود Anode القطب الذي يحدث عنده تفاعل الأكسدة في الخلية الجلفانية.

الأيون المشترك Common Ion أيون مشترك بين مادتين أيونيتين أو أكثر.

(ب)

الببتيدات Peptides السلاسل المكونة من حمضين أمينيين أو أكثر، ترتبط معًا بروابط ببتيدية.

البروتينات Proteins مركبات عضوية حيوية تتكون من أحماض أمينية مرتبطة معًا بترتيب معين.

البطارية Battery عبارة عن خلية جلفانية أو أكثر في عبوة واحدة تنتج التيار الكهربائي.

البطارية الأولية Primary Battery خلية الخارصين والكربون، أو القلوية، أو الفضة التي تنتج طاقة كهربائية من تفاعل التأكسد والاختزال الذي لا يحدث بشكل عكسي بسهولة، وتصبح البطارية غير صالحة للاستعمال بعد انتهاء التفاعل.

البطارية الثانوية Secondary Battery بطارية تعتمد على تفاعل الأكسدة والاختزال العكسي، لذلك يمكن إعادة شحنها، ومن ذلك بطارية السيارة والحاسوب المحمول.

(ت)

تأثير الأيون المشترك Common Ion Effect انخفاض الذوبانية بسبب وجود أيون مشترك.

تأثير تندال Tendall Effect قدرة جسيمات المخاليط الفردية على تثبيت الضوء.

التآكل Corrosion خسارة الفلز الناتج عن تفاعل الأكسدة واختزال بين الفلز والمواد التي في البيئة؛ مثل تآكل الحديد المعروف بالصدأ.

التحليل الكهربائي Electrolysis استعمال الطاقة الكهربائية لإحداث تفاعل كيميائي.

التركيز Concentration قياس كمية المذاب في كمية محددة من المذيب.

التصبُّن Saponification تميُّه الجلسريد الثلاثي بوجود محلول مائي لقاعدة قوية لتكوين أملاح الكربوكسيلات والجلسرول.

تغيير الخواص الطبيعية الأصلية Denaturation العملية التي تشوه تركيب البروتين الطبيعي الثلاثي الأبعاد وتمزقه أو تتلفه.

تفاعل الأكسدة والاختزال Redox Reaction تفاعل يتضمن انتقال الإلكترونات من إحدى الذرات إلى ذرة أخرى خلال التفاعل الكيميائي.

تفاعل التعادل Neutralization Reaction تفاعل حمض وقاعدة لإنتاج ملح وماء.

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.

ثابت الغاز المثالي Ideal Gas Constant (R) ثابت يحدد تجريبيًّا وتعتمد قيمته على وحدات ضغط الغاز.

(ج)

الجلسريد الثلاثي Triglyceride تركيب يتكون من ارتباط ثلاثة أحماض دهنية بالجلسرول بواسطة روابط إستر.

الجلفنة Galvanization عملية كيميائية يغلف فيها الفلز بفلز أكثر مقاومة للتأكسد. فيغلف الحديد مثلاً بطبقة من الخارصين؛ إما عن طريق غمس القطعة الحديدية في مصهور الخارصين، أو بطلاء الحديد بالخارصين كهربائيًا.

جهد الاختزال Reduction Potential مدى قابلية المادة لاكتساب الإلكترونات.

(ح)

حرارة المحلول Heat of Solution التغير الكلي في الطاقة في أثناء عملية تكوّن المحلول.

الحركة البراونية Brownin Motion الحركة العشوائية لجسيمات المذاب في المخاليط الغروية السائلة

الحمض الضعيف Weak Acid حمض يتأين جزئيًا في الماء.

الحمض القوي Strong Acid الحمض الذي يتأين بشكل تام في الماء.

الحمض المرافق Conjugate Acid المركب الكيميائي الذي ينتج عندما تستقبل القاعدة أيون الهيدروجين من حمض.

