

تم تحميل وعرض المادة من

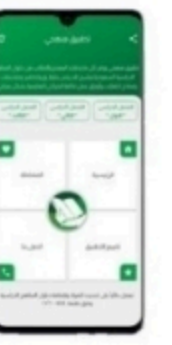
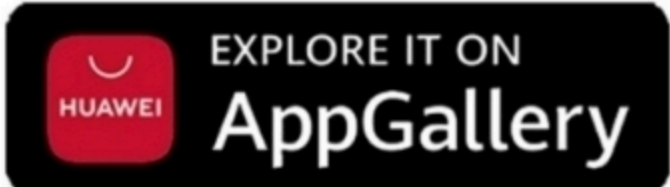
# منهجي

mnhaji.com



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

حمل تطبيق منهجي ليصلك كل جديد



قررت وزارة التعليم تدرّس  
هذا الكتاب وطبعه على نفقتها



المملكة العربية السعودية

# الكيمياء 3

التعليم الثانوي - نظام المسارات  
السنة الثالثة

قام بالتأليف والمراجعة  
فريق من المتخصصين

ح) وزارة التعليم ، 1444هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر  
وزارة التعليم

الكيمياء 3. / وزارة التعليم. - الرياض ، 1444هـ .  
178 ص ؛ 21 X 27,5 سم

ردمك : 8-329-511-603-978

1- الكيمياء - تعليم - السعودية 2- التعليم الثانوي - السعودية -  
كتب دراسية. أ. العنوان  
ديوي 540,712 1444 /2767

رقم الإيداع : 1444/2767

ردمك : 8-329-511-603-978

حقوق الطبع والنشر محفوظة لوزارة التعليم

[www.moe.gov.sa](http://www.moe.gov.sa)

مواد إثرائية وداعمة على "منصة عين الإثرائية"



[ien.edu.sa](http://ien.edu.sa)

أعضاء المعلمين و المعلمات، والطلاب و الطالبات، وأولياء الأمور ، وكل مهتم بالتربية و التعليم؛  
يسعدنا تواصلكم؛ لتطوير الكتاب المدرسي، ومقترحاتكم محل اهتمامنا.



[fb.ien.edu.sa](http://fb.ien.edu.sa)



وزارة التعليم

Ministry of Education

2023 - 1445

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



وزارة التعليم

Ministry of Education

2023 - 1445

## المخاطر والاحتياطات اللازم مراعاتها

رموز السلامة	المخاطر	الأمثلة	الاحتياطات	العلاج
 التخلص من المخلفات	مخلفات التجربة قد تكون ضارة بالإنسان.	بعض المواد الكيميائية، والمخلوقات الحية.	لا تتخلص من هذه المواد في المفضلة أو في سلة المهملات.	تخلص من المخلفات وفق تعليمات المعلم.
 ملوثات حيوية بيولوجية	مخلوقات ومواد حية قد تسبب ضرراً للإنسان.	البكتيريا، الفطريات، الدم، الأنسجة غير المحفوظة، المواد النباتية.	تجنب ملامسة الجلد لهذه المواد، وارتد كمامة وقفازين.	أبلغ معلمك في حالة حدوث ملامسة للجسم، واغسل يديك جيداً.
 درجة الحرارة المؤذية	الأشياء التي قد تحرق الجلد بسبب حرارتها أو برودتها الشديدين.	غليان السوائل، السخانات الكهربائية، الجليد الجاف، النيتروجين السائل.	استعمال قفازات واقية.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
 الأجسام الحادة	استعمال الأدوات والزجاجات التي تجرح الجلد بسهولة.	المقصات، الشفرات، السكاكين، الأدوات المدببة، أدوات التشريح، الزجاج المكسور.	تعامل بحكمة مع الأداة، واتبع إرشادات استعمالها.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
 الأبخرة الضارة	خطر محتمل على الجهاز التنفسي من الأبخرة.	الأمونيا، الأستون، الكبريت الساخن، كرات العث (النضالين).	تأكد من وجود تهوية جيدة، ولا تشم الأبخرة مباشرة، وارتد كمامة.	اترك المنطقة، وأخبر معلمك فوراً.
 الكهرباء	خطر محتمل من الصعقة الكهربائية أو الحريق.	تأريض غير صحيح، سائل منسكب، تماس كهربائي، أسلاك معزلة.	تأكد من التوصيلات الكهربائية للأجهزة بالتعاون مع معلمك.	لا تحاول إصلاح الأعطال الكهربائية، واستعن بمعلمك فوراً.
 المواد المهيجة	مواد قد تهيج الجلد أو الغشاء المخاطي للفتاة التنفسية.	حبوب اللقاح، كرات العث، سلك المواعين، ألياف الزجاج، برمنجنات البوتاسيوم.	ضع واقياً للغبار، وارتد قفازين، وتعامل مع المواد بحرص شديد.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
 المواد الكيميائية	المواد الكيميائية التي قد تتفاعل مع الأنسجة والمواد الأخرى وتلتفها.	المبيضات مثل فوق أكسيد الهيدروجين والأحماض كحمض الكبريتيك، القواعد كالأمونيا وهيدروكسيد الصوديوم.	ارتد نظارة واقية، وقفازين، ولبس معطف المختبر.	اغسل المنطقة المصابة بالماء، وأخبر معلمك بذلك.
 المواد السامة	مواد تسبب التسمم إذا ابتلعت أو استنشقت أو لمست.	الزئبق، العديد من المركبات الفلزية، اليود، النباتات السامة.	اتبع تعليمات معلمك.	اغسل يديك جيداً بعد الانتهاء من العمل، واذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
 مواد قابلة للاشتعال	بعض الكيماويات يسهل اشتعالها باللهب، أو بالشرر، أو عند تعرضها للحرارة.	الكحول، الكيروسين، الأستون، برمنجنات البوتاسيوم، الملابس، الشعر.	تجنب مناطق اللهب عند استخدام الكيماويات.	أبلغ معلمك طلباً للإسعاف الأولي، واستخدم مطفأة الحريق إن وجدت.
 اللهب المشتعل	ترك اللهب مفتوحاً يسبب الحريق.	الشعر، الملابس، الورق، المواد القابلة للاشتعال.	اربط الشعر إلى الخلف (للطالبات)، ولا تلبس الملابس الفضفاضة، واتبع تعليمات المعلم عند إشعال اللهب أو إطفائه.	أبلغ معلمك طلباً للإسعاف الأولي، واستخدم مطفأة الحريق إن وجدت.

 غسل اليدين	 سلامة العين
اغسل يديك بعد كل تجربة بالماء والصابون قبل نزع النظارة الواقية.	يجب دائماً ارتداء نظارة واقية عند العمل في المختبر.
 نشاط إشعاعي	 وقاية الملابس
يظهر هذا الرمز عند استعمال مواد مشعة.	يظهر هذا الرمز عندما تسبب المواد بقعاً أو حريقاً للملابس.



## الإسعافات الأولية في المختبر

أخبر معلمك في الحال عن أي حوادث قد تقع، وعليك أن تكون على علم بما يلي:

- احتياطات السلامة في المختبر.
- كيف ومتى تبلغ عن حادث، أو إصابة أو جرح، أو مادة مسكوبة.
- مكان صندوق الإسعافات الأولية ومستلزماتها، ومواقع كل من أجهزة إنذار الحريق والهاتف ومكتب الممرض في المدرسة.

الموقف	الاستجابة الآمنة
الحروق	يُسكب عليها الماء البارد بغزارة .
الجروح والكدمات	اتباع التعليمات والإرشادات الموجودة في صندوق الإسعافات الأولية.
الصدمة الكهربائية	تزويد الشخص بالهواء المنعش، وتمديد الشخص المصاب في وضع يكون فيه الرأس منخفضاً عن باقي الجسم، وإجراء عملية التنفس الاصطناعي إذا كان ضرورياً.
الإغماء أو الإنهيار	ارجع إلى الإستجابة في موقف الصدمة الكهربائية.
الحريق	إقفال جميع مصادر اللهب وإغلاق صناديق الغاز، ولف المصاب ببطانية الحريق، استعمال طفاية الحريق لإخماد النار. لا يجب استخدام الماء لإطفاء الحريق؛ لأن الماء يتفاعل مع المواد المحترقة، مما يتسبب في ازدياد الحريق.
مادة مجهولة في العين	غسل العين بالماء النظيف.
التسمم	معرفة العامل المسبب للتسمم، وإبلاغ المعلم للقيام باللائم.
النزف الشديد	الضغط على الجرح لوقف النزيف، وطلب المساعدة الطبية في الحال.
المواد المسكوبة	غسل المنطقة المصابة بكمية كبيرة من الماء.



## بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

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

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

ويأتي كتاب الكيمياء 3 لنظام المسارات السنة الثالثة في التعليم الثانوي داعماً لرؤية المملكة العربية السعودية (2030) نحو الاستثمار في التعليم "عبر ضمان حصول كل طالب على فرص التعليم الجيد وفق خيارات متنوعة"، بحيث يكون الطالب فيها هو محور العملية التعليمية. والكيمياء فرع من العلوم الطبيعية يتعامل مع بنية المادة ومكوناتها وخصائصها النشطة. ولأن المادة هي كل شيء يشغل حيزاً في الفراغ وله كتلة، إذن فالكيمياء تهتم بدراسة كل شيء يحيط بنا، ومن ذلك السوائل التي نشربها، والغازات التي نتنفسها، والمواد التي يتكون منها جهازنا الخلوي، وطبيعة الأرض تحت أقدامنا. كما تهتم بدراسة جميع التغيرات والتحويلات التي تطرأ على المادة. فالنفط الخام يحوّل إلى منتجات نفطية قابلة للاستخدام بطرائق كيميائية، وكذلك تحويل بعض المنتجات النفطية إلى مواد بلاستيكية. والمواد الخام المعدنية يستخلص منها الفلزات التي تستخدم في العديد من الصناعات الدقيقة، وفي صناعة السيارات والطائرات. والأدوية المختلفة تستخلص من مصادر طبيعية ثم تفصل وتركب في مختبرات كيميائية. ويتم في هذه المختبرات تعديل مواصفات هذه الأدوية لتتوافق مع المواصفات الصيدلانية، وتلبي متطلبات الطب الحديث. وقد تم بناء محتوى كتاب الطالب بطريقة تتيح ممارسة العلم كما يمارسه العلماء، وجاء تنظيم المحتوى بأسلوب مشوق يعكس الفلسفة التي بنيت عليها سلسلة مناهج العلوم من حيث إتاحة الفرص المتعددة للطالب لممارسة الاستقصاء العلمي بمستوياته المختلفة، المبني والموجه والمفتوح. فقبل البدء في دراسة محتوى كل فصل من فصول الكتاب، يقوم الطالب بالاطلاع على الفكرة العامة للفصل التي تقدم صورة شاملة عن محتواه. ثم يقوم بتنفيذ أحد أشكال الاستقصاء المبني تحت عنوان التجربة الاستهلالية التي تساعد أيضاً على تكوين النظرة الشاملة عن محتوى الفصل. وتتيح التجربة الاستهلالية في نهايتها ممارسة شكل آخر من أشكال الاستقصاء الموجه من خلال سؤال الاستقصاء المطروح. وتتضمن النشاطات التمهيدية للفصل إعداد مطوية تساعد على تلخيص أبرز الأفكار والمفاهيم التي سيتناولها الفصل. وهناك أشكال أخرى من



النشاطات الاستقصائية الأخرى التي يمكن تنفيذها من خلال دراسة المحتوى، ومنها مختبرات تحليل البيانات، أو حل المشكلات، أو التجارب العملية السريعة، أو مختبر الكيمياء في نهاية كل فصل، الذي يتضمن استقصاءً مفتوحاً في نهايته، بما يُعزز أيضاً مبدأ رؤية (2030) "نتعلم لنعمل". وعندما تبدأ دراسة المحتوى تجد في كل قسم ربطاً بين المفردات السابقة والمفردات الجديدة، وفكرة رئيسة خاصة بكل قسم ترتبط مع الفكرة العامة للفصل. وستجد أدوات أخرى تساعدك على فهم المحتوى، منها ربط المحتوى مع واقع الحياة، أو مع العلوم الأخرى، وشرحاً وتفسيراً للمفردات الجديدة التي تظهر مظلمة باللون الأصفر، وتجد أيضاً أمثلة محلولة يليها مسائل تدريبية تعمق معرفتك وخبراتك في فهم محتوى الفصل. وتضمّن كل قسم مجموعة من الصور والأشكال والرسوم التوضيحية بدرجة عالية الوضوح تعزز فهمك للمحتوى. وتجد أيضاً مجموعة من الشروح والتفسيرات في هوامش الكتاب، ومنها ما يتعلق بالربط بمحاور رؤية (2030) وأهدافها الاستراتيجية، وبالمهنة أو التمييز بين الاستعمال العلمي والاستعمال الشائع لبعض المفردات، أو إرشادات للتعامل مع المطوية التي تعدها في بداية كل فصل.

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

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





# قائمة المحتويات

## دليل الطالب

كيف تستفيد من كتاب الكيمياء؟ ..... 9

## الفصل 1

المخاليط والمحاليل ..... 12

1-1 أنواع المخاليط ..... 14

1-2 تركيز المحلول ..... 19

1-3 العوامل المؤثرة في الذوبان ..... 29

1-4 الخواص الجامعة للمحاليل ..... 38

في الميدان: مهن: كيميائي البيئة ..... 45

## الفصل 2

الأحماض والقواعد ..... 54

2-1 مقدمة في الأحماض والقواعد ..... 56

2-2 قوة الأحماض والقواعد ..... 66

2-3 أيونات الهيدروجين والرقم الهيدروجيني ..... 72

2-4 التعادل ..... 81

الكيمياء من واقع الحياة: تفاعلات الأحماض  
والقواعد وعملية الخبز ..... 91

## الفصل 3

تفاعلات الأكسدة والاختزال ..... 102

3-1 الأكسدة والاختزال ..... 104

3-2 وزن معادلات الأكسدة والاختزال ..... 113

في الميدان: المهنة: محقق البحث الجنائي ..... 121

## الفصل 4

الكيمياء الكهربائية ..... 132

4-1 الخلايا الجلفانية ..... 134

4-2 البطاريات ..... 144

4-3 التحليل الكهربائي ..... 154

كيف تعمل الأشياء؟ منظم ضربات القلب ..... 159

## الملاحق

المصطلحات ..... 170

الجدول الدوري ..... 176



# كيف تستفيد من كتاب الكيمياء؟

هذا الكتاب ليس كتاباً أدبياً أو رواية خيالية، بل يصف ظواهر ونظريات وقوانين وحقائق علمية، ويربطها بحياة الناس، وتطبيقات تقنية؛ لذا فأنت تقرؤه طلباً للعلم والمعلومات. وفيما يلي بعض الأفكار والإرشادات التي تساعدك على قراءته:

## قبل أن تقرأ

اقرأ كلاً من **الفكرة العامة** و **الفكرة الرئيسية** و **التجربة الاستهلاية**؛ فهي تزودك بنظرة عامة تمهيدية لهذا الفصل.

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

### 1 المخاليط والمحاليل

#### Mixtures and Solutions

**الفكرة العامة** معظم السوائل والغازات والمواد الصلبة التي نكوّن عالمنا مخلوطات.

**1-1 أنواع المخاليط** **الفكرة الرئيسية** المخاليط إما متجانسة أو غير متجانسة.

**1-2 تركيز المحلول** **الفكرة الرئيسية** يمكن التعبير عن التركيز بدلالة النسبة المئوية أو المولات.

**1-3 العوامل المؤثرة في الذوبان** **الفكرة الرئيسية** يتأثر ذوبان المحلول بعوامل منها الحرارة والضغط والقطبية.

**1-4 الخواص الجامعة للمحاليل** **الفكرة الرئيسية** تعتمد الخواص الجامعة على عدد جسيمات الذائب في المحلول.

**حقائق كيميائية**

- يتنج حوالي 42.3% من القولاذ سنوياً عن إعادة التدوير.
- الحديد هو لكون أساسي للقنوات، لكن يمكن إعادة تدويره - منها النيكل والكروم والنيوبيوم والتنجستن - بحسب الإضافات المطلوبة.
- يستعمل الأسمنت في صناعة الخرسانة والأسمنتية ومواد البناء لتقريبها، وجعلها تتحمل العوامل البيئية العادية.
- يتنج نحو 6 بلايين متر مكعب من المخلوقات الأسمنتية سنوياً. أي ما يعادل 1 متر مكعب (1m<sup>3</sup>) لكل شخص سنوياً.

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

## لتحصل على رؤية عامة عن الفصل

- اقرأ عنوان الفصل لتتعرف موضوعاته.
- تصفح الصور والرسوم والتعليقات والجداول.
- ابحث عن المفردات البارزة والمظللة باللون الأصفر.
- اعمل مخططاً للفصل باستخدام العناوين الرئيسية والعناوين الفرعية.

## نشاطات تمهيدية

### تجربة استهلاية

كيف تتغير الطاقة عند تكوين المحاليل؟

تغير الطاقة عند تكوين المحلول نتيجة تأثير قوتين: قوى التجاذب بين الجسيمات الذائبة في المحلول، وقوة التجاذب بين جسيمات الذائب والمذيب معاً. كيف يمكن ملاحظة هذا التغير؟



خطوات العمل

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. زن 10 g من كلوريد الأمونيوم NH<sub>4</sub>Cl، ثم ضعها في كأس سعتها 100 mL.
3. قس 30 mL من الماء بمخبار مدرج سعة 50 mL، ثم أضيف الماء إلى NH<sub>4</sub>Cl في الكأس، وحرك المحلول بساق التحريك.
4. تحسس أسفل الكأس من الخارج، وسجل ملاحظتك.
5. كرر الخطوات 2-4 مستخدماً كلوريد الكالسيوم CaCl<sub>2</sub> بدلاً من NH<sub>4</sub>Cl.
6. قفص من المحاليل بسكبتها في الغسلة.

التحليل

1. قارن أي العمليتين السابقتين كانت طاردة للحرارة، وأيها كانت ماصة لها؟
  2. استنتج اكتب أمثلة من واقع حياتك على عمليات ذوبان طاردة للحرارة، وأخرى ماصة لها.
- استقصاء: إذا أردت زيادة التفسير في درجة الحرارة، فأجباً يجب إضافته بكمية أكبر: الذائب أم المذيب؟ قس وإجابتك.

**المعلومات** التركيز اعمل الطوية الآلية لتساعدك على تنظيم المعلومات حول تراكيز المحاليل.

- الخطوة 1** املأ ورقين من النصف أمتراً.
- الخطوة 2** انقع 3 cm صل طول عطف التي لإحدى الورقين من كلا الجانبين. وقص الورقة الثانية على طول عطف التي أيضاً من وسطها مع تسرك 3 cm من كلا الجانبين دون قص.

- الخطوة 3** أدخل الورقين لإحداهما في الأخرى لعمل كتاب من أربع صفحات.

**ملاحظات** استعمل هذه الطوية مع القسم 1-2 في أثناء فوائك هذا القسم، استعمل الطوية لتسجيل ما تعلمته عن طرق التعبير عن تراكيز المحاليل، مستخدماً بأمانة حسابية.

# كيف تستفيد من كتاب الكيمياء؟

## عندما تقرأ

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

الربط مع الحياة: يصف ارتباط المحتوى مع الواقع.

### 1-1

الأهداف

- تصنيف أنواع المخاليط غير المتجانسة والمخاليط المتجانسة (المحاليل).
- تقارن بين خصائص المخاليط المنسقة والمخاليط الغروية والمحاليل.
- تصنيف القوى الكهروستاتيكية في المخاليط الغروية.

مراجعة المفردات

المذابة، مادة تسفوف في اللبني لتكوين الحليب.

المفردات الجديدة

المخلوط المعلق، المخلوط الغروي، الحركة البراونية، تأثير تندال، المادة الذاتية، المادة غير الذاتية.



### أنواع المخاليط Types of Mixtures

المخاليط إما متجانسة أو غير متجانسة.

الربط مع الحياة إذا ملأت كأساً زجاجية بياه البحر فسوف تلاحظ أن بعض المواد تترسب في قاع الكأس، وبظل الماء مالخاً متعباً مر من الوقت. لماذا تترسب بعض المواد دون غيرها؟

#### المخاليط غير المتجانسة Heterogeneous Mixtures

لا بد أنك تتذكر أن الخلوط مزيج من مادتين تقين أو أكثر، تحفظ فيه كل مادة بخصائصها الكيميائية، وأن المخاليط غير المتجانسة لا تفرغ مكوّناتها تماماً معاً أي يمكن تمييز كل منها. هناك نوعان من المخاليط غير المتجانسة، هما المعلق والغروي.

**المخلوط المعلق** خلوط غير متجانس يحتوي على جسيمات يمكن أن تترسب بالترويق؛ وذلك بتركه فترة دون تحريك. انظر الشكل 1-1 فالحل الذي تشاهده مخلوط معلق. وعند ترويق المخلوط المعلق السائل خلال ورقة ترشيح تفصل الجسيمات المعلقة. وقد تتصل بعض المخاليط المعلقة إلى طبقتين واضحتين إذا تركت لفترة دون تحريك؛ حيث تكون مادة شبه صلبة في القاع، وسائل فوقها، ولكن عند تحريك المخلوط المعلق سرعان ما تبدأ المادة شبه الصلبة في الانسياب، وكأنها سائل. وهناك أنواع من العطين تتحول إلى مادة شبه صلبة بسرعة استجابة للوزن أو الحرارة، وهي تستخدم في مناطق الزلازل الأرضية، فتشيد الباني فوقها.



الشكل 1-1 يمكن فصل المخلوط المعلق إذا تركه دون تحريك فترة من الزمن. ثم فصله بالترشيح.

14

الأمثلة المحلولة تنقلك تدريجياً إلى حل مسائل في الكيمياء. عزز المهارات التي اكتسبتها بحل التدريبات.

## مهارات قرائية

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

10

### المعطيات

أدخل معلومات من هذا القسم في مطبقك. النسبة المئوية بدلالة الكتلة هي نسبة كتلة الذائب إلى كتلة المحلول، ويعبر عنها بنسبة مئوية. وكتلة المحلول هي مجموع كتل الذائب والمذيب.

$$\text{النسبة المئوية بدلالة الكتلة} = \frac{\text{كتلة الذائب}}{\text{كتلة المحلول}} \times 100$$

### مثال 1-1

حساب النسبة المئوية بدلالة الكتلة 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 بدلالة الكتلة لكلوريد الصوديوم NaCl في المحلول؟

#### 1 تحليل المسألة

إن كتلة كلوريد الصوديوم في 100 g ماء معروفة. والنسبة المئوية بدلالة الكتلة هي نسبة كتلة الذائب إلى كتلة المحلول (التي هي مجموع كتل الذائب والمذيب معاً).

المعطيات	المطلوب
كتلة الذائب = 3.6 g = NaCl	النسبة المئوية = ؟
كتلة المذيب = 100 g = H <sub>2</sub> O	

#### 2 حساب المطلوب

أوجد كتلة المحلول  
كتلة المحلول = كتلة المذيب + كتلة الذائب  
عوض عن كتلة الذائب = 3.6 g، وكتلة المذيب = 100.0 g  
3.6 g + 100.0 g = 103.6 g  
احسب النسبة المئوية بدلالة الكتلة  
اكتب معادلة النسبة المئوية بدلالة الكتلة

$$\text{النسبة المئوية بدلالة الكتلة} = \frac{\text{كتلة الذائب}}{\text{كتلة المحلول}} \times 100$$

$$\text{عوض عن كتلة الذائب} = 3.6 \text{ g، وكتلة المحلول} = 103.6 \text{ g}$$

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

#### 3 تقويم الإجابة

تكون النسبة المئوية بدلالة الكتلة صغيرة؛ لأن كتلة كلوريد الصوديوم الذائب في 100 g ماء صغيرة.

#### مسائل تدريبية

- ما النسبة المئوية بدلالة الكتلة لمحلول يحتوي على 20.0 g من كربونات الصوديوم القيدروجينية NaHCO<sub>3</sub> مذابة في 600.0 mL من الماء H<sub>2</sub>O؟
- إذا كانت النسبة المئوية بدلالة الكتلة فيسولوريت الصوديوم NaOCl في محلول مبيض الملابس هي 3.62%، وكان لديك 1500.0 g من المحلول فما كتلة NaOCl في المحلول؟
- ما كتلة المذيب في المحلول المذكور في السؤال 10؟
- تحضير النسبة المئوية لكتلة كلوريد الكالسيوم في محلول هي 2.62%، فإذا كانت كتلة كلوريد الكالسيوم الذائب في المحلول 50.0 g فما كتلة المحلول؟

20

# كيف تستفيد من كتاب الكيمياء؟

## بعدها قرأت

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

### التقويم 1-1

- الخلاصة**
1. يمكن تمييز مكونات الخلوط غير المتجانس.
  2. هناك نوعان من الخليط غير المتجانس، هما المعلق والغروي.
  3. الحركة البراونية حركة عشوائية لجسيمات الخلوط الغروي.
  4. تظهر الخليط الغروية والمعلقة تأثير تدال.
  5. قد يوجد المحلول في إحدى الحالات الفيزيائية الثلاث: السائلة أو الغازية أو الصلبة، اعتماداً على الحالة الفيزيائية للمذيب.
  6. يمكن أن يكون المذاب في المحلول غازاً أو سائلاً أو صلباً.
- الأسئلة الرئيسية**
1. صف خصائص الخليط مستخدماً ما هو البحر كمثال.
  2. مَيِّز بين الخلوط الغروي والخلوط المعلق.
  3. حدِّد الأنواع المختلفة للمحاليل.
  4. فسر مستخدماً تأثير تدال، لماذا تكون قيادة السيارات خلال أجواء الضباب باستخدام الأسوار العالية أصعب من القيادة باستخدام الأسوار المنخفضة؟
  5. اذكر الأنواع المختلفة للمحاليل الغروية.
  6. فسر لماذا تبقى جسيمات المذاب في الخلوط الغروي منتشرة فيه؟
  7. لخص ما الذي يسبب الحركة البراونية؟
  8. قارن تَمَرِّن جدولاً تقارن فيه بين خصائص الخلوط المعلق والخلوط الغروي والمحلول.

18

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

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

## طرائق أخرى للمراجعة

- اكتب الفكرة العامة.
- اربط الفكرة الرئيسية 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.

## دليل مراجعة الفصل

1

الفكرة العامة معظم السوائل والغازات والمواد الصلبة التي نكوّن عالمنا مخلوط.

1-1 أنواع الخليط	الأفكار الرئيسية
<ul style="list-style-type: none"> <li>المفردات: الخلوط المعلق، الخلوط الغروي، الحركة البراونية.</li> <li>تأثير تدال، المادة الذائبة، المادة غير الذائبة.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>يمكن تمييز مكونات الخلوط غير المتجانس.</li> <li>هناك نوعان من الخليط غير المتجانس، هما المعلق والغروي.</li> <li>الحركة البراونية حركة عشوائية لجسيمات الخلوط الغروي.</li> <li>تظهر الخليط الغروية والمعلقة تأثير تدال.</li> <li>قد يوجد المحلول في إحدى الحالات الفيزيائية الثلاث: السائلة أو الغازية أو الصلبة، اعتماداً على الحالة الفيزيائية للمذيب.</li> <li>يمكن أن يكون المذاب في المحلول غازاً أو سائلاً أو صلباً.</li> </ul>
1-2 تركيز المحلول	الأفكار الرئيسية
<ul style="list-style-type: none"> <li>المفردات: التركيز، النسبة المئوية أو المولات.</li> <li>التركيز، المولية.</li> <li>المولية، الكسر المولي.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>يمكن التعبير عن التركيز بدلالة النسبة المئوية أو المولات.</li> <li>يقاس التركيز كشأ ونوعاً.</li> <li>المولية هي عدد مولات المذاب في 1 L من المحلول.</li> <li>المولية هي نسبة عدد مولات المذاب في 1 kg من المذيب.</li> <li>عدد المولات قبل التخفيف = عدد المولات بعد التخفيف <math>M_1V_1 = M_2V_2</math></li> </ul>
1-3 العوامل المؤثرة في الذوبان	الأفكار الرئيسية
<ul style="list-style-type: none"> <li>المفردات: الحرارة والضغط والتقطيع، الذوبان، حرارة الذوبان، المحلول فوق التشبع، المحلول غير التشبع.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>تتضمن عملية الذوبان إحاطة جسيمات المذيب بجسيمات المذاب.</li> <li>يكون المحلول غير مشبع أو مشبعاً أو فوق مشبع.</li> <li>ينص قانون هنري على أن ذائبية الغاز في سائل تتناسب طردياً مع ضغط الغاز فوق السائل عند درجة حرارة معينة.</li> </ul>
1-4 الخواص الجامعة للمحاليل	الأفكار الرئيسية
<ul style="list-style-type: none"> <li>المفردات: جسيمات المذاب في المحلول، الخواص الأسموزية، الانخفاض في الضغط البخاري، الانخفاض في درجة الغليان، الضغط الأسموزي، الانخفاض في درجة التجمد.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>تعتمد الخواص الجامعة على عدد جسيمات المذاب في المحلول.</li> <li>تقلل المواد الذائبة غير المتطايرة الضغط البخاري للمحلول.</li> <li>يرتبط الانخفاض في درجة الغليان مباشرة بمولية المحلول.</li> <li>يكون الانخفاض في درجة التجمد للمحلول أقل من درجة تجمد المذيب النقي.</li> <li>يعتمد الضغط الأسموزي على عدد جسيمات المذاب في حجم معين.</li> </ul>

47



خرسانة أسمنتية

**الفكرة العامة** معظم السوائل والغازات والمواد الصلبة التي تكوّن عالمنا مخاليط.

### 1-1 أنواع المخاليط

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

### 1-2 تركيز المحلول

**الفكرة الرئيسية** يمكن التعبير عن التركيز بدلالة النسبة المئوية أو المولات.

### 1-3 العوامل المؤثرة في الذوبان

**الفكرة الرئيسية** يتأثر تكوّن المحلول بعوامل، منها الحرارة والضغط والقطبية.

### 1-4 الخواص الجامعة للمحاليل

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

## حقائق كيميائية

- ينتج حوالي 42.3% من الفولاذ سنوياً 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 و مواد البناء لتقويتها، وجعلها تتحمل العوامل البيئية العادية.
- ينتج نحو 6 بلايين متر مكعب من الخلطات الأسمنتية سنوياً. أي ما يعادل 1 متر مكعب (1m<sup>3</sup>) لكل شخص سنوياً.



فولاذ

## نشاطات تمهيدية

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

### المطويات

منظمات الأفكار



**الخطوة 1** اطو ورقتين من المنتصف أفقيًا.

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



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

**المطويات** استعمل هذه المطوية مع القسم 1-2

في أثناء قراءتك لهذا القسم، استعمل المطوية لتسجيل ما تعلمته عن طرائق التعبير عن تراكيز المحاليل، مستعينًا بأمثلة حسابية.

## تجربة استهلاكية

كيف تتغير الطاقة عند تكوين المحاليل؟

تتغير الطاقة عند تكوين المحلول نتيجة تأثير قوتين: قوى التجاذب 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 ملاحظتك.
5. كرر الخطوات 2-4 مستعملًا كلوريد الكالسيوم  $CaCl_2$  بدلاً من  $NH_4Cl$ .
6. تخلص من المحاليل بسكبها في المغسلة.

### التحليل

1. قارن أي العمليتين السابقتين كانت طاردة للحرارة، وأيها 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.





# 1-1

## الأهداف

- تعرف أنواع المخاليط غير المتجانسة والمخاليط المتجانسة (المحاليل).
- تقارن بين خصائص المخاليط المعلقة والمخاليط الغروية والمحاليل.
- تصف القوى الكهروستاتيكية 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 الرئيسية** المخاليط إما متجانسة أو غير متجانسة.

**الربط مع الحياة** إذا ملأت كأسًا زجاجية بهاء البحر فسوف تلاحظ أن بعض المواد تترسب في قاع الكأس، ويظل الماء مالحًا مَهْمَا 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 تمامًا معًا؛ أي يمكن تمييز كل منها. هناك نوعان من المخاليط غير المتجانسة، هما المعلق والغروي.

**المخلوط المعلق** مخلوط غير متجانس يحتوي على جسيمات يمكن أن تترسب بالترويق؛ وذلك بتركة فترة دون تحريك. انظر الشكل 1-1؛ 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 تتكون مادة شبه صلبة في القاع، وسائل فوقها، ولكن عند تحريك المخلوط المعلق سرعان ما تبدأ المادة شبه الصلبة في الانسياب، وكأنها سائل. وهناك أنواع من الطين تتحول إلى مادة شبه صلبة بسرعة؛ استجابة للهز أو الحركة، وهي تستخدم في مناطق الزلازل الأرضية، فتشيد المباني فوقها.



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



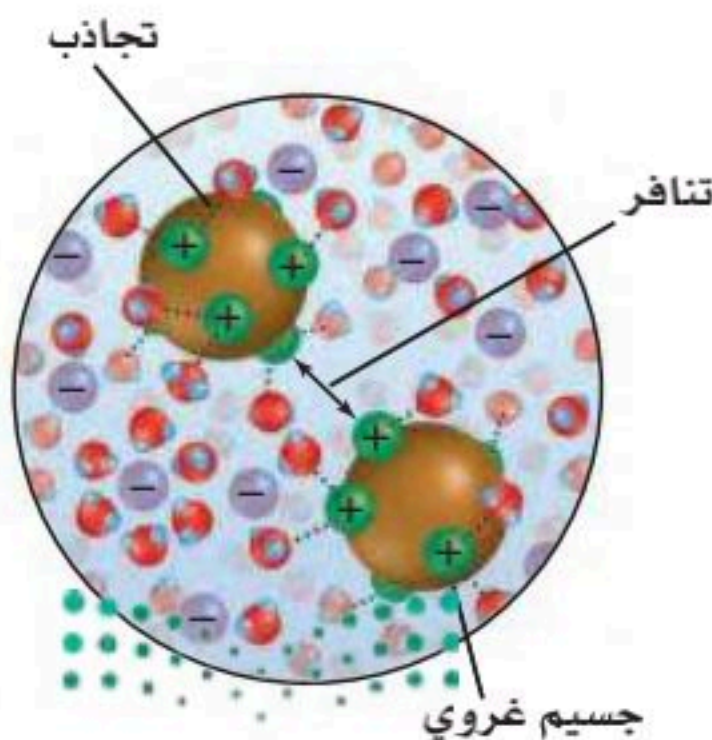
أنواع المخاليط الغروية وأمثلة عليها			الجدول 1-1
وسط الانتشار	الجسيمات المنتشرة	مثال	التصنيف
صلب	صلب	الأحجار الكريمة الملونة	صلب في صلب
سائل	صلب	الدم، الجيلاتين	صلب في سائل
صلب	سائل	الزبد، الجبن	مستحلب صلب
سائل	سائل	الحليب، المايونيز	مستحلب
صلب	غاز	الصابون الذي يطفو، حلوى الخطمي	رغوة صلبة
غاز	صلب	الدخان، الغبار في الهواء	* الهباء الجوي الصلب
غاز	سائل	الغيوم، الضباب، رذاذ مزيل العرق	* الهباء الجوي السائل

**المخاليط الغروية** لأن أحجام جسيمات المخلوطة المعلق أكبر كثيراً من أحجام جسيمات الوسط فإنها قد تترسب في المخلوطة. ويسمى المخلوطة غير المتجانس الذي يتكون من جسيمات متوسطة الحجم **المخلوطة الغروية**. وتتراوح أقطار الجسيمات في المخلوطة الغروية بين 1 nm و 1000 nm، ولا تترسب. فعلى سبيل المثال، يعد الحليب مخلوطاً غروبياً لا يمكن فصل مكوناته المتجانسة بالترويق أو الترشيح.

تسمى المادة الأكثر توافراً في المخلوطة وسط الانتشار. وتصنف المخاليط الغروية تبعاً للحالة الفيزيائية لكل من الجسيمات المنتشرة ووسط الانتشار. فالحليب مستحلب غروي؛ لأن الجسيمات المنتشرة السائلة تنتشر بين جسيمات وسط الانتشار السائل. ويظهر الجدول 1-1 وصف أنواع أخرى من المخاليط الغروية. تمنع الجسيمات المنتشرة من الترسب في المخاليط الغروية؛ وذلك لوجود مجموعات ذرية أو قطبية مشحونة على سطحها، تقوم بجذب المناطق الموجبة أو السالبة لجسيمات وسط الانتشار، فتتكون طبقات كهروستاتيكية حول الجسيمات، كما هو موضح في الشكل 1-2، مما يجعل الطبقات يتنافر بعضها مع بعض عندما تصطدم الجسيمات المنتشرة معاً، لذا تبقى الجسيمات في المخلوطة الغروية ولا تترسب.

وإذا تدخلنا في الطبقات الكهروستاتيكية فسوف تترسب الجسيمات المنتشرة في المخلوطة الغروية. فعند تحريك مادة متأينة (إلكتروليتية) في مخلوط غروي مثلاً تتجمع الجسيمات المنتشرة معاً، وتلف المخلوطة الغروية. كما أن التسخين أيضاً يتلف المخلوطة الغروية؛ لأن الحرارة تعطي الجسيمات المتصادمة طاقة حركية كافية للتغلب على القوى الكهروستاتيكية، ثم ترسبها في المخلوطة.

الشكل 1-2 تـكون جسيمات الوسط طبقات مشحونة حول الجسيمات المنتشرة، حيث تتنافر هذه الطبقات بعضها مع بعض، وتمنع الجسيمات المنتشرة من الترسب.





**الحركة البراونية** تتحرك الجسيمات المنتشرة في المخاليط الغروية السائلة حركة عشوائية عنيفة تسمى **الحركة البراونية**. لاحظ عالم النبات الأسكتلندي روبرت براون (1858 - 1773) هذه الحركة أول مرة؛ حيث لاحظ الحركة العشوائية لحبوب اللقاح المتناثرة في الماء، فسُميت باسمه.

تنتج الحركة البراونية عن تصادم جسيمات الوسط مع الجسيمات المنتشرة؛ بحيث تمنع هذه التصادمات الجسيمات المنتشرة من الترسب في المخلول.

**ماذا قرأت؟ اشرح** سببين لعدم ترسب جسيمات المخلول الغروي.

**تأثير تئدال** يظهر المخلول الغروي المركز عادةً معتمًا أو معكراً، ولكن المخلول الغروي المخفف يظهر أحياناً صافياً كالمحاليل. وتبدو المخاليط الغروية المخففة كالمحاليل المتجانسة؛ لأن عدد الجسيمات المنتشرة فيها قليل جداً، إلا أنها تعمل على تشتيت الضوء، وتسمى هذه الظاهرة **تأثير تئدال**. يُظهر الشكل 1-3 مرور حزمة من الضوء في خلال مخلوطين مجهولين. ويمكنك ملاحظة كيف تعمل الجسيمات المنتشرة في المخلول الغروي على تشتيت الضوء.

وتُظهر المخاليط المعلقة أيضاً تأثير تئدال، أما المحاليل فلا يمكن أن تظهر هذه الظاهرة. كما يمكنك ملاحظة تأثير تئدال عندما تشاهد مرور أشعة الشمس خلال الهواء المشبع بالدخان، أو مرور ضوء خلال الضباب. ويستخدم تأثير تئدال في تحديد كمية الجسيمات المنتشرة في المخلول المعلق.

## المخاليط المتجانسة Homogeneous Mixtures

لقد تعلمت سابقاً أن المحاليل مخاليط متجانسة تحتوي على مادتين أو أكثر، تسمى المذاب والمذيب. والمذاب هو المادة التي تذوب. أما المذيب فهو الوسط الذي يذيب المذاب. ولا يمكنك التمييز بين المذاب والمذيب عند النظر إلى المحلول.

**أنواع المحاليل** لقد تعلمت أن معظم التفاعلات الكيميائية تحدث في المحاليل المائية، وهي المحاليل التي يكون فيها الماء مذيباً. فالماء أكثر المذيبات شيوعاً في المحاليل السائلة. وقد توجد المحاليل في أشكال مختلفة، وقد تكون المواد الذائبة في المحاليل غازية أو سائلة أو صلبة، اعتماداً على الحالة الفيزيائية للمذيب، كما هو موضح في الجدول 1-2. الهواء محلول غازي والمذيب فيه هو غاز النيتروجين. وقد تكون أسلاك تقويم الأسنان التي تضعها على أسنانك مصنوعة من التيتانيول، وهو محلول صلب يتكون من التيتانيوم المذاب في النيكل، إلا أن معظم المحاليل تكون في الحالة السائلة.

**تكوين المحاليل** تسمى المادة التي تذوب في المذيب **المادة الذائبة**. فمثلاً ذوبان السكر في الماء حقيقة يمكن أن تكون قد تعلمتها من إذابة السكر في الماء لعمل



(1) (2)

### الشكل 3-1

تشتت الجسيمات في المخلول الغروي الضوء كما يظهر في الشكل (2)، ولا يحدث ذلك في المحلول (شكل 1). ويسمى ذلك تأثير تئدال. لذا ترى حزمة الضوء في المخلول (2) الغروي.

**حدد** أي المخاليط الظاهرة في الصورة غروي؟

## الكيمياء في واقع الحياة

### ظاهرة تئدال



تشكل أشعة الشمس عند مرورها داخل الغيوم لوحة فنية رائعة الجمال بقدرة الله عز وجل. ويمكنك ملاحظة ظاهرة تئدال عند مرور أشعة الشمس من خلال الهواء المشبع بالدخان أو من خلال الضباب أو الغيوم.

## مختبر تحليل البيانات

### تصميم تجربة

#### التفكير الناقد

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

كيف يمكنك قياس التعكّر؟ وضعت هيئة المواصفات والمقاييس لماء الشرب مجموعة من المعايير والمواصفات لضمان سلامته. ومن المواصفات التي يتم مراقبتها التعكّر، وهو مقياس لدرجة الضبابية في الماء، الناتجة عن المواد الصلبة المعلقة في الماء، والتي تكون مرتبطة غالبًا 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 تبدال في قياس تعكّر الماء. والهدف تصميم تجربة وتطوير مقياس لتفسير البيانات.

شراب محلى كالشاي أو عصير الليمون. وتسمى المادتان السائلتان اللتان تذوب إحداهما في الأخرى بأي نسبة المواد القابلة للامتزاج، ومنها مانع التجمد المذكور في الجدول 1-2. وتسمى المادة التي لا تذوب في المذيب مادة غير ذائبة. فالرمل مثلًا لا يذوب في الماء. وتسمى السوائل التي تمتزج معًا فترة قصيرة عند خلطها، ثم تنفصل بعدها - السوائل غير الممتزجة. فالزيت مثلًا لا يمتزج مع الخل؛ أي أن الزيت لا يذوب في الخل.

#### أنواع المحاليل وأمثلة عليها

#### الجدول 1-2

المذاب	المذيب	مثال	أنواع المحاليل
الأكسجين (غاز)	النيتروجين (غاز)	الهواء	غاز
ثاني أكسيد الكربون (غاز)	الماء (سائل)	ماء غازي	سائل
الماء (سائل)	الهواء الجوي (غاز)	الرطوبة	غاز
الإيثيلين جلايكول (سائل)	الماء (سائل)	مانع التجمد	سائل
كلوريد الصوديوم (صلب)	الماء (سائل)	ماء البحر	سائل
الزئبق (سائل)	الفضة (صلب)	ملمغم الأسنان	صلب
الكربون (صلب)	الحديد (صلب)	الفولاذ	صلب

## التقويم 1-1

### الخلاصة

1. **الفكرة الرئيسية** صف خصائص المخاليط مستخدماً ماء البحر كمثال.
  2. ميّز بين المخلوط الغروي والمخلوط المعلق.
  3. حدّد الأنواع المختلفة للمحاليل.
  4. فسر مستخدماً تأثير تندال، لماذا تكون قيادة السيارات خلال أجواء الضباب باستخدام الأنوار العالية أصعب من القيادة باستخدام الأنوار المنخفضة؟
  5. اذكر الأنواع المختلفة للمخاليط الغروية.
  6. فسر لماذا تبقى جسيمات المذاب في المخلوط الغروي منتشرة فيه؟
  7. لخص ما الذي يسبب الحركة البراونية؟
  8. قارن كوّن جدولاً تقارن فيه بين خصائص المخلوط المعلق والمخلوط الغروي والمحلول.
- 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 والمعلقة تأثير تندال.
- قد يوجد المحلول في إحدى الحالات الفيزيائية الثلاث: السائلة أو الغازية أو الصلبة، اعتماداً على الحالة الفيزيائية للمذيب.
- يمكن أن يكون المذاب في المحلول غازاً أو سائلاً أو صلباً.





# 1-2

## الأهداف

- تصف التركيز باستعمال وحدات مختلفة.
- تحدد 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 الرئيسية** يمكن التعبير عن التركيز بدلالة النسبة المئوية أو بالمولات.

**الربط مع الحياة** هل تذوقت يوماً كأس شاي فوجدته مُراً؟ إنك لكي تعدل طعمه سوف 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 Concentration

يعد تركيز المحلول مقياساً يعبر عن كمية المذاب الذائبة في كمية محددة من المذيب أو المحلول. ويمكن التعبير عن التركيز وصفيًا باستعمال كلمة "مركز" أو "مخفف". لاحظ إبريق الشاي في الشكل 1-4؛ 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 المخفف على كمية أقل من المذاب؛ فالشاي الفاتح في الشكل 1-4 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 كميًا. ومن أكثر التعبيرات الكمية عن التركيز شيوعًا النسبة المئوية بالكتلة أو النسبة المئوية بالحجم أو التعبير عن التركيز بدلالة المولات مستخدمًا المولارية أو المولالية. وكل هذه الطرائق تعبر عن التركيز بوصفه نسبة بين كمية المذاب وبين كمية المذيب أو المحلول كله. ويشمل الجدول 1-3 وصفًا لكل طريقة.

كيف يمكن تحديد الطريقة المستخدمة للتعبير عن تركيز المحلول؟ يعتمد استعمال الطريقة على نوع المحلول الذي يتم تحليله، فإذا كان أحد الكيمائيين مثلاً يعمل على تفاعل في محلول مائي فسوف يستعمل المولارية غالبًا للتعبير عن تركيز المحلول؛ لأنه يحتاج إلى معرفة عدد الجسيمات المشاركة في التفاعل.

**الشكل 1-4** تعكس شدة اللون تركيز الشاي، فتركيز الشاي ذو اللون الغامق أعلى من تركيز الشاي ذي اللون الفاتح.



الجدول 1-3	
نسب التركيز	وصف التركيز
النسبة	
$100 \times \frac{\text{كتلة المذاب}}{\text{كتلة المحلول}}$	النسبة المئوية بدلالة الكتلة
$100 \times \frac{\text{حجم المذاب}}{\text{حجم المحلول}}$	النسبة المئوية بدلالة الحجم
$M = \frac{\text{عدد مولات المذاب}}{\text{حجم المحلول (L)}}$	المولارية (التركيز المولاري)
$\frac{\text{عدد مولات المذاب}}{\text{كتلة المذيب kg}}$	المولالية (التركيز المولالي)
$\frac{\text{عدد مولات المذاب أو المذيب}}{\text{عدد مولات المذاب + عدد مولات المذيب}}$	الكسر المولي

### المطويات

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

أدخل معلومات من هذا القسم في مطويتك.

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

### مثال 1-1

**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 بدلالة الكتلة لكلوريد الصوديوم NaCl في المحلول؟

#### 1 تحليل المسألة

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

#### المعطيات

كتلة المذاب = NaCl = 3.6 g

كتلة المذيب = H<sub>2</sub>O = 100 g

#### 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

احسب النسبة المئوية بدلالة الكتلة

اكتب معادلة النسبة المئوية بالكتلة

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

#### 3 تقويم الإجابة

تكون النسبة المئوية بدلالة الكتلة صغيرة؛ لأن كتلة كلوريد الصوديوم الذائبة في 100 g ماء صغيرة.

### مسائل تدريبية

9. ما النسبة المئوية بدلالة الكتلة لمحلول يحتوي على 20.0 g من كربونات الصوديوم الهيدروجينية NaHCO<sub>3</sub> مذابة في 600.0 mL من الماء H<sub>2</sub>O؟

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

## الكيمياء في واقع الحياة

### الديزل الحيوي



يعد الديزل الحيوي وقودًا بديلاً نظيف الاحتراق، وهو ينتج عن موارد متجددة مثل الزيوت النباتية، والدهون الحيوانية، 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 و 80% بالحجم ديزل من النفط.

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

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

**ماذا قرأت؟** قارن بين النسبة المئوية بدلالة الكتلة والحجم.

### مسائل تدريبية

13. ما النسبة المئوية بدلالة الحجم للإيثانول في محلول يحتوي على 35 mL إيثانول مذاب في 155 mL ماء؟
14. ما النسبة المئوية بدلالة الحجم 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) (M)** إن النسبة المئوية بدلالة الكتلة وبدلالة الحجم طريقتان من طرائق التعبير الكمي عن تركيز المحلول. ومن أكثر الوحدات شيوعاً المولارية Molarity. والمولارية (M) هي عدد مولات المذاب الذائبة في لتر من المحلول، وتعرف أيضاً 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 بالتر وعدد مولات المذاب.

### المولارية

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

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



**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**

**المطلوب**

**تركيز المحلول = M ؟**

كتلة المذاب  $C_6H_{12}O_6 = 5.10 \text{ g}$

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

حجم المحلول = 100.5 mL

**2 حساب المطلوب**

احسب عدد مولات  $C_6H_{12}O_6$

بتطبيق العلاقة الرياضية

عدد مولات المذاب = الكتلة (g) للمذاب / الكتلة المولية

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

اقسم كتلة  $C_6H_{12}O_6$

على الكتلة المولية

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

وحول حجم المحلول إلى وحدة لتر

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

اكتب معادلة

المولارية

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

عوض عن عدد مولات المذاب = 0.0283 mol

وحجم المحلول = 0.1005 L

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

اقسم الأرقام والوحدات

**3 تقويم الإجابة**

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

**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 مذاب 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؟



**خطوة 1** تقاس كتلة المذاب وتضاف إلى دورق حجمي مناسب.



**خطوة 2** يذاب المذاب في دورق حجمي مناسب في أقل كمية من الماء المقطر.



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

الشكل 1-5 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؟

**تحضير المحاليل القياسية** تستعمل في المختبر محاليل لها تراكيز محددة تسمى المحاليل القياسية، ومنها محلول حمض الهيدروكلوريك HCl الذي تركيزه 1M

كيف يمكنك تحضير محلول مائي حجمه 1L وتركيزه 1.50M من كبريتات النحاس II المائية والتي لها الصيغة  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ؟ يحتوي محلول  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  الذي تركيزه 1.5mol على  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  مذابة في 1 L من المحلول. فإذا عرفت أن الكتلة المولية للمركب  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  هي 249.70 g/mol، وأن المحلول يحتوي على 1.50 mol من  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ، فتكون كتلته 374.55 g ويمكن تقريبها إلى 375 g، وهي كتلة يمكن قياسها بالميزان

$$\frac{1.50 \text{ mol CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}}{\text{L من المحلول}} \times \frac{249.7 \text{ g CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}}{1 \text{ mol CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}} = \frac{375 \text{ g CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}}{\text{1L من المحلول}}$$

ولكن لا يمكنك إضافة 375 g  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  إلى 1.0 L من الماء للحصول على محلول تركيزه 1.5 M بهذه البساطة؛ تعمل  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  مثل المواد الأخرى، 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 1-5.

أحياناً نجري تجارب تتطلب استعمال كميات صغيرة من المحلول. فعلى سبيل المثال، قد تحتاج إلى 100 mL من 1.50 M  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  لإجراء إحدى التجارب. بالرجوع إلى تعريف المولارية، ومن خلال الحسابات السابقة نجد أن محلول  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  الذي تركيزه 1.50 M يحتوي محلول  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  الذي تركيزه 1.5 M على 1.5mol من  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  مذابة في 1L من المحلول على 375 g من كبريتات النحاس المائية  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .

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

$$100 \text{ mL} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} \times \frac{375 \text{ g CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}}{1 \text{ L}} = 37.5 \text{ g CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$$

لذلك تحتاج إلى قياس 37.5 g  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  لعمل 100 mL من محلول تركيزه 1.5 M.

#### مسائل تدريبية

20. ما كتلة  $\text{CaCl}_2$  الذائبة في 1 L من محلول تركيزه 0.10 M؟
21. ما كتلة  $\text{CaCl}_2$  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؟







الشكل 1-6 يمكن تخفيف المحلول المركز بإضافة كمية من المذيب. لاحظ أن عدد مولات المذاب لا يتغير عند تخفيف المحلول المركز.

**تخفيف المحاليل المولارية** تذكر أن المحاليل المركزة تحتوي على كمية كبيرة من المذاب. ويمكنك تحضير محلول أقل تركيزاً عن طريق تخفيف كمية من المحلول القياسي بإضافة المزيد من المذيب، إذ يزيد عدد الجسيمات التي تتحرك خلالها جسيمات المذاب، كما هو موضح في الشكل 1-6، ومن ثم يقل تركيز المحلول.

كيف يمكنك تحديد حجم المحلول القياسي اللازم تخفيفه؟

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

عدد مولات المذاب = المولارية × حجم المحلول بالتر.

ولأن عدد مولات المذاب لا يتغير بالتخفيف فإن عدد مولات المذاب في المحلول قبل التخفيف يساوي عدد مولات المذاب بعد التخفيف.

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

معادلة التخفيف

$$M = \text{المولارية}$$

$$V = \text{الحجم}$$

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

حيث أن  $M_1$ : المولارية قبل التخفيف، و  $V_1$ : الحجم قبل التخفيف، و  $M_2$ : المولارية بعد التخفيف، و  $V_2$ : الحجم بعد التخفيف.

تمثل  $M_1$  و  $V_1$  المولارية وحجم المحلول القياسي. وتمثل  $M_2$  و  $V_2$  مولارية وحجم المحلول 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.

## المفردات

### مفردات أكاديمية

مركز Concentrated

يخفف قليلاً

كأن نقول مثلاً:

أضفنا ماء أكثر إلى عصير

الليمون؛ لأنه مركز جداً...

**تخفيف المحلول القياسي** إذا كنت تعرف حجم وتركيز المحلول المطلوب تحضيره يمكنك حساب حجم المحلول القياسي الذي تحتاج إليه. ما الحجم اللازم بالملترات لتحضير محلول من كلوريد الكالسيوم  $\text{CaCl}_2$  تركيزه  $0.300 \text{ M}$  وحجمه  $0.5 \text{ L}$  إذا كان تركيز محلوله القياسي  $2.00 \text{ M}$ ؟

### 1 تحليل المسألة

لقد أعطيت مولارية محلول قياسي من كلوريد الكالسيوم  $\text{CaCl}_2$  والمولارية والحجم للمحلول بعد التخفيف، وباستعمال العلاقة بين المولارية والحجم يمكن إيجاد حجم المحلول القياسي اللازم بالملتر ثم تحويله إلى مللتر.

**المطلوب**  
 $V_1 = ? \text{ mL}$

**المعطيات**  
 $M_1 = 2.00 \text{ M CaCl}_2$   
 $M_2 = 0.300 \text{ M}$   
 $V_2 = 0.50 \text{ L}$

### 2 حساب المطلوب

حل المعادلة لإيجاد حجم المحلول القياسي  $V_1$

اكتب معادلة التخفيف

$$M_1 V_1 = M_2 V_2$$

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

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

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

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

حل لإيجاد  $V_1$

عوض  $V_2 = 0.50 \text{ L}$ ،  $M_2 = 0.300 \text{ M}$ ،  $M_1 = 2.00 \text{ M}$

اضرب واقسم الأرقام والوحدات

حول إلى مللتر باستعمال معامل التحويل  $1000 \text{ mL}/1 \text{ L}$

قس  $75 \text{ mL}$  من المحلول القياسي، ثم خففه بكمية الماء اللازمة للحصول على الحجم النهائي  $0.5 \text{ L}$ .

### 3 تقويم الإجابة

تم حساب الحجم  $V_1$ ، وتحويله إلى مللترات، ويجب أن يكون أقل من الحجم النهائي للمحلول المخفف  $V_2$ ، وهو من معطيات المسألة.

### مسائل تدريبية

24. ما حجم المحلول القياسي  $\text{KI}$  الذي تركيزه  $3.00 \text{ M}$  اللازم لتحضير محلول مخفف منه تركيزه  $1.25 \text{ M}$  وحجمه  $0.300 \text{ L}$ ؟

25. ما حجم المحلول القياسي  $\text{H}_2\text{SO}_4$  الذي تركيزه  $0.50 \text{ M}$  بالملترات اللازم لتحضير محلول مخفف منه حجمه  $100 \text{ mL}$  وتركيزه  $0.25 \text{ M}$ ؟



26. تخفيف إذا خفف  $0.5 \text{ L}$  من المحلول القياسي  $\text{HCl}$  الذي تركيزه  $5 \text{ M}$  ليصبح  $2 \text{ L}$  فما كتلة  $\text{HCl}$  في المحلول؟

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

### المولالية

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

### مثال 1-4

**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  $H_2O = 100.0 \text{ g}$

كتلة كلوريد الصوديوم  $NaCl = 4.5 \text{ g}$

#### المطلوب

$m = ? \text{ mol/kg}$

#### 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

$$100.0 \text{ g H}_2\text{O} \times \frac{1 \text{ kg H}_2\text{O}}{1000 \text{ g H}_2\text{O}} = 0.1000 \text{ kg H}_2\text{O}$$

باستعمال معامل التحويل  $1 \text{ kg} / 1000 \text{ g}$

عوض بالمعطيات في معادلة المولالية.

#### اكتب معادلة المولالية

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

عوض عن عدد مولات المذاب  $NaCl$   $0.077 \text{ mol}$  وكتلة

$$m = \frac{0.077 \text{ mol NaCl}}{0.1000 \text{ kg H}_2\text{O}} = 0.77 \text{ mol/kg}$$

المذيب  $H_2O$   $0.1000 \text{ kg}$

#### 3 تقويم الإجابة

هناك أقل من  $1/10 \text{ mol}$  من المذاب في  $1/10 \text{ Kg}$  من الماء، لذا ستكون المولالية أقل من واحد، وهي كذلك.

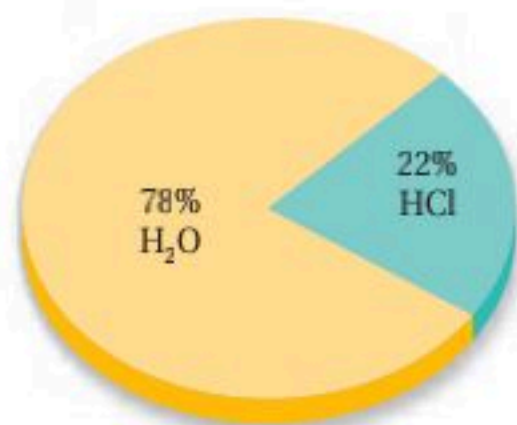
#### مسائل تدريبية



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  $m = 1.00$ ؟

### محلول حمض الهيدروكلوريك



$$X_{\text{HCl}} + X_{\text{H}_2\text{O}} = 1.00$$

$$0.22 + 0.78 = 1.00$$

الشكل 1-7 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<sub>H<sub>2</sub>O</sub>) يساوي 0.78: فهذا يعني أن المحلول يحوي 78% من الماء.

**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

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

$X_A$  و  $X_B$  يمثلان الكسر المولي لكل مادة.  
 $n_B$  و  $n_A$  يمثلان عدد مولات كل مادة.

فعلى سبيل المثال: يحتوي 100 g من محلول حمض الهيدروكلوريك على 36 g HCl و 64 g H<sub>2</sub>O، ولتحويل هذه الكتل إلى مولات عليك استعمال الكتل المولية بوصفها عوامل تحويل.

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

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = 64 \text{ g H}_2\text{O} \times \frac{1 \text{ mol H}_2\text{O}}{18.0 \text{ g H}_2\text{O}} = 3.6 \text{ mol H}_2\text{O}$$

يُعبّر عن الكسر المولي لكل من الماء وحمض الهيدروكلوريك كما يأتي كما هو موضح في الشكل 1-7 كما يأتي:

$$X_{\text{HCl}} = \frac{n_{\text{HCl}}}{n_{\text{HCl}} + n_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{0.99 \text{ mol HCl}}{0.99 \text{ mol HCl} + 3.6 \text{ mol H}_2\text{O}} = 0.22$$

$$X_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{n_{\text{H}_2\text{O}}}{n_{\text{HCl}} + n_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{3.6 \text{ mol H}_2\text{O}}{0.99 \text{ mol HCl} + 3.6 \text{ mol H}_2\text{O}} = 0.78$$

### 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<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> في محلول مائي يساوي 0.325 فما كتلة الماء بالجرامات الموجودة في 100 mL من المحلول؟



## التقويم 1-2

### الخلاصة

يقاس التركيز كمًّا ونوعًا.

المولارية هي عدد مولات المذاب في 1L من المحلول.

المولالية هي نسبة عدد مولات المذاب في 1kg من المذيب.

عدد المولات قبل التخفيف = عدد المولات بعد التخفيف

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

31. **الفكرة الرئيسية** قارن بين خمس طرائق للتعبير عن تراكيز المحاليل كمياً.

32. وضح 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.





# 1-3

## الأهداف

- تصف تأثير قوى التجاذب بين الجزيئات في الذوبان.
- تعرف الذائبية.
- تستنتج العوامل المؤثرة في الذوبان.

## مراجعة المفردات

طارد للحرارة؛ التفاعل الكيميائي الذي يطلق طاقة أكثر مما يحتاج لكسر 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

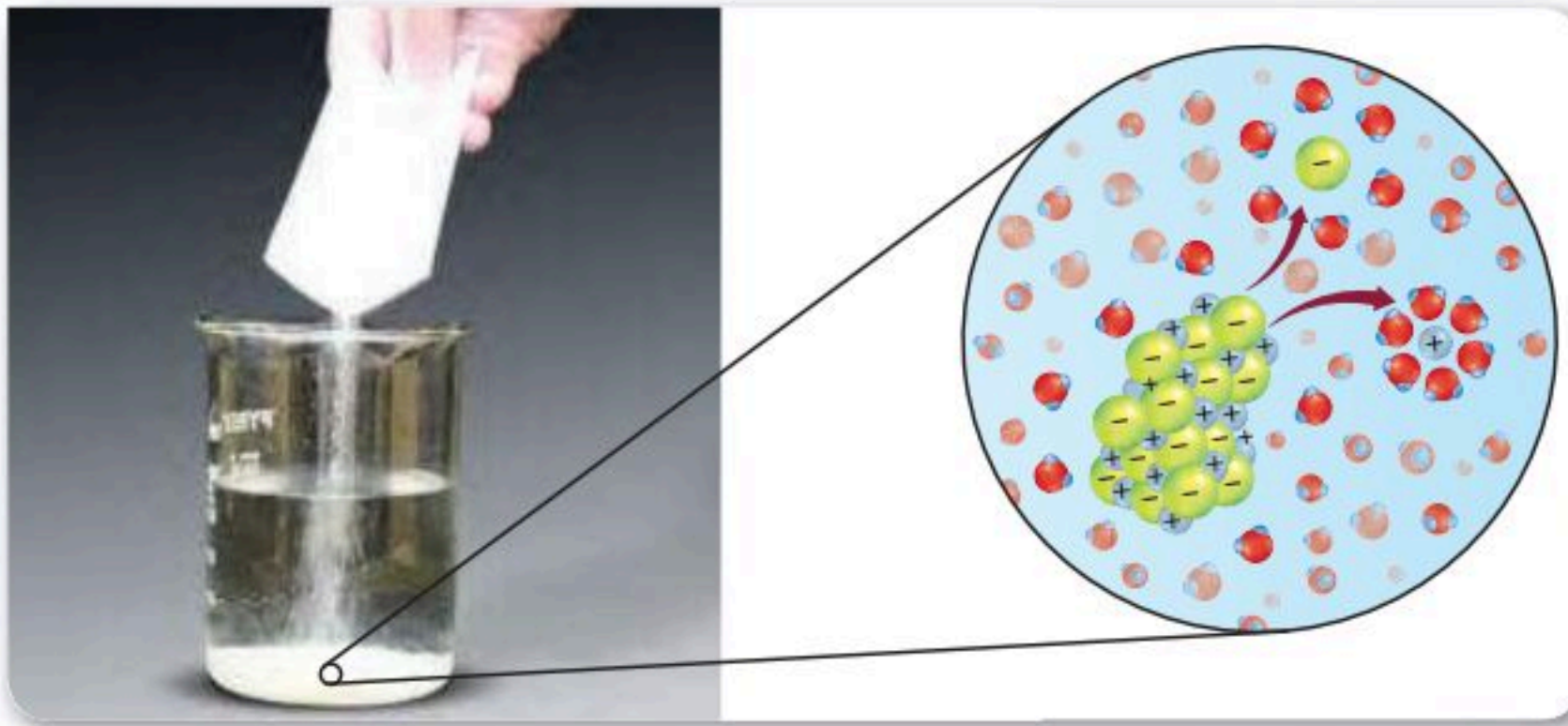
**الفكرة الرئيسية** يتأثر تكون المحلول بعوامل، منها الحرارة والضغط والقطبية.

**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

عند 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 جسيمات المذيب جسيمات المذاب، وتفصل بعضها عن بعض وتحيط بها، ثم تتعد جسيمات المذاب المحاطة بجسيمات المذيب عن المذاب الصلب، وتتجه نحو المحلول.

وتسمى عملية إحاطة جسيمات المذاب بجسيمات المذيب **الذوبان**، كما هو موضح في الشكل 1-8، 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.

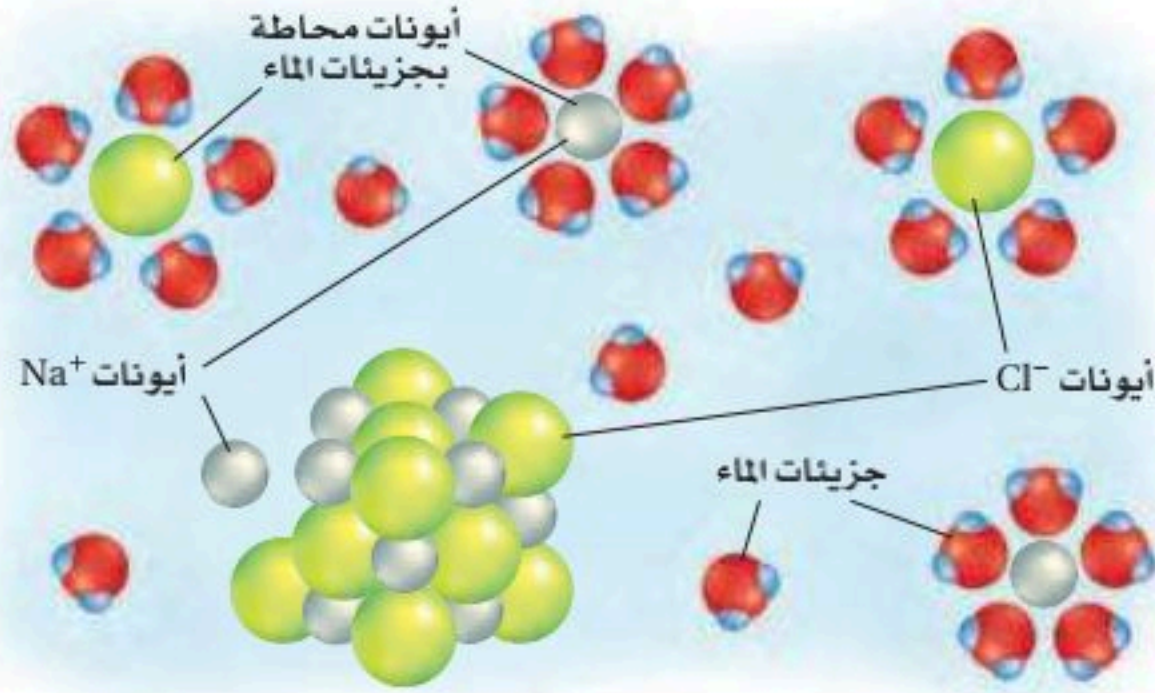


الشكل 1-8 يأخذ الملح في الانفصال عندما يوضع في الماء؛ إذ تسحب جسيمات المذاب وتحاط

بجسيمات المذيب.



### ذوبان ملح الطعام NaCl في الماء



الشكل 9-1 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 (NaCl) في الماء تصطدم جزيئات الماء بسطح البلورة. وعندها تجذب أقطاب جزيئات الماء المشحونة أيونات 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، معرّضة أيونات أخرى على سطح البلورة للذوبان، وهكذا تستمر عملية الذوبان حتى تذوب البلورة كلها، انظر الشكل 9-1. لا يمكن إذابة جميع المركبات الأيونية في الماء؛ فالجسب مثلاً لا يذوب في الماء؛ لأن قوى التجاذب بين أيونات الجبس قوية؛ بحيث لا تستطيع قوى التجاذب بين جزيئات الماء والأيونات التغلب عليها. ولقد أسهمت اكتشافات محاليل ومخاليط معينة - ومنها الجبيرة الطبية المحضرة من الجبس - في تطوير الكثير من المنتجات والعمليات، كما هو موضح في الشكل 10-1.

### الشكل 10-1 كيمياء المحاليل

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

1916م طوّر الأطباء محلول الجلوسول الذي يسمح بتخزين الدم عدة أسابيع بعد سحبه.



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

1910

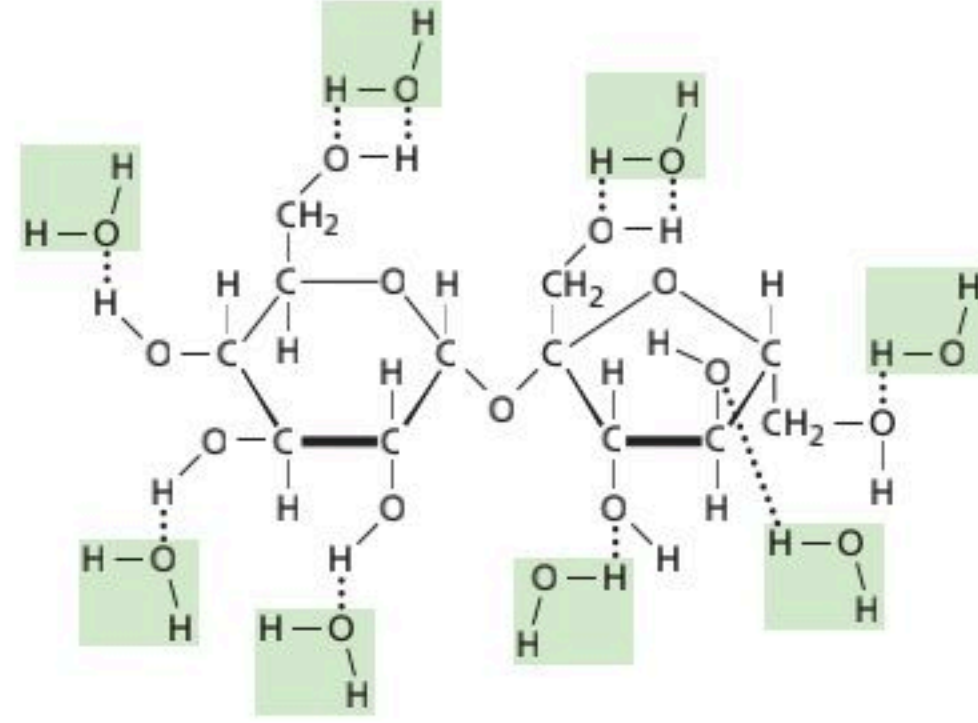
1890

1870

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

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





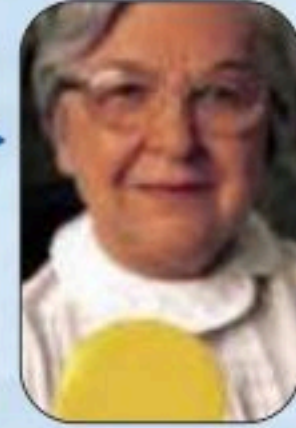
الشكل 1-11 يحتوي جزيء السكر على 8 روابط O-H قطبية، وتكوّن جزيئات الماء القطبية روابط هيدروجينية مع الروابط O-H في السكر، وتسحب جزيئات السكر نحو المحلول.

**محاليل المركبات الجزيئية** يعد الماء مذيبًا جيدًا للكثير من المركبات الجزيئية. فسكر المائدة عبارة عن المركب الجزيئي السكر، وتحتوي جزيئاته القطبية على عدة روابط من O-H، كما هو موضح في الشكل 1-11. وبمجرد ملامسة بلورات السكر الماء، تصطدم جزيئات الماء بالسطح الخارجي للبلورات، وتصبح كل رابطة O-H في السكر موقعًا لتكوين روابط هيدروجينية مع الماء، لذا يتم التغلب على قوى التجاذب بين جزيئات السكر بقوى التجاذب التي تتكون بين جزيئاته وجزيئات الماء القطبية، فتترك جزيئات السكر البلورة، وتصبح ذائبة في الماء.

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

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

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



2010

1990

1970

1950

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

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



**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، والتي تعرف طاقة الشبكة البلورية ويرمز لها بالرمز (طب) أو ( $U_0$ )، لذلك فكلتا الخطوتين ماصّة للطاقة. وعند خلط جسيمات المذيب مع جسيمات المذاب تتجاذب جسيماتهما وتنطلق طاقة تعرف طاقة التمييه ويرمز لها بالرمز (طه) أو ( $H_{hyd}$ )، 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 الاستهلاكية أن بعض المحاليل تُنتج طاقة في أثناء تكونها (طاردة للطاقة)، وبعضها الآخر يمتص طاقة في أثناء تكونه (ماصة للطاقة). فمثلاً بعد ذوبان نترات الأمونيوم في وعاء يحوي ماء يصبح الوعاء بارداً، أما بعد ذوبان كلوريد الكالسيوم في وعاء يحوي ماء فيصبح الوعاء ساخناً.

✓ **ماذا قرأت؟ فسر 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 تصادم جسيمات المذاب والمذيب معاً. ويبين الشكل 1-12 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 بعيداً 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. لذا فإن ملعقة من السكر المطحون تذوب أسرع من 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.



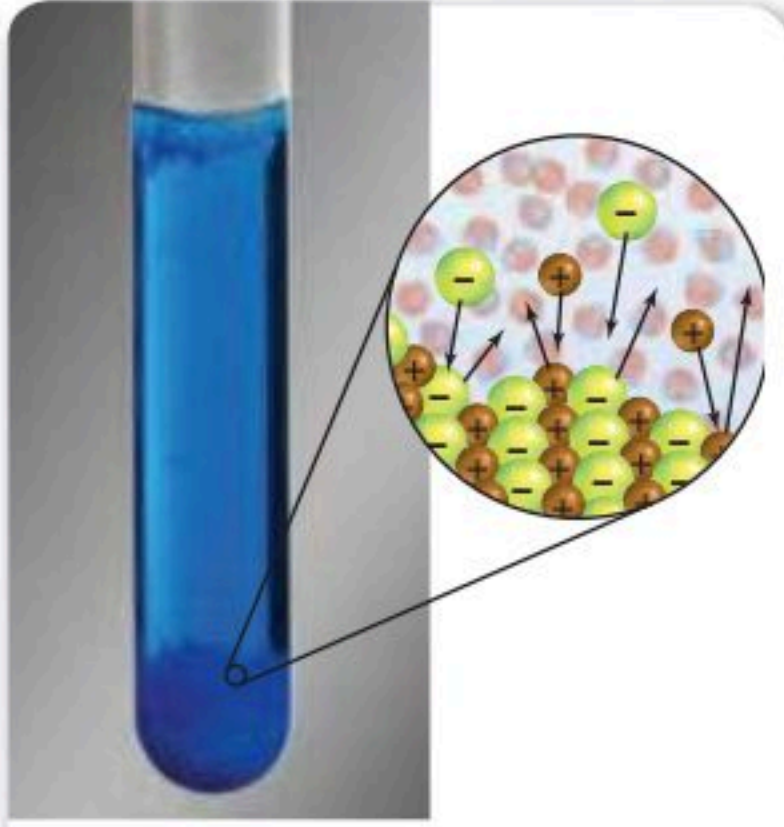
يذوب السكر المطحون بسرعة أكبر من مكعب السكر في الشاي المثلج، كما يزيد التحريك من سرعة ذوبان السكر المطحون.



يذوب السكر المطحون بسرعة كبيرة جداً في الشاي الساخن.

الشكل 1-12 يؤثر كل من التحريك، ومساحة السطح، ودرجة الحرارة في سرعة الذوبان.

## الذائبية Solubilitys



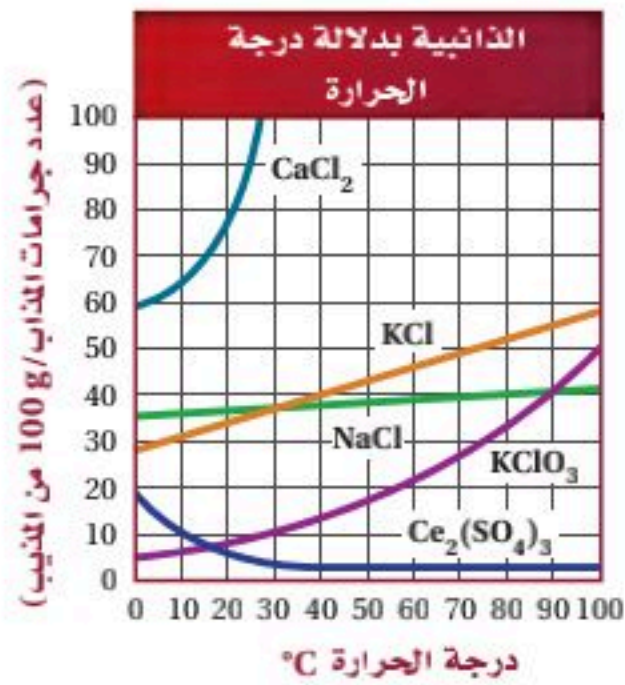
الشكل 1-13 تُساوي سرعة الذوبان في المحلول المشبع سرعة التبلور، لذلك لا تتغير كمية المذاب.

تجربة عملية

منحنى الذائبية

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

الشكل 1-14 يبين الرسم البياني أدناه منحنى ذائبية عدة مواد عند درجات حرارة مختلفة .



اختبار الرسم البياني

حدد ذائبية NaCl عند درجة

حرارة 80°C.

تعرف الذائبية على أنها أقصى كمية من المذاب يمكن أن تذوب في كمية محددة من المذيب عند درجة حرارة معينة. وكما 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 عشوائياً. 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 1-13. ومع استمرار عملية الذوبان تزداد سرعة التبلور، بينما تبقى سرعة الذوبان ثابتة. ويستمر الذوبان ما دامت سرعة الذوبان أعلى من سرعة التبلور.

واعتماداً 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 أكبر من المذاب إلى المحلول غير المشبع.

**المحلول المشبع** رغم استمرار ذوبان جسيمات المذاب وتبلورها في المحلول الذي وصل إلى حالة الاتزان إلا أن كمية المذاب الذائبة في المحلول تبقى ثابتة. ويعرف مثل هذا المحلول الموضح في الشكل 1-13 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 1-14. فذائبية كلوريد الكالسيوم CaCl<sub>2</sub> تساوي 64g لكل 100g من H<sub>2</sub>O عند درجة حرارة 10°C، وعند زيادة درجة الحرارة إلى 27°C تزداد الذائبية بنسبة 50% تقريباً: 100g CaCl<sub>2</sub> لكل 100g H<sub>2</sub>O تقريباً.