الحمض النووي Nucleic Acid مبلمر حيوي يحتوي على النيتروجين، ويقوم بتخزين المعلومات الوراثية ونقلها.

(خ)

الخاصية الجامعة Colligative Property خاصية المحلول التي تعتمد على نوع جزيئات المذاب وليس عددها.

خلية التحليل الكهربائي Electrolytic Cell خلية كهروكيميائية يحدث فيها تحليل كهربائي.

الخلية الجافة Dry Cell خلية جلفانية، يكون فيها المحلول الموصل للتيار عجينة رطبة تتكون من خليط من كلوريد الخارصين وأكسيد المنجنيزIV وكلوريد الأمونيوم وكمية قليلة من الماء داخل حافظة من الخارصين.

الخلية الجلفانية Voltaic Cell نوع من الخلايا الكهروكيميائية التي تحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية بواسطة تفاعل التأكسد والاختزال التلقائي.

الخلية الكهروكيميائية Electrochemical Cell جهاز يستعمل تفاعل الأكسدة والاختزال لإنتاج طاقة كهربائية، أو يستعمل الطاقة الكهربائية لإحداث تفاعل كيميائي.

خلية الوقود Fuel Cell خلية جلفانية، تنتج فيها الطاقة الكهربائية من أكسدة الوقود الذي يتم التزود به باستمرار من مصدر خارجي.

(ذ)

الذوبان Solvation عملية إحاطة جسيمات المذاب بجسيمات المذيب.

(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.

السكريات الأحادية Monosaccharides أبسط الكربوهيدرات تركيبًا، وتدعى السكريات البسيطة أيضًا.

السكريات الثنائية Disaccharides وهي السكريات الناتجة من اتحاد جزيئين من السكريات الأحادية.

السكريات العديدة التسكر Polysaccharides بوليمر من السكريات البسيطة يحتوي على 12 وحدة بناء أساسية أو أكثر.

السلسلة الرئيسة Parent Chain أطول سلسلة متصلة من ذرات الكربون في الألكانات والأصلكينات والألكاينات المتفرعة.

السلسلة المتماثلة Homologous Series مجموعة من المركبات تختلف عن بعضها بتكرار عدد وحدات البناء.

(ش)

الشموع Waxes ليبيدات تتكون من اتحاد حمض دهني مع كحول ذي سلسلة طويلة.

(ط)

طريقة عدد التأكسد Oxidation-Number Method طريقة في موازنة معادلات الأكسدة والاختزال تعتمد على وجوب أن يكون مجموع الزيادة في عدد التأكسد مساويًا مجموع الانخفاض في عدد التأكسد للذرات المشتركة في تفاعل التأكسد والاختزال.

(ع)

العامل المؤكسد Oxidizing Agent مادة تقوم بأكسدة مادة أخرى من خلال اكتساب ذراتها للإلكترونات.

العامل المختزل Reducing Agent مادة تقوم باختزال مادة أخرى من خلال فقدان ذراتها للإلكترونات.

(ق)

القاعدة الضعيفة Weak Base قاعدة تتأين جزئيًا في الماء

القاعدة القوية Strong Base القاعدة التي تتأين بشكل تام في الماء.

القاعدة المرافقة Conjugate Base المركب الكيميائي الذي ينتج عندما يمنح الحمض أيون الهيدروجين.

القانون العام للغازات Combined Gas Law قانون جامع لقوانين الغازات ويجمع خواص الحجم والضغط ودرجة الحرارة.

قانون الغاز المثالي Ideal Gas Law قانون يصف السلوك الطبيعي للغاز المثالي اعتمادًا على ضغط الغاز وحجمه ودرجة حرارته وعدد مولاته.

قانون بويل Boyle's Law يتناسب حجم كمية محددة من الغاز عكسيًا مع ضغطه عند ثبوت درجة الحرارة.