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

الذائبية في الماء عند درجات حرارة مختلفة				الجدول 1-4	
الذائبية (g/100 g H <sub>2</sub> O)*				الصيغة الكيميائية	المادة
100°C	60°C	20°C	0°C		
89.0	59.2	36.4	31.2	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	كبريتات الألومنيوم
--	20.94	3.89	1.67	Ba(OH) <sub>2</sub>	هيدروكسيد الباريوم
0.076	0.121	0.173	0.189	Ca(OH) <sub>2</sub>	هيدروكسيد الكالسيوم
--	32.6	34.8	36.1	Li <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	كبريتات الليثيوم
56.3	45.8	34.2	28.0	KCl	كلوريد البوتاسيوم
39.2	37.1	35.9	35.7	NaCl	كلوريد الصوديوم
733	440	216	122	AgNO <sub>3</sub>	نترات الفضة
487.2	287.3	203.9	179.2	C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub>	السكروز
--	200	680	1130	NH <sub>3</sub>	الأمونيا*
--	0.359	0.878	1.713	CO <sub>2</sub>	ثاني أكسيد الكربون*
--	0.019	0.031	0.048	O <sub>2</sub>	الأكسجين*

\* L / 1 L H<sub>2</sub>O في حالة الغاز عند الضغط الجوي القياسي 101 kPa.

يمكن توضيح تأثير درجة الحرارة في ذائبية المواد من خلال البيانات الموجودة في الجدول 1-4. تلاحظ أن 203.9 g من السكروز C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub> 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. وحقائق 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 ويبطئ؛ إذ يسمح التبريد البطيء للمادة المذابة الزائدة أن تبقى مذابة في المحلول عند درجات حرارة منخفضة، كما هو موضح في الشكل 1-15.

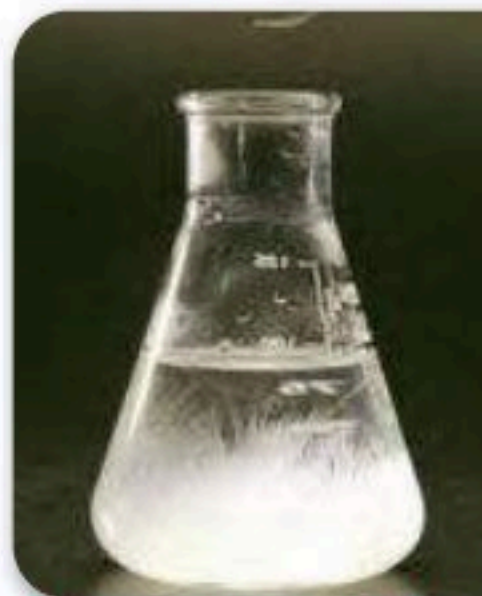
## المفردات

### أصل الكلمة

**Saturated** والتي تعني مُشبَّعًا

مشتقة من الكلمة اللاتينية

(Saturatus) وتعني يُشبع أو يملأ...



بعد إضافة نواة التبلور



عند إضافة نواة التبلور



محلول فوق مشبع

الشكل 1-15 عند إضافة نواة التبلور إلى محلول فوق مشبع من السكروز تتبلور المادة المذابة الزائدة.

نواة التبلور: هي عبارة عن قطعة أو مجموعة من القطع لبلورة أحادية لمادة ما، والتي يتكون عن طريقها بلورات أكبر من المادة نفسها.

الشكل 1-16 الرواسب المعدنية في الينابيع الحارة مثل (عيون الليث في المملكة العربية السعودية) تعتبر مثال على تكون البلورات من المحاليل فوق المشبعة .



المحاليل فوق المشبعة غير ثابتة؛ فعند إضافة قطعة صغيرة جداً من مذاب - تسمى نواة التبلور - إلى محلول فوق مشبع ترسب المادة المذابة الزائدة بسرعة، كما هو موضح في الشكل 1-15.

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

وباستعمال يوديد الفضة AgI بوصفه نوى تكثف 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 - كالتى تظهر في الشكل 1-16 - من محاليل فوق مشبعة.

**ذائبية الغازات** تقل ذائبية غازي الأوكسجين 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 بالتححرر 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 فوق المحلول 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 خارج العلبة. ونتيجة لذلك تتصاعد فقاعات غاز ثاني أكسيد الكربون من المحلول إلى السطح وتتطاير. وتستمر هذه العملية حتى يفقد المحلول غاز ثاني أكسيد الكربون كله تقريباً، ويصبح المحلول بلا طعم. ويمكن وصف انخفاض ذائبية غاز ثاني أكسيد الكربون في المشروب الغازي بعد فتح العبوة بقانون هنري.

## الكيمياء في واقع الحياة

### الاستمطار في السعودية

تعد تجارب الاستمطار في المملكة العربية السعودية واحدة من تجارب عدة قامت في دول عربية مختلفة، حيث أجريت لأول مرة عام 1988م في منطقة عسير، بينما أجريت التجربة الثانية عام 2006م في ثلاث مناطق وسط المملكة (الرياض، والقصيم، وحائل).

## 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 الاختبارات.

ينص **قانون هنري** على أن " تتناسب ذائبية الغاز في سائل (S) تناسباً طردياً مع ضغط الغاز (P) الموجود فوق السائل عند ثبوت درجة الحرارة". فعندما تكون قارورة المشروب الغازي مغلقة، كما هو موضح في الشكل 1-17، يعمل الضغط الواقع فوق المحلول على إبقاء غاز ثاني أكسيد الكربون ذائباً 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 ثابتاً عند درجة حرارة معينة.

غالباً ما يستعمل 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:

$$P_1 S_2 = S_1 P_2$$

وبقسمة الطرفين على  $P_1$ :

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

الشكل 1-17 ثاني أكسيد الكربون  $CO_2$  مذاب في الصودا، كما يوجد بعضه فوق السائل.

فسر لماذا يتصاعد غاز  $CO_2$  من المحلول عند نزع الغطاء؟



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

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

**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**

أعطيت ذائبية الغاز عند الضغط الابتدائي، وثبات درجة حرارة الغاز مع تغير الضغط. ولأن تقليل الضغط يؤدي إلى تقليل ذائبية الغاز فإن كتلة أقل من الغاز تذوب عند ضغط أقل.

**المعطيات**

$$S_1 = 0.85 \text{ g/L}$$

$$P_1 = 4.0 \text{ atm}$$

$$P_2 = 1.0 \text{ atm}$$

**المطلوب**

$$S_2 = ? \text{ g/L}$$

**2 حساب المطلوب**

اكتب قانون هنري

حل قانون هنري لإيجاد  $S_2$

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

ثم اضرب واقسم الأرقام والوحدات.

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

**التقويم 1-3****الخلاصة**

- تتضمن عملية الذوبان إحاطة جسيمات المذيب لجسيمات 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 الرئيسية** عدد العوامل المؤثرة في الذوبان.

40. عرف الذائبية.

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

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

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

44. الرسوم البيانية استعمل المعلومات الموجودة في الجدول 1-4 لعمل رسوم

بيانية لذائبية كبريتات الألومنيوم، وكبريتات الليثيوم، وكلوريد البوتاسيوم عند

درجات حرارة 0°C و 20°C و 60°C و 100°C. أي المواد السابقة تتأثر ذائبيتها

أكثر بزيادة درجة الحرارة؟



# 1-4

## الأهداف

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

## مراجعة المفردات

الأيون: ذرة مشحونة كهربائياً.

## 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 الرئيسية** تعتمد الخواص الجامعة على عدد جسيمات المذاب في المحلول.

**الربط مع الحياة** إذا كنت قد عشت في منطقة ذات طقس بارد جداً في الشتاء فلعلمك لاحظت أن الناس يرشون الملح على الأرصفة والطرق لإزالة الثلج والجليد. كيف يساعد الملح على جعل القيادة في الشتاء أكثر أمناً؟

## 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 في المحلول، لا على طبيعة المادة المذابة نفسها. وتسمى الخواص الفيزيائية للمحاليل التي تتأثر بعدد جسيمات المذاب وليس بطبيعتها **الخواص الجامعة**. وتشمل الخواص الجامعة الانخفاض في الضغط البخاري، والارتفاع في درجة الغليان، والانخفاض في درجة التجمد، والضغط الأسموزي.

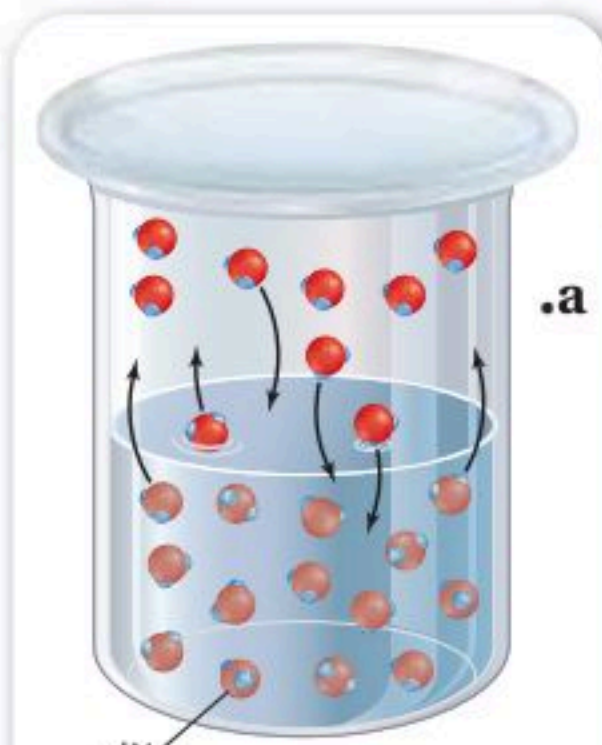
**المواد المتأينة في محلول مائي** درست سابقاً أن المركبات الأيونية مواد توصل محاليلها التيار الكهربائي، لذا تسمى مواد إلكتروليتيّة؛ وذلك لأنها تتفكك في الماء إلى أيونات، كما هو موضح في الشكل 1-18. كما تتأين القليل من المركبات الجزيئية في الماء وتكون أيضاً محلولاً متأيناً. وتسمى المواد المتأينة التي تنتج أيونات كثيرة في المحلول مواد متأينة قوية. أما التي تنتج عدداً قليلاً من الأيونات في المحلول فتسمى المواد المتأينة الضعيفة.

الشكل 1-18 محلول كلوريد الصوديوم موصل جيد للكهرباء؛ وذلك لأنه محلول مادة متأينة. في حين لا يوصل محلول السكر في التيار الكهربائي؛ لأنه محلول مادة غير متأينة.

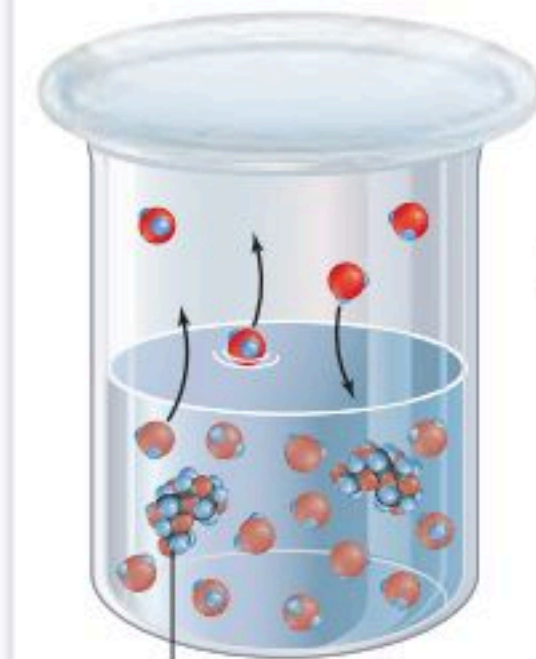


السكر

كلوريد الصوديوم



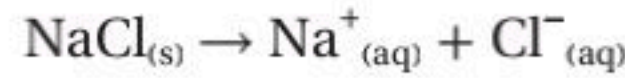
.a



.b

الشكل 1-19 الضغط البخاري لمذيب نقي أكبر من الضغط البخاري لمحلول يحتوي على مذاب غير متطاير.

وكلوريد الصوديوم مادة متأينة قوية؛ حيث يتفكك في المحلول وينتج أيونات  $\text{Na}^+$  و  $\text{Cl}^-$ .



فإذابة 1 mol من كلوريد الصوديوم في 1 kg من الماء لا تنتج محلولاً تركيز أيوناته 1 m، بل تنتج 2 mol من جسيمات المذاب في المحلول، أي 1 mol لكل من أيوني  $\text{Na}^+$  و  $\text{Cl}^-$ .

**المواد غير المتأينة في المحلول المائي** تذوب الكثير من المركبات الجزيئية في المذيبات، ولكنها لا تتأين. ومثل هذه المحاليل لا توصل التيار الكهربائي، كما هو موضح في الشكل 1-18. وتسمى المواد المذابة مواد غير متأينة. والسكروز مثال على المواد غير المتأينة؛ حيث يحتوي محلول السكر الذي تركيزه 1 m على 1 mol فقط من جزيئات السكر.

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

### الانخفاض في الضغط البخاري Vapor Pressure Lowering

الضغط البخاري هو الضغط الناتج عن بخار السائل عندما يكون في حالة اتزان ديناميكي مع سائله في وعاء مغلق عند درجة حرارة وضغط ثابتين، وعند هذه النقطة تتساوي سرعتي التبخر والتكاثف.

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 نقياً كما في الشكل 1-19 a تشغل جسيماته مساحة السطح كلها. أما عندما يحتوي المذيب على مذاب، كما في الشكل 1-19 b، 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 اعتماداً على كون المذاب متأيناً أو غير متأيّن. فمثلاً 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  $\text{NaCl}$ ، وكبريتات الصوديوم  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ، وكلوريد الألومنيوم  $\text{AlCl}_3$  - يزداد في الضغط البخاري؛ بسبب تزايد أعداد الأيونات التي ينتجها كل منها في محلولها.





## الارتفاع في درجة الغليان Boiling Point Elevation

يؤثر المذاب غير المتطاير في درجة غليان المذيب لأنه يقلل الضغط البخاري له. 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 إليها بالرمز  $\Delta T_b$  - تناسباً طردياً مع مولالية المحلول.

### الارتفاع في درجة الغليان

$\Delta T_b$  ارتفاع درجة الغليان

$K_b$  ثابت الارتفاع في درجة الغليان المولالي

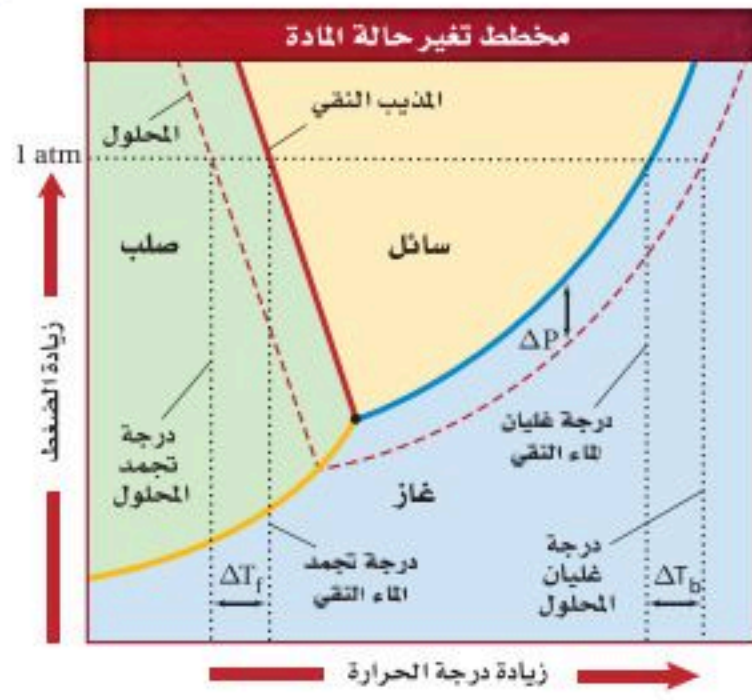
$m$  مولالية المحلول

$$\Delta T_b = K_b m$$

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 ثابت الارتفاع في درجة الغليان المولالي هي  $^{\circ}\text{C} / m$ ، وتختلف قيمة الثابت  $K_b$  باختلاف المذيب. يبين الجدول 1-5 قيم  $K_b$  لعدد من المذيبات الشائعة. لاحظ أن قيمة  $K_b$  للماء هي  $0.512\ ^{\circ}\text{C} / m$ ؛ وهذا يعني أن  $1\ m$  من محلول مائي يحتوي على مذاب غير متطاير وغير متأين يغلي عند درجة حرارة  $100.512\ ^{\circ}\text{C}$ ، وهذه الدرجة تزيد  $0.512\ ^{\circ}\text{C}$  على درجة غليان الماء النقي  $100.0\ ^{\circ}\text{C}$ .

وكما أن الانخفاض في الضغط البخاري خاصية جامعة فإن الارتفاع في درجة الغليان خاصية جامعة أيضاً. وتتناسب قيمة الارتفاع في درجة الغليان تناسباً طردياً 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. ويعبر عن المذيب في المولالية بالكتلة بدلاً من الحجم. ولذلك لا تتأثر المولالية بتغير درجة الحرارة.

ثابت الارتفاع في درجة الغليان المولالي $K_b$		الجدول 1-5
$K_b\ ^{\circ}\text{C}/m$	درجة الغليان $^{\circ}\text{C}$	المذيب
0.512	100.0	الماء
2.53	80.1	البنزين
5.03	76.7	رابع كلوريد الكربون
1.22	78.5	الإيثانول
3.63	61.7	الكلوروفورم



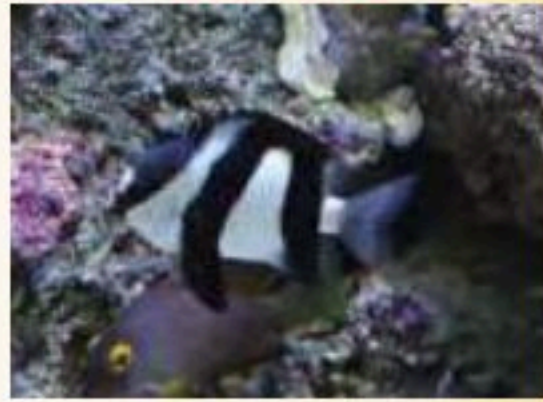
الشكل 1-20 يؤثر الضغط والحرارة في حالة المذيب النقي (الخط المتصل)، الصلبة أو السائلة أو الغازية، ويؤثران أيضًا في المحلول (الخط المتقطع).

### 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.

## 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.

انظر إلى الشكل 1-20 ولاحظ أن المنحنى الذي يمثل المحلول يقع أسفل المنحنى الذي يمثل المذيب النقي عند أي درجة حرارة.

## الانخفاض في درجة التجمد Freezing Point Depression

تترتب الجسيمات في بنية أكثر تنظيمًا في الحالة الصلبة؛ أما في المحلول فتعمل جسيمات المذاب على إضعاف 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. ويبين الشكل 1-20 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 مما للماء النقي. ويبين الشكل 1-21 تطبيقين شائعين لاستعمال الملح لتقليل درجة تجمد المحلول المائي.

**الانخفاض في درجة تجمد المحلول**  $\Delta T_f$  هو درجة تجمد المذيب النقي مطروحًا منها درجة تجمد المحلول.

الشكل 1-21 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.



يبين الجدول 1-6 ثابت الانخفاض في درجة التجمد المولالي ( $K_f$ ) لكثير من المذيبات. هذا وتناسب قيم الانخفاض في درجة التجمد للمواد غير المتأينة تناسباً طردياً مع مولالية المحلول.

الجدول 1-6		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

### الانخفاض في درجة التجمد

$$\Delta T_f = K_f m$$

$\Delta T_f$  درجة الحرارة  
 $K_f$  ثابت الانخفاض في درجة التجمد  
 $m$  المولالية

وكما هو الحال مع قيم  $K_b$  فإن قيم  $K_f$  تعتمد على طبيعة المذيب. ولأن ثابت انخفاض درجة التجمد للماء ( $K_f$ ) يساوي  $1.86^\circ\text{C}/m$  فإن المحلول المائي الذي تركيزه  $1 m$  يتجمد، ويحتوي على مذاب غير متطاير وغير متأين عند درجة  $-1.86^\circ\text{C}$  وهي أقل من درجة تجمد الماء النقي ( $0.0^\circ\text{C}$ ). ويعد الجليسرول مذاب غير متأين، وينتج الكثير من الأسماك والحشرات لحماية دمائها من التجمد في الشتاء القارص. كذلك فإن مقاوم التجمد أو مانع تكوين الجليد يحتوي على مذاب 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 الفعلية للمحلول والتي تأخذ بعين الاعتبار عدد جسيمات المذاب المتفككة، كما يوضحها المثال 1-6.

تجربة  
عملية

الانخفاض في درجة التجمد

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

## 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 زيتي.
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 كلاً منهما.
7. اسكب محتويات الكأسين في المغسلة، واشطفها بكمية من ماء الصنبور.

#### التحليل

1. قارن درجة حرارة الماء والثلج بدرجة 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  $\text{Na}^+$  والكلور  $\text{Cl}^-$  عندما تتفكك في الماء. فسر لماذا يعد هذا التفكك مهماً عند حساب الانخفاض في درجة التجمد؟
4. توقع هل من الأفضل استعمال الملح الخشن، أم ملح المائدة الناعم، عند صنع الآيس كريم المنزلي؟ فسر إجابتك.

التغيرات في درجات التجمد والغليان يستعمل كلوريد الصوديوم NaCl عادة لمنع تكون الجليد على الطرق وتجميد الثلجات (الآيس كريم). ما درجتا غليان وتجمد محلول مائي من كلوريد الصوديوم تركيزه  $0.029\ m$ ، إذا علمت أن كلوريد الصوديوم مادة متأينة قوية؟

## 1 تحليل المسألة

أعطيت مولالية المحلول المائي لكلوريد الصوديوم. احسب  $\Delta T_b$  و  $\Delta T_f$  اعتماداً على عدد الجسيمات في المحلول، ثم حدد الارتفاع في درجة الغليان والانخفاض في درجة التجمد. أضف  $\Delta T_b$  إلى درجة الغليان، واطرح  $\Delta T_f$  من درجة التجمد.

## المعطيات

المذاب = كلوريد الصوديوم NaCl

المولالية =  $0.29\ m$

## المطلوب

درجة الغليان =  $^{\circ}C$  ؟

درجة التجمد =  $^{\circ}C$  ؟

## 2 حساب المطلوب

احسب مولالية الجسيمات الفعلية

$$m = 0.029\ m$$

مولالية الجسيمات الفعلية = المولالية  $\times$  عدد جسيمات المذاب المتفككة

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

$$\Delta T_b = K_b m$$

ضع العلاقات الرياضية للارتفاع في درجة الغليان

$$\Delta T_f = K_f m$$

والانخفاض في درجة التجمد

$$\Delta T_b = (0.512^{\circ}C/m)(0.058\ m) = 0.030^{\circ}C$$

عوض عن  $K_b = 0.512^{\circ}C/m$ ،  $K_f = 1.86^{\circ}C/m$

$$\Delta T_f = (1.86^{\circ}C/m)(0.058\ m) = 0.11^{\circ}C$$

$$m = 0.058\ m$$

احسب درجة الغليان بعد الارتفاع ودرجة التجمد بعد الانخفاض للمحلول.

$$T_b = 0.30^{\circ}C + 100.000^{\circ}C = 100.030^{\circ}C$$

أضف  $\Delta T_b$  إلى درجة الغليان

$$T_f = 0.00^{\circ}C - 0.11^{\circ}C = -0.11^{\circ}C$$

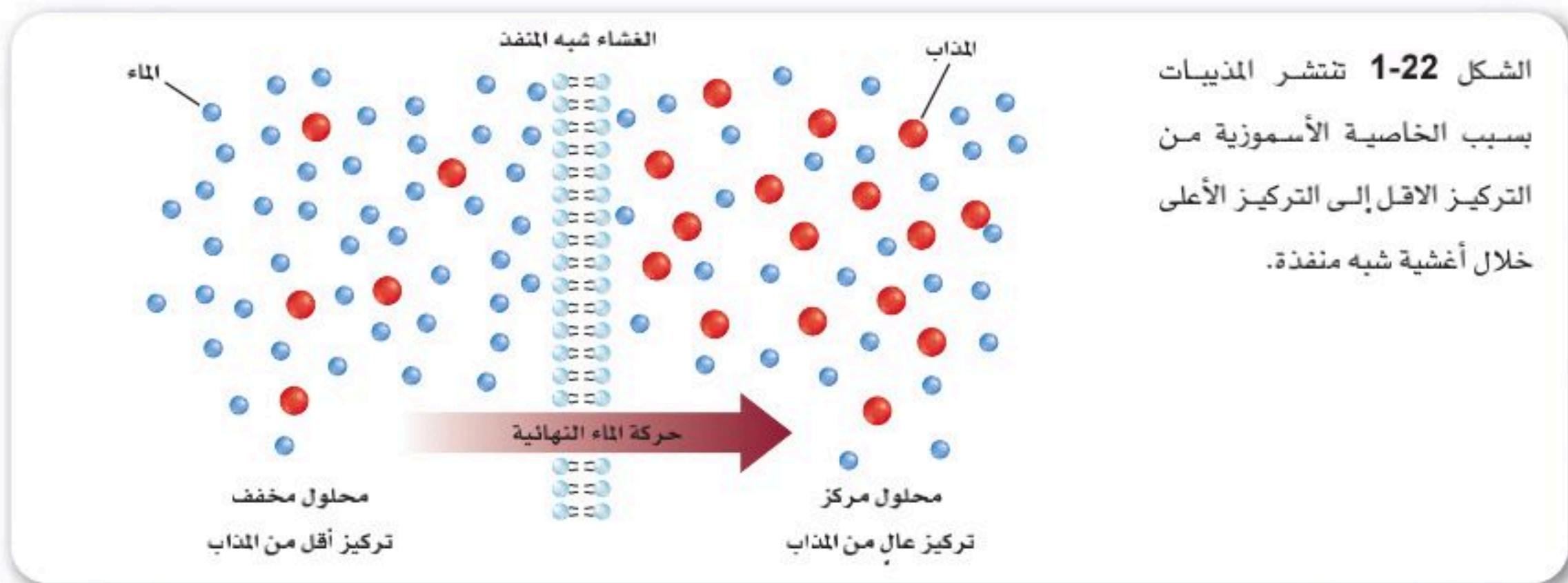
واطرح  $\Delta T_f$  من درجة التجمد

## 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 السكر في الإيثانول، الذي تركيزه  $0.40\ m$ ؟ وما درجة تجمده؟ علماً بأن السكر مادة غير متأينة؟
47. تحفيز تم اختبار محلول تركيزه  $0.045\ m$  يحتوي على مذاب غير متطاير وغير متأين، ووجد أن الانخفاض في درجة تجمده بلغ  $0.084^{\circ}C$ . ما قيمة ثابت الانخفاض في درجة تجمده  $K_f$ ؟ وهل المذيب المكوّن من المحلول في هذه الحالة هو الماء أو الإيثانول أو الكلوروفورم؟



الشكل 1-22 تنتشر المذيبات بسبب الخاصية الأسموزية من التركيز الأقل إلى التركيز الأعلى خلال أغشية شبه منفذة.

## الضغط الأسموزي Osmotic Pressure

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

يبين الشكل 1-22 نظاماً يكون فيه المحلول المخفف مفصلاً 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 جزيئات الماء إلى المحلول المركز **الضغط الأسموزي**. ويعتمد الضغط الأسموزي على عدد جسيمات المذاب في كمية محددة من المحلول، وهو خاصية جامعة للمحاليل.

## التقويم 1-4

### 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 الرئيسية** 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  $\text{CaCl}_2$  عند درجة حرارة  $101.3^\circ\text{C}$ . ما كتلة كلوريد الكالسيوم بالكيلوجرام التي تذوب في 1000 g من المذيب؟
52. ثم احسب الانخفاض في درجة التجمد للمحلول نفسه؟ إذا علمت أن الجلوكوز مادة غير متأينة؟
53. تحقق إذا علمت أن الارتفاع في درجة غليان محلول مائي لمذاب غير متأين وغير متطاير تساوي  $1.12^\circ\text{C}$ ، فما مولالية المحلول؟

# في الميدان

مهن: كيميائي البيئة

## محلول CO<sub>2</sub>

تشير السجلات الجيولوجية إلى أن مستويات ثاني أكسيد الكربون CO<sub>2</sub> في الغلاف الجوي أعلى كثيرًا في الوقت الحاضر مقارنة بعشرين مليون سنة مضت. وقد أسهمت صناعات الإنسان في هذه الزيادة. إلا أن CO<sub>2</sub> لا يبقى في الغلاف الجوي إلى أجل غير مسمى؛ إذ تحتوي المحيطات بشكل طبيعي على CO<sub>2</sub> الذي يأتي من الغلاف الجوي، ومن المخلوقات الحية. وتقوم المحيطات بامتصاص 50% من CO<sub>2</sub> المنبعث من صناعات الإنسان. ويعتقد بعض العلماء أنه خلال ألف سنة قادمة سيذوب 90% منه في المحيطات.

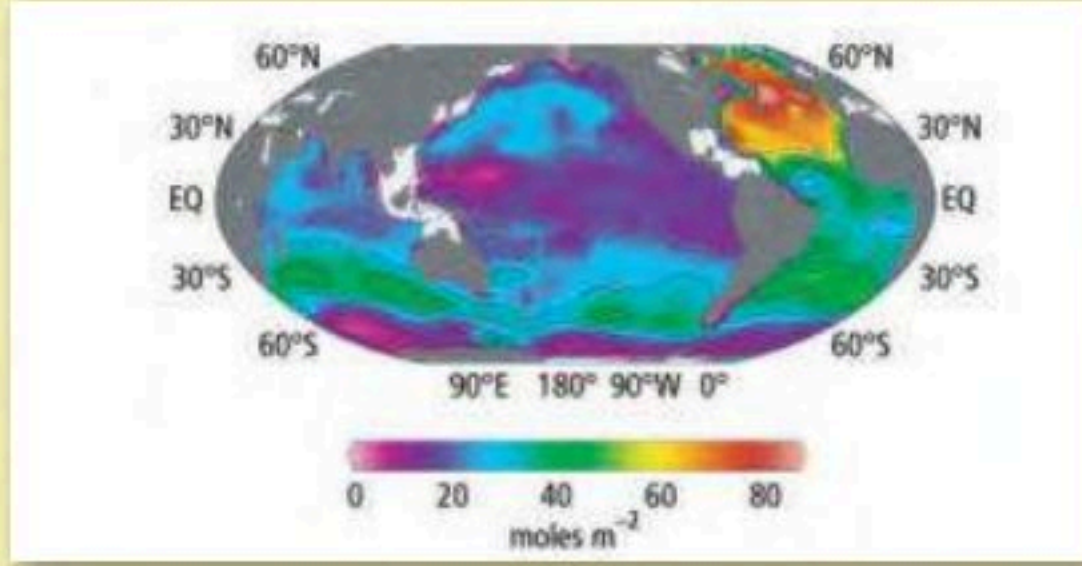
## جمع البيانات عن CO<sub>2</sub> Collecting CO<sub>2</sub> data

تتأثر سرعة ذوبان CO<sub>2</sub> في المحيطات بعدة عوامل، منها درجة الحرارة، وتركيز CO<sub>2</sub> في الهواء والماء، واختلاط الماء مع الهواء بسبب الرياح، وحركة الأمواج. لقد قضى فريق من الباحثين عدة سنوات لجمع وتحليل البيانات حول CO<sub>2</sub>، وذلك من آلاف نقاط الجمع في المحيطات حول العالم. وتوضح بيانات الشكل 1 أن شمال المحيط الأطلسي يحتوي على أكبر كمية من CO<sub>2</sub> لكل متر مربع من سطح المحيط؛ لأن عوامل درجة الحرارة والعمق والتيارات البحرية تجعل من شمال المحيط الأطلسي ماصًا فعالًا لغاز CO<sub>2</sub> المنبعث من صناعات الإنسان.

## جمع وتخزين CO<sub>2</sub> CO<sub>2</sub> capture and storage

هناك طريقة واحدة لتقليل كمية CO<sub>2</sub> المنطلقة إلى الغلاف الجوي، وهي جمع وتخزين CO<sub>2</sub> الناتج عن حرق الوقود الأحفوري. يقوم العلماء بالبحث عن احتمالية حقن CO<sub>2</sub> الذي تم جمعه مباشرة في المحيط؛ وذلك لتسريع عملية ذوبانه؛ حيث تقلل هذه العملية من أثر الاحتباس الحراري الذي يسببها غاز CO<sub>2</sub>. ومع ذلك فقد يؤدي اختلال التوازن الطبيعي لثاني أكسيد الكربون CO<sub>2</sub> الذائب إلى آثار بالغة

في كيميائية المياه، مما قد يلحق ضررًا، أو يقتل المخلوقات البحرية. فعلى سبيل المثال أظهرت الشعب المرجانية المنتشرة في مختلف أنحاء العالم دلائل إجهاد؛ نتيجة زيادة مستوى CO<sub>2</sub> الذائب في الماء.



شكل 1 ترمز الألوان الحمراء والصفراء والخضراء إلى المناطق التي فيها مستويات عالية من CO<sub>2</sub> الذائب في الماء.

## الحجز في أعماق البحار Deep ocean sequestration

هناك اقتراح قد يقلل من كمية CO<sub>2</sub> الجوي، ويحمي الحياة في الجزء العلوي من المحيط، وهو تسيليل غاز CO<sub>2</sub>، 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<sub>2</sub> إلى هيدرات تذوب في أعماق مياه المحيطات، ولكن سيبقى CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> في المخلوقات التي تعيش في الأعماق. ولا يزال هناك الكثير من المشاكل التقنية المتعلقة بعملية جمع CO<sub>2</sub> وتخزينه ونقل كميات كبيرة منه. وإذا تم حل هذه المشكلات التقنية فإن على الرأي العام والمسؤولين الأخذ في الحسبان الأخطار المتعلقة بانبعاث CO<sub>2</sub> 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؟



13. حرك المحلول الرابع بالساق الزجاجي مدة دقيقة أو اثنتين .
14. كرر الخطوات 7 و 8 مع الأنبوب الخامس باستعمال ماء أكثر برودة، و اترك الأنبوب بلا تحريك.
15. كرر الخطوات 7 و 8 مع الأنبوب السادس باستعمال ماء ساخن، و اترك الأنبوب بلا تحريك.
16. **التنظيف والتخلص من النفايات** تخلص من بقايا المواد الصلبة والمحاليل باتباع إرشادات معلمك. ونظف أدوات المختبر جميعها، وأعدّها إلى أماكنها.

### التحليل والاستنتاج

1. **المقارنة** ما التأثير الذي لاحظته عند تحريك الأنبوب الثاني والرابع مقارنة بالأنبوب الأول والثالث؟
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** اعرف مصدر الخطأ الرئيس المحتمل في التجربة، واقترح طريقة سهلة لتصحيحه.

### الاستقصاء

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

### 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. املاً بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. صمم جدولاً 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 أنبوبي الاختبار الأول والثاني، ثم سجل 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 الخطوات 7 و 8 مع الأنبوبين الثالث والرابع.
11. استعمل ساق التحريك الزجاجية لتحريك أنبوب الاختبار الثاني مدة دقيقة أو اثنتين.
12. اترك الأنبوب الثالث دون تحريك.

(الفكرة) العامة معظم السوائل والغازات والمواد الصلبة التي تكوّن عالمنا مخاليط .

## 1-1 أنواع المخاليط

### الأفكار الرئيسية

- يمكن تمييز مكونات المخلوّط غير المتجانس .
- هناك نوعان من المخاليط غير المتجانسة، هما المعلق والغروي .
- الحركة البراونية حركة عشوائية لجسيمات المخلوّط الغروي .
- تُظهر المخاليط الغروية والمعلقة تأثير تبدال .
- 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 .

الفكرة الرئيسية المخاليط إما متجانسة أو غير متجانسة .

### المفردات

- المخلوّط المعلق
- المخلوّط الغروي
- الحركة البراونية
- تأثير تبدال
- المادة الذائبة
- المادة غير الذائبة

## 1-2 تركيز المحلول

### الأفكار الرئيسية

- يقاس التركيز كمًّا ونوعًا .
  - المولارية هي عدد مولات المذاب في 1L من المحلول .
  - المولالية هي نسبة عدد مولات المذاب في 1 kg من المذيب .
  - عدد المولات قبل التخفيف = عدد المولات بعد التخفيف
- $$M_1V_1 = M_2V_2$$

الفكرة الرئيسية يمكن التعبير عن التركيز بدلالة

النسبة المئوية أو المولات .

### المفردات

- التركيز
- المولارية
- المولالية
- الكسر المولي

## 1-3 العوامل المؤثرة في الذوبان

### الأفكار الرئيسية

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

الفكرة الرئيسية يتأثر تكون المحلول بعوامل، منها

الحرارة والضغط والقطبية .

### المفردات

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

## 1-4 الخواص الجامعة للمحاليل

### الأفكار الرئيسية

- 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 .

الفكرة الرئيسية تعتمد الخواص الجامعة على عدد

جسيمات المذاب في المحلول .

### المفردات

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



## 1-1

## إتقان المفاهيم

54. وضح المقصود بالعبارة "ليست كل المخاليط محاليل".
55. ما الفرق بين المذاب والمذيب؟
56. ما المخلوطين المعلق؟ وفيه يختلف عن المخلوطين الغروي؟
57. كيف يستخدم تأثير تندال للتمييز بين المخلوطين الغروي والمحلول؟ لماذا؟
58. سمِّ مخلوطاً غروباً مكوناً من غاز مذاب في سائل؟
59. تنبيلة السلطنة ما نوع الخليط غير المتجانس الموضح في الشكل 1-23؟ وما الخصائص التي اعتمدت عليها في تصنيفك؟



الشكل 1-23

60. ما الذي يسبب الحركة البراونية في المخلوطين الغروي؟

## 1-2

## إتقان المفاهيم

61. ما الفرق بين النسبة المئوية بالكتلة والنسبة المئوية بالحجم؟
62. ما الفرق بين المولارية والمولالية؟
63. ما العوامل التي يجب أخذها في الحسبان 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 حل المسائل

66. وفق 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 يحضر 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  $1.5 \times 10^3$  mL وتركيزه 10 M؟
73. ما كتلة  $CaCl_2$  بالجرامات اللازمة لتحضير محلول حجمه 2.0 L وتركيزه 3.5 M؟
74. غالباً ما تحضر محاليل قياسية مختلفة التراكيز من HCl لتنفيذ التجارب. أكمل الجدول 1-7 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.

جدول 1-7 محاليل HCl	
حجم محلول 12 M HCl القياسي بوحدة mL	مولارية HCl
	0.50
	1.0
	1.5
	2.0
	5.0

## 1-3

## إتقان المفاهيم

85. صف عملية الذوبان.

86. اذكر ثلاث طرائق لزيادة سرعة الذوبان.

87. اشرح الفرق بين المحاليل المشبعة والمحاليل غير المشبعة.

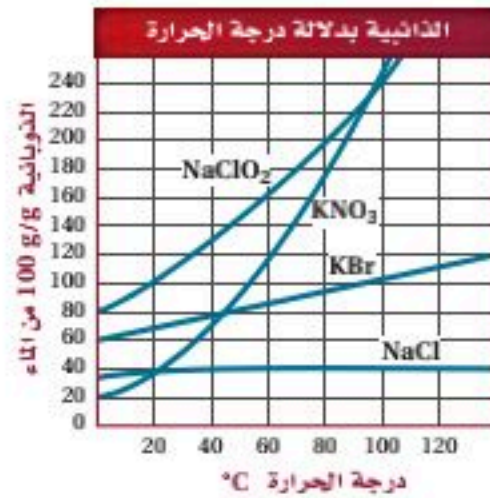
## إتقان حل المسائل

88. إذا كانت ذائبية غاز تساوي  $0.54 \text{ g/L}$  عند ضغط مقداره  $1.5 \text{ atm}$  فاحسب ذائبية الغاز عند مضاعفة الضغط.

89. ذائبية غاز تساوي  $9.5 \text{ g/L}$  عند ضغط  $4.5 \text{ atm}$ . ما كمية الغاز بالجرامات التي تذوب في  $1 \text{ L}$  إذا تم تخفيض الضغط إلى  $3.5 \text{ atm}$ ؟

90. ذائبية غاز تساوي  $1.80 \text{ g/L}$  عند ضغط مقداره  $37.0 \text{ kPa}$ . ما قيمة الضغط التي تصبح عندها الذائبية  $9.00 \text{ g/L}$ ؟

91. استعن بالشكل 1-25 لمقارنة ذائبية بروميد البوتاسيوم  $\text{KBr}$  ونترات البوتاسيوم  $\text{KNO}_3$  عند درجة حرارة  $80^\circ\text{C}$ .



الشكل 1-25

92. استعن بقانون هنري لإكمال الجدول 1-8

جدول 1-8 الذائبية والضغط	
الضغط kPa	الذائبية g/L
؟	2.9
32	3.7
39	؟

75. كم تحتاج من حمض النيتريك (mL) الذي تركيزه  $5.0 \text{ M}$  لتحضير  $225 \text{ mL HNO}_3$  تركيزه  $1.0 \text{ M}$ ؟

76. تجربة إذا قمت بتخفيف  $55 \text{ mL}$  من محلول تركيزه  $4.0 \text{ M}$  لتحضير محلول مخفف حجمه  $250 \text{ mL}$ ، فاحسب مولارية المحلول الجديد.

77. ما حجم حمض الفوسفوريك (بوحدة mL) الذي تركيزه  $3.0 \text{ M}$ ، والذي يمكن تحضيره من  $95 \text{ mL}$  من محلول  $5.0 \text{ M H}_3\text{PO}_4$ ؟

78. إذا خففت  $20.0 \text{ mL}$  من محلول تركيزه  $3.5 \text{ M}$  لتحضير محلول حجمه  $100.0 \text{ mL}$ ، فما مولارية المحلول بعد التخفيف؟

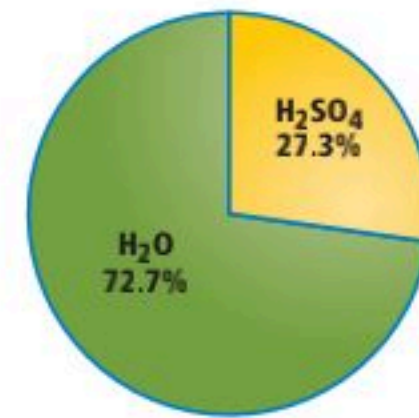
79. ما مولالية محلول يحتوي على  $75.3 \text{ g}$  من  $\text{KCl}$  مذابة في  $95.0 \text{ g}$  من الماء؟

80. ما كتلة  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (بوحدة g) التي يجب إذابتها في  $155 \text{ g}$  من الماء لعمل محلول تركيزه  $8.20 \text{ mol/kg}$ ؟

81. ما مولالية محلول يحتوي على  $30.0 \text{ g}$  من النفتالين  $\text{C}_{10}\text{H}_8$  الذائب في  $500 \text{ g}$  من التولوين؟

82. ما المولالية والكسر المولي لمذاب يحتوي على  $35.5\%$  بالكتلة من محلول حمض الميثانويك  $\text{HCOOH}$ ؟

83. استعن بالشكل 1-24، واحسب الكسر المولي لحمض الكبريتيك  $\text{H}_2\text{SO}_4$  في المحلول.



الشكل 1-24

84. احسب الكسر المولي لمحلول  $\text{MgCl}_2$  الناتج عن إذابة  $132.1 \text{ g MgCl}_2$  في  $175 \text{ mL}$  من الماء؟

## مراجعة عامة

102. أي مذاب له أكبر تأثير في درجة غليان 1.00 kg من الماء: 50 g من كلوريد الإسترانسيوم  $\text{SrCl}_2$  أم 150 g من رابع كلوريد الكربون  $\text{CCl}_4$ ؟ فسر إجابتك.

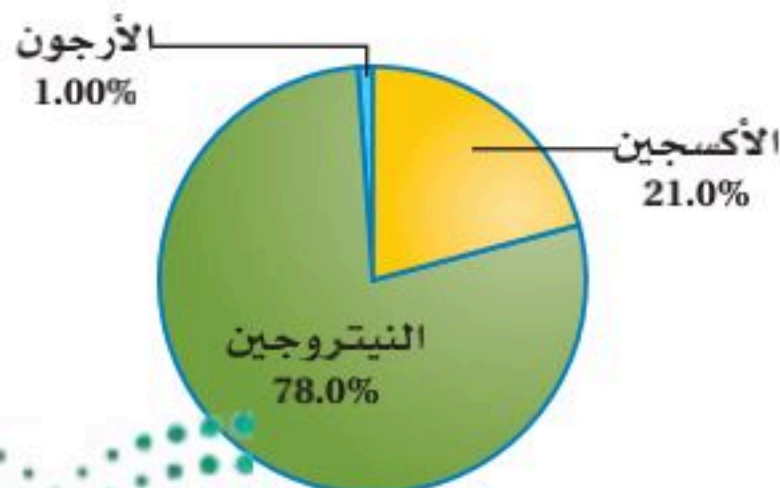
جدول 1-9 هل الذوبان ممكن؟	
مذيب	مذاب
$\text{H}_2\text{O}$ سائل	$\text{MgCl}_2$ صلب
$\text{C}_6\text{H}_6$ سائل	$\text{NH}_3$ سائل
$\text{H}_2\text{O}$ سائل	$\text{H}_2$ غاز
$\text{Br}_2$ سائل	$\text{I}_2$ سائل

103. استعمل معرفتك بالقطبية والذائبية لتوقع ما إذا كان الذوبان ممكناً في كل من الحالات الموضحة في الجدول 1-9. فسر إجابتك.

104. إذا قمت بتحضير محلول مائي مشبع من كلوريد البوتاسيوم عند درجة حرارة  $25^\circ\text{C}$ ، ثم قمت بتسخينه إلى  $50^\circ\text{C}$  فهل يصبح المحلول غير مشبع، أو مشبعًا، أو فوق مشبع؟ فسر إجابتك.

105. ما كتلة نترات الكالسيوم  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  التي تلزم لتحضير 3.00 L من محلول تركيزه 0.500 M؟

106. بين الشكل 1-26 النسب المئوية لمكونات عينة من الهواء. احسب الكسر المولي لكل غاز في العينة.



الشكل 1-26

93. المشروبات الغازية الضغط الجزئي لغاز  $\text{CO}_2$  داخل زجاجة مشروب غازي هو 4.0 atm عند درجة حرارة  $25^\circ\text{C}$ . إذا كانت ذائبية  $\text{CO}_2$  تساوي 0.12 mol/L. وعند فتح الزجاجة ينخفض الضغط الجزئي إلى  $3.0 \times 10^{-4}$  atm، فما ذائبية  $\text{CO}_2$  في الزجاجة المفتوحة؟ عبر عن إجابتك بوحدة g/L.

## 1-4

## 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 حل المسائل

98. احسب درجة التجمد لمحلول يحتوي على 12.1 g من النفثالين غير المتأين  $\text{C}_{10}\text{H}_8$  الذائب في 0.175 kg من البنزين  $\text{C}_6\text{H}_6$ . استعن بالجدول 1-6.

99. إذا قمت بإذابة 179 g من  $\text{MgCl}_2$  في 1.00 L ماء، فاستعن بالجدول 1-6 على إيجاد درجة تجمد المحلول. إذا علمت أن كلوريد الماغنسيوم مادة متأينة قوية.

100. الطبخ يقوم طبخ بتحضير محلول بإضافة 12.5 g من  $\text{NaCl}$  إلى وعاء يحوي 0.750 L من الماء. عند أي درجة حرارة يغلي المحلول في الوعاء؟ استعن بالجدول 1-6.

101. الثلجات (الآيس كريم) يستعمل خليط الملح  $\text{NaCl}$  والثلج والماء لتبريد الحليب والكريميا لصنع مثلجات (آيس كريم) منزلية. ما كمية الملح بالجرامات التي يجب إضافتها إلى الماء لتخفيض درجة التجمد  $10.0^\circ\text{C}$ ؟

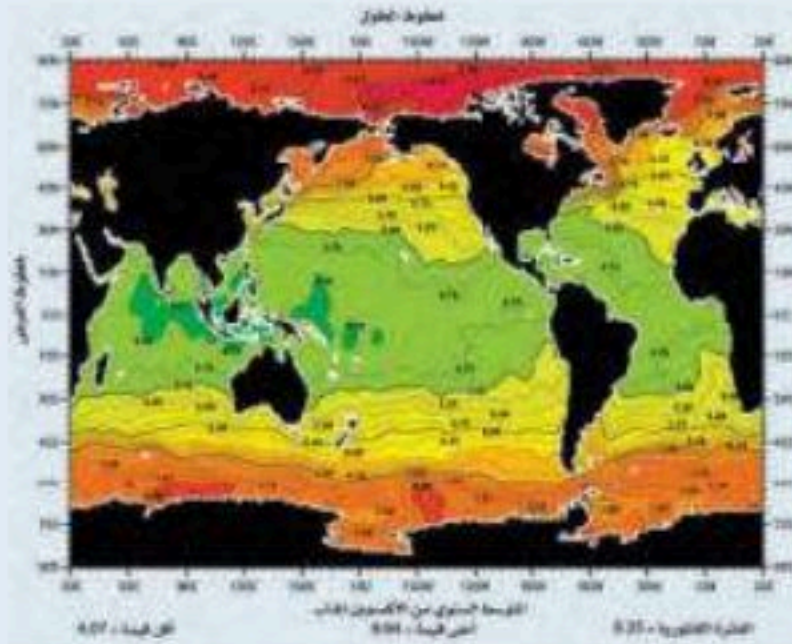
## تقويم إضافي

## 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 مخططاً يوضح العملية، ومناقشة المنافع والمضار المتعلقة بشرب الحليب المتجانس.

## أسئلة المستندات

المتوسط السنوي من الأوكسجين المذاب تبين البيانات الموجودة في الشكل 1-28 متوسط قيم الأوكسجين 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 1-28

112. هل ترتبط قيم الأوكسجين المذاب بشكل واضح مع خط الطول أو خط العرض؟ لماذا ترى ذلك صحيحاً؟
113. عند أي خط عرض يكون متوسط الأوكسجين المذاب أقل؟
114. صف الاتجاه العام الذي توضحه البيانات، وارتبط ذلك مع العلاقة بين ذائبية الغاز ودرجة الحرارة.

## التفكير الناقد

107. اعمل خطة لتحضير 1000 mL من محلول حمض الهيدروكلوريك المائي تركيزه 5% بالحجم. يجب أن تصف خطتك كميته المذاب والمذيب اللازمة، والخطوات المستعملة في تحضير المحلول.

108. قارن واستخلص النتائج ادرس المخطط في الشكل 1-21، وقارن بين الخطوط المتقطعة لـ  $\Delta T_b$  و  $\Delta T_f$ ، وصف الاختلافات التي لاحظتها. كيف يمكن لهذه الخطوط أن توضع في أماكن مختلفة تبعاً لنوع المحاليل إذا كانت متأينة أو غير متأينة؟ ولماذا؟

109. توسع بين الشكل 1-27 ذائبية الأرجون في الماء عند ضغوط مختلفة. استعمل قانون هنري للتحقق من الذائبية عند (15atm).



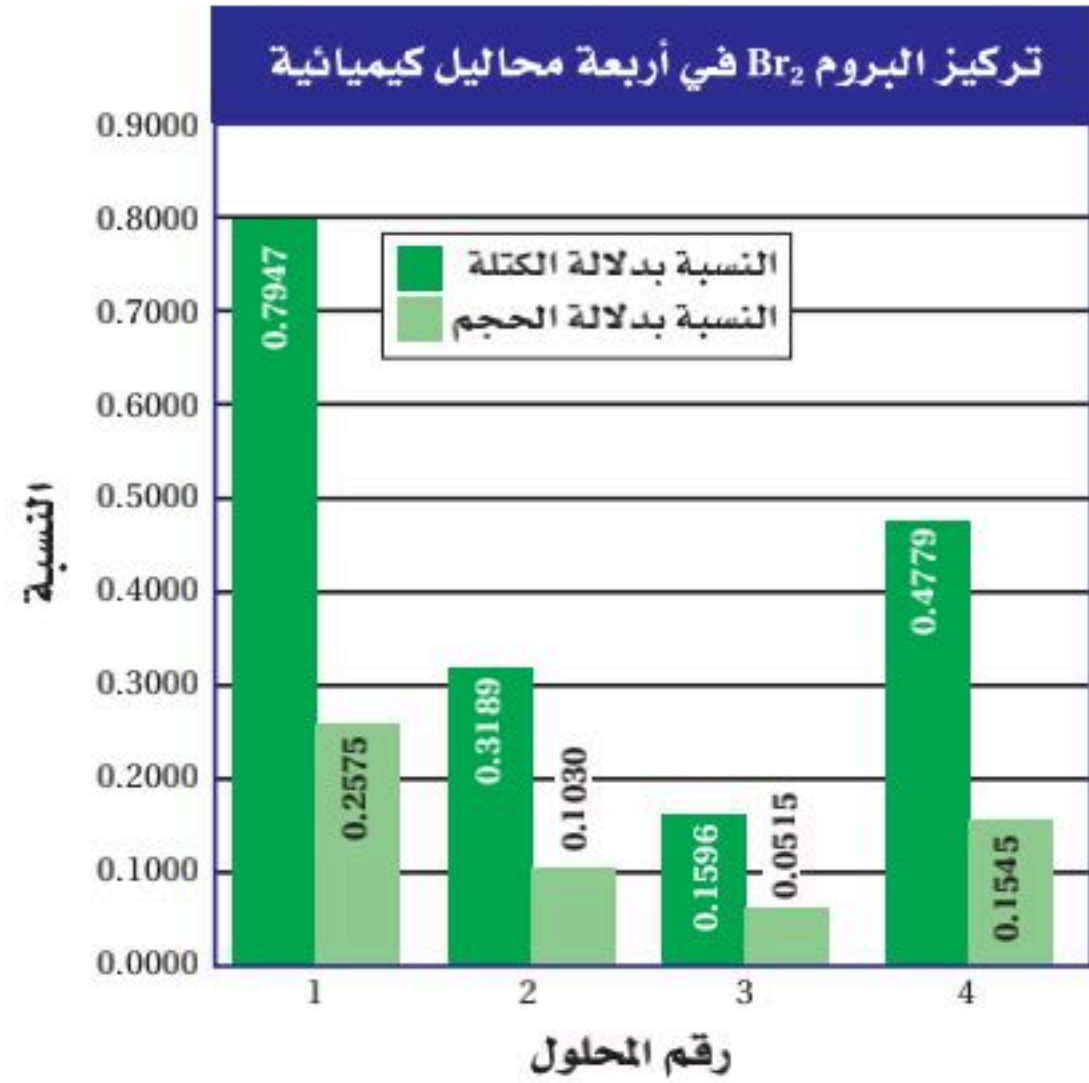
الشكل 1-27

## مسألة تحفيز

110. لديك محلول يحتوي على 135.2 g من مذابة في 2.3 L من الماء. كم (mL) منه يلزم لتحضير محلول مخفف حجمه 1.5 L وتركيزه 0.1 M؟ وما درجة غليان المحلول المخفف الجديد؟

## أسئلة الاختيار من متعدد

استعمل الرسم البياني الآتي للإجابة عن السؤالين 1 و 2.



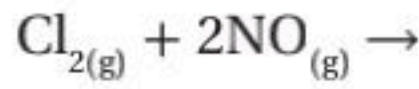
1. ما حجم البروم  $Br_2$  الذائب في 7.00 L من المحلول 1؟

- a. 55.63 mL
- b. 8.808 mL
- c. 18.03 mL
- d. 27.18 mL

2. ما كمية البروم (بالجرام) 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؟

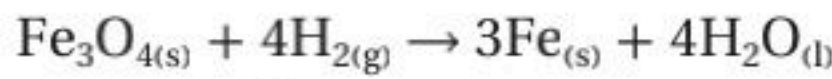


- a.  $NCl_2$
- b.  $2NOCl$
- c.  $N_2O_2$
- d.  $2ClO$

4. إذا أذيب 1 mol من كل من المواد التالية في 1 L من الماء فأياً يكون له الأثر الأكبر في الضغط البخاري لمحلولها؟

- a. KBr
- b.  $C_6H_{12}O_6$
- c.  $MgCl_2$
- d.  $CaSO_4$

5. استعن بالتفاعل الآتي للإجابة عن السؤال 5.



5. إذا تفاعل 16 mol  $H_2$  فكم مولاً من Fe ينتج؟

- a. 6
- b. 3
- c. 12
- d. 9

6. ما حجم 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

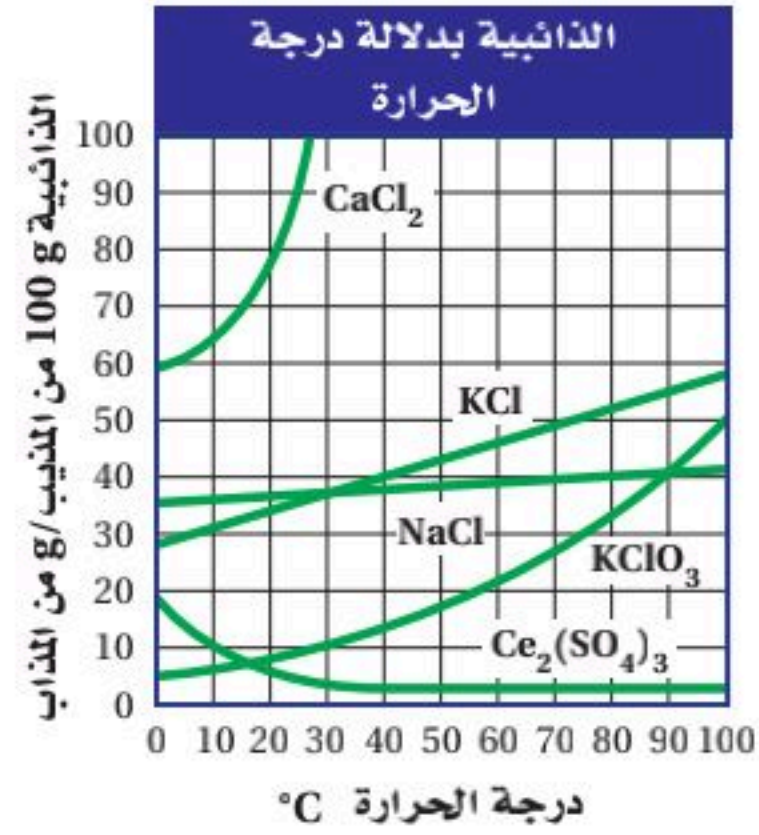
7. أي مما يأتي لا يعد خاصية جامعة؟

- a. رفع درجة الغليان.
- b. زيادة الضغط البخاري.
- c. الضغط الأسموزي.
- d. حرارة المحلول.



## أسئلة الإجابات القصيرة

استعن بالرسم البياني الآتي للإجابة عن الأسئلة 8 - 10.



8. ما عدد مولات KClO<sub>3</sub> 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<sub>3</sub> اللازمة لتحضير محلول مائي حجمه 1.0 L عند درجة حرارة 75 °C؟

## أسئلة الإجابات المفتوحة

11. إذا أعطيت عينة من مذاب صلب وثلاثة محاليل مائية تحتوي على ذلك المذاب، فكيف يمكنك تحديد أي المحاليل مشبع، وأيها غير مشبع، وأيها فوق مشبع؟



**الفكرة (العامة)** يمكن تعريف الأحماض والقواعد باستعمال مفردات، منها: أيونات الهيدروجين، أيونات الهيدروكسيد، أزواج الإلكترونات.

### 1-2 مقدمة في الأحماض والقواعد

**الفكرة (الرئيسية)** تساعد النظريات المختلفة على وصف سلوك الأحماض والقواعد.

### 2-2 قوة الأحماض والقواعد

**الفكرة (الرئيسية)** تتأين الأحماض والقواعد القوية في المحاليل تأينًا تامًا، بينما تتأين الأحماض والقواعد الضعيفة في المحاليل تأينًا جزئيًا.

### 3-2 أيونات الهيدروجين والرقم

#### الهيدروجيني

**الفكرة (الرئيسية)** يعبر كل من pH و pOH عن تركيز أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد في المحاليل المائية.

### 4-2 التعادل

**الفكرة (الرئيسية)** يتفاعل الحمض مع القاعدة في تفاعل التعادل لينتج ملحًا وماء.

## حقائق كيميائية

- تُعد  $pH=8.2$  قيمة مقبولة عمومًا للأحياء المائية، إلا أن المحافظة على هذه القيمة في حوض السمك لا يضمن استمرار نمو المخلوقات التي تعيش فيه بصورة طبيعية.
- تستطيع القشريات التي تعيش في المياه العذبة في أمريكا الجنوبية، العيش في مياه لها رقم هيدروجيني pH بين 6.4 و 7.0، في حين تعيش القشريات الإفريقية في مياه pH لها بين 8.0 و 9.2.

قياس الرقم الهيدروجيني



تقويم النتائج



## نشاطات تمهيدية

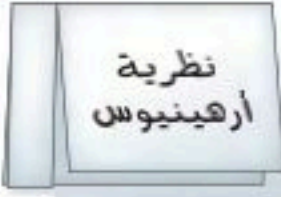
**الأحماض والقواعد**  
اعمل المطوية الآتية  
لتساعدك على المقارنة بين  
النظريات الرئيسة للأحماض  
والقواعد.

### المطويات

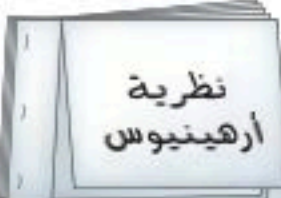
منظمات الأفكار



**الخطوة 1** أحضر ثلاث  
أوراق، واطو كلاً منها عرضياً  
من المنتصف. وارسم خطاً على  
بُعد 3 cm تقريباً من الطرف  
الأيسر. قص الورقة على طول  
هذا الخط حتى تصل إلى الشية.  
كرر ذلك مع الورقتين الأخرين.



**الخطوة 2** عنون كل ورقة باسم  
نظرية من نظريات تعريف الأحماض  
والقواعد.



**الخطوة 3** ثبت الأوراق  
الثلاث معاً على طول حافاتها  
الخارجية.

**المطويات** استعمل هذه المطوية في القسم 1-2، وسجل  
ملاحظاتك المتعلقة بنظريات الأحماض والقواعد في  
أثناء قراءة هذا القسم، ثم اكتب تفاعلات عامة تمثل  
كل نظرية.



## تجربة استهلاكية

ماذا يوجد في خزانتك؟

يمكنك أن تتعلم شيئاً حول خواص المنظفات، والمنتجات  
التي تستعملها في منزلك، وذلك باختبارها بأشرطة تباع  
الشمس. هل تستطيع تصنيف تلك المنتجات في مجموعتين؟



### خطوات العمل

1. املاً بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
  2. ضع ثلاث إلى أربع قطرات من منتجات مختلفة في فجوات  
طبق التفاعلات البلاستيكي أو يمكنك استخدام أنابيب  
الاختبار بدلاً من ذلك. وارسم جدولاً يبين موضع كل منها.
  3. اختبر كل منتج بورق تباع الشمس الأزرق والأحمر.  
أضف قطرتين من الفينولفثالين إلى كل عينة. ثم سجل  
ملاحظاتك.
- تحذير: الفينولفثالين قابل للاشتعال. لذا أبعده عن  
اللهب.

### التحليل

1. صنف المواد في مجموعتين، بناءً على مشاهداتك.
  2. صف كيف تختلف المجموعتان؟ وماذا يمكنك أن  
تستنتج؟
- استقصاء** اختر عينة واحدة تفاعلت مع الفينولفثالين. هل  
تستطيع جعل هذا التفاعل يسير بالاتجاه العكسي؟ صمم  
تجربة لاختبار فرضيتك.





## 2-1

### الأهداف

- تحدد الخواص الفيزيائية والكيميائية للأحماض والقواعد.
- تصنّف المحاليل إلى حمضية، أو قاعدية، أو متعادلة.
- تقارن بين نظريات أرهينيوس، وبرونسند - لوري، ولويس للأحماض والقواعد.

### مراجعة المفردات

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

### المفردات الجديدة

- المحلول الحمضي
- المحلول القاعدي
- نظرية أرهينيوس
- نظرية برونسند - لوري
- الحمض المرافق (المقترن)
- القاعدة المرافقة (المقترنة)
- الأزواج المترافقة
- مواد مترددة (أمفوتيرية)
- نظرية لويس

## مقدمة في الأحماض والقواعد

### Introduction to Acids and Bases

**الفكرة الرئيسية** تساعد النظريات المختلفة على وصف سلوك الأحماض والقواعد. **الربط مع الحياة** إن التصنيف الأكثر شيوعاً للمواد هو تصنيفها إلى أحماض وقواعد. ويمكن تمييز الأحماض من الطعم اللاذع لبعض المشروبات المفضلة لديك، أو الرائحة الحادة لبعض القواعد مثل الأمونيا في بعض المنظفات المنزلية.

### خواص الأحماض والقواعد Properties of Acids and Bases

يطلق النمل حمض الميثانويك (الفورميك) عندما يشعر بخطر يهدد مستعمرته، فينبّه أفراد المستعمرة كلها. أما الأحماض المذابة في ماء المطر فتؤدي إلى تكوين كهوف كبيرة في الصخور الجيرية، وتؤدي أيضاً إلى تلف الأبنية والمواقع الأثرية القيّمة مع مرور الزمن. وتستعمل الأحماض في إضافة نكهة إلى الكثير من المشروبات والأطعمة التي تتناولها. وهناك أيضاً حمض في المعدة يساعد على هضم الطعام. كذلك تلعب القواعد دوراً في حياتك؛ فالصابون الذي تستعمله والأقراص المضادة للحموضة التي قد تتناولها عند اضطراب المعدة كلها تعتبر من القواعد. كما أن الكثير من المواد المنزلية - كالتبييض - استعملت في التجربة الاستهلاكية - أحماض أو قواعد. **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 حمض الكربونيك  $H_2CO_3$  والفوسفوريك  $H_3PO_4$ ؛ ومنها الليمون والجريب فروت لاحتوائهما على حمض الستريك والأسكوربيك؛ كما أن حمض الخل يجعل طعم الخل لاذعاً. وربما تعلم أن المحاليل القاعدية طعمها مرّ، ولها ملمس زلق. فكّر كيف تصبح قطعة الصابون زلقة عندما تبتل. لا تحاول أبداً تعرّف أي حمض أو قاعدة أو أي مادة أخرى في المختبر عبر تذوقها أو لمسها.

يبين الشكل 2-1 نبتتين تنموان في تربتين مختلفتين، فإحدهما تنمو في تربة حمضية، والأخرى تنمو في تربة قاعدية (قلوية).



(2)



(1)

الشكل 2-1 تنمو نبتة الأثل (1) بكثرة في المملكة العربية السعودية وتمتاز بتحملها للأراضي القلوية والمالحة. تكثر زراعة الزيتون (2) في منطقة الجوف بالمملكة العربية السعودية وتمتاز شجرة الزيتون بتحملها لدرجات الحرارة العالية والقدرة على العيش في تربة حامضة.



تحول القواعد ورق تباع الشمس الأحمر إلى أزرق



تحول الأحماض ورق تباع الشمس الأزرق إلى أحمر

الشكل 2-2 يستعمل حمض الهيدروكلوريك HCl - وهو حمض قوي- في تنظيف السيراميك. كما يساعد هيدروكسيد الصوديوم NaOH - وهو قاعدة قوية- على تسليك المصارف المسدودة.

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

**الخواص الكيميائية** يمكن تعرف الأحماض والقواعد من خلال تفاعلها مع ورق تباع الشمس. ويمكن تعرف الأحماض أيضًا من خلال تفاعلاتها مع بعض الفلزات وكربونات الفلزات. **التفاعلات مع ورق تباع الشمس** يعد تباع الشمس نوعًا من الأصباغ المستعملة عادة في التمييز بين محاليل الأحماض والقواعد، كما في الشكل 2-2؛ إذ تحول محاليل الأحماض لون ورق تباع الشمس الأزرق إلى الأحمر، وتحويل محاليل القواعد لون ورق تباع الشمس الأحمر إلى الأزرق. **التفاعلات مع الفلزات وكربونات الفلزات** يتفاعل كل من الماغنسيوم والخاصين مع محاليل الأحماض، فينتج عن هذا التفاعل غاز الهيدروجين. وتصف المعادلة الآتية التفاعل بين الخاصين وحمض الهيدروكلوريك:



وتتفاعل كربونات الفلزات  $\text{CO}_3^{2-}$  وكربونات الفلزات الهيدروجينية  $\text{HCO}_3^-$  أيضًا مع محاليل الأحماض منتجة غاز ثاني أكسيد الكربون  $\text{CO}_2$ . فعند إضافة الخل إلى صودا الخبز يحدث تفاعل بين حمض الإيثانويك (الخل  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) وكربونات الصوديوم الهيدروجينية  $\text{NaHCO}_3$ ، وينتج غاز  $\text{CO}_2$  الذي يسبب ظهور الفقاعات.



يستعمل الجيولوجيون محلول حمض الهيدروكلوريك لتعرف الصخر الجيري (الذي يتكون بشكل رئيس من  $\text{CaCO}_3$ )، 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.







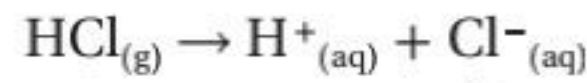
الشكل 5-2 تعد بحيرة ناترون في تنزانيا تجمعا طبيعياً للمياه القاعدية. حيث تصب المياه في البحيرة حاملة معها كميات كبيرة من كربونات الصوديوم الذائبة من الصخور البركانية المحيطة دون أن تجد لها مخرجاً. ويزيد التبخر من تركيز هذا الملح، مخلفاً قشرة بيضاء على السطح، وجاعلاً المياه عالية القاعدية.

**المطويات** أدخل معلومات من هذا القسم في مطويتك.

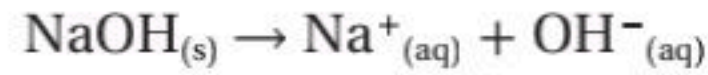
## نظرية أرهينيوس The Arrhenius Theory

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

**أحماض وقواعد أرهينيوس** تأمل ما يحدث عند إذابة غاز كلوريد الهيدروجين في الماء بوصفه مثلاً على نظرية أرهينيوس للأحماض والقواعد؛ إذ تتأين جزيئات HCl مكونة أيونات  $H^+$  التي تجعل المحلول حمضياً.



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



وعلى الرغم من أن نظرية أرهينيوس تفسر الكثير من المحاليل الحمضية والقاعدية، إلا أنها لا تخلق من بعض السليبات؛ فمثلاً لا تحتوي الأمونيا  $NH_3$  وكربونات الصوديوم  $Na_2CO_3$  على مجموعة الهيدروكسيد، إلا أن كلا 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 5-2. لذا من الواضح أننا بحاجة إلى نظرية أكثر دقة تشمل القواعد جميعها.

1980 - 1990م لا تحتوي

مقاييس pH التي تشمل على رقائق السليكون أجزاء زجاجية، وهي شائعة الاستعمال الآن في الصناعات الغذائية والتجميلية والدوائية.

1933 - 1934م طوّر العلماء مقاييس pH المحمول.



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

1963م اكتشف العلماء المطر

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

1953م درس جايمس

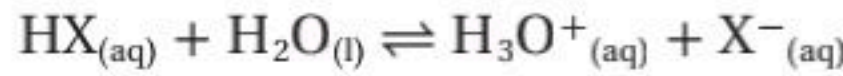
واطسون، وفرانيس كريك، وروزالند فرانكلين الحمض النووي DNA، واضعين بذلك إطاراً للصناعة التكنولوجية الحيوية.



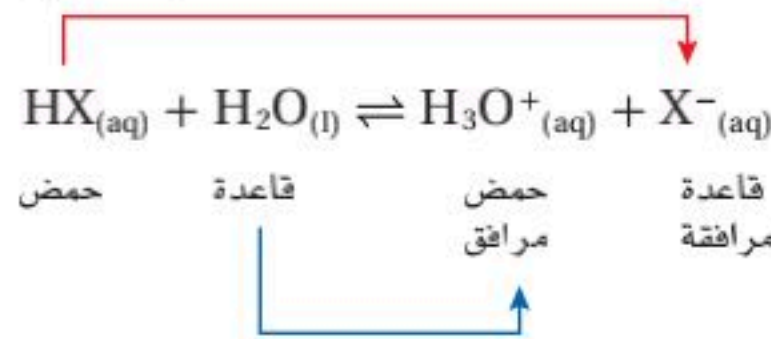
## نظرية برونستد - لوري The Bronsted–Lowry Theory

اقترح الكيميائي الدنماركي يوهان برونستد والكيميائي الإنجليزي توماس لوري نظريةً أشمل للأحماض والقواعد؛ حيث تركز على أيون الهيدروجين  $H^+$ . ففي نظرية 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 الرمز  $X$  و  $Y$  يمثلان عنصرين غير فلزيين أو أيونات سالبة متعددة الذرات فإننا نستطيع كتابة الصيغة العامة للحمض في صورة  $HX$  أو  $HY$ . وعندما يذوب جزيء من حمض  $HX$  في الماء يعطى أيون  $H^+$  لجزيء ماء، فيسلك جزيء الماء سلوك القاعدة، ويكتسب أيون  $H^+$ ، كما في المعادلة الآتية:



وعند اكتساب جزيء الماء أيون  $H^+$  يصبح حمضاً، فتصبح صيغته  $H_3O^+$ ، الذي يسمى أيون الهيدرونيوم، ويعدّ حمضاً؛ لأن لديه أيون  $H^+$  إضافياً يستطيع أن يمنحه. وعندما يمنح الحمض  $HX$  أيون  $H^+$  يصبح مادة قاعدية  $X^-$ ؛ لأن لديه شحنة سالبة، ويستطيع أن يستقبل أيون هيدروجين موجباً. وهكذا يمكن أن يحدث تفاعل بين حمض وقاعدة في الاتجاه المعاكس. ويستطيع الحمض  $H_3O^+$  أن يتفاعل مع القاعدة  $X^-$  مكوناً ماء و  $HX$ ، فيحدث الاتزان الآتي:



**الأحماض والقواعد المرافقة** يعدّ التفاعل الأمامي في التفاعل السابق تفاعل حمض مع قاعدة. والتفاعل العكسي لحمض وقاعدة أيضاً. ويعرف الحمض والقاعدة اللذان يتفاعلان في الاتجاه العكسي بأتهما حمض مرافق مع قاعدة مرافقة. فالحمض المرافق (المقترن) 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 (المقترنة) 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 معاً عن طريق منح واستقبال أيون هيدروجين واحد.

يبين الشكل 2-6 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 أي (أيون هيدروجين) يستطيع أن يهبه. ويصبح الأب هو القاعدة لأنه مستعد لاستقبال الكرة أي (أيون هيدروجين). 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.



الشكل 2-6 يمثل الأب عندما يرمي الكرة إلى ابنه حمض برونستد - لوري ويمثل الابن قاعدته. وعندما يمسك الابن الكرة فإنه يمثل الحمض المرافق.



الشكل 2-7 يمنح فلوريد الهيدروجين أيون هيدروجين لجزيء الماء، لذا يُعد فلوريد الهيدروجين حمضاً. **حدّد القاعدة المرافقة لفلوريد الهيدروجين.**

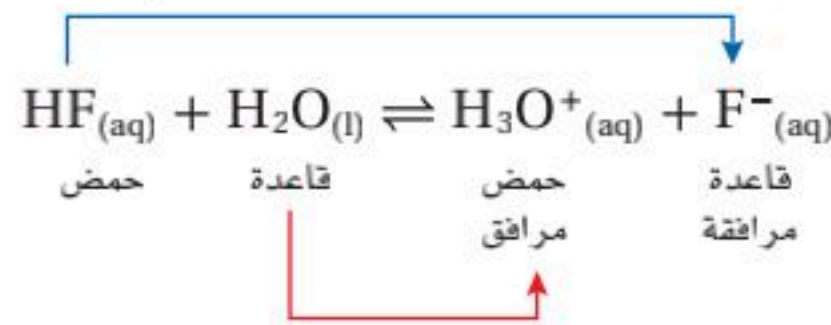
### المفردات

#### أصل الكلمة

#### مترافق Conjugate

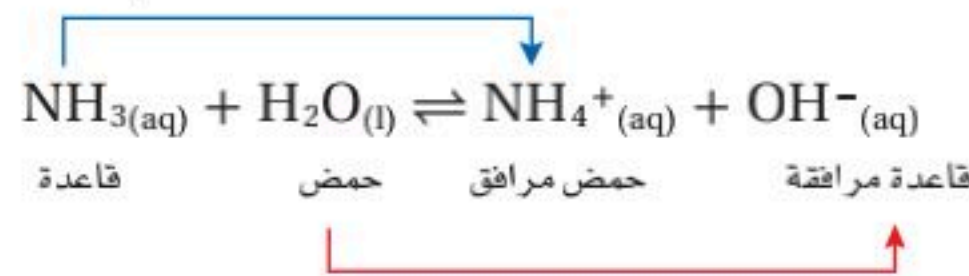
معنى كلمة Conjugate مترافق في اللغة العربية مترافق، وقد أخذت هذه الكلمة من اللغة اللاتينية، وهي تعني: -Con بادئة بمعنى مع أو معاً. jugate فعل بمعنى يتصل أو يتحد.

**فلوريد الهيدروجين - حمض برونستد - لوري** تأمل معادلة تأين فلوريد الهيدروجين HF في الماء، المبينة في الشكل 2-7. أيّ الزوجين هو الحمض، وأيها هو القاعدة المرافقة؟ ينتج الحمض في التفاعل الأمامي - وهو في هذه الحالة فلوريد الهيدروجين - قاعدة المرافقة  $\text{F}^-$ ، وتعد أيضاً القاعدة في التفاعل العكسي. بينما تنتج القاعدة في التفاعل الأمامي - وهو في هذه الحالة الماء - حمضها المرافق  $\text{H}_3\text{O}^+$ ، وهو أيضاً الحمض في التفاعل العكسي.



يستعمل فلوريد الهيدروجين في صنع مركبات متنوعة تحتوي على الفلور، مثل الطبقة المغلفة لأدوات الطبخ غير اللاصقة، والمبينة في الشكل 2-8. ويعد حمضاً وفق نظريتي أرهينيوس وبرونستد - لوري.

**الأمونيا - قاعدة برونستد - لوري** معظم الأحماض والقواعد التي تتفق مع تعريف أرهينيوس للأحماض والقواعد تتفق أيضاً مع تعريف برونستد - لوري. ولكن بعض المواد الأخرى التي لا توجد فيها مجموعة الهيدروكسيد لا يمكن أن تُعدّ من القواعد بحسب تعريف أرهينيوس، ولكنها تصنف قواعداً بحسب نظرية برونستد - لوري. ومن ذلك الأمونيا  $\text{NH}_3$ . فعندما تذوب الأمونيا في الماء يكون الماء حمضاً بحسب تعريف برونستد - لوري في التفاعل الأمامي. ولأن جزيء الأمونيا  $\text{NH}_3$  يستقبل أيون  $\text{H}^+$  ليكون أيون الأمونيوم  $\text{NH}_4^+$  فإن الأمونيا تُصنّف قاعدة برونستد - لوري في التفاعل الأمامي.



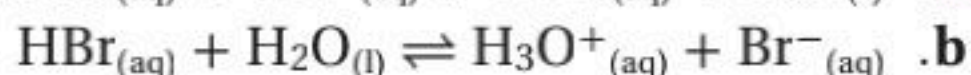
أما في التفاعل العكسي فيعطي أيون الأمونيوم  $\text{NH}_4^+$  أيون  $\text{H}^+$  ليكون جزيء أمونيا. وهكذا يعمل عمل حمض، بحسب برونستد - لوري. ويكون بذلك أيون الأمونيوم هو الحمض المرافق للقاعدة (الأمونيا). ويتقبل أيون الهيدروكسيد أيون  $\text{H}^+$  ليكون جزيء ماء. وهكذا يكون قاعدة بحسب برونستد - لوري. لذا يكون أيون الهيدروكسيد هو القاعدة المرافقة للحمض والماء.