قانون جاي- لوساك Gay-Lussac's Law ينص على أن حجم كمية معينة من الغاز يتناسب طرديًا مع درجة حرارته بالكلفن عند ثبوت الضغط.

قانون جراهام لانتشار الغازات Graham's Law Of Effusion ينص على أن معدل سرعة انتشار جزيئات الغاز يتناسب عكسيًا مع الجذر التربيعي لكتلة الغاز المولية.

قانون شارل Charles's Law يتناسب حجم كتلة محددة من الغاز طرديًا مع درجة حرارته بمقياس كلفن عند ثبوت الضغط.

قطب الهيدروجين القياسي Standard Hydrogen Electrode شريحة صغيرة من البلاتين مغموسة في محلول حمض الهيدروكلوريك HCl الذي يحتوي على أيونات هيدروجين بتركيز 1M. ويتم ضخ غاز الهيدروجين H_2 في المحلول عند ضغط 1atm ودرجة حرارة 25 °C، ويكون فرق الجهد لقطب الهيدروجين القياسي، المسمى جهد الاختزال القياسي (E^0)، مساويًا 0.000 V.

القنطرة الملحية Salt Bridge ممر لتدفق الأيونات من جهة إلى أخرى في الخلية الجلفانية. وتتكون من أنبوب يحتوي على محلول موصل للتيار الكهربائي لملح ذائب في الماء مثل KCl، يحفظ داخل الأنبوب بواسطة جل هلامي أو أي غطاء يسمح للأيونات بالحركة من خلاله، على ألا يختلط المحلولان في الخلية.

(ك)

الكاثود Cathode قطب يحدث عنده تفاعل الاختزال في الخلية الجلفانية.

الكربوهيدرات Carbohydrates مركبات تحتوي على عدة مجموعات من الهيدروكسيل (OH–) بالإضافة إلى مجموعة الكربونيل الوظيفية (C=O).

الكسر المولي Mole Fraction نسبة عدد مولات المذاب أو المذيب في المحلول إلى عدد المولات الكلية للمذاب والمذيب.

(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.

المادة الذائبة Soluble المادة التي تذوب في مادة أخرى (المذيب).

المادة غير الذائبة Insoluble المادة التي لا تذوب في مادة أخرى (المذيب).

مبدأ أفوجادرو Avogadro's Principle الحجوم المتساوية من الغازات عند نفس درجة الحرارة والضغط تحتوي العدد نفسه من الجسيمات.

مجموعة الهيدروكسيل hydroxyl Group مجموعة الأكسجين – الهيدروجين التي ترتبط تساهميًّا مع ذرات أخرى مثل الكربون.

المحلول الحمضي Acidic Solution المحلول الذي يحتوي على تركيز أيونات هيدروجين أكثر من الهيدروكسيد.

المحلول غير المشبع Unsaturated Solution محلول يحتوي كمية من المذاب أقل مما يحتويه المحلول المشبع عند نفس الضغط ودرجة الحرارة.

المحلول القاعدي Basic Solution المحلول الذي يحتوي على تركيز أيونات الهيدروكسيد أكثر من الهيدروجين.

المحلول القياسي Titrant محلول معروف التركيز يستعمل لمعايرة محلول مجهول التركيز.

المحلول المشبع Saturated Solution محلول يحتوي أكبر مقدار من المذاب عند ضغط ودرجة حرارة معينين.

المحلول المنظم Buffered Solution محلول يقاوم التغير في pH عند إضافة كميات محددة من الأحماض أو القواعد.

المخلـوط الغـروي Colloid مخلـوط غيـر متجانس يتكون من جسـيمات متوسـطة الحجـم تتراوح أقطارهـا بين 1nm و1000 nm.

المخلوط المعلق Suspension مخلوط يحتوى على جسيمات يمكن أن تترسب بالترويق إذا ترك فترة دون تحريك.

المركبات العضوية Organic Compounds مركبات تحتوي الكربون ما عدا أكاسيد الكربون والكربيدات والكربونات فهي غير عضوية.