**الماء - حمض وقاعدة برونستد - لوري** تذكر أنه عندما يذوب HF في الماء فإن الماء يسلك سلوك القاعدة؛ وعندما تذوب الأمونيا  $\text{NH}_3$  في الماء، فإن الماء يسلك سلوك الحمض. لذا يسلك الماء سلوك الحمض أو القاعدة بحسب طبيعة المواد المذابة في المحلول. ويُسمى الماء والمواد الأخرى التي تستطيع أن تسلك سلوك الأحماض والقواعد مواد **متردة (أمفوتيرية) Amphoteric**.



الشكل 2-8 يتفاعل فلوريد الهيدروجين مع مركبات عضوية تسمى الهيدروكربونات لصنع السطح الناعم غير اللاصق لهذه الأدوات المنزلية، حيث تحل ذرات الفلور محل ذرات الهيدروجين.

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



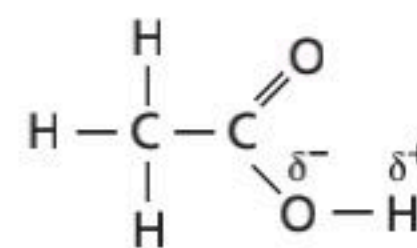
4. تحفيز إذا علمت أن نواتج تفاعل حمض مع قاعدة هي  $\text{H}_3\text{O}^+$  و  $\text{SO}_4^{2-}$ .

اكتب معادلة موزونة للتفاعل، وحدّد الأزواج المترافقة من الحمض والقاعدة.

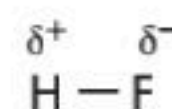
## الأحماض الأحادية البروتون والمتعددة البروتونات Monoprotic and Polyprotic Acids

تستطيع أن تعرف أن كلاً 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 واحداً فقط يُسمى حمضاً أحادي البروتون. ومن الأحماض الأحادية البروتون حمض البيروكلوريك  $\text{HClO}_4$ ، وحمض النيتريك  $\text{HNO}_3$ ، وحمض الهيدروبروميك  $\text{HBr}$ ، وحمض الإيثانويك  $\text{CH}_3\text{COOH}$ . ولأن حمض الإيثانويك أحادي البروتون لذا تكتب صيغته غالباً في صورة  $\text{CH}_3\text{COOH}$  لتأكيد حقيقة أن ذرة هيدروجين واحدة فقط من الذرات الأربع قابلة للتأين.

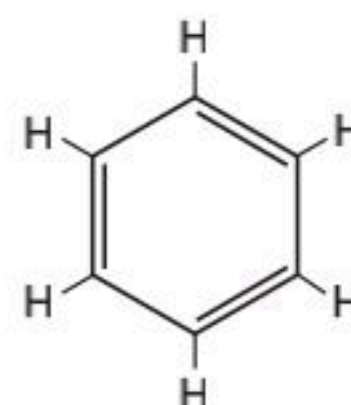
**ذرات الهيدروجين القابلة للتأين** الفرق بين ذرة الهيدروجين القابلة للتأين في حمض الإيثانويك وذرات الهيدروجين الثلاث الأخرى هو أن الذرة القابلة للتأين مرتبطة مع عنصر الأكسجين الأكثر كهروسالبية من الهيدروجين. والفرق في الكهروسالبية يجعل الرابطة بين الأكسجين والهيدروجين قطبية. ويبين الشكل 2-9 تركيب حمض الإيثانويك، مع تركيب حمض HF وتركيب البنزين  $\text{C}_6\text{H}_6$  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 تقريباً 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  $\text{H}_2\text{SO}_4$  وحمض الكربونيك  $\text{H}_2\text{CO}_3$  أن يمنح أيون هيدروجين؛ فكلاهما يحتوي على ذرتي هيدروجين مرتبطتين مع ذرتي أكسجين بروابط قطبية. والأحماض التي تحتوي على ذرتي هيدروجين قابلتين للتأين في كل جزيء تُسمى أحماضاً ثنائية البروتونات. ويحتوي كل من حمض الفوسفوريك  $\text{H}_3\text{PO}_4$  والبوريك  $\text{H}_3\text{BO}_3$  على ثلاث ذرات هيدروجين قابلة للتأين في كل جزيء، ويُسمى أحماضاً ثلاثية البروتونات. ويمكن استعمال مصطلح حمض متعدد البروتونات لأي حمض يحتوي على أكثر من ذرة هيدروجين قابلة للتأين.



حمض الإيثانويك



فلوريد الهيدروجين



بنزين

الشكل 2-9 تعتمد قدرة الهيدروجين على التأين على قطبية رابطة. ففي حمض الإيثانويك يكون الأكسجين أكثر كهروسالبية من الهيدروجين، لذا تكون الرابطة بين الأكسجين والهيدروجين قطبية. ولذلك تستطيع ذرة الهيدروجين أن تتأين في المحلول. كذلك في فلوريد الهيدروجين يعد الفلور عالي الكهروسالبية، لذا يكون HF حمضاً في المحلول، بينما في البنزين هناك فرق قليل في الكهروسالبية بين ذرات الكربون والهيدروجين، لذا فالبنزين ليس حمضاً.

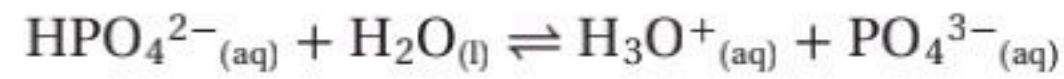
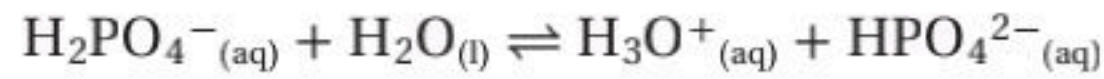
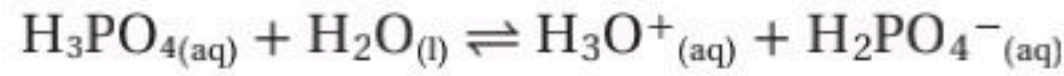
## بعض الأحماض الشائعة وقواعدها المرافقة

## الجدول 2-1

القاعدة المرافقة		الحمض	
الصيغة الكيميائية	الاسم	الصيغة الكيميائية	الاسم
Cl <sup>-</sup>	أيون الكلوريد	HCl	حمض الهيدروكلوريك
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	أيون النترات	HNO <sub>3</sub>	حمض النيتريك
HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	أيون الكبريتات الهيدروجينية	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	حمض الكبريتيك
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	أيون الكبريتات	HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	أيون الكبريتات الهيدروجينية
F <sup>-</sup>	أيون الفلوريد	HF	حمض الهيدروفلوريك
CN <sup>-</sup>	أيون السيانيد	HCN	حمض الهيدروسيانيك
CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	أيون الإيثانوات	CH <sub>3</sub> COOH	حمض الإيثانويك
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	أيون ثنائي هيدروفوسفات	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	حمض الفوسفوريك
HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	أيون الهيدروفوسفات	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	أيون ثنائي هيدروفوسفات
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	أيون الفوسفات	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	أيون الهيدروفوسفات
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	أيون الكربونات الهيدروجينية	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	حمض الكربونيك
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	أيون الكربونات	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	أيون الكربونات الهيدروجينية

يبين الجدول 2-1 بعض الأحماض الأحادية والمتعددة البروتونات.

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



### المطويات

أدخل معلومات من هذا القسم في مطويتك.

### المفردات

#### المفردات الأكاديمية

يتطابق Conform

تعني: يشابه أو يماثل

كأن نقول مثلاً: إن تصريفات تتطابق مع توقعات المجتمع.

## نظرية لويس The Lewis Theory

لاحظ أن جميع المواد المصنفة أحماضاً وقواعد بحسب نظرية أرهينيوس تُصنف أيضاً أحماضاً وقواعد بحسب نظرية برونستد - لوري. وبالإضافة إلى ذلك، فإن بعض المواد غير المصنفة بأنها قواعد بحسب نظرية أرهينيوس تُصنف قواعد بحسب نظرية برونستد - لوري.

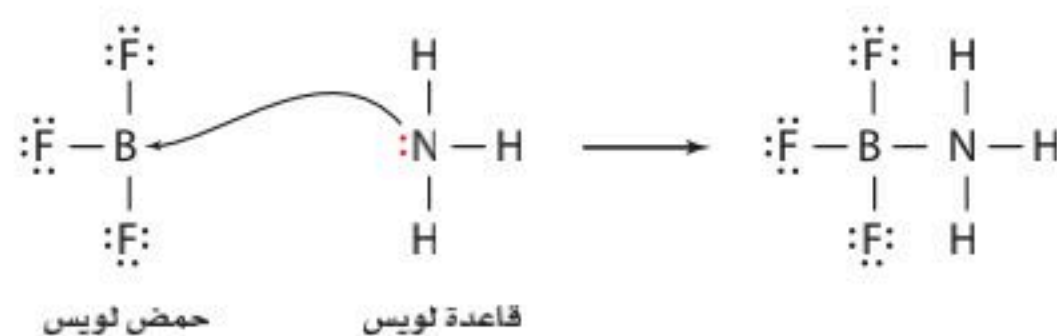
إذن قد لا تدهش إذا علمت أن نظرية أخرى أكثر شمولية للأحماض والقواعد اقترحتها الكيميائي لويس (1875 - 1946م) الذي طوّر أيضاً نظرية زوج الإلكترونات للترابط الكيميائي، وقدم تراكيب لويس التي تبين مواقع الإلكترونات في الذرات والجزيئات. وقد طبق نظريته على تفاعلات الأحماض والقواعد. واقترح أن الحمض أيون أو جزيء فيه مدار ذري فارغ يستطيع أن يتقبل (يشارك) زوجاً من الإلكترونات. وأن القاعدة أيون أو جزيء له زوج إلكترونات حر (غير مرتبط) يستطيع أن يمنحه أو يشارك فيه. وبحسب نظرية لويس فإن حمض لويس مادة مستقبلة لزوج من الإلكترونات، وقاعدة لويس مادة مانحة لزوج من الإلكترونات. لاحظ أن نظرية لويس تشمل جميع المواد المصنفة أحماضاً وقواعد بحسب برونستد - لوري وغيرها كثير أيضاً.



**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:

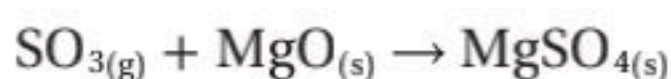


يمثل أيون  $H^+$  في هذا التفاعل حمض لويس؛ حيث يستقبل مدار 1s الفارغ زوجًا من الإلكترونات من أيون  $F^-$ . ويمثل أيون الفلوريد قاعدة لويس، لذا فهو يعطي زوجًا من الإلكترونات غير المشترك ليكون الرابطة بين الهيدروجين والفلور في HF. لاحظ أن هذا التفاعل يتطابق أيضًا مع نظرية برونستد-لوري للأحماض والقواعد؛ لأن  $H^+$  يمكن اعتباره مانحًا لأيون هيدروجين، و  $F^-$  مستقبلًا لأيون هيدروجين. فتفاعل غاز ثالث فلوريد البورون  $BF_3$  مع غاز الأمونيا  $NH_3$  لتكوين  $BF_3 \cdot NH_3$  هو تفاعل حمض لويس مع قاعدة لويس.

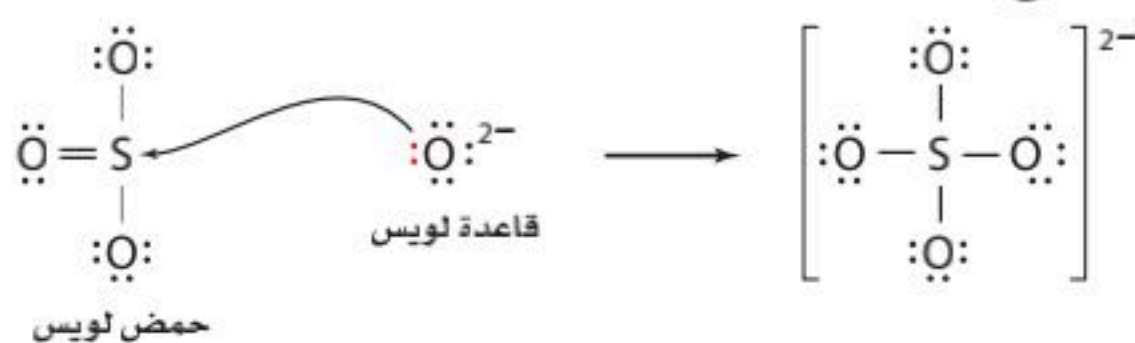


وإن ذرة البورون في  $BF_3$  لها ستة إلكترونات تكافؤ، لذا يستطيع المدار الفارغ أن يستقبل زوجًا من الإلكترونات من قاعدة لويس.

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

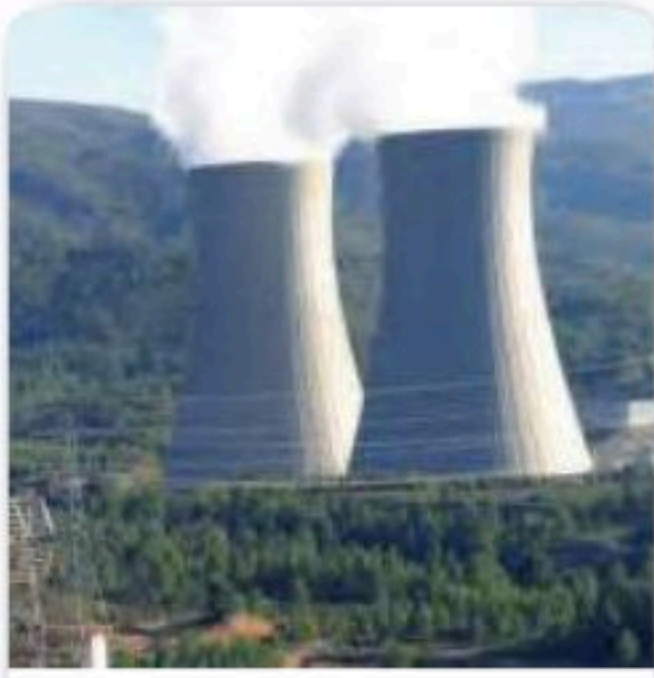


حيث يمثل زوج الحمض - القاعدة في هذا التفاعل ثالث أكسيد الكبريت  $SO_3$  وأيون الأكسيد  $O^{2-}$  من أكسيد الماغنسيوم، أما الناتج فهو أيون الكبريتات.



لاحظ أن حمض لويس-وهو في هذه الحالة جزيء  $SO_3$ - يستقبل زوج إلكترونات من قاعدة لويس، وهو أيون  $O^{2-}$ . ويلخص الجدول 2-2 نظريات أرهينيوس، و برونستد-لوري، ولويس للأحماض والقواعد.

ملخص النظريات الثلاث للأحماض والقواعد		الجدول 2-2
تعريف القاعدة	تعريف الحمض	النظرية
منتج $OH^-$	منتج $H^+$	أرهينيوس
مستقبل $H^+$	مانح $H^+$	برونستد-لوري
يمنح زوجًا من الإلكترونات	يستقبل زوجًا من الإلكترونات	لويس



الشكل 2-10 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، إلا أن الذي يمكن رؤيته من المدخنة قليل.

يعد تفاعل  $SO_3$  مع  $MgO$  مهماً؛ 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 مغذٍ للنباتات. وللتفاعل الذي ينتج كبريتات الماغنسيوم أيضاً تطبيقات بيئية؛ فعندما يحقن  $MgO$  في الغازات الخارجة من مداخل محطات توليد الطاقة الكهربائية التي تعمل بالفحم الحجري، كما في الشكل 2-10 فإنه يتفاعل مع  $SO_3$  ويعمل على انتزاعه من الغازات العادمة الخارجة من المصنع إلى الجو. أما إذا ترك  $SO_3$  ليتشر في الغلاف الجوي فسوف يتحد مع الماء الموجود في الهواء مكوناً 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 سقف الكهوف مخلّفة الجير المذاب. وهذا الجير يتكون على هيئة رقائق جليدية تتدل من السقف تسمى الهوابط. وكذلك تتكون كتل من كربونات الكالسيوم على أرض الكهوف تسمى الصواعد.

تكوّن مثل هذه الكهوف لأن ثاني أكسيد الكربون أنهيدريد حمضي (حمض منزوع منه جزئ ماء)، وهو أكسيد يستطيع أن يتحد مع الماء ليكون حمضاً. وهناك أكاسيد أخرى تتحد مع الماء مكونة قواعد. فمثلاً يكون أكسيد الكالسيوم  $CaO$  (الجير الحي) عندما يذوب في الماء القاعدة هيدروكسيد الكالسيوم  $Ca(OH)_2$  (الجير المطفأ). وعموماً تكون أكاسيد العناصر الفلزية القواعد؛ بينما تكون أكاسيد اللافلزات الأحماض.

## التقويم 2-1

### الخلاصة

5. **الفكرة الرئيسية** فسر 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. وضح كيف تحدد تراكيز أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد ما إذا كان المحلول حمضياً أم قاعدياً 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؟



- تحدد تراكيز أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد ما إذا كان المحلول حمضياً، أم قاعدياً، 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 زوجاً من الإلكترونات، بينما قاعدة لويس مادة تعطي زوجاً من الإلكترونات.



## 2-2

### 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: مادة يوصل محلونها 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

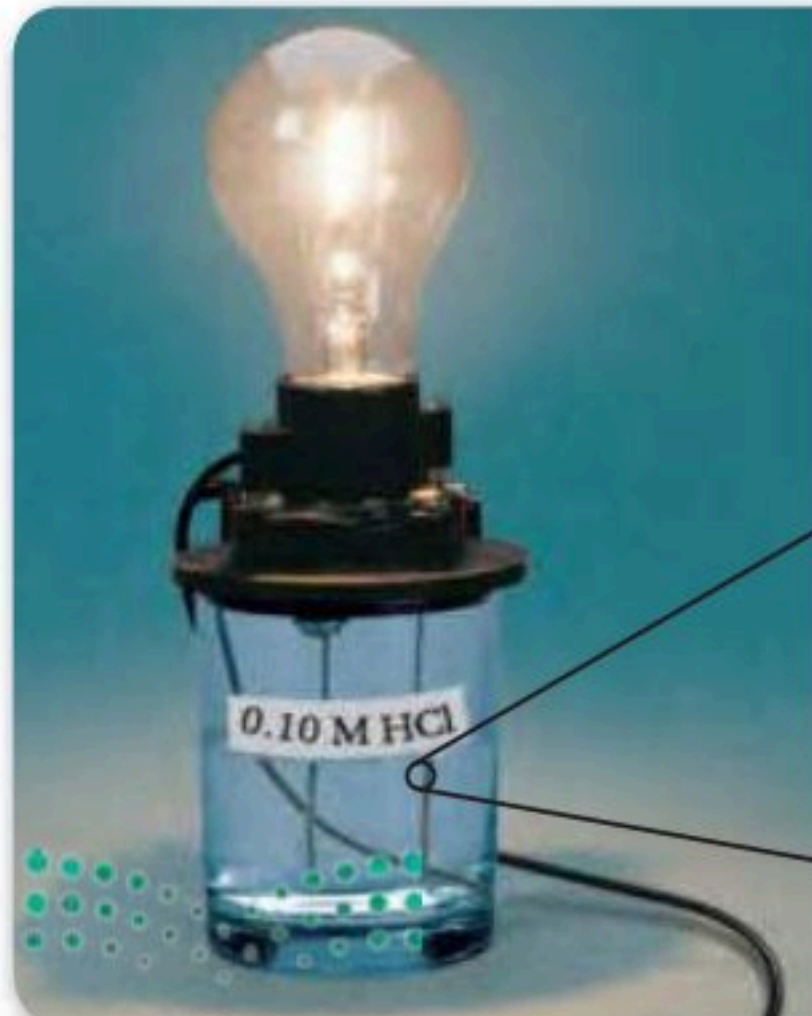
**الفكرة الرئيسية** تتأين الأحماض والقواعد القوية في المحاليل تأيناً تاماً، بينما تتأين الأحماض والقواعد الضعيفة في المحاليل تأيناً جزئياً.

**الربط مع الحياة** تعتمد التميرية الناجحة في لعبة كرة القدم على كل من المرسل والمستقبل، فيُعرف مثلاً 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.

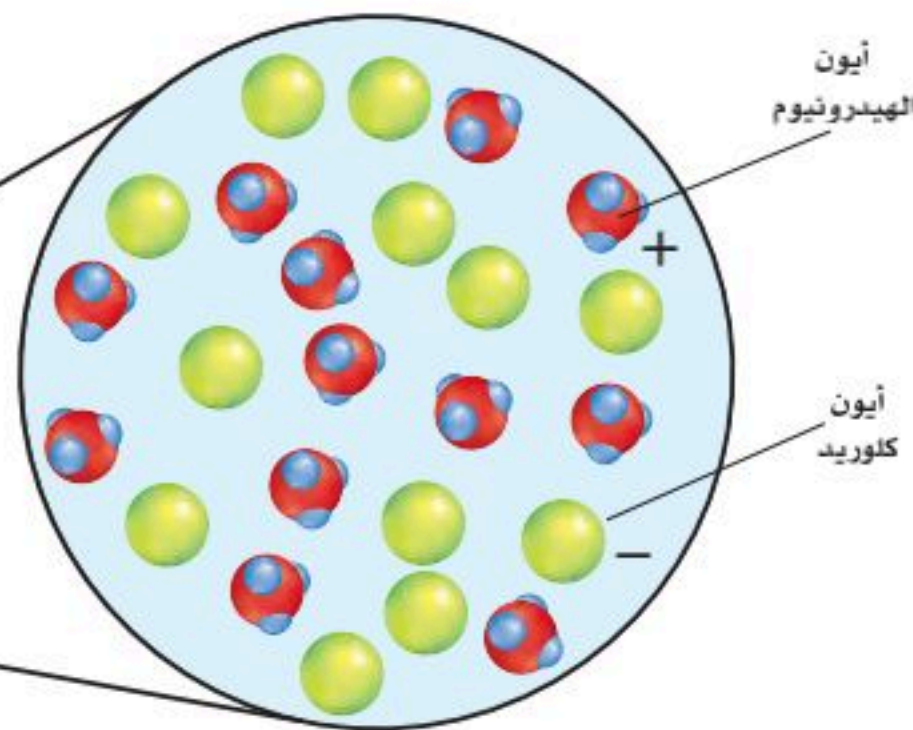
### قوة الأحماض Strengths of Acids

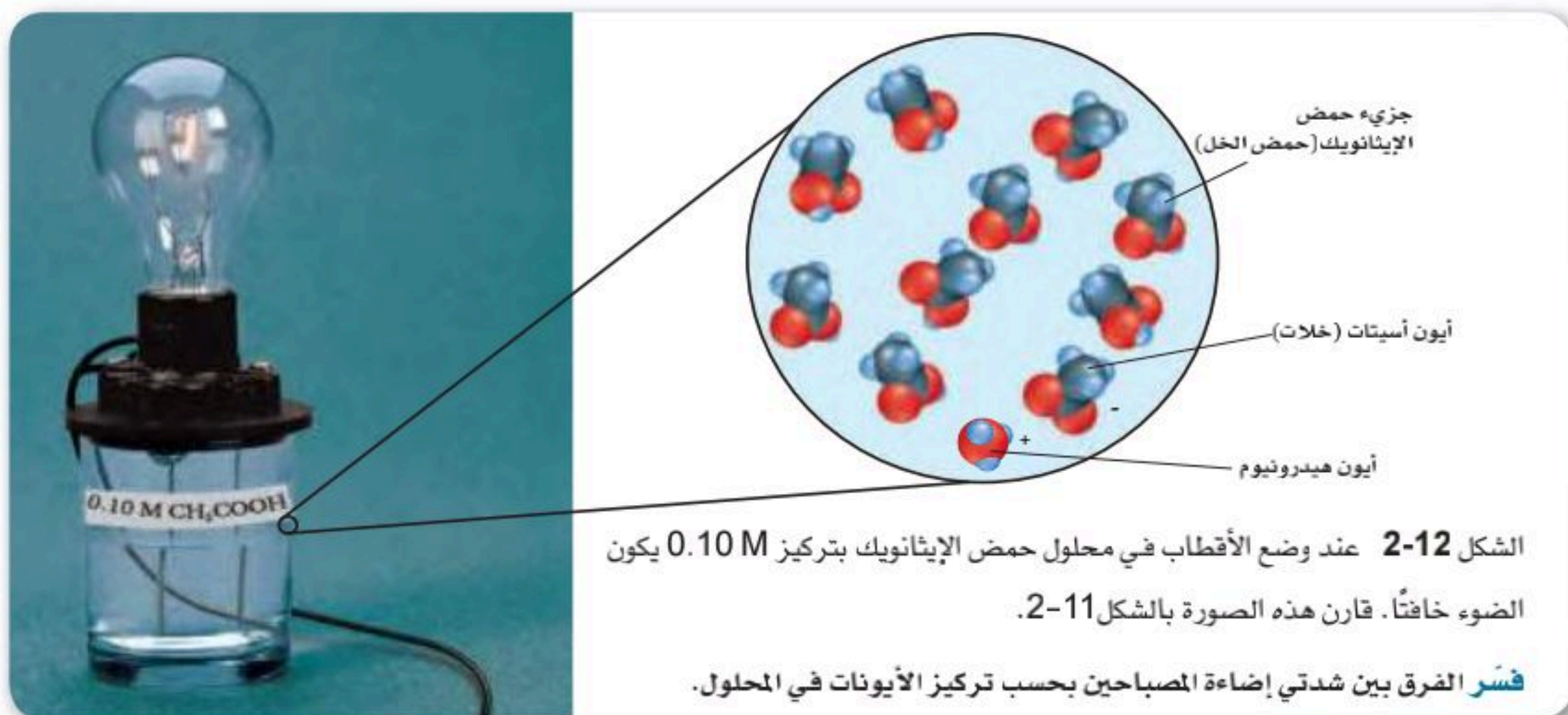
من خواص المحاليل الحمضية والقاعدية أنها توصل الكهرباء. ما المعلومات التي تستطيع معرفتها عن أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد في هذه المحاليل المائية من خلال توصيلها للكهرباء؟ افترض أنك تفحص قدرة التوصيل الكهربائي لمحلول مائي تركيزه 0.10 M من حمض الهيدروكلوريك، وآخر مماثل من حمض الإيثانويك (الخل). يدل توهج المصباح الكهربائي في الشكل 2-11 على أن المحلول يوصل الكهرباء. ولكن إذا قارنت توهج المصباح المتصل بمحلول HCl في الشكل 2-11 بتوهج المصباح المتصل بمحلول  $\text{CH}_3\text{COOH}$  في الشكل 2-12 فلا بد أن تلاحظ فرقاً؛ فتوصيل محلول HCl للكهرباء أفضل من توصيل محلول  $\text{CH}_3\text{COOH}$ . فلم 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 كلياً مكونة أيونات هيدرونيوم وأيونات كلوريد.



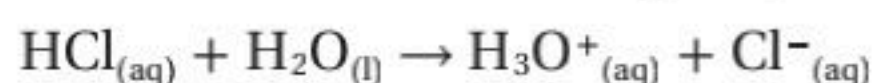
الشكل 2-11 يتوهج المصباح بقوة عندما يوضع القطبان في محلول حمض الهيدروكلوريك بتركيز 0.10 M؛ لأن جميع HCl تتحلل إلى أيونات هيدرونيوم وأيونات كلوريد.





وتسمى الأحماض التي تتأين كلياً **أحماضاً قوية**. ولأن الأحماض القوية تنتج أكبر عدد من الأيونات، لذا فهي موصلات جيدة للكهرباء.

يمكن تمثيل تأين حمض الهيدروكلوريك في الماء بالمعادلة الآتية:



**الأحماض الضعيفة** إذا كان سبب الإضاءة القوية لمصباح الجهاز الذي يحتوي على HCl هو عدد الأيونات الكبير في المحلول - كما في الشكل 2-11 - فإن الإضاءة الخافتة لمصباح الجهاز الذي يحتوي على محلول  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ، المبين في الشكل 2-12، 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 كلياً. ولذلك يسمى الحمض الذي يتأين جزئياً فقط في المحلول المائي المخفف **الحمض الضعيف**. ولأن الأحماض الضعيفة تنتج أيونات أقل فإنها لا توصل الكهرباء جيداً مثل الأحماض القوية. ويبين الجدول 2-3 معادلات التأين لبعض الأحماض الضعيفة والأحماض القوية الشائعة.

معادلات التأين		الجدول 2-3	
أحماض ضعيفة		أحماض قوية	
معادلات التأين	الاسم	معادلات التأين	الاسم
$\text{HF} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{F}^-$	الهيدروفلوريك	$\text{HCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$	الهيدروكلوريك
$\text{CH}_3\text{COOH} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$	الإيثانويك	$\text{HI} \rightarrow \text{H}^+ + \text{I}^-$	الهيدرويوديك
$\text{H}_2\text{S} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HS}^-$	كبريتيد الهيدروجين	$\text{HClO}_4 \rightarrow \text{H}^+ + \text{ClO}_4^-$	البيركلوريك
$\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$	الكربونيك	$\text{HNO}_3 \rightarrow \text{H}^+ + \text{NO}_3^-$	النيتريك
$\text{HClO} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{ClO}^-$	الهيوكلوروز	$\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}^+ + \text{HSO}_4^-$	الكبريتيك

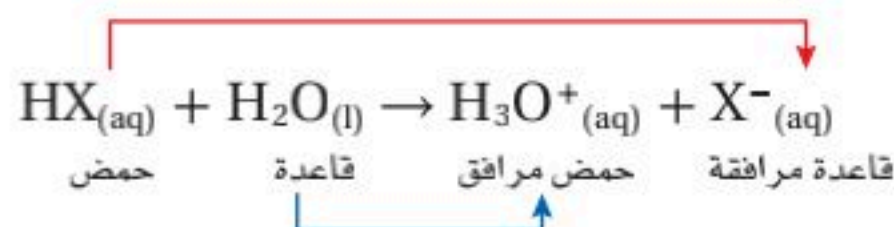
## واقع الكيمياء في الحياة

### سيانيد الهيدروجين



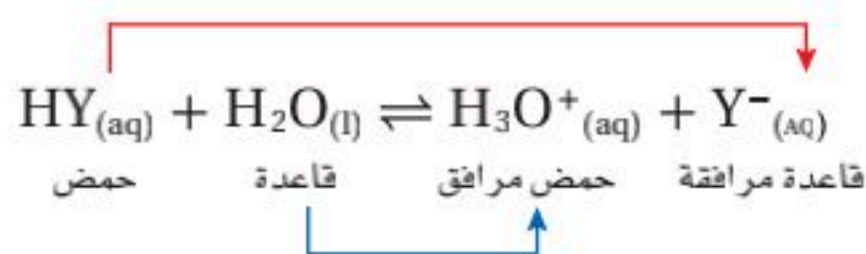
**مركب مميت** سيانيد الهيدروجين HCN غاز سام يوجد في عوادم المركبات، وفي دخان التبغ والخشب، وفي دخان البلاستيك المحترق المحتوي على النيتروجين. وتطلق بعض الحشرات سيانيد الهيدروجين للدفاع عن نفسها. ويسمى محلول سيانيد الهيدروجين في الماء حمض الهيدروسيانيك. وتحتوي نوى بعض الفواكه - ومنها الكرز والخوخ - على سيانوهدرين 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 ونظرية برونستد - لوري** هل تستطيع نظرية برونستد - لوري تفسير سبب تأين HCl كلياً بينما يكون  $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$  القليل من الأيونات؟ تأمل تأين أي حمض قوي، كحمض HX على سبيل المثال. وتذكر أن الحمض الموجود على جهة المتفاعلة من المعادلة ينتج قاعدة مُرافقة على جهة النواتج. وبالمثل فإن القاعدة الموجودة على جهة المواد المتفاعلة تنتج حمضاً مرافقاً.

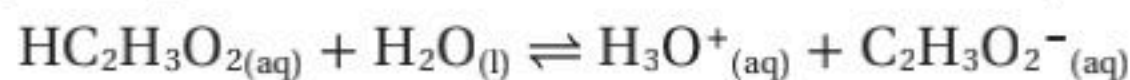


يمثل HX حمضاً قوياً وقاعدته المرافقة ضعيفة. أي أن HX يتأين بنسبة 100% تقريباً؛ لأن الماء قاعدة أقوى (في التفاعل الأمامي) من قاعدته المرافقة  $\text{X}^-$  (في التفاعل العكسي). أي أنه يقع اتزان التأين كلياً تقريباً إلى اليمين؛ لأن جذب القاعدة  $\text{H}_2\text{O}$  لأيون  $\text{H}^+$  أكبر من جذب القاعدة المرافقة  $\text{X}^-$ . فكر في هذا الأمر وكأنه معركة للقواعد، أيها لديه قوة جذب أكبر لأيون الهيدروجين:  $\text{H}_2\text{O}$  أم  $\text{X}^-$ ؟ الماء هو القاعدة الأقوى عندما تكون الأحماض كلها قوية. لاحظ أن المعادلة مبيّنة بسهم واحد إلى اليمين.

كيف يختلف الوضع لأي حمض ضعيف HY؟



يميل اتزان التأين للحمض الضعيف إلى يسار المعادلة؛ لأن القاعدة المرافقة  $\text{Y}^-$  لديها جذب أكبر لأيون الهيدروجين من القاعدة  $\text{H}_2\text{O}$ . وتعد القاعدة المرافقة  $\text{Y}^-$  (في التفاعل العكسي) أقوى من القاعدة  $\text{H}_2\text{O}$  (في التفاعل الأمامي)، وتستطيع أن تستولي على أيون  $\text{H}^+$ . فمثلاً في حالة حمض الإيثانويك (الخل) تعد القاعدة المرافقة (في التفاعل العكسي) أقوى في جذب أيونات الهيدروجين من القاعدة  $\text{H}_2\text{O}$  (في التفاعل الأمامي).



لاحظ أن المعادلة تحتوي على سهمي اتزان.

✓ **ماذا قرأت؟ لخص أهم الاختلافات بين الأحماض القوية والأحماض الضعيفة عند تفاعلها مع القواعد.**

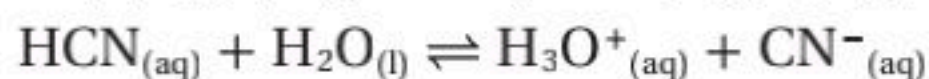
**ثابت تأين الحمض** تساعد نظرية برونستد - لوري على تفسير قوة الأحماض، إلا أنها لا تُعبّر بطريقة كمية عن قوة الحمض، ولاتقارن بين قوى الأحماض المختلفة. لذا يعد تعبير ثابت الاتزان قياساً كمياً لقوة الحمض.

إن الحمض الضعيف ينتج خليط اتزان من الجزيئات والأيونات في المحلول المائي. لذا يعطي ثابت الاتزان  $K_{\text{eq}}$  قياساً كمياً لدرجة تأين الحمض. تأمل حمض الهيدروسيلنيك HCN، الذي يستعمل في الصباغة، والحفر على الفولاذ، وتليينه.

## مهزن في الكيمياء

**عامل المشتل** الوظيفة الرئيسة لعامل المشتل هي الاهتمام بتكاثر النباتات ونموها. وهذا يشمل زراعتها وتقليمها ونقلها. ويبيع 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.

فيما يأتي معادلة التآين، وتعبير ثابت الاتزان لحمض الهيدروسيانيك:



$$K_{eq} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{CN}^-]}{[\text{HCN}][\text{H}_2\text{O}]}$$

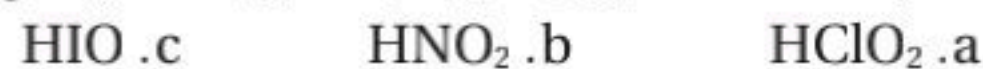
يعد تركيز الماء السائل في مقام تعبير ثابت الاتزان ثابتاً في المحاليل المائية المخففة، لذلك يمكن دمج مع  $K_{eq}$  ليعطي ثابت اتزان جديداً  $K_a$ .

$$K_{eq} [\text{H}_2\text{O}] = K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{CN}^-]}{[\text{HCN}]} = 6.2 \times 10^{-10}$$

يسمى  $K_a$  ثابت تآين الحمض، وهو قيمة ثابت الاتزان لتآين 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 المتآينة (المواد المتفاعلة) في المقام. وتكون قيم  $K_a$  للأحماض الأضعف أصغر؛ وذلك لاحتواء محاليلها على أقل تراكيز أيونات وأعلى تراكيز لجزيئات الحمض غير المتآينة. ويحتوي الجدول 2-4 على قائمة لقيم  $K_a$  ومعادلات التآين لعدة أحماض ضعيفة. لاحظ أن الأحماض المتعددة البروتونات ليست بالضرورة قوية التآين؛ فلكل تآين للحمض المتعدد البروتونات قيمة  $K_a$  مختلفة.

### مسائل تدريبية

11. اكتب معادلات التآين وتعابير ثابت تآين الحمض لكل مما يأتي:



12. اكتب معادلة التآين الأولى والثانية لحمض السليروز  $\text{H}_2\text{SeO}_3$ .

13. تحفيز إذا أعطيت المعادلة الرياضية الآتية:  $K_a = \frac{[\text{AsO}_4^{3-}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HAsO}_4^{2-}]}$ ، فاكتب المعادلة الموزونة للتفاعل.

ثوابت تآين الأحماض الضعيفة		الجدول 2-4
$K_a$ (298 K)	معادلة التآين	الحمض
$8.9 \times 10^{-8}$	$\text{H}_2\text{S} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HS}^-$	كبريتيد الهيدروجين، التآين الأول
$1 \times 10^{-19}$	$\text{HS}^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{S}^{2-}$	كبريتيد الهيدروجين، التآين الثاني
$6.3 \times 10^{-4}$	$\text{HF} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{F}^-$	الهيدروفلوريك
$6.2 \times 10^{-10}$	$\text{HCN} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{CN}^-$	الهيدروسيانيك
$1.8 \times 10^{-5}$	$\text{CH}_3\text{COOH} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$	الإيثانويك (حمض الخل)
$4.5 \times 10^{-7}$	$\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$	الكربونيك، التآين الأول
$4.7 \times 10^{-11}$	$\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$	الكربونيك، التآين الثاني

## تجربة

### قارن بين قوى الأحماض

كيف تستطيع أن تحدد القوى النسبية للمحاليل الحمضية؟

#### الخطوات

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. استعمل مخبراً مدرجاً 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. ويمكنك استخدام أنابيب الاختبار كبديل في حالة عدم توفر طبق التفاعلات. تحذير: حمض الإيثانويك (الخل) المركز مادة أكالة وسامة عند الاستنشاق؛ لذا تعامل معها بحذر.
3. ضع قطبي جهاز الموصلية الكهربائية (الدائرة الكهربائية) في الفجوة A1، وسجل ملاحظتك.
4. اغسل المخبر المدرج 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.

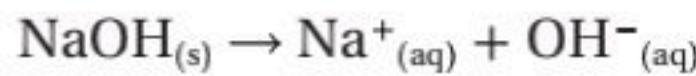
#### التحليل

1. اكتب معادلة تأين حمض الإيثانويك في الماء، وتعبير ثابت الاتزان ( $K_{eq} = 1.8 \times 10^{-5}$ ). علام 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 ملاحظتك مستعيناً في ذلك بإجابتك عن السؤال 2.
4. استعمل فرضيتك للتوصل إلى استنتاج يتعلق بضرورة استعمال كميات كبيرة من الماء للغسل عندما ينسكب حمض على نسيج حي.

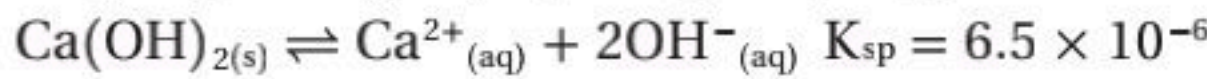
### قوة القواعد Strengths of Bases

تطلق القواعد أيونات  $\text{OH}^-$ ، ويعتمد توصيل القاعدة للتيار الكهربائي على مقدار ما تنتج من أيونات  $\text{OH}^-$  في المحلول المائي.

**القواعد القوية** القاعدة التي تتحلل كلياً منتجة أيونات فلزية وأيونات الهيدروكسيد تعرف بأنها **قاعدة قوية**. لذا فهيدروكسيدات الفلزات - ومنها هيدروكسيد الصوديوم  $\text{NaOH}$  - قواعد قوية.

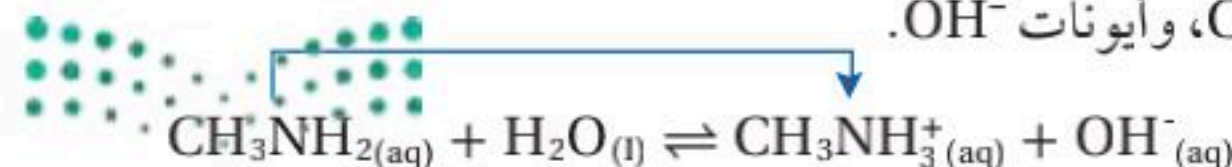


تعد بعض هيدروكسيدات الفلزات - ومنها هيدروكسيد الكالسيوم  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  - مصدرًا ضعيفاً لأيونات  $\text{OH}^-$ ؛ لأن ذائبيتها منخفضة. لاحظ أن ثابت حاصل الذائبية  $K_{sp}$  لهيدروكسيد الكالسيوم  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  صغير، مما يدل على أن كمية قليلة من  $\text{OH}^-$  توجد في المحلول المشبع.



ومع ذلك فإن هيدروكسيد الكالسيوم وغيره من هيدروكسيدات الفلزات القليلة الذوبان قواعد قوية؛ لأن كل ما يذوب منها يتأين كلياً. ويبين الجدول 2-5 معادلات تحلل بعض القواعد القوية.

**القواعد الضعيفة** تتأين القواعد الضعيفة جزئياً فقط في المحاليل المائية المخففة. فمثلاً يتفاعل ميثيل أمين  $\text{CH}_3\text{NH}_2$  مع الماء لينتج مخلوطاً متزنًا من جزيئات  $\text{CH}_3\text{NH}_2$ ، وأيونات  $\text{CH}_3\text{NH}_3^+$ ، وأيونات  $\text{OH}^-$ .



قاعدة مرافقة حمض مرافق حمض مرافق قاعدة

الجدول 2-5	معادلات التأين للقواعد القوية
	$\text{NaOH}_{(s)} \rightarrow \text{Na}^+_{(aq)} + \text{OH}^-_{(aq)}$
	$\text{KOH}_{(s)} \rightarrow \text{K}^+_{(aq)} + \text{OH}^-_{(aq)}$
	$\text{RbOH}_{(s)} \rightarrow \text{Rb}^+_{(aq)} + \text{OH}^-_{(aq)}$
	$\text{CsOH}_{(s)} \rightarrow \text{Cs}^+_{(aq)} + \text{OH}^-_{(aq)}$
	$\text{Ca}(\text{OH})_{2(s)} \rightarrow \text{Ca}^{2+}_{(aq)} + 2\text{OH}^-_{(aq)}$
	$\text{Ba}(\text{OH})_{2(s)} \rightarrow \text{Ba}^{2+}_{(aq)} + 2\text{OH}^-_{(aq)}$

ثابت التآين لبعض القواعد الضعيفة		الجدول 2-6
$K_b$ (298 K)	معادلة التآين	القاعدة
$5.0 \times 10^{-4}$	$C_2H_5NH_{2(aq)} + H_2O(l) \rightleftharpoons C_2H_5NH_3^+(aq) + OH^-(aq)$	إيثيل أمين
$4.3 \times 10^{-4}$	$CH_3NH_{2(aq)} + H_2O(l) \rightleftharpoons CH_3NH_3^+(aq) + OH^-(aq)$	ميثيل أمين
$2.5 \times 10^{-5}$	$NH_{3(aq)} + H_2O(l) \rightleftharpoons NH_4^+(aq) + OH^-(aq)$	الأمونيا
$4.3 \times 10^{-10}$	$C_6H_5NH_{2(aq)} + H_2O(l) \rightleftharpoons C_6H_5NH_3^+(aq) + OH^-(aq)$	الأنيلين

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 تآين القواعد** تكون القواعد الضعيفة مخلوط اتزان من الجزيئات والأيونات في المحاليل المائية، كما في الأحماض الضعيفة. ويعد ثابت الاتزان قياساً لمدى تآين القاعدة. وتبين المعادلة الآتية ثابت الاتزان لتآين الميثيل أمين في الماء:

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

ويمكن تعريف ثابت تآين القاعدة  $K_b$  بأنه قيمة تعبر عن ثابت الاتزان لتآين القاعدة الضعيفة. وكلما صغرت قيمة  $K_b$  كانت القاعدة أضعف. ويبين الجدول 2-6 قيم  $K_b$  ومعادلات التآين لبعض القواعد الضعيفة.

### مسائل تدريبية

14. اكتب معادلات التآين وتعبير ثابت التآين للقواعد الآتية:
- a . هكسيل أمين  $C_6H_{13}NH_2$       c . أيون الكربونات  $CO_3^{2-}$
- b . بروبييل أمين  $C_3H_7NH_2$       d . أيون الكبريتات الهيدروجينية  $HSO_4^-$
15. تحفيز اكتب معادلة اتزان قاعدة يكون فيها  $PO_4^{3-}$  قاعدة في التفاعل الأمامي، و  $OH^-$  قاعدة في التفاعل العكسي.

## التقويم 2-2

### الخلاصة

16. الفكرة الرئيسية 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  $4.3 \times 10^{-10}$ ؟
20. فسّر البيانات استعمل البيانات في الجدول 2-4 لترتيب الأحماض السبعة تصاعدياً بحسب توصيلها للكهرباء.

- تتأين الأحماض والقواعد القوية كلياً في المحاليل المائية المخففة. بينما تتأين الأحماض والقواعد الضعيفة تأيئاً جزئياً في المحاليل المائية المخففة.
- تعد قيمة ثابت تآين الحمض أو القاعدة الضعيفة قياساً لقوة الحمض أو القاعدة.





## 2-3

### الأهداف

- تشرح معنى المصطلحات pH و pOH.
- تربط بين pH و pOH وثابت التأيّن للماء.
- تحتسب قيمة pH و pOH للمحاليل المائية.

### مراجعة المفردات

**مبدأ لوتشاتيليه:** ينص على أنه إذا وقع ضغط على نظام في حالة اتزان فإن النظام يتجه في الاتجاه الذي يقلل من ذلك الضغط.

### مفردات جديدة

ثابت تأيّن الماء  $K_w$

الرقم الهيدروجيني pH

الرقم الهيدروكسيدي pOH

## أيونات الهيدروجين والرقم الهيدروجيني

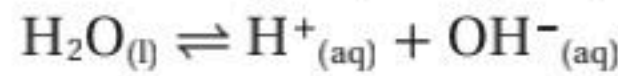
### Hydrogen Ions and pH

**الفكرة الرئيسية** 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. وأحياناً تتوازن العارضة في الوسط. تسلك تراكيز أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد في المحاليل المائية سلوكاً مماثلاً.

### ثابت التأيّن للماء Ion Product Constant for Water

يحتوي الماء النقي على تراكيز متساوية لأيونات  $H^+$  و  $OH^-$  التي تنتج عن تأينه الذاتي. ويبين الشكل 2-13 تكون أعداد متساوية من أيونات الهيدرونيوم والهيدروكسيد في عملية التأيّن الذاتي للماء. ويمكن تبسيط معادلة الاتزان على النحو الآتي:



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

### ثابت تأيّن الماء $K_w$

حيث إن  $K_w$  ثابت تأيّن الماء.

و  $[H^+]$  تركيز أيون الهيدروجين.

و  $[OH^-]$  تركيز أيون الهيدروكسيد.

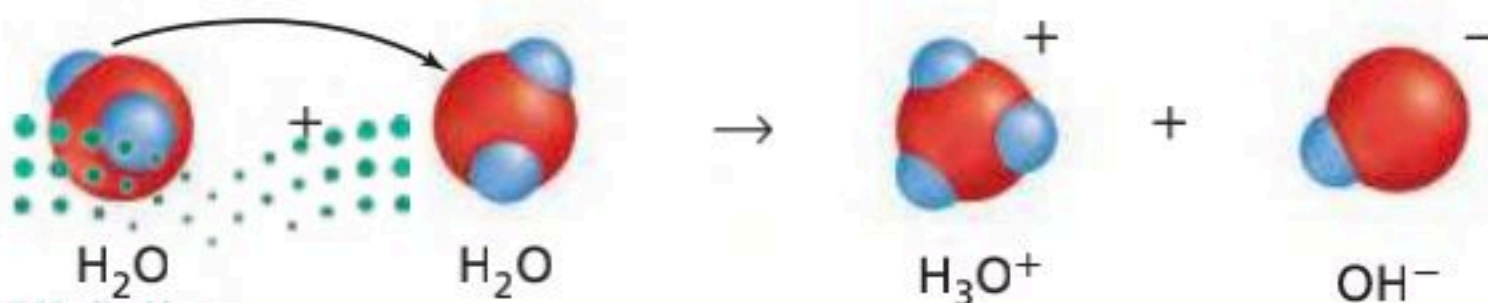
$$K_w = [H^+][OH^-]$$

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 تأيّن الماء، وهو قيمة تعبر عن ثابت الاتزان للتأيّن الذاتي للماء. لقد بينت التجارب أن  $[H^+]$  و  $[OH^-]$  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  $1.0 \times 10^{-14}$ .

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

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



الشكل 2-13 يسلك أحد جزيئات الماء في التأيّن الذاتي للماء سلوك الحمض، ويسلك الجزيء الآخر سلوك القاعدة.

**$K_w$  ومبدأ لوتشاتلييه** حاصل ضرب  $[H^+]$  و  $[OH^-]$  يساوي دائماً  $1.0 \times 10^{-14}$  عند درجة حرارة 298 K. وهذا يعني أنه إذا زاد تركيز أيونات  $H^+$  نقص تركيز أيونات  $OH^-$ . وبالمثل فإن الزيادة في تركيز  $OH^-$  تسبب نقصاً في تركيز أيونات  $H^+$ . ففكر في هذه التغييرات من خلال مبدأ لوتشاتلييه؛ حيث تسبب إضافة أيونات هيدروجين إضافية إلى اضطراب في حالة الاتزان، فيعمل النظام على التقليل من تأثير الزيادة في التركيز؛ حيث تتفاعل أيونات  $H^+$  المضافة مع أيونات  $OH^-$  لتكوّن المزيد من جزيئات الماء، وهكذا يقل تركيز  $OH^-$ . بين المثال 2-1 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 2-1

احسب قيم  $[H^+]$  و  $[OH^-]$  باستعمال  $K_w$  إذا كان تركيز أيون  $H^+$  في كوب قهوة عند درجة حرارة 298 K هو  $1.0 \times 10^{-5} M$ ، 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  $1.0 \times 10^{-14}$ . يمكنك استعمال قانون ثابت تأين الماء لإيجاد  $[OH^-]$ . ولأن  $[H^+]$  أكبر من  $1.0 \times 10^{-7}$ ، لذا يمكنك أن تتوقع أن يكون  $[OH^-]$  أقل من  $1.0 \times 10^{-7}$ .

#### المعطيات

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

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

#### المطلوب

$$[OH^-] = ? \text{ mol/L}$$

#### 2 حساب المطلوب

استعمل قانون ثابت تأين الماء.  
اكتب تعبير ثابت تأين الماء.  
أوجد قيمة  $[OH^-]$ :

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

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

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

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

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

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

#### 3 تقويم الإجابة

كما هو متوقع، تكون قيمة  $[OH^-]$  أقل من  $1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$ .

#### 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 حمضياً، أم قاعدياً، أم متعادلاً.

$$[H^+] = 1.0 \times 10^{-13} M \text{ .a} \quad [OH^-] = 1.0 \times 10^{-3} M \text{ .c}$$

$$[OH^-] = 1.0 \times 10^{-7} M \text{ .b} \quad [H^+] = 4.0 \times 10^{-5} M \text{ .d}$$



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 يعبر عنها بطريقة علمية. ولصعوبة استعمال هذه الأرقام تبني الكيميائيون طريقة أسهل للتعبير عنها.

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

### الرقم الهيدروجيني pH

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

يمثل  $[H^+]$  تركيز أيون الهيدروجين

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 له تساوي 0.0 حمضًا قويًا؛ بينما يكون المحلول الذي قيمة pH له تساوي 14 قاعدة قوية. وتعني الطبيعة اللوغاريتمية في هذه الحالة لتدرج 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 2-14 تدرج pH وقيمها لبعض المواد الشائعة.

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

### الرقم الهيدروكسيدي pOH

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

يمثل تركيز أيون الهيدروكسيد

قيمة pOH لمحلول ما تساوي سالب لوغاريتم تركيز أيون الهيدروكسيد.

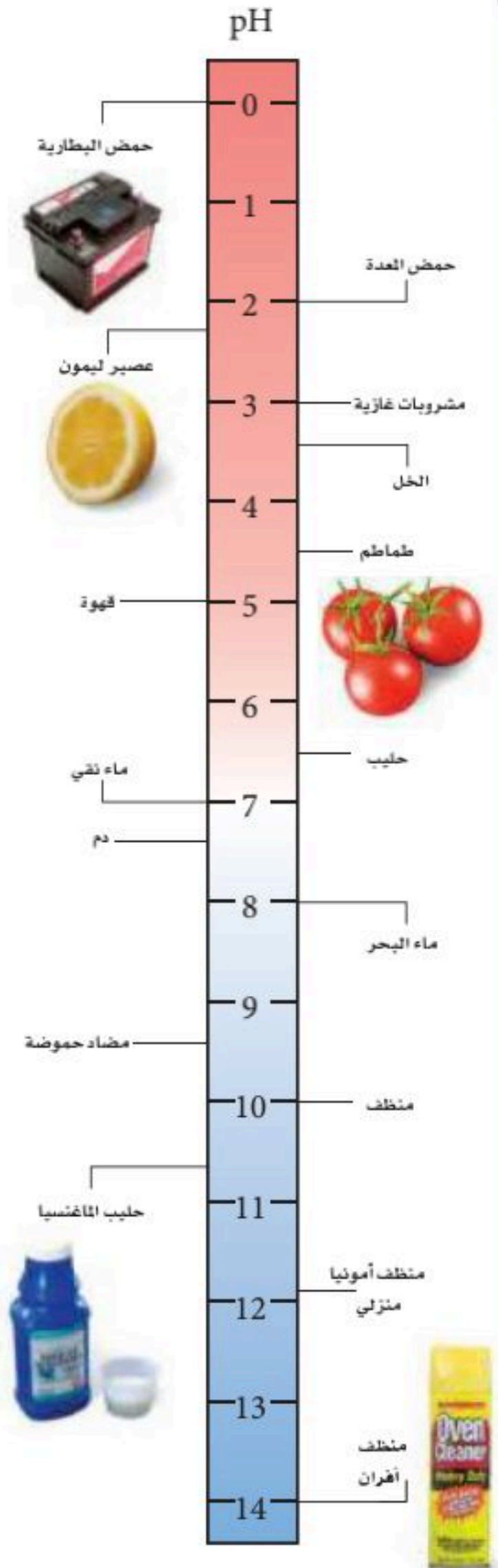
تكون قيم pOH عند درجة حرارة 298 K للمحاليل القاعدية أقل من 7، وللمحاليل المتعادلة تساوي 7؛ بينما يكون المحلول الذي قيمة pOH له أعلى من 7 حمضيًا. وكما في تدرج pH يمثل تغير وحدة واحدة من pOH تغيرًا مقداره 10 مرات في تركيز  $OH^-$ . وهناك علاقة بين pH و pOH يمكننا من حساب أي منهما إذا عرفت قيمة الآخر.

### ما العلاقة بين pH و pOH؟

$$pH + pOH = 14.00$$

pH تمثل  $-\log [H^+]$   
pOH تمثل  $-\log [OH^-]$

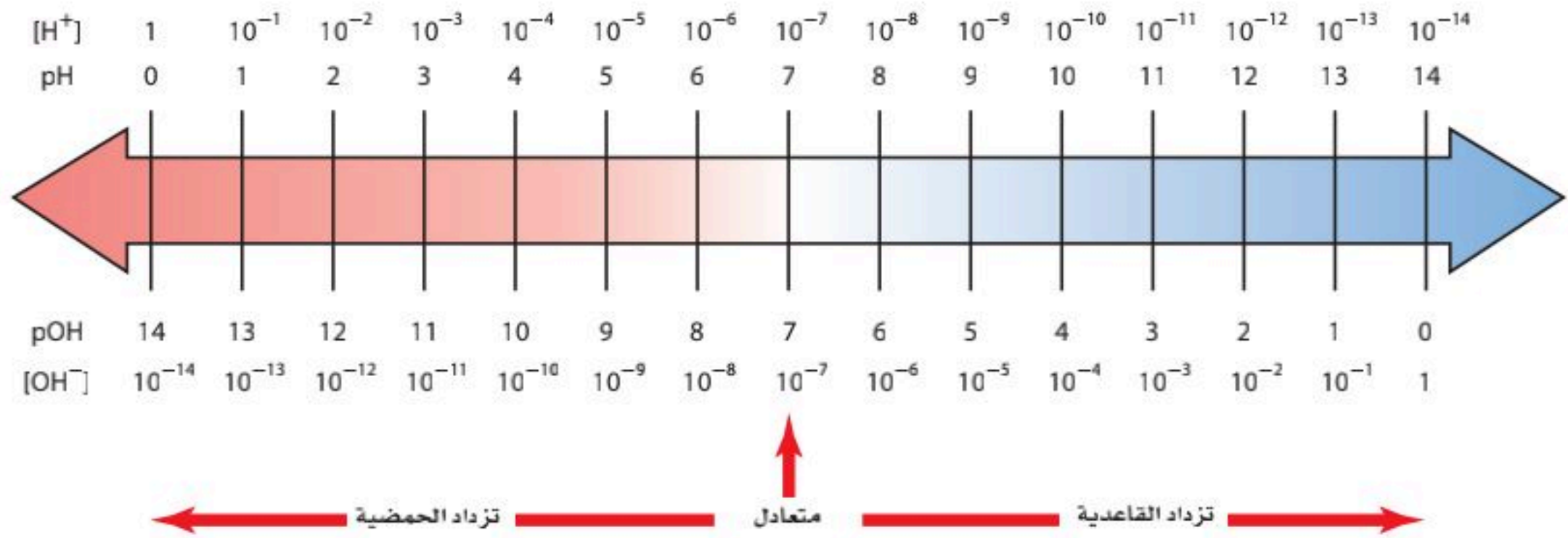
مجموع pH و pOH يساوي 14.00 .



الشكل 2-14 قارن بين قيم pH لهذه المواد المألوفة.

**حدد** أيهما يحتوي على أعلى تركيز لأيونات  $H^+$ : ماء البحر أم المنظف المنزلي؟ كم مرة يزيد تركيز أحدهما على الآخر؟

يوضح الشكل 15-2 العلاقة بين pH وتركيز  $H^+$ ، والعلاقة بين pOH وتركيز  $OH^-$  عند درجة حرارة 298 K.



الشكل 15-2 ادرس هذا الشكل لزيادة معلوماتك حول pH و pOH. لاحظ أنه عند كل موقع عمودي يكون مجموع pH (فوق السهم) و pOH (تحت السهم) مساوياً 14. لاحظ أيضاً أنه عند كل موقع يكون حاصل ضرب  $[H^+]$  في  $[OH^-]$  يساوي  $10^{-14}$ .

## مثال 2-2

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  $-\log [H^+]$

المطلوب

pH = ?

المعطيات

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

### 2 حساب المطلوب

اكتب معادلة pH

عوض  $[H^+] = 1.0 \times 10^{-7} M$

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

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

تكون قيمة pH للمحلول المتعادل عند درجة حرارة 298 K تساوي 7.00

### 3 تقويم الإجابة

كان متوقعاً 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  $8.2 \times 10^{-6} M$ .



حساب  $pOH$  و  $pH$  من  $[OH^-]$  يظهر الشكل 16-2 صورة بقرة تتغذى على قش عولج بزيادة الأمونيا التي تعمل على زيادة البروتينات عند إضافتها إلى علف الحيوانات. وتستعمل الأمونيا كذلك منظفًا منزليًا؛ وهو محلول مائي لغاز الأمونيا. وعادة ما يكون تركيز أيون الهيدروكسيد في المنظف  $4.0 \times 10^{-3} M$ . احسب  $pH$  و  $pOH$  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  $pH + pOH = 14.00$

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

### 2 حساب المطلوب

<b>اكتب معادلة <math>pOH</math></b>	<b><math>pOH = -\log [OH^-]</math></b>
<b>عوض <math>[OH^-] = 4.0 \times 10^{-3} M</math></b>	<b><math>pOH = -\log (4.0 \times 10^{-3})</math></b>

**$pOH$  للمحلول هو 2.40.**

استعمل العلاقة بين  $pH$  و  $pOH$  لإيجاد قيمة  $pH$

<b>اكتب المعادلة التي تربط بين <math>pH</math> و <math>pOH</math></b>	<b><math>pH + pOH = 14.00</math></b>
<b>أوجد قيمة <math>pH</math></b>	<b><math>pH = 14.00 - pOH</math></b>
<b>عوض <math>pOH = 2.40</math></b>	<b><math>pH = 14.00 - 2.40 = 11.60</math></b>

قيمة  **$pH$**  للمحلول هو **11.60**

### 3 تقويم الإجابة

قيمتا  $pH$  و  $pOH$  التي تم التوصل إليها صحيحتان؛ لأن الأمونيا قاعدة، لذا فإن قيمة  $pOH$  الصغيرة وقيمة  $pH$  الكبيرة معقولتان.

### مسائل تدريبية

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

a.  $[OH^-] = 1.0 \times 10^{-6} M$       c.  $[H^+] = 3.6 \times 10^{-9} M$

b.  $[OH^-] = 6.5 \times 10^{-4} M$       d.  $[H^+] = 2.5 \times 10^{-2} M$

27. احسب قيم  $pH$  و  $pOH$  للمحلولين المائين الآتين 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 على  $1.0 \times 10^{-3} mol$  من  $HCl$

مذاب في  $5.0 L$  من المحلول.



الشكل 16-2 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.

**حساب تركيز الأيونات من قيم pH** قد تحتاج أحياناً إلى حساب تركيز أيونات  $H^+$  و  $OH^-$  من خلال معرفة قيمة pH للمحلول. والمثال 2-4 يبين كيفية حسابها.

### مثال 2-4

**حساب  $[H^+]$  و  $[OH^-]$  من pH** ما قيم  $[H^+]$  و  $[OH^-]$  في دم الشخص السليم الذي قيمة PH له = 7.40، مع 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

$$[H^+] = ? \text{ mol/L}$$

$$[OH^-] = ? \text{ mol/L}$$

#### 2 حساب المطلوب

لإيجاد قيمة  $[H^+]$

اكتب معادلة pH

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

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

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

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

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

عوّض pH = 7.40

تركيز أيونات  $H^+$  في الدم  $4.0 \times 10^{-8} \text{ M}$ .  
أوجد قيمة:  $[OH^-]$ .

اكتب المعادلة التي تبين العلاقة بين pH و pOH

أوجد قيمة: pOH

عوّض pH = 7.40

اكتب معادلة: pOH

اضرب طرفي المعادلة في -1

$$pH + pOH = 14.00$$

$$pOH = 14.00 - pH$$

$$pOH = 14.00 - 7.40 = 6.60$$

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

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

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

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

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

#### 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

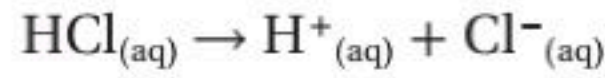
c . حليب الماغنسيا، pH = 10.50

d . الأمونيا المنزلية، pH = 11.90

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

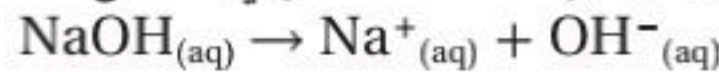


**المولارية والرقم الهيدروجيني pH للأحماض القوية** تأمل الدورقين اللذين يحتويان على محلولي الحمض والقاعدة في الشكل 17-2؛ حيث تم تحضيرهما حديثاً، وسُجلت مولارية كل منهما، وهي عدد المولات من الجزيئات أو وحدات الصيغ التي أذيت في لتر واحد من المحلول. يحتوي أحد الدورقين على حمض قوي HCl، ويحتوي الثاني على قاعدة قوية NaOH. تذكر أن الأحماض والقواعد القوية توجد بتركيز 100% في صورة أيونات في المحلول. وهذا يعني أن التفاعل الآتي لتأين HCl يستمر حتى اكتماله.



ينتج كل جزيء HCl أيون  $\text{H}^+$  واحداً، مما يعني أن الدورق الذي كتب عليه 0.1 M من HCl يحتوي على 0.1 mol من  $\text{H}^+$  لكل 1 L، و 0.1 mol من أيونات  $\text{Cl}^-$  لكل L. وفي الأحماض القوية الأحادية البروتون جميعها يكون تركيز الحمض مساوياً لتركيز أيونات  $\text{H}^+$  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 17-2 متأيناً كلياً.

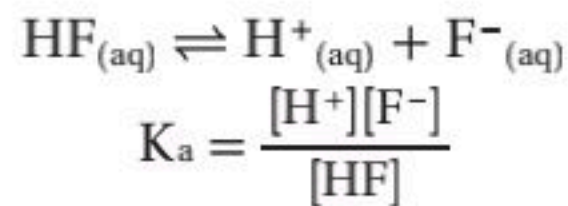


تنتج كل وحدة صيغة من NaOH أيون  $\text{OH}^-$  واحداً. وهكذا يساوي تركيز أيونات  $\text{OH}^-$  مولارية المحلول، 0.1 M.

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

إن الأحماض القوية والقواعد القوية تتأين كلياً في المحاليل المائية المخففة، والأحماض والقواعد الضعيفة تتأين جزئياً فقط. لذا عليك أن تستعمل قيم  $K_a$  و  $K_b$  لتحديد تراكيز أيونات  $\text{H}^+$  و  $\text{OH}^-$  في محاليل الأحماض والقواعد الضعيفة.

✓ **ماذا قرأت؟ اشرح** لماذا لا تستطيع أن تحصل على  $\text{H}^+$  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؟



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



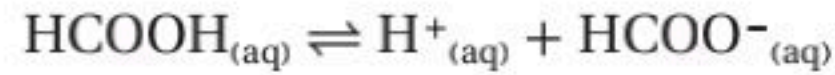
الشكل 17-2 يرشدك الملصق على دورق الحمض القوي أو القاعدة القوية إلى تركيز أيونات الهيدروجين أو أيونات الهيدروكسيد في المحلول. ويعود السبب في ذلك إلى وجود الأحماض والقواعد القوية كلياً على شكل أيونات عند إذابتها في الماء.

**حدد  $[\text{H}^+]$  في دورق HCl و  $[\text{OH}^-]$  في دورق NaOH.**

احسب  $K_a$  من pH يستعمل حمض الميثانويك (الفورميك) HCOOH لمعالجة عصارة 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 لمحلول حمض الميثانويك، وهذا يمكنك من حساب تركيز أيون الهيدروجين.



تدل المعادلة الكيميائية الموزونة على أن تركيز  $\text{HCOO}^-$  يساوي تركيز  $\text{H}^+$ . تركيز HCOOH غير المتأين هو الفرق بين التركيز الأولي للحمض و  $[\text{H}^+]$ .

**المطلوب**

$$K_a = ?$$

**المعطيات**

$$\text{pH} = 2.38$$

$$\text{تركيز المحلول} = 0.100 \text{ M}$$

**2 حساب المطلوب**

اكتب معادلة pH

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

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

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

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

$$\text{عوض } \text{pH} = 2.38$$

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

$[\text{HCOOH}]$  يساوي التركيز الأولي ناقص  $[\text{H}^+]$

اطرح  $[\text{H}^+]$  من  $[\text{HCOOH}]$

اكتب قانون ثابت تأين الحمض.

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

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

ثابت تأين الحمض HCOOH هو  $1.8 \times 10^{-4}$

**3 تقويم الإجابة** قيمة  $K_a$  معقولة لحمض ضعيف.

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

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

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

**مسائل تدريبية**

31. احسب  $K_a$  للحمضين الآتين:

a. محلول  $\text{HClO}_2$  تركيزه 0.0400 M و  $\text{pH} = 1.80$

b. محلول  $\text{H}_3\text{AsO}_4$  تركيزه 0.220 M و  $\text{pH} = 1.50$

32. احسب  $K_a$  للأحماض الآتية:

a. محلول حمض البنزويك  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ ، تركيزه 0.00330 M و  $\text{pOH} = 10.70$

b. محلول حمض السيانيك HCNO، تركيزه 0.100 M و  $\text{pOH} = 11.00$

c. محلول حمض البيوتانويك  $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$  تركيزه 0.15 M و  $\text{pOH} = 11.18$

33. تحفيز احسب  $K_a$  لمحلول حمض HX الذي تركيزه 0.0091 M، وله  $\text{pOH}$  يساوي 11.32، ثم استعمل الجدول 2-4

لتحديد نوع الحمض.





الشكل 18-2 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 قياساً أدق من استعمال ورق تباع الشمس.

**قياس الرقم الهيدروجيني pH** يعد ورق تباع الشمس الذي استعملته في التجربة الاستهلاكية مثلاً على نوع من أوراق كاشف الحموضة؛ فكل هذه الأوراق معالجة بمادة أو أكثر تسمى الكواشف؛ حيث يتغير لونها اعتماداً على تركيز أيونات الهيدروجين في المحلول. ويعد الفينولفثالين الذي استعملته في التجربة الاستهلاكية أيضاً نوعاً 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 18-2. ويعطي مقياس pH الرقمي الموضح في الشكل 18-2 قيمة الرقم الهيدروجيني بصورة أكثر دقة؛ فعندما توضع الأقطاب في المحلول يعطي المقياس قراءة مباشرة.

## التقويم 2-3

### الخلاصة

34. **الفكرة الرئيسية** اشرح لماذا تكون قيمة pH للمحلول الحمضي دائماً 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 - مستعملاً 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  $K_a$  لحمض ضعيف.
39. احسب إذا علمت أن قيمة pH لحبة طماطم تساوي 4.50 تقريباً، فما  $[H^+]$  و  $[OH^-]$  فيها؟
40. حدد قيمة pH لمحلول يحتوي على  $1.0 \times 10^{-9}$  mol من أيونات  $OH^-$  لكل L.
41. احسب قيمة pH في المحاليل الآتية:
- |                                       |                     |
|---------------------------------------|---------------------|
| 1.0 M KOH . c                         | 1.0 M HI . a        |
| $2.4 \times 10^{-5}$ M $Mg(OH)_2$ . d | 0.050 M $HNO_3$ . b |
42. تفسير الرسوم ارجع إلى الشكل 13-2 للإجابة عن السؤالين الآتين: 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؟

- ثابت تأين الماء  $K_w$  يساوي حاصل ضرب تركيز أيون  $H^+$  وتركيز أيون  $OH^-$
- pH المحلول هو سالب لوغاريتم تركيز أيون الهيدروجين. و 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.



## 2-4

## التعادل Neutralization

### 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 الكمية 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
- تيمه الأملاح
- المحلول المنظم
- سعة المحلول المنظم

**الفكرة الرئيسية** يتفاعل الحمض مع القاعدة في تفاعل التعادل لينتجا ملحاً وماء.

**الربط مع الحياة** عندما يقدم فريقان متناظران حُججًا مقنعة تجد نفسك متحيراً بين الرأيين، لذا يكون رأيك محايداً أو متعادلاً؛ إذ تتساوى وجهتا النظر عندك. وبطريقة مماثلة يكون المحلول متعادلاً عندما تتساوى أعداد أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد في المحلول.

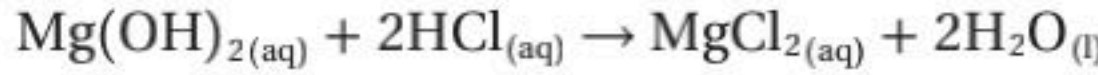
### التفاعلات بين الأحماض والقواعد

#### Reactions Between Acids and Bases

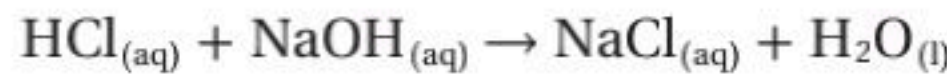
هل أحسست يوماً بسوء هضم أو حرقة في فم المعدة؟ هل تناولت أحد مضادات الحموضة كالتي تظهر في الشكل 19-2 لتخفف من حالة عدم الارتياح تلك؟ ما نوع التفاعل الذي يحدث عندما يلامس هيدروكسيد الماغنسيوم  $Mg(OH)_2$  - وهو المركب النشط في حليب الماغنيسيا - محلول حمض الهيدروكلوريك (HCl) الذي تنتجه المعدة؟

عندما يتفاعل  $Mg(OH)_2$  مع حمض HCl يحدث تفاعل تعادل. وتفاعل التعادل تفاعل محلول حمض مع محلول قاعدة ينتج ملحاً وماءً. والملح مركب أيوني يتكون من أيون موجب من قاعدة وأيون سالب من حمض، لذا يكون تفاعل التعادل إحلالاً مزدوجاً.

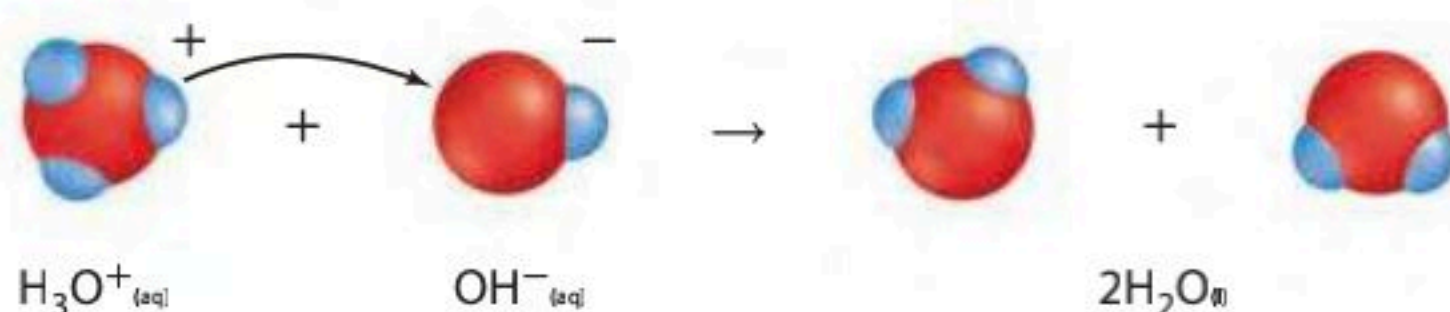
**كتابة معادلات التعادل** في التفاعل بين هيدروكسيد الماغنسيوم وحمض الهيدروكلوريك يحل الماغنسيوم محل الهيدروجين في HCl، ويحل الهيدروجين محل الماغنسيوم في  $Mg(OH)_2$ .



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:

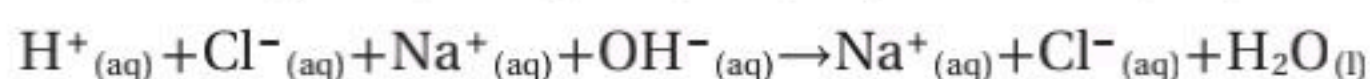


الشكل 19-2 يمكن لأي جرعة من هذه المواد المضادة للحموضة أن تخفف من أعراض سوء الهضم الحمضي؛ وذلك بتفاعلها مع المحلول الحمضي في المعدة ومعادلته.



الشكل 2-20 ينتقل أيون الهيدروجين من أيون الهيدرونيوم إلى أيون الهيدروكسيد. وعندما يخسر  $\text{H}_3\text{O}^+$  أيون هيدروجين يصبح جزيء ماء. وعندما يكسب  $\text{OH}^-$  أيون هيدروجين يصبح أيضًا جزيء ماء.

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



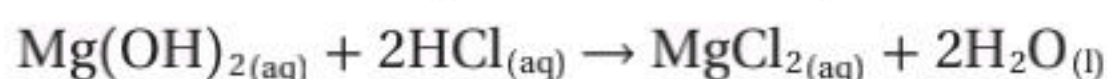
تظهر أيونات الصوديوم وأيونات الكلوريد على جانبي المعادلة، لذا تسمى أيونات متفرجة؛ أي لا تدخل في التفاعل، ويمكن حذفها للحصول على المعادلة الأيونية النهائية لمعادلة حمض قوي مع قاعدة قوية.



لاحظ تفاعل التعادل في الشكل 2-20.

✓ **ماذا قرأت؟** اكتب المعادلة الأيونية الكاملة، والمعادلة الأيونية النهائية لتعادل حمض  $\text{HNO}_3$  مع القاعدة  $\text{KOH}$ .

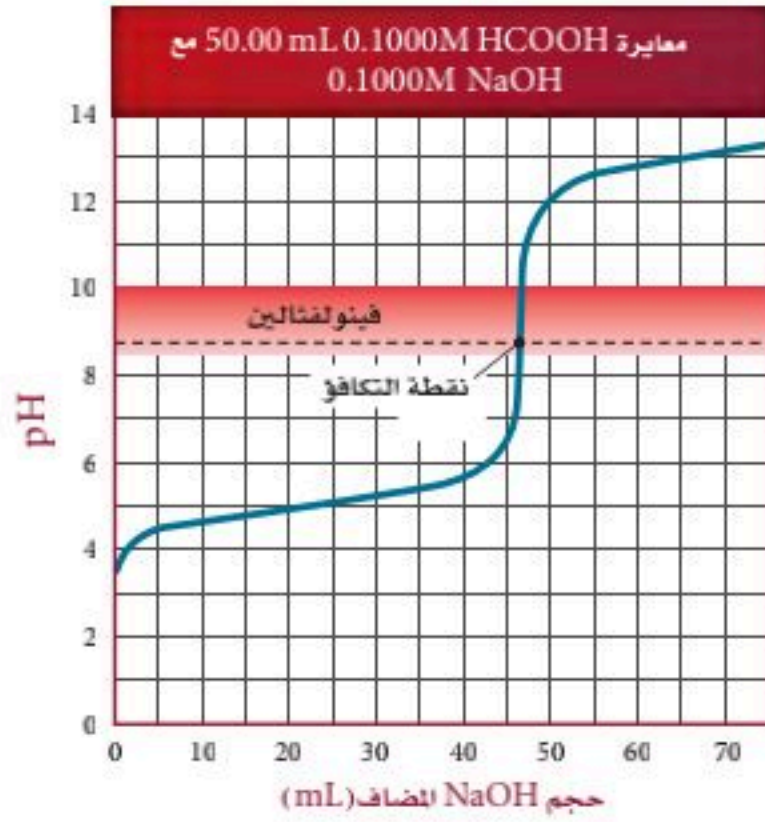
**معايرة الأحماض والقواعد** تتشابه الحسابات الكيميائية لحساب الكميات في تفاعل التعادل بين حمض وقاعدة مع أي تفاعل آخر يحدث في محلول. ففي تفاعل مضاد الحموضة الآتي، نجد أن  $1\text{mol}$  من  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  يعادل  $2\text{mol}$  من  $\text{HCl}$



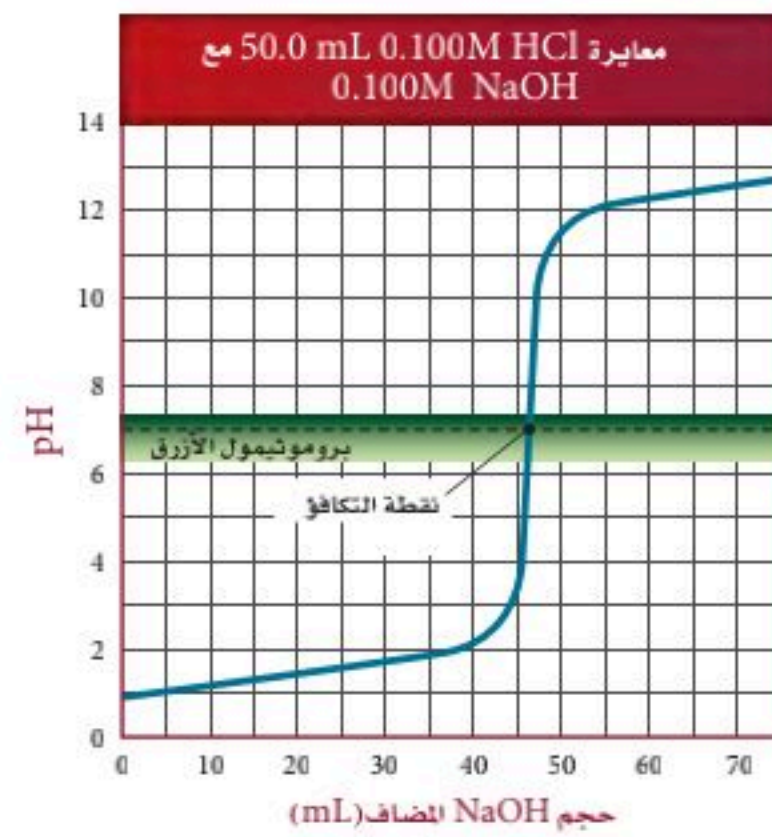
وتبين الحسابات الكيميائية أساس طريقة المعايرة، والتي تستعمل لتحديد تراكيز المحاليل الحمضية والقاعدية. **فالمعايرة** طريقة لتحديد تركيز محلول ما؛ وذلك بتفاعل حجم معلوم منه مع محلول تركيزه معلوم. فإذا أردت إيجاد تركيز محلول حمضي فسوف تعالجه مع محلول قاعدي تركيزه معلوم. كما يمكنك معايرة قاعدة تركيزها غير معلوم مع حمض تركيزه معلوم. كيف تتم معايرة حمض وقاعدة؟ يبين الشكل 2-21 نوعًا من المعدات المستخدمة في عملية المعايرة. ويستعمل في هذه الطريقة مقياس  $\text{pH}$  لمراقبة التغير في قيم  $\text{pH}$  في أثناء عملية المعايرة.