المعايرة Titration تفاعل حمض وقاعدة لمعرفة تركيز أحدهما.

الملح Salt مركب أيوني أيونه الموجب من القاعدة، وأيونه السالب من الحمض.

الموضع النشط Active Site النقطة التي ترتبط بها المواد الخاضعة لفعل الإنزيم.

المولارية Molarity عدد مولات المذاب في لتر واحد من المحلول.

المولالية Molality عدد مولات المذاب المذابة في كيلوجرام من المذيب..

(ن)

نقطـة التكافـؤ Equivalence Point النقطـة التـي يكـون عندهـا تركيـز أيونـات الهيدروجيـن مسـاويًا لتركيـز أيونات الهيدروكسيد.

نقطة النهاية End Point النقطة التي يغير عندها الكاشف لونه

نمـوذج أرهينيوس Arrhenius Model نمـوذج يعرف الحمض بالمـادة التي تطلق أيونات الهيدروجيـن عند إذابتها في الماء، والقاعدة تطلق أيونات الهيدروكسيد.

نمـوذج برونستد ولوري Bronsted-Lowry Model نموذج يعـرّف 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.

نصف التفاعل Half Reaction أحد جزأي تفاعل الأكسدة والاختزال؛ أي تفاعل التأكسد أو تفاعل الاختزال.

نصـف الخلية Half Cell أحد نصفـي الخلية الكهروكيميائية. ويحتوي كل نصف خلية على قطب ومحلول يشـتمل على أيونات.

النيوكليوتيـد Nucleotide وحدة البناء الأساسـية للحمـض النووي. ويتكون كل نيوكليوتيد مـن ثلاثة أجزاء: مجموعة فوسفات غير عضوية، وسكر أحادي ذو خمس ذرات كربون، وتركيب يحتوي على نيتروجين يدعى قاعدة نيتروجينية.