الشكل 2-21 عند معايرة حمض مع قاعدة يستعمل مقياس  $\text{pH}$  لقياس  $\text{pH}$  للمحلول الحمضي في الكأس، في حين تتم إضافة محلول قاعدي معروف التركيز بالسحاحة.





b



a

**الشكل 2-22** 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 بروموتيمول 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 فينولفتالين 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. تملأ السحاحة بمحلول المعايرة المعلوم تركيزه. يسمى هذا المحلول **المحلول القياسي**.
3. تضاف قطرتين من كاشف مناسب ثم 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 2-22a 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 تدريجياً. إلا أنه عندما تُستهلك أيونات  $H^+$  جميعها تزداد قيمة pH على نحو كبير عند إضافة حجم صغير جداً 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 المعايير 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 لاحقاً. يبين الشكل 2-22b أن نقطة التكافؤ في معايرة حمض الميثانويك - وهو حمض ضعيف - بهيدروكسيد الصوديوم - وهي قاعدة قوية - تقع بين pH 8 و 9.

**اختبار الرسم البياني حدد** اختلافين بين الرسمين البيانيين في الشكل 2-22.





الشكل 2-23 يصبح لون الشاي الأحمر فاتحاً عند إضافة عصير الليمون إليه؛ لأنه يحتوي على مادة كيميائية تعد من الكواشف. ومعظم الكواشف جزيئات كبيرة تعمل بوصفها أحماضاً ضعيفة. ويعود السبب في تغير ألوان الكواشف إلى اختلافات يسيرة في أنماط الروابط عندما يتأين جزيء الكاشف أو لا يتأين.

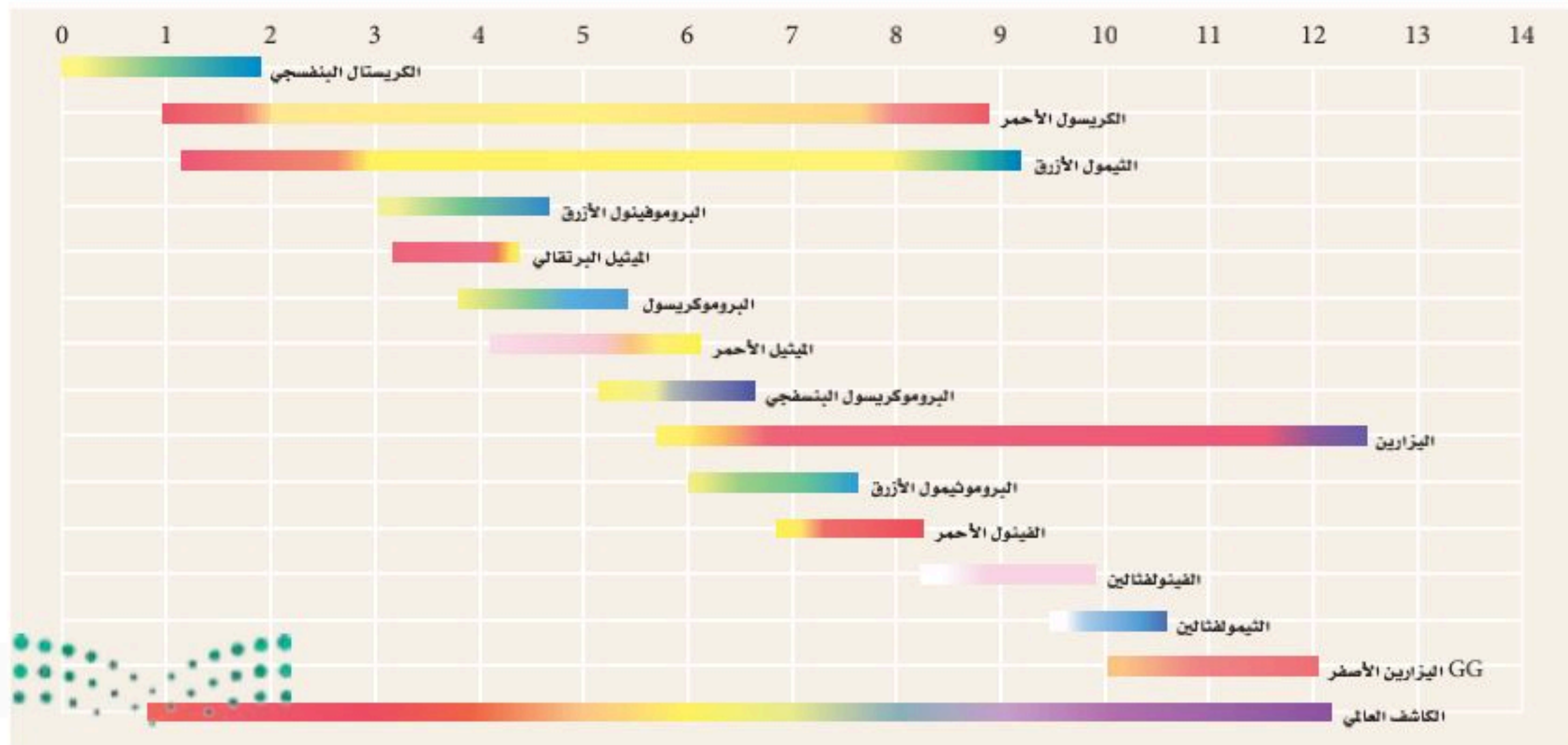
**كواشف الأحماض والقواعد** غالباً ما يستعمل الكيميائيون أصباغاً كيميائية بدلاً من مقياس pH لتحري نقطة التكافؤ عند معايرة حمض وقاعدة. وتسمى الأصباغ الكيميائية التي تتأثر ألوانها بالمحاليل الحمضية والقاعدية **كواشف الأحماض والقواعد**. وهناك العديد من المواد الطبيعية التي تعمل عمل الكواشف، فإذا أضفت عصير الليمون إلى الشاي فسوف تلاحظ أن اللون الأحمر للشاي أصبح فاتحاً، كما في الشكل 2-23؛ إذ يحتوي الشاي على مواد تسمى بوليفينولات polyphenols، تحتوي على ذرات متأينة جزئياً من الهيدروجين، لذا فهي أحماض ضعيفة. وعند إضافة الحمض الموجود في عصير الليمون إلى كوب شاي يقل تأين الحمض في الشاي بحسب مبدأ لوتشاتلييه، فيصبح لون البوليفينولات غير المتأينة أكثر وضوحاً، ويظهر الشكل 2-24 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 2-22 b.

تجربة عملية

الأحماض والقواعد والتعادل

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

الشكل 2-24 إن عملية اختيار الكاشف الصحيح مهمة جداً؛ إذ يجب أن يغير الكاشف لونه عند نقطة التكافؤ التي لا تكون دائماً عند  $pH = 7$ .





تكون نقطة نهاية المعايرة عندما يصبح اللون وردياً فاتحاً. تبين القراءة الدقيقة للسحاحة أن 18.28 mL NaOH الذي تركيزه 0.1000 M قد تمت إضافته.



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



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

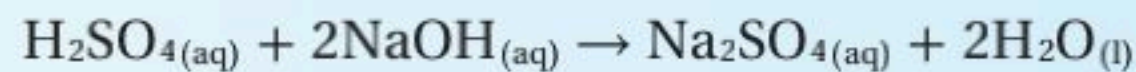
الشكل 2-25 المعايرة طريقة دقيقة تحتاج إلى تدريب وممارسة. تعمل الورقة البيضاء الموضوعية تحت الدورق على توفير خلفية مناسبة تساعد على رؤية التغير في لون الكاشف.

**الكواشف ونقطة نهاية المعايرة** يعد الكثير من الكواشف المستعملة في المعايرة أحماضاً ضعيفة، لكل منها قيمة pH خاصة به، أو مدى pH يتغير لونه بعده. وتسمى النقطة التي يتغير لون الكاشف عندها **نقطة نهاية** المعايرة. أما نقطة التكافؤ فهي النقطة التي يتساوى عندها عدد مولات الحمض مع عدد مولات القاعدة، وتسمى نقطة التكافؤ بنقطة التعادل في حالة تفاعل الأحماض والقواعد القوية. 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 2-25 طريقة معايرة محلول مجهول التركيز من حمض الميثانويك HCOOH مع محلول NaOH تركيزه 0.1000 M.

### استراتيجية حل المسائل

#### حساب المولارية

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



1. احسب عدد مولات NaOH في المحلول المعياري من بيانات المعايرة:  
 $M_B$ : مولارية القاعدة؛  $V_B$ : حجم القاعدة.  
 $M_B V_B = (\text{mol/L})(L) = \text{mol NaOH}$  في المحلول القياسي
2. تستطيع أن تعرف من المعادلة أن نسبة مولات NaOH إلى  $\text{H}_2\text{SO}_4$  هي 1:2، أي أنه يتطلب 2 mol NaOH لتعادل 1 mol  $\text{H}_2\text{SO}_4$

$$\text{mol H}_2\text{SO}_4 = \text{mol NaOH} \times \frac{1 \text{ mol H}_2\text{SO}_4}{2 \text{ mol NaOH}}$$

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

$$M_A = \frac{\text{mol H}_2\text{SO}_4}{V_A}$$

طبق هذه الاستراتيجية عند دراستك للمثال 2-6 في الصفحة الآتية.



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

$$M_B = 0.1000M \quad V_A = 25.00 \text{ mL HCOOH}$$

$$M_A = ? \text{ mol/L} \quad V_B = 18.28 \text{ mL NaOH}$$

### 2 حساب المطلوب

اكتب المعادلة الكيميائية الموزونة لتفاعل التعادل.  $\text{HCOOH}_{(aq)} + \text{NaOH}_{(aq)} \rightarrow \text{HCOONa}_{(aq)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)}$

1 mol HCOOH تعادل 1 mol NaOH

اكتب النسبة المولية للحمض والقاعدة.

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

حول حجم القاعدة من mL إلى L.

لحساب عدد مولات NaOH.

$$\text{Mol NaOH} = M_B V_B$$

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

$$\text{Mol NaOH} = (0.1000 \text{ mol/L})(0.01828 \text{ L})$$

$$= 1.828 \times 10^{-3} \text{ mol NaOH}$$

$$\text{عوض } V_B = 0.01828 \text{ L و } M_B = 0.1000 \text{ M}$$

لحساب مولات HCOOH.

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

طبق العلاقة المولية بين NaOH و HCOOH

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

لحساب مولارية HCOOH

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

استعمل العلاقة بين مولات الحمض، ومولارية الحمض،

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

وحجم الحمض.

أوجد قيمة  $M_A$ .

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

حول حجم الحمض من mL إلى L

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

$$\text{عوض } V_A = 0.02500 \text{ L}$$

### 3 تقويم الإجابة

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

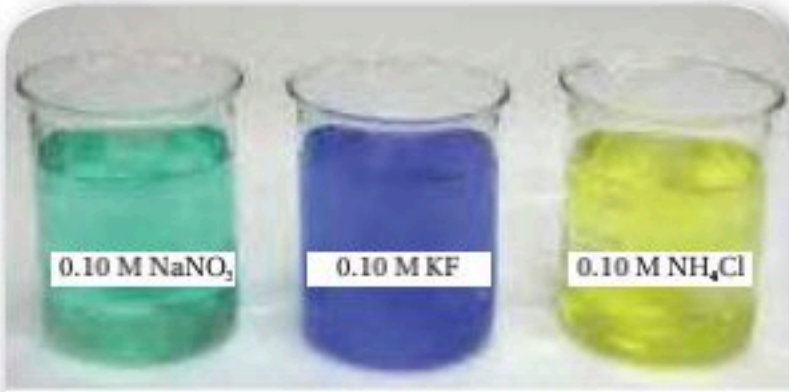
### مسائل تدريبية

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؟

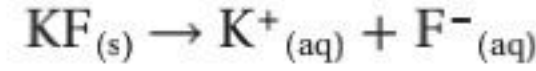
45. تحفيز كم mL من NaOH الذي تركيزه 0.500 M يمكن أن يتعادل مع 25.00 mL من  $\text{H}_3\text{PO}_4$  تركيزه 0.100 M؟

## تمية الأملاح Salt Hydrolysis

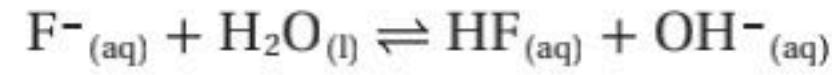


الشكل 2-26 يعطي كاشف البروموثيمول الأزرق نتائج مذهشة عند إضافته إلى ثلاثة محاليل من الأملاح الأيونية. فمحلول  $\text{NH}_4\text{Cl}$  حمضي، ومحلول  $\text{NaNO}_3$  متعادل، بينما محلول  $\text{KF}$  قاعدي. ويُعزى التفسير إلى قوى الأحماض والقواعد التي تكوّنت منها هذه الأملاح.

أضيفت بضع قطرات من محلول كاشف البروموثيمول الأزرق - انظر الشكل 2-26 إلى محاليل مائية من أملاح كلوريد الأمونيوم  $\text{NH}_4\text{Cl}$  و نترات الصوديوم  $\text{NaNO}_3$ ، وفلوريد البوتاسيوم  $\text{KF}$  تركيزها  $0.10\text{ M}$ . وكما تلاحظ فقد غير محلول نترات الصوديوم لون الكاشف إلى اللون الأخضر، وهذا يعني أن المحلول متعادل. ويشير اللون الأزرق في محلول  $\text{KF}$  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 **تمية 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. **الأملاح التي تنتج محاليل قاعدية** ينتج ملح فلوريد البوتاسيوم عن قاعدة قوية  $\text{KOH}$  وحمض ضعيف  $\text{HF}$ ، ثم يتحلل هذا الملح إلى أيونات بوتاسيوم وأيونات فلوريد.



لا تتفاعل أيونات  $\text{K}^+$  مع الماء، وذلك بسبب تعادها مع أيونات  $\text{OH}^-$  وتكون محلول قاعدي من  $\text{KOH}$ . ويعد أيون  $\text{F}^-$  قاعدة ضعيفة بحسب برونستد - لوري. لذا توجد بعض أيونات الفلوريد في حالة اتزان مع الماء، كما في التفاعل الآتي:

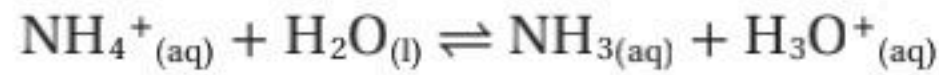


وهذا يعني أن المواد الناتجة تتكون من جزيئات فلوريد الهيدروجين وأيونات  $\text{OH}^-$  مما يجعل المحلول قاعدياً.

**الأملاح التي تنتج محاليل حمضية** ينتج ملح  $\text{NH}_4\text{Cl}$  عن قاعدة ضعيفة  $\text{NH}_3$  وحمض قوي  $\text{HCl}$ ، وعند إذابته في الماء يتفكك الملح ليعطي أيونات الأمونيوم وأيونات الكلوريد، كما في التفاعل الآتي:



لا تتفاعل أيونات  $\text{Cl}^-$  مع الماء، وذلك بسبب تعادها مع أيونات الهيدرونيوم وتكون محلول حمضي  $\text{HCl}$ . أما أيون  $\text{NH}_4^+$  فهو حمض ضعيف بحسب برونستد - لوري. لذا تتفاعل أيونات الأمونيوم مع جزيئات الماء منتجة حالة الاتزان الآتية:



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

**الأملاح التي تنتج محاليل متعادلة** ينتج ملح نترات الصوديوم  $\text{NaNO}_3$  عن حمض قوي  $\text{HNO}_3$  وقاعدة قوية  $\text{NaOH}$ . لذلك قد يحدث تميّه بسيط جداً للملح، وقد لا يحدث تميّه أبداً؛ لأن  $\text{Na}^+$  و  $\text{NO}_3^-$  لا يتفاعلا مع الماء، لذا يكون محلول نترات الصوديوم متعادلاً.





46. اكتب معادلات لتفاعلات تميّه الأملاح التي تحدث عند إذابة الأملاح الآتية في الماء، وصنّف كلّاً 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  $\text{NH}_4\text{OH}$  مع بروميد الهيدروجين  $\text{HBr}$ . وهل تكون قيمة pH عند نقطة التكافؤ أكبر أو أقل من 7؟

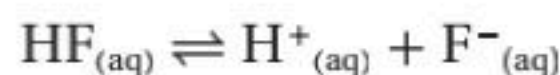
### المحاليل المنظمة Buffered Solutions

من المهم جداً لقناديل البحر المبينة في الشكل 2-27 أن تبقى قيم pH لمياه أحواض الأحياء المائية ضمن مدى صغير. وكذلك الأمر لجسم الإنسان؛ فمن المهم أيضاً 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.

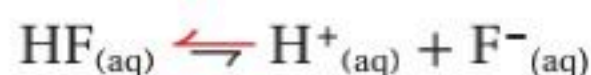
**ما المحلول المنظم؟ المحاليل المنظمة** محاليل تقاوم التغيرات في قيم pH عند إضافة كميات محددة من الأحماض أو القواعد. فمثلاً عند إضافة 0.01 mol من HCl إلى 1L من الماء النقي ينخفض pH من 7.0 إلى 2.0. وكذلك فإن إضافة 0.01 mol من NaOH إلى 1 L من الماء النقي ترفع قيم pH من 7.0 إلى 12.0. ولكن عند إضافة الكمية 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 أيونات هيدروجين، أو أيونات هيدروكسيد تضاف إلى المحلول المنظم.

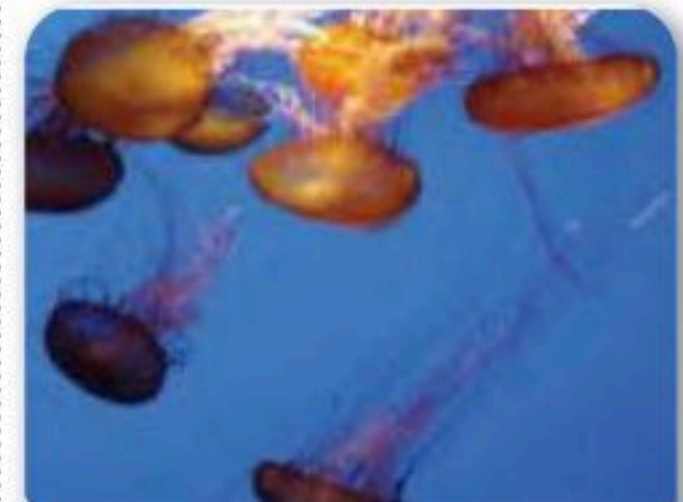
افتراض مثلاً أن محلولاً منظماً يحتوي على تراكيز 0.1 M من حمض الهيدروفلوريك HF وفلوريد الصوديوم NaF؛ حيث يعطي NaF أيونات  $\text{F}^-$  بتركيز 0.1 M والتي تعد القاعدة المرافقة لحمض HF، لذا يتحقق الاتزان الآتي:



**إضافة حمض** عند إضافة حمض إلى هذا المحلول المنظم فإن الاتزان يندفع إلى اليسار بحسب مبدأ لوتشاتلييه؛ لأن أيونات  $\text{H}^+$  المضافة من الحمض تكون ضغطاً على الاتزان. وللتقليل من أثر هذا الضغط تتفاعل أيونات  $\text{H}^+$  مع  $\text{F}^-$  لتكوين المزيد من جزيئات HF.



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  $\text{H}^+$  التي أضيفت.



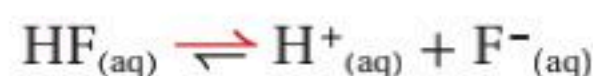
الشكل 2-27 لكي تكون البيئة صحية لقناديل البحر، يجب أن تبقى قيمة pH للماء في أحواض الأحياء المائية بين 8.1 و 8.4.

تجربة عملية

تحديد النسبة المئوية لحمض الإيثانويك في الخل

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

**إضافة قاعدة** عند إضافة قاعدة إلى المحلول المنظم المكون من حمض الهيدروفلوريك وأيونات الفلوريد تتفاعل أيونات  $\text{OH}^-$  المضافة مع أيونات  $\text{H}^+$  لتكون  $\text{H}_2\text{O}$ ، وهذا يقلل من تركيز أيونات  $\text{H}^+$ ، فيتجه الاتزان إلى اليمين للتعويض عن أيونات  $\text{H}^+$ .



مع أن اتجاه التفاعل إلى اليمين يقلل كمية  $\text{HF}$ ، وينتج المزيد من  $\text{F}^-$ ، إلا أن  $\text{pH}$  يبقى ثابتاً تقريباً؛ لأن تركيز أيون  $\text{H}^+$  لم يتغير كثيراً. إن قدرة المحلول المنظم على مقاومة تغير  $\text{pH}$  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  $\text{pH}$  **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  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  و  $\text{HPO}_4^{2-}$  الناتج عن خلط كميتين مولاريتين متساويتين من  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  و  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ .



ما قيمة  $\text{pH}$  لهذا المحلول؟

$$K_a = 6.2 \times 10^{-8} = \frac{[\text{H}^+][\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]}$$

لأن المحلول مكون من كميتين مولاريتين متساويتين من  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  و  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ، فإن  $[\text{HPO}_4^{2-}]$  يساوي  $[\text{H}_2\text{PO}_4^-]$ .

لذا فإن التركيزين يختزلان في تعبير ثابت تأين الحمض.

$$6.2 \times 10^{-8} = \frac{[\text{H}^+][\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]} = [\text{H}^+]$$

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

وهكذا، عندما توجد كميات مولارية متساوية في نظام  $\text{H}_2\text{PO}_4^- / \text{HPO}_4^{2-}$  المنظم فإن النظام يستطيع أن يحافظ على  $\text{pH}$  قريباً من 7.21. لاحظ أن  $\text{pH} = -\log K_a$ . يحتوي الجدول 2-7 على قائمة من أنظمة منظمة عديدة مع  $\text{pH}$  عندما يكون كل منها أكثر فاعلية.

## المفردات

### الاستعمال العلمي والاستعمال

#### الشائع

#### منظم Buffer

الاستعمال العلمي: محلول يقاوم تغيرات  $\text{pH}$  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 حاجزاً وظيفياً.

يعمل الجدار البحري العالي مصدراً (Buffer) لحماية المنازل

المبينة على الشاطئ من العواصف البحرية.

### المحاليل المنظمة والأزواج المترافقة

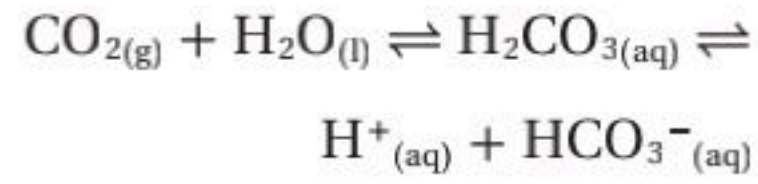
### الجدول 2-7

قيمة $\text{pH}$	الأزواج المترافقة من الأحماض والقواعد في المحاليل المنظمة	معادلات تأين المحاليل المنظمة
3.20	$\text{HF}/\text{F}^-$	$\text{HF}_{(\text{aq})} \rightleftharpoons \text{H}^+_{(\text{aq})} + \text{F}^-_{(\text{aq})}$
4.76	$\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{COO}^-$	$\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})} \rightleftharpoons \text{H}^+_{(\text{aq})} + \text{CH}_3\text{COO}^-_{(\text{aq})}$
6.35	$\text{H}_2\text{CO}_3/\text{HCO}_3^-$	$\text{H}_2\text{CO}_{3(\text{aq})} \rightleftharpoons \text{H}^+_{(\text{aq})} + \text{HCO}_3^-_{(\text{aq})}$
7.21	$\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-}$	$\text{H}_2\text{PO}_4^-_{(\text{aq})} \rightleftharpoons \text{H}^+_{(\text{aq})} + \text{HPO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$
9.4	$\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$	$\text{NH}_{3(\text{aq})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+_{(\text{aq})} + \text{OH}^-_{(\text{aq})}$
10.70	$\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_3^+/\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$	$\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_{2(\text{aq})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} \rightleftharpoons \text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_3^+_{(\text{aq})} + \text{OH}^-_{(\text{aq})}$

## 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 تراكيبيها 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  $H_2CO_3/HCO_3^-$ .



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

#### التحليل

سيغير موضع اتزان  $H_2CO_3/HCO_3^-$  بحسب مبدأ لوتشاتيليه اعتماداً على معدل الأيض في الجسم وعوامل أخرى. وبالإضافة إلى ذلك تستطيع الرئتان أن تغير سرعة طرد  $CO_2$  من الجسم عن طريق التنفس، وتستطيع الكلتيان أن تغير سرعة إزالة أيونات  $HCO_3^-$ .

#### التفكير الناقد

1. حدد كم يزيد  $[H^+]$  إذا تغير pH الدم من 7.4 إلى 7.1؟
2. اقترح سبباً 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 2-4

### 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 الرئيسية** فسر لماذا تكون المعادلة الأيونية النهائية لتفاعل تعادل أي حمض قوي مع أي قاعدة قوية دائماً 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. فسر ما المواد التي يمكن استعمالها لعمل محلول منظم قيمة pH له 9.4؟ وما نسبتها؟ استعمل الجدول 2-7.
53. صمم تجربة صف كيف تصمم معايرة وتجربها باستعمال  $HNO_3$  تركيزه 0.250 M لتحديد مولارية محلول هيدروكسيد السيزيوم؟

# الكيمياء من واقع الحياة



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

يجب أن تخلط صودا الخبز بمكونات أخرى صلبة، وتضاف في النهاية إلى مخلوط العجين حتى يكون انطلاق ثاني أكسيد الكربون منتظماً في كل أنحاء العجين، ويحدث تفاعل الحمض والقاعدة هذا بسرعة. إذا كانت صودا الخبز هي عامل التخمر الوحيد في الوصفة، وجب خبز العجين بسرعة وفوراً قبل أن تحتفي الفقاعات الاختفاء. وتؤدي عملية الخبز إلى تمدد الفقاعات، فتنفخ الكعكة. وعندما يتصلب العجين تحتجز الفقاعات، كما في الشكل 2.

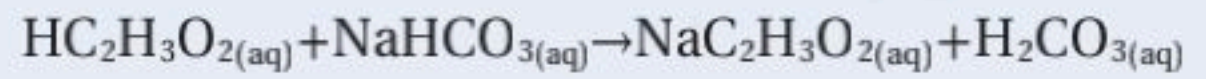
**مسحوق الخبز Baking Powder** إذا لم تتضمن الوصفة سائلاً حمضياً فإن مسحوق الخبز يستعمل عوضاً عن ذلك. ومعظم مسحوق الخبز خليط من صودا الخبز وحمضين جافين. وأحد هذين الحمضين يتفاعل مع الصودا عندما يذوب في العجين، ويتفاعل الثاني مع الصودا عند التسخين. ومثل صودا الخبز يخلط مسحوق الخبز بالمكونات الأخرى الجافة، ويضاف في النهاية إلى العجين. ولكن العجائن التي يستعمل فيها مسحوق الخبز ليس من الضروري أن تخبز فوراً.

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

## تفاعلات الأحماض والقواعد وعملية الخبز

هل رأيت تمثيلاً 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



### التفكك



إن إطلاق ثاني أكسيد الكربون نتيجة التفاعل الكيميائي بين الحمض والقاعدة - انظر الشكل 1 - هو من أسباب انتفاخ الخبز والمعجنات. وتسمى المادة التي تؤدي إلى انتفاخ العجين عند خبزه عامل التخمر. والمادتان الكيميائيتان الرئيستان في التخمر هما صودا الخبز ومسحوق الخبز.

**صودا الخبز Baking Soda** كربونات الصوديوم الهيدروجينية، وتسمى أيضاً بيكروونات الصوديوم، وهو الاسم الكيميائي لصودا الخبز؛ حيث تتفاعل صودا الخبز عند استعمالها في الطبخ مع سوائل معتدلة الحمضية، فتكون فقاعات ثاني أكسيد الكربون. وتشمل السوائل المعتدلة الحمضية الخل والعسل ودبس السكر وعصير الحمضيات ومخضوض اللبن وغيرها.



الشكل 1 تتكون فقاعات من غاز ثاني أكسيد الكربون عندما تضاف قاعدة صودا الخبز إلى حمض الخل.

## الكتابة في الكيمياء

حلل إذا تطلبت وصفة استعمال الطحين والملح والسكر والنخالة والحليب والبيض والسمن أو الزيت النباتي، فهل تستعمل صودا الخبز أو مسحوق الخبز؟ فسر إجابتك.

# مختبر الكيمياء

## معايرة القاعدة

الخلضية 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
فتالات البوتاسيوم الهيدروجينية $KHC_8H_4O_4$	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. املاً بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. ضع 4 g NaOH تقريباً في الدورق المخروطي الذي سعته 500 mL. ثم أذهبها في كمية كافية من الماء، ثم أكمل حجم المحلول ليصبح 400 mL تقريباً. ثم أغلق الدورق بالسدادة.
3. استعمل زجاجة الوزن لأخذ كتلة مقدارها 0.40 g تقريباً من فتالات البوتاسيوم الهيدروجينية  $KHC_8H_4O_4$ ، الذي كتلته المولية =  $204.32 \text{ g/mol}$ ، وضعها في الدورق المخروطي الذي سعته 250 mL. ثم سجل هذه الكتلة.
4. استعمل قارورة الغسل لغسل الجزء الداخلي من الدورق، وأضف 50 mL تقريباً من الماء، وقطرتين من محلول كاشف الفينولفثالين.
5. املاً السحاحة بمحلول NaOH، على أن يكون مستوى السائل عند علامة الصفر أو تحتها. للتخلص من أي هواء قد يكون عالماً في السحاحة 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 ثابتاً.
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.

### التحليل والاستنتاج

1. **فسر البيانات** في كل معايرة، احسب عدد مولات الحمض المستعمل بقسمة كتلة العينة على الكتلة المولية للحمض.
2. **استنتج** كم مولاً 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 بالتر.
5. **تحليل الخطأ** هل اتفقت حساباتك للمولارية؟ فسّر أي اختلافات.

### الاستقصاء

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

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

#### 2-1 مقدمة في الأحماض والقواعد

##### الفكرة الرئيسية

تساعد النظريات المختلفة على وصف سلوك الأحماض والقواعد.

##### المفردات

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

##### الأفكار الرئيسية

- تحدّد تراكيز أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد ما إذا كان المحلول حمضيًا، أم قاعديًا، 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.

#### 2-2 قوة الأحماض والقواعد

##### الفكرة الرئيسية

تتأين الأحماض والقواعد القوية في المحاليل تأينًا كليًا، بينما تتأين الأحماض والقواعد الضعيفة في المحاليل تأينًا جزئيًا.

##### المفردات

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

##### الأفكار الرئيسية

- تتأين الأحماض والقواعد القوية كليًا في المحاليل المائية المخففة، بينما تتأين الأحماض والقواعد الضعيفة جزئيًا في المحاليل المائية المخففة.
- تعد قيمة ثابت تأين الحمض أو القاعدة الضعيفة قياسًا لقوة الحمض أو القاعدة.



## 2-3 أيونات الهيدروجين والرقم الهيدروجيني

## الفكرة الرئيسية

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

## المفردات

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

## الأفكار الرئيسية

- 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.

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

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

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

$$pH + pOH = 14.00$$

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

## 2-4 التبادل

## الفكرة الرئيسية

يتفاعل الحمض مع القاعدة في تفاعل التبادل وينتج ملح وماء.

## المفردات

- تفاعل التبادل
- الملح
- المعايرة
- المحلول القياسي
- نقطة التكافؤ
- كاشف أحماض وقواعد
- نقطة النهاية
- تميّه الأملاح
- المحلول المنظم
- سعة المحلول المنظم

## الأفكار الرئيسية

- يتفاعل حمض مع قاعدة لتكوين ملح وماء في تفاعل التبادل.
  - تمثل المعادلة الأيونية النهائية الآتية تعادل حمض قوي مع قاعدة قوية:
- $$H^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)} \rightarrow H_2O_{(l)}$$
- المعايرة عملية يستعمل فيها تفاعل التبادل بين حمض وقاعدة لتحديد تركيز محلول.
  - تحتوي المحاليل المنظمة على مخاليط من جزيئات وأيونات تقاوم التغيرات في pH.



## 2-1

## إتقان المفاهيم

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

55. اكتب معادلة كيميائية موزونة تمثل التأين الذاتي للماء.

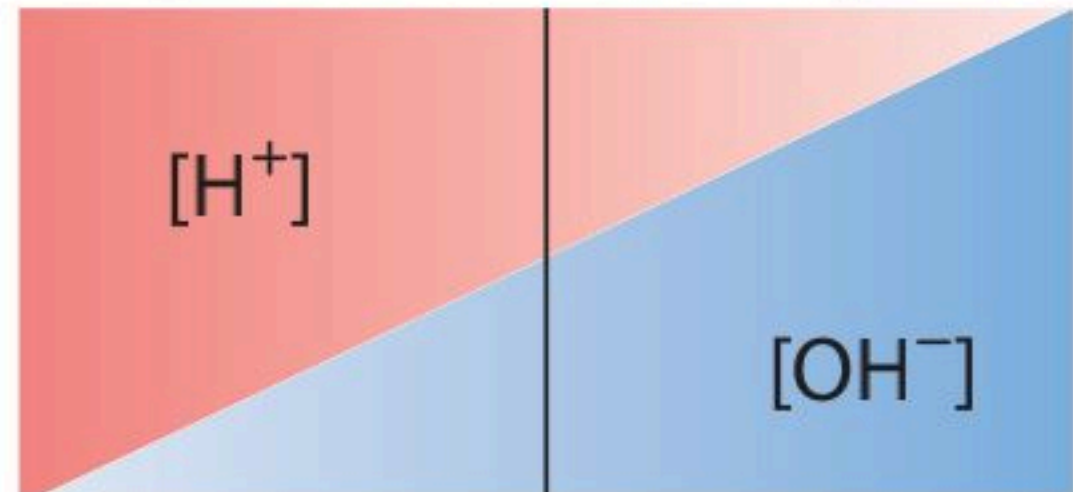
56. صنف كلاً مما يأتي إلى حمض أرهينوس أو قاعدة أرهينوس:



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

58. اشرح ما تعنيه المساحتان المظللتان عن اليمين من الخط العمودي الغامق في الشكل 2-28.

← قاعدية — متعاد — حمضية →



الشكل 2-28

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

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

61. استعمال 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.

## 2-2

## إتقان المفاهيم

64. اشرح الفرق بين حمض قوي وحمض ضعيف.

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



الشكل 2-29

66. أي الكأسين في الشكل 2-29 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  $H_2PO_4^-$  مع الماء.



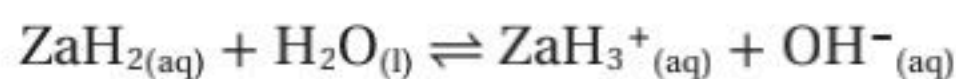
## إتقان حل المسائل

69. منظفات الأمونيا اكتب المعادلة الكيميائية وتعبير  $K_b$  لتأين الأمونيا في الماء. وكيف يستعمل محلول الأمونيا منظفاً آمناً للنوافذ مع أنه قاعدي؟

70. مطهر حمض الهيوكلوروز مطهر صناعي. اكتب المعادلة الكيميائية وتعبير  $K_a$  لتأين حمض الهيوكلوروز في الماء.

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

72. تتفاعل القاعدة الضعيفة  $ZaH_2$ ، مع الماء لتعطي محلولاً تركيز أيون  $OH^-$  فيه  $2.68 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ ، والمعادلة الكيميائية للتفاعل هي:



إذا كان  $[ZaH_2]$  عند الاتزان  $0.0997 \text{ mol/L}$ ، فما قيمة  $K_b$  لـ  $ZaH_2$ ؟

73. اختر حمضاً قوياً، وشرح كيف تحضر محلولاً مخففاً منه؟ ثم اختر حمضاً ضعيفاً، وشرح كيف تحضر محلولاً مركزاً منه؟

## 2-3

## إتقان المفاهيم

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

75. قيمة  $pH$  للمحلول A تساوي 2.0 وللحلول 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 لوتشاتليه 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  $[H^+] = 5.40 \text{ M} \times 10^{-3}$ ؟

79. ما قيمة  $pH$  و  $pOH$  للمحلول المذكور في السؤال 78؟

80. لديك محلولان:  $0.10 \text{ M HCl}$  و  $10.0 \text{ M HF}$ ، أيهما يكون تركيز أيونات  $H^+$  فيه أعلى؟ احسب  $pH$  لكل من المحلولين إذا علمت أن  $[H^+] = 7.9 \times 10^{-3} \text{ M}$  في محلول HF.

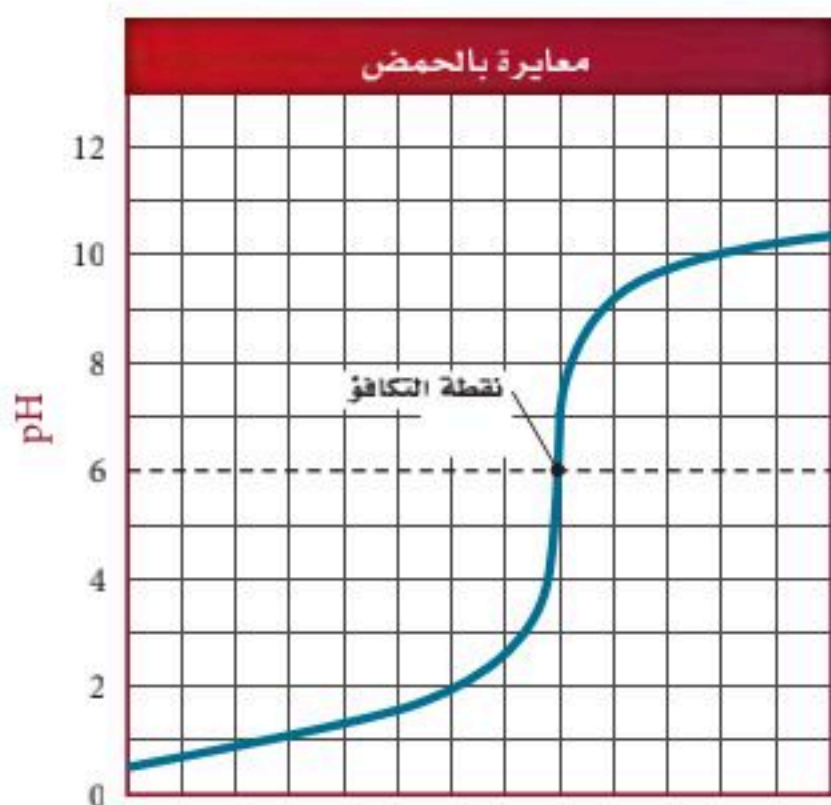
81. **منظف الفلزات** يستعمل حمض الكروميك منظفاً صناعياً للفلزات. احسب قيمة  $K_a$  للتأين الثاني لحمض الكروميك  $H_2CrO_4$  إذا كان لديك محلول تركيزه  $0.040 \text{ M}$  من كرومات الصوديوم الهيدروجينية قيمة  $pH$  لها 3.946؟

## 2-4

## إتقان المفاهيم

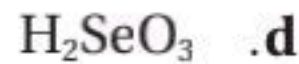
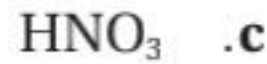
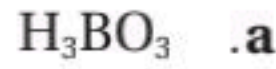
82. ما الحمض والقاعدة اللذان يجب أن يتفاعلا لينتجا محلولاً مائياً من يوديد الصوديوم؟

83. ما كواشف الأحماض والقواعد المبينة في الشكل 2-24، والتي من المناسب استعمالها في تفاعل التعادل المبين منحني معايرته في الشكل 2-30؟ ولماذا؟



الشكل 2-30 حجم القاعدة المضاف

94. أي مما يأتي حمض متعدد البروتونات؟ اكتب معادلات تأين متتالية للأحماض المتعددة البروتونات في الماء.