رموز السلامة في المختبر

رموز السلامة	المخاطر	الأمثلة	الاحتياطات	العلاج
التخلص من المواد	يجب اتباع خطوات التخلص من المواد.	بعض المواد الكيميائية، والمخلوقات الحية.	لا تتخلص من هذه المواد في المغسلة أو في سلة المهملات.	تخلص من النفايات وفق تعليمات المعلم.
مواد حيّة	مخلوقات ومواد حية قد تسبّب ضررًا للإنسان.	البكتيريا، الفطريات، الدم، الأنسجة غير المحفوظة، المواد النباتية.	تجنب ملامسة الجلد لهذه المواد، والبس قناعًا (كمامة) وقفازات.	أبلغ معلمك عند حدوث ملامسة للجسم، واغسل يديك جيدًا.
درجة حرارة مرتفعة أو منخفضة	الأشياء التي قد تحرق الجلد بسبب حرارتها أو برودتها الشديدتين.	غليان السوائل، السخانات الكهربائية، الجليد الجاف، النيتروجين السائل.	استعمال قفازات واقية.	اذهب إلى معلمك طلبًا للإسعاف الأولي.
الأجسام الحادة	استعمال الأدوات والزجاجيات التي تجرح الجلد بسهولة.	المقصات، الشفرات، السكاكين، الأدوات المدبّبة، أدوات التشريح، الزجاج المكسور.	تعامل بحكمة مع الأداة، واتبع إرشادات استعمالها	اذهب إلى معلمك طلبًا للإسعاف الأولي.
الأبخرة	خطر محتمل على الجهاز التنفسي من الأبخرة	الأمونيا، الأسيتون، الكبريت الساخن، كرات العث (النفثالين).	تأكد من وجود تهوية جيدة، ولا تشم الأبخرة مباشرة، وارتد قناعًا (كمامة).	اترك المنطقة، وأخبر معلمك فورًا.
الكهرباء	خطر محتمل من الصعقة الكهربائية أو الحريق	تأريض غير صحيح، سوائل منسكبة، أسلاك معرّاة.	تأكد من التوصيلات الكهربائية للأجهزة بالتعاون مع معلمك.	لا تحاول إصلاح الأعطال الكهربائية، وأخبر معلمك فورًا.
المواد المهيّجة	مواد قد تهيج الجلد أو الغشاء المخاطي للقناة التنفسية.	حبوب اللقاح، كرات العث، سلك المواعين، ألياف الزجاج، برمنجنات البوتاسيوم.	ارتد قناعًا (كمامة) واقيًا من الغبار وقفازات، وتصرف بحذر شديد عند تعاملك مع هذه المواد.	اذهب إلى معلمك طلبًا للإسعاف الأولي.
المواد الكيميائية	المواد الكيميائية التي يمكن أن تتفاعل مع الأنسجة والمواد الأخرى وتتلفها.	المبيضات، مثل فوق أكسيد الهيدروجين والأحماض كحمض الكبريتيك، والقواعد كالأمونيا وهيدروكسيد الصوديوم.	ارتد نظارات واقية، وقفازات، والبس معطف المختبر.	اغسل المنطقة المصابة بالماء، وأخبر معلمك بذلك.
المواد السامة	مواد تسبب التسمم إذا ابتُلعت أو استُنشقت أو لمست.	الزئبق، العديد من المركبات الفلزية، اليود، النباتات السامة.	اتبع تعليمات معلمك.	اغسل يديك جيدًا بعد الانتهاء من العمل، واذهب إلى معلمك طلبًا للإسعاف الأولي.
مواد قابلة للاشتعال	بعض الكيماويات التي يسهل اشتعالها بوساطة اللهب، أو الشرر، أو عند تعرضها للحرارة.	الكحول، الكيروسين، الأسيتون، برمنجنات البوتاسيوم، الملابس، الشعر.	تجنب مناطق اللهب المشتعل عند استخدام هذه الكيماويات.	أبلغ معلمك فورًا، واستعمل طفاية الحريق.
اللهب المشتعل	ترك اللهب مفتوحًا يسبب الحريق.	الشعر، الملابس، الورق، المواد القابلة للاشتعال.	اربط الشعر إلى الخلف، ولا تلبس الملابس الفضفاضة، واتبع تعليمات المعلم عند إشعال اللهب أو إطفائه.	اغسل يديك جيدًا بعد الاستعمال. واذهب إلى معلمك طلبًا للإسعاف الأولي.

سلامة العين
يجب دائمًا ارتداء نظارات واقية عند العمل في المختبر.

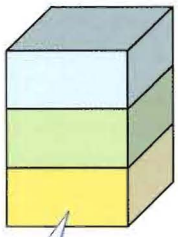
وقاية الملابس
يظهر هذا الرمز على عبوات المواد التي يمكن أن تبقع الملابس أو تحرقها.

سلامة الحيوانات
يشير هذا الرمز إلى التأكيد على سلامة الحيوانات.

نشاط إشعاعي
يظهر هذا الرمز عندما تستعمل مواد مشعة.

غسل اليدين
اغسل يديك بعد كل تجربة بالماء والصابون قبل نزع النظارات الواقية.

الجدول الدوري للعناصر



يدل لون صندوق كل عنصر على كونه فلزًّا أو شبه فلز أو لافلز.

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)	* Ununnium 111 Uuu (272)	* Ununbium 112 Uub (285)		* Ununquadium 114 Uuq (289)		** 116		** 118

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)

* أسماء رموز العناصر 111 إلى 114 مؤقتة، وسيتم اختيار أسماء نهائية لها عند التأكد من اكتشافها.

** كان يظن أن العنصرين 116 و 118 قد تم تكوينهما، ولكن تم التراجع عن ذلك؛ لأنه لم يمكن إعادة التجارب المتعلقة بهما.

جداول مرجعية