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

96. تكرير السكر يستعمل هيدروكسيد الإسترانسيوم في تكرير سكر الشمندر. ويمكن إذابة 4.1 g فقط من هيدروكسيد الإسترانسيوم في 1 L من الماء عند درجة حرارة 273 K. فإذا كانت ذوبانية هيدروكسيد الإسترانسيوم منخفضة إلى هذه الدرجة، فاشرح لماذا يمكن اعتباره قاعدة قلووية قوية؟

97. ما تراكيز أيونات  $OH^-$  في محاليل لها قيم pH الآتية: 3.00 و 6.00 و 9.00 و 12.00 عند درجة حرارة 298 K؟ وما قيم pOH لها؟

98. جهاز pH في الشكل 2-31 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؟



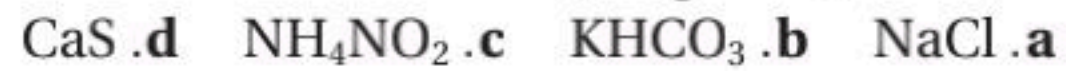
الشكل 2-31

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 2-24.

87. أعط الاسم والصيغة الجزيئية للحمض والقاعدة اللذين أنتجا كلاً من الأملاح الآتية:



### إتقان حل المسائل

88. اكتب معادلات كيميائية ومعادلات أيونية كلية لتميه كل من الملحين الآتين في الماء:



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  $H_2SO_4$ ؟

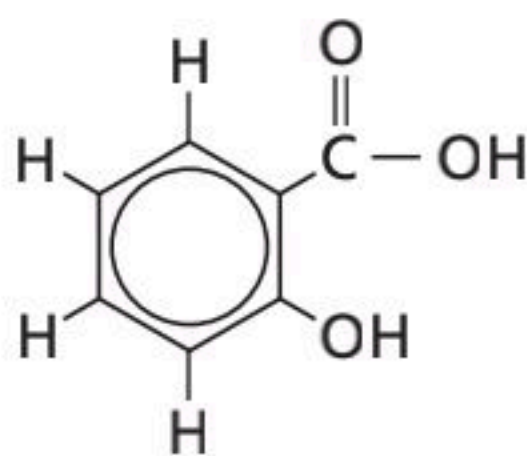
### مراجعة عامة

91. اكتب معادلة تفاعل التأيين، 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 الهيوبروموز  $HBrO$ ؟ إذا علمت أن  $K_a = 2.8 \times 10^{-9}$ ؟

106. طبق المفاهيم تتغير قيمة  $K_w$  كغيرها من ثوابت الاتزان بحسب درجة الحرارة.  $K_w$  يساوي  $2.92 \times 10^{-15}$  عند  $10^\circ\text{C}$ ، و  $1.00 \times 10^{-14}$  عند  $25^\circ\text{C}$  و  $2.92 \times 10^{-14}$  عند  $40^\circ\text{C}$ . في ضوء هذه المعلومات احسب قيم pH للماء النقي عند درجات الحرارة الثلاث هذه، وقارن بينها. هل يصح القول إن pH للماء النقي دائماً 7.0؟ اشرح إجابتك.
107. توقع يستعمل حمض الساليسليك - الميّن في الشكل 2-32 في تحضير الأسبرين. بناءً على معرفتك بالهيدروجين القابل للتأين في جزيء حمض الخل  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ، توقع أي ذرات الهيدروجين في حمض الساليسليك قد تكون قابلة للتأين؟



الشكل 2-32

## مسألة تحفيز

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

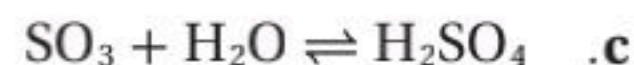
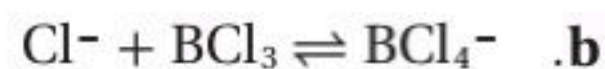
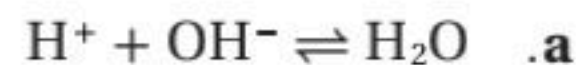
## مراجعة تراكمية

109. عند حرق 5.00 g من مركب في مسعر، ارتفعت درجة حرارة 2.00 kg من الماء من  $24.5^\circ\text{C}$  إلى  $240.5^\circ\text{C}$ . ما كمية الحرارة التي تنطلق عند حرق 1.00 mol من المركب (الكتلة المولية =  $46.1 \text{ g/mol}$ )؟

99. اكتب المعادلة الكيميائية للتفاعل الذي يحدث عند إضافة قاعدة إلى المحلول المنظم  $\text{H}_2\text{PO}_4^- / \text{HPO}_4^{2-}$ .

## التفكير الناقد

100. انقد العبارة الآتية: "يجب اعتبار المادة التي تحتوي صيغتها الكيميائية على مجموعة الهيدروكسيل قاعدة".
101. حلل واستنتج هل يمكن أن يصنّف المحلول حمضاً بحسب برونستد - لوري ولا يصنف حمضاً بحسب قاعدة أرهينيوس؟ وهل يمكن أن يكون حمضاً بحسب نظرية برونستد - لوري وليس حمضاً بحسب نظرية أرهينيوس؟ هل يمكن ألا يصنّف حمض لويس بوصفه حمض أرهينيوس أو برونستد - لوري؟ اشرح ذلك مع ذكر أمثلة.
102. طبق 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:



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  $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_3^+ / \text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$ ؟ وبين مستعينا بالمعادلات كيف يتأثر نظام (القاعدة الضعيفة/ الحمض المرافق) عند إضافة كميات صغيرة من الأحماض والقواعد إلى محلول هذا النظام؟



## تقويم إضافي

## الكتابة في الكيمياء

112. نظريات الأحماض والقواعد تحيل 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 حمضاً أمينياً تتحد لتكوين البروتينات في أجهزة المخلوقات الحية. اكتب بحثاً عن تراكيب وقيم  $K_a$  لخمس أمينية وقومها. قارن بين قوى هذه الأحماض وقوى الأحماض في الجدول 2-4.

## أسئلة المستندات

ماء المطر بين الشكل 2-34 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 جيداً، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه.



الشكل 2-34

114. كيف يتغير متوسط pH للسنوات 1990م - 2003م؟

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 مقيد التعبير في متوسط pH بين عامي 1990 و2003م؟

110. يتفاعل الهيدروجين والفلور لتكوين HF بحسب معادلة الاتزان الآتية:



هل تؤدي زيادة درجة الحرارة إلى زيادة كمية المادة الناتجة؟ اشرح ذلك.



الشكل 2-33

111. يبين الشكل 2-33 تغير الطاقة في أثناء سير تفاعل ما.

- هل التفاعل طارد أم ماص للطاقة؟
- ما عدد الخطوات التي يحدث فيها التفاعل؟

## 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 تقريباً من ATP مقابل كل مول يستهلك من الجلوكوز:



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 التأيين وبيانات pH لبعض الأحماض العضوية الضعيفة		
$K_a$	pH محلول تركيزه 1.000 M	الحمض
$1.78 \times 10^{-4}$	1.87	HA
$3.55 \times 10^{-3}$	؟	HB
؟	2.43	HX
$7.08 \times 10^{-3}$	1.09	HD
$9.77 \times 10^{-5}$	2.01	HR

5. أي حمض أقوى؟

- a. HA
- b. HB
- c. HX
- d. HD

6. ما ثابت تأين حمض HX؟

- a.  $1.0 \times 10^{-5}$
- b.  $2.43 \times 10^0$
- c.  $3.72 \times 10^{-3}$
- d.  $7.3 \times 10^4$

7. ما قيمة pH لمحلول حمض السيانوايثانويك الذي

تركيزه 0.40 M ؟

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



# اختبار مقنن

## أسئلة الإجابات المفتوحة

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

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

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:

pH	المادة
11.3	الأمونيا المنزلية
2.3	عصير الليمون
9.4	مضاد الحموضة
7.4	الدم
3.0	المشروبات الغازية

- a. أي مادة أكثر قاعدية؟
- b. أي مادة أقرب إلى التعادل؟
- c. أي مادة تركيز  $[H^+]$  فيها  $4.0 \times 10^{-10} M$ ؟
- d. أي مادة قيمة pOH لها 11.0؟
- e. كم مرة تزيد قاعدية مضاد الحموضة على قاعدية الدم؟



**الفكرة العامة** تعدُّ تفاعلات الأكسدة والاختزال من العمليات الكيميائية الشائعة في الطبيعة وفي الصناعة، وتتضمَّن انتقالاً للإلكترونات.

### 3-1 الأكسدة والاختزال

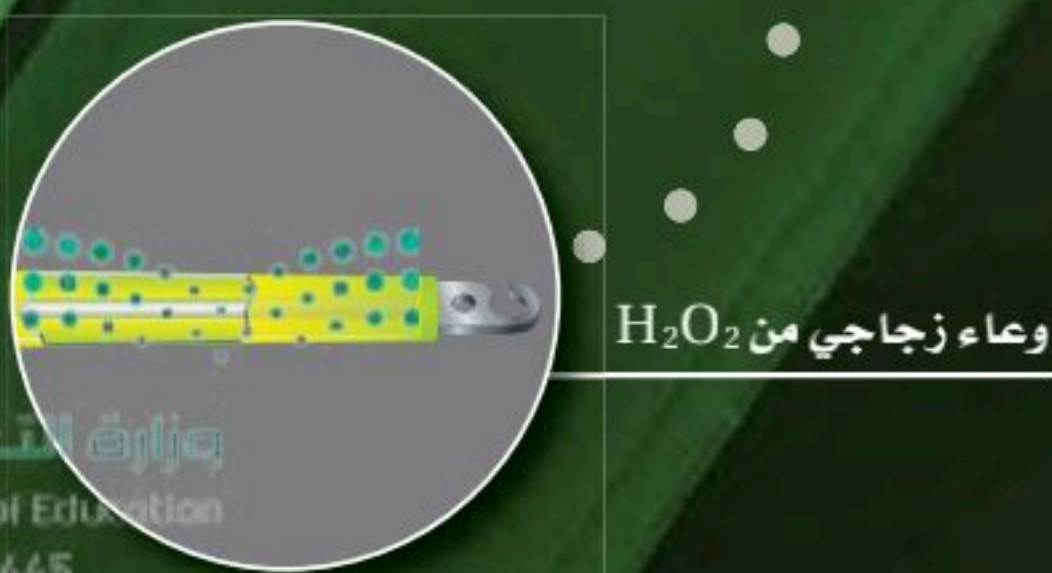
**الفكرة الرئيسية** يعدُّ تفاعلا الأكسدة والاختزال تفاعلين متكاملين؛ إذ تتأكسد ذرة وتُختزل أخرى.

### 3-2 وزن معادلات الأكسدة والاختزال

**الفكرة الرئيسية** تصبح معادلات الأكسدة والاختزال موزونة 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 بتسخينها، لكن البريق لن يستمرَّ طويلاً.
- ليس بالضرورة أن يكون الضوء الناتج عن تفاعلات الأكسدة والاختزال مصحوباً بالحرارة.
- يستعمل نحو 90% تقريباً من الأحياء البحرية شكلاً من أشكال الضوء الحيوي الذي يتولَّد من تفاعلات الأكسدة والاختزال.



## نشاطات تمهيدية

وزن معادلات الأكسدة والاختزال صمّم المطوية الآتية لتساعدك على تلخيص المعلومات حول الطرائق المختلفة في وزن معادلات الأكسدة والاختزال.

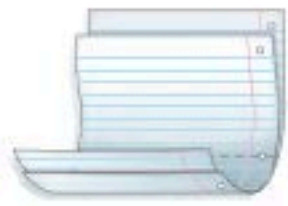
### المطويات

منظمات الأفكار

**الخطوة 1** اجمع طبقتين من الورق، واجعل طرف الورقة العلوية على بعد 2 cm من حافة الورقة السفلية كما في الشكل.



**الخطوة 2** اثن الحواف السفلية إلى أعلى لتكون أربعة تفرعات متساوية. ثم ثبت الشية بالضغط عليها لتحافظ على التفرع في مكانه جيداً، كما في الشكل المجاور.



أنصاف التفاعل
معادلة الأكسدة والاختزال الأيونية الكلية
طريقة عدد التأكسد
وزن معادلات الأكسدة والاختزال

**الخطوة 3** ثبت الشيات وعنونها على النحو الآتي: وزن معادلات الأكسدة والاختزال، طريقة عدد التأكسد، معادلة الأكسدة والاختزال الأيونية الكلية، أنصاف التفاعل.

**المطويات** استعمل المطوية في القسم 2-3، ولخص ما تقرؤه حول موازنة معادلات الأكسدة والاختزال، واعرض مثالا على كل طريقة.

## تجربة استهلاكية

ماذا يحدث عندما يتفاعل الحديد وكبريتات النحاس II؟  
ينتج الصدأ عندما يتفاعل الحديد والأكسجين، ويتفاعل الحديد أيضاً مع مواد أخرى غير الأكسجين.



### خطوات العمل

1. اقرأ نموذج احتياطات السلامة في المختبر.
2. استعمل قطعة من ورق الصنفرة لتلميع مسمار الحديد.
3. أضف 3 mL تقريباً 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 10 دقائق، ثم سجل ملاحظاتك.

### تحليل النتائج

1. فسّر ما يحدث للون محلول كبريتات النحاس.
  2. حدّد المادة التي التصقت بالمسار.
  3. اكتب المعادلة الكيميائية الموزونة لهذا التفاعل.
- استقصاء** ماذا يمكن أن يحدث للنحاس لو وضع في محلول كبريتات الحديد؟ صمّم تجربة لاختبار فرضيتك.







# 3-1

## الأهداف

- تصف تفاعلات الأكسدة والاختزال
- تحدد العوامل المؤكسدة والمختزلة.
- تحدد عدد التأكسد لعنصر في مركب.
- تفسر تفاعلات الأكسدة والاختزال من حيث التغير في حالة التأكسد.

## مراجعة المفردات

**الأيون المتضج 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 الرئيسية** يُعدّ تفاعلا الأكسدة والاختزال تفاعلين متكاملين؛ إذ تتأكسد ذرة وتُختزل أخرى.

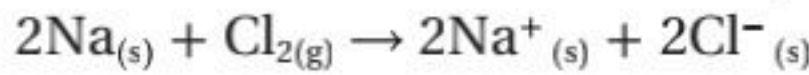
**الربط مع الحياة** ينتج ضوء العصا الضوئية عن تفاعل كيميائي، فعندما تكسر الكبسولة الزجاجية داخل الإطار البلاستيكي يحدث تفاعل بين مادتين، وتنتقل الإلكترونات، فتتحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة ضوئية.

### انتقال الإلكترون وتفاعل الأكسدة والاختزال Electron Transfer and Redox Reactions

يمكن تصنيف التفاعلات الكيميائية في العادة إلى خمسة أنواع من التفاعلات هي: التكوين، التفكك، والاحتراق، والإحلال البسيط، والإحلال المزدوج. ومن خواص تفاعلات الاحتراق والإحلال البسيط أنها يتضمنان انتقال الإلكترونات من ذرة إلى أخرى، كما هو الحال في كثير من تفاعلات التكوين و التفكك. ففي تفاعل التكوين على سبيل المثال، يتفاعل الصوديوم Na، والكلور Cl<sub>2</sub> لتكوين المركب الأيوني NaCl، وينتقل إلكترونان من ذرة صوديوم إلى جزيء الكلور Cl<sub>2</sub> ويتكون أيونان من الصوديوم وأيونان من الكلوريد، وتكون المعادلة الكيميائية لهذا التفاعل على النحو الآتي:



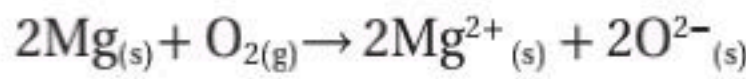
والمعادلة الأيونية الكلية (الأيونات المكونة للبلورة):



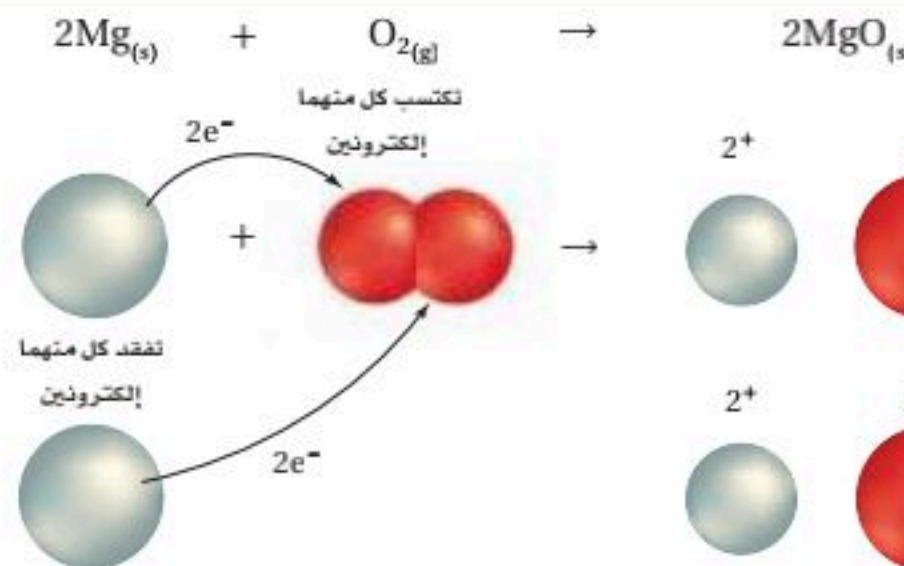
أما تفاعل الماغنسيوم في الهواء الذي يتضمن انتقال الإلكترونات فهو مثال على تفاعل الاحتراق.



المعادلة الأيونية الكلية (الأيونات المكونة للبلورة)

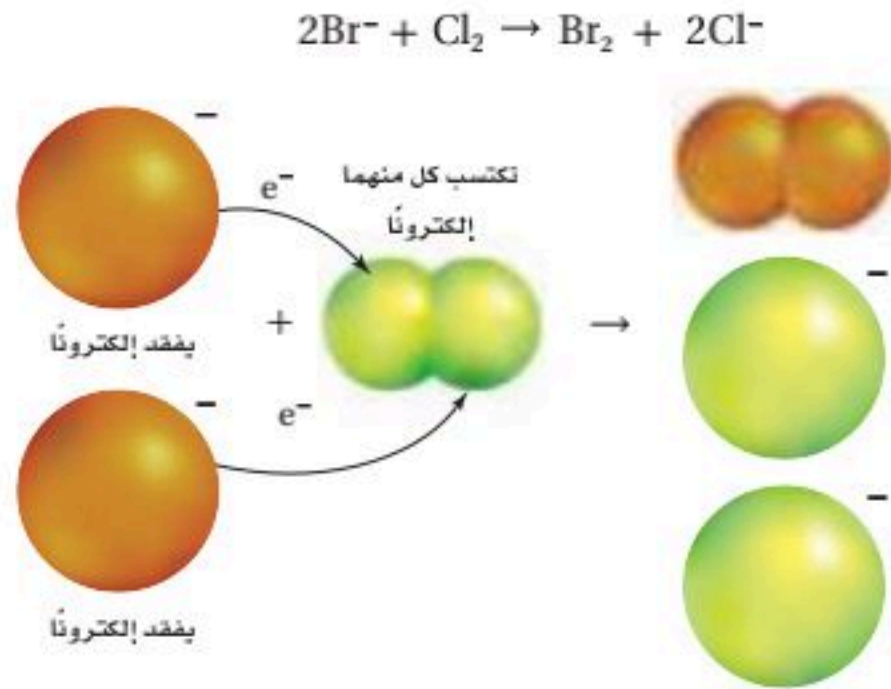


عندما يتفاعل الماغنسيوم مع الأكسجين، كما في الشكل 3-1، فإن كل ذرة ماغنسيوم تعطي إلكترونين إلى كل ذرة أكسجين، وتتحول ذرة الماغنسيوم إلى أيون Mg<sup>2+</sup>، وتتحول



**الشكل 3-1** يتضمّن تفاعل الماغنسيوم مع الأكسجين انتقال الإلكترونات من الماغنسيوم إلى الأكسجين؛ لذا فإن هذا التفاعل هو تفاعل أكسدة واختزال.

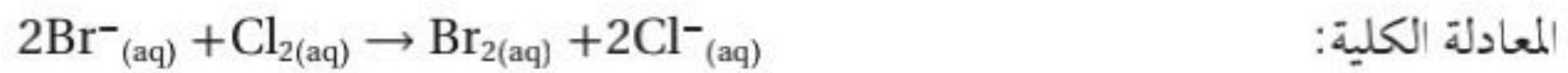
**صنّف** التفاعل بين الماغنسيوم والأكسجين.



الشكل 2-3 التفاعل بين محلول أيونات البروميد وغاز الكلور هو تفاعل أكسدة، هنا تنتقل الإلكترونات من أيونات البروم إلى الكلور.

ذرة الأكسجين إلى الأيون  $\text{O}^{2-}$ ، ويُسمَّى 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 كلوريد البوتاسيوم والبروم الموضح في الشكل 2-3.



يُلاحظ أن الكلور يكتسب الإلكترونات من أيونات البروميد ليكوّن أيونات الكلوريد، وعندما يفقد أيون البروميد الإلكترونات تتحد ذرتا البروم برابطة تساهمية لتكوين جزيء  $\text{Br}_2$ . 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 مرة أخرى معادلة تفاعل الصوديوم والكلور الكلية، تلاحظ أن الصوديوم قد تأكسد لأنه فقد إلكترونًا.



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.



إذن فالأكسدة والاختزال عمليتان مترافقتان متكاملتان؛ فلا يحدث تفاعل الأكسدة إلا إذا حدث تفاعل اختزال، ومن المهم جدًا التمييز بين تفاعلي الأكسدة والاختزال.

### المفردات

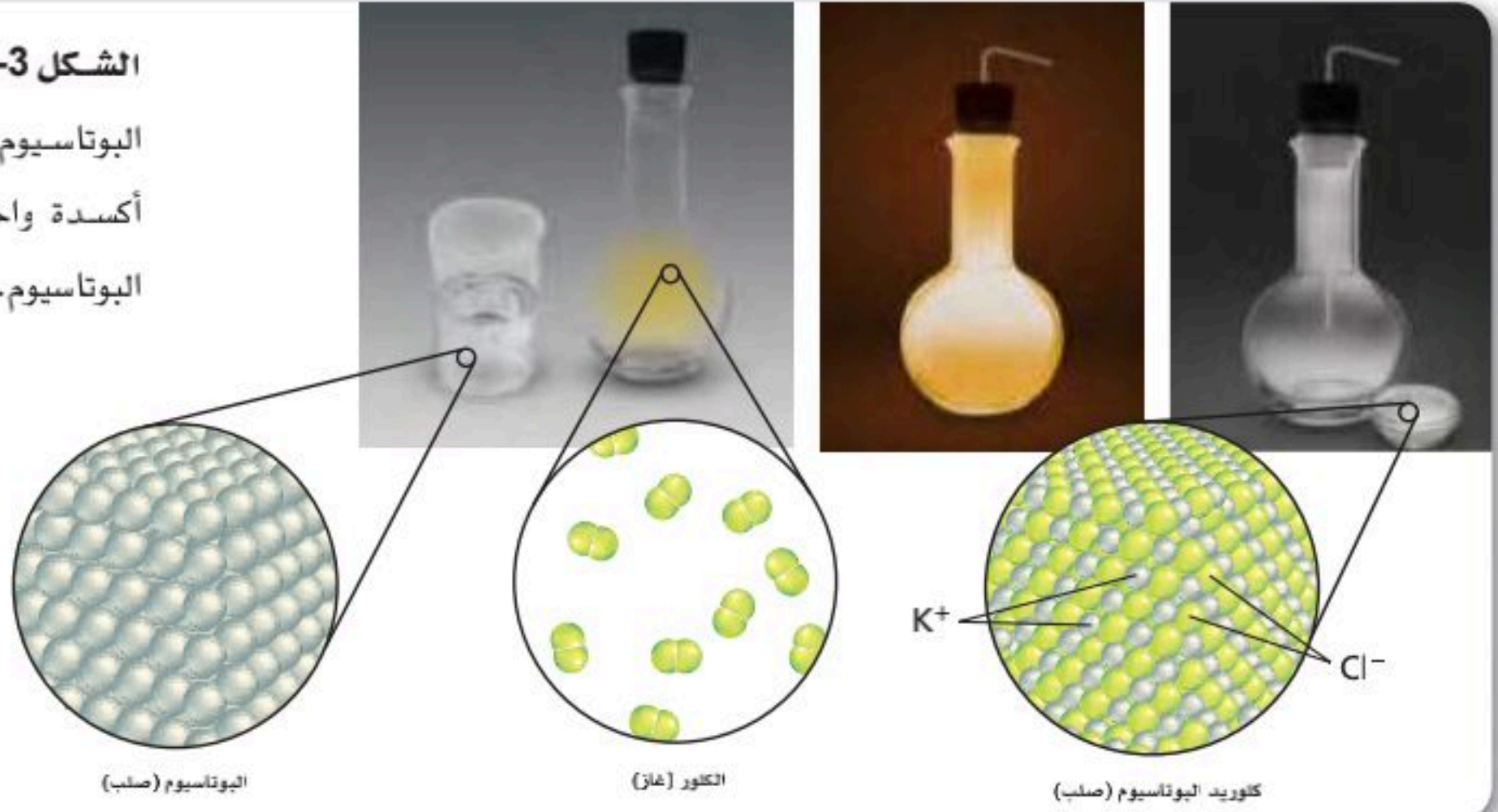
#### أصل الكلمة

#### الاختزال (Reduction)

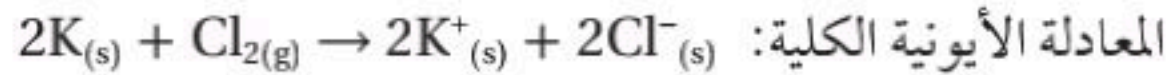
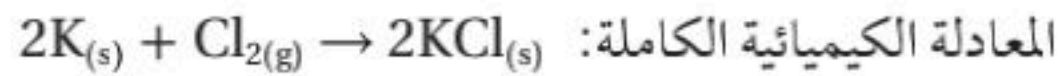
جاءت من الأصل اللاتيني re، وتعني الخلف، وducere وتعني يقود...



**الشكل 3-3** يتفاعل كل من فلز البوتاسيوم وغاز الكلور تفاعل أكسدة واختزال لتكوين كلوريد البوتاسيوم.



**التغيير في عدد التأكسد** تذكر أن عدد التأكسد لذرة في المركب الأيوني هو عدد الإلكترونات التي فقدتها أو اكتسبتها الذرة عندما كوَّنت الأيونات، وأن تفاعل البوتاسيوم مع الكلور، الموضح في الشكل 3-3، هو تفاعل أكسدة واختزال، ومعادلة تفاعل فلز البوتاسيوم مع غاز الكلور هي على النحو الآتي:



يوجد البوتاسيوم ضمن عناصر المجموعة الأولى في الجدول الدوري، التي تميل إلى فقد إلكترون واحد في التفاعل؛ بسبب انخفاض كهروساليبيتها، وعدد تأكسدها +1. ومن ناحية أخرى يوجد الكلور ضمن عناصر المجموعة 17 التي تميل إلى اكتساب الإلكترونات؛ لأن كهروساليبيتها عالية، وعدد تأكسدها في كثير من المركبات -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 أو أيون عند اختزاله يقل عدد تأكسده. 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 تُكتب إشارة الشحنة الأيونية بعد العدد (+2، +3).

عدد التأكسد: +3 الشحنة الأيونية: +3

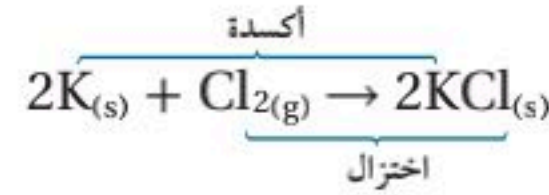
**ماذا قرأت؟ حدّد أي العناصر أكثر قابليةً لاكتساب الإلكترونات: البوتاسيوم أم الكلور؟**

### مهن في الكيمياء

**صانع الفخار** فنان يصنع الفخار، ويستعمل مواد تحتوي على أيونات فلزية لإضفاء الألوان المختلفة على الفخار عند حرقه. وتظهر المواد الزجاجية، التي تحتوي على 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 3-3 بأن البوتاسيوم قد تأكسد بواسطة الكلور. المادة التي يحدث لها اختزال (تكتسب إلكترونات) تُسمى **عاملًا مؤكسدًا**، أما المادة التي يحدث لها أكسدة (تفقد إلكترونات) فتُسمى **عاملًا مختزلًا**؛ لذا فالعامل المختزل في تفاعل البوتاسيوم - الكلور هو البوتاسيوم؛ أي المادة التي تأكسدت.




العامل المختزل: K

العامل المؤكسد: Cl<sub>2</sub>

ومن التطبيقات الشائعة على تفاعلات الأكسدة والاختزال إزالة الشوائب من الفلزات. وتُعدُّ العوامل المؤكسدة والمختزلة الأخرى مفيدة في الحياة اليومية. فعلى سبيل المثال عند إضافة مبيض الغسيل إلى الملابس لتبييضها، فإنك تستعمل محلولاً من هيبوكلوريت الصوديوم NaClO؛ وهو عامل مؤكسد يؤدي إلى أكسدة البقع والأصبغ ومواد أخرى. ويلخص الجدول 3-1 الطرائق المختلفة لوصف تفاعلات الأكسدة والاختزال.

### ملخص تفاعلات الأكسدة والاختزال

### الجدول 3-1

العملية	الأكسدة	الاختزال
	<ul style="list-style-type: none"> <li>المادة المتفاعلة تفقد إلكترونًا.</li> <li>X يفقد إلكترونًا.</li> <li>يتأكسد العامل المختزل.</li> <li>X عامل مختزل ويتأكسد.</li> <li>يزيد عدد التأكسد للمادة X.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>المادة المتفاعلة الأخرى تكتسب إلكترونًا.</li> <li>Y يكتسب إلكترونًا.</li> <li>يختزل العامل المؤكسد.</li> <li>Y العامل المؤكسد يُختزل.</li> <li>يقل عدد التأكسد للمادة Y.</li> </ul>

## تجربة

### ملاحظة تفاعل الأكسدة والاختزال

كيف يمكن إزالة الشوائب من الفضة؟

الخطوات 

- اقرأ نموذج الأمان في المختبر.
- مُع قطعة من رقائق الألومنيوم برفق مستعملًا الصوف لإزالة أي طبقة مؤكسدة تغطيها.
- لف قطعة صغيرة متأكسدة من معدن الفضة برفائق الألومنيوم، وتأكد من التصاق المنطقة المتأكسدة تمامًا برفائق الألومنيوم.
- ضع القطعة الملفوفة في كأس سعتها 400 mL، وأضف كمية محددة من ماء الصنبور حتى تغطيها تمامًا.
- أضف مقدار ملعقة من صودا الخبز، ومقدار ملعقة من ملح المائدة إلى الكأس.

- أمسك الكأس بالماسك وضعها على السخان، وسخّن محتوياتها حتى درجة الغليان، مع الحفاظ على الحرارة مدة 15 دقيقة تقريباً حتى تزول الشوائب.

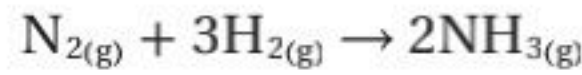
### التحليل

- اكتب معادلة تفاعل الفضة مع كبريتيد الهيدروجين، التي تنتج كبريتيد الفضة والهيدروجين.
- اكتب معادلة تفاعل كبريتيد الفضة (الشوائب) مع رقائق الألومنيوم والتي تنتج كبريتيد الألومنيوم والفضة.
- حدّد أي الفلزات أكثر نشاطاً: الألومنيوم أم الفضة؟ وكيف تعرف ذلك من النتائج؟
- فسر لماذا يجب ألا تستعمل أواني الألومنيوم عند تنظيف مواد مصنوعة من الفضة؟

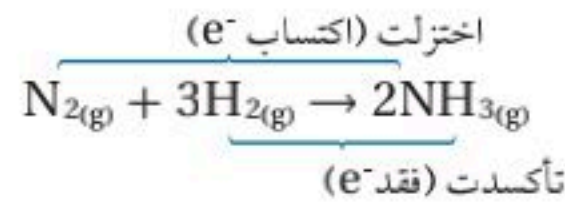


## تفاعلات الأكسدة والاختزال والكهروسالبية Redox and Electronegativity

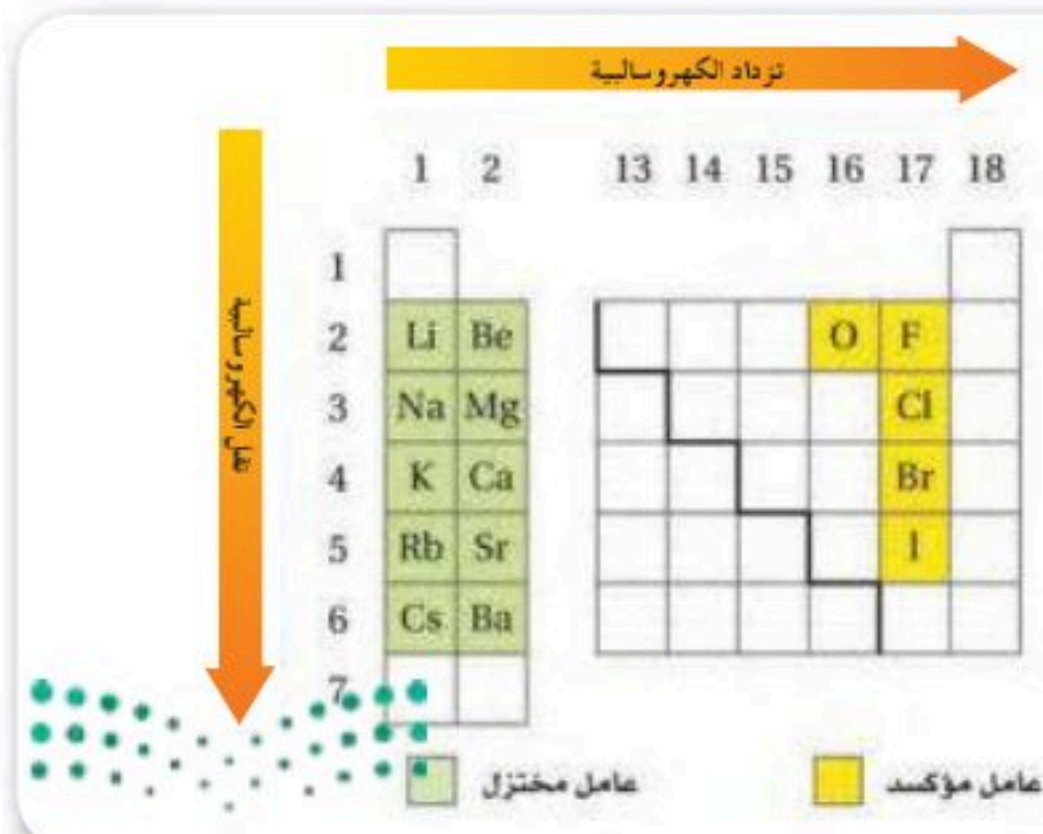
لا تقتصر تفاعلات الأكسدة والاختزال على تحول ذرات العناصر إلى أيونات أو العكس، بل تتضمن بعض تفاعلات الأكسدة والاختزال تغيرات في الجزيئات أو الأيونات الذرية التي تتحد فيها الذرات تساهمياً بذرات أخرى. فعلى سبيل المثال، تمثل المعادلة الآتية تفاعل الأكسدة والاختزال المستعمل في صناعة الأمونيا  $\text{NH}_3$ :



وهذه العملية لا تتضمن أيونات ولا انتقالاً للإلكترونات. فالمتفاعلات والنواتج جميعها مركبات جزيئية، ومع ذلك يعد تفاعل تأكسد واختزال؛ إذ يعدّ النيتروجين عاملاً مؤكسداً، والهيدروجين عاملاً مختزلاً. في وضع مثل الأمونيا حيث تشارك 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 3-4 تزايد الكهروسالبية من اليسار إلى اليمين عبر الدورة، وتقل بصورة عامة كلما اتجهنا في المجموعة إلى أسفل.



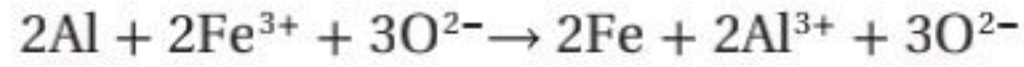
وتعدّ عناصر المجموعتين 1 و2 ذات الكهروسالبية المنخفضة عوامل مختزلة قوية، وعناصر المجموعة 17 والأكسجين في المجموعة 16 ذات الكهروسالبية العالية عوامل مؤكسدة قوية. وتساوي كهروسالبية الهيدروجين 2.20 تقريباً، في حين تبلغ كهروسالبية النيتروجين 3.04 تقريباً. وبهدف دراسة تفاعلات الأكسدة والاختزال فإنه كلما زادت 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 كهروسالبية وهي الهيدروجين قد تأكسدت بفقدانها الإلكترونات لصالح الذرة الأخرى وهي النيتروجين.



**الشكل 3-4** تزايد كهروسالبية العناصر من اليسار إلى اليمين عبر الجدول الدوري، وتقل في الاتجاه نحو أسفل عبر المجموعة الواحدة. وتعدّ العناصر ذات الكهروسالبية المنخفضة عوامل مختزلة قوية، والعناصر ذات الكهروسالبية المرتفعة عوامل مؤكسدة قوية.

**توقع** أي العناصر يمكن أن تكون أقوى بوصفها عوامل مؤكسدة، وأيها أقوى بوصفها عوامل مختزلة؟

**تفاعلات الأكسدة والاختزال** تمثل المعادلة الآتية تفاعل أكسدة واختزال الألومنيوم والحديد.



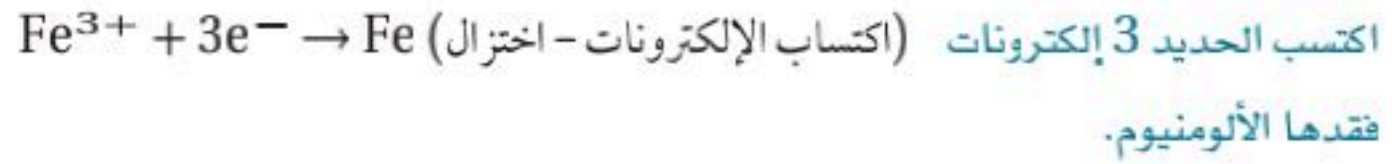
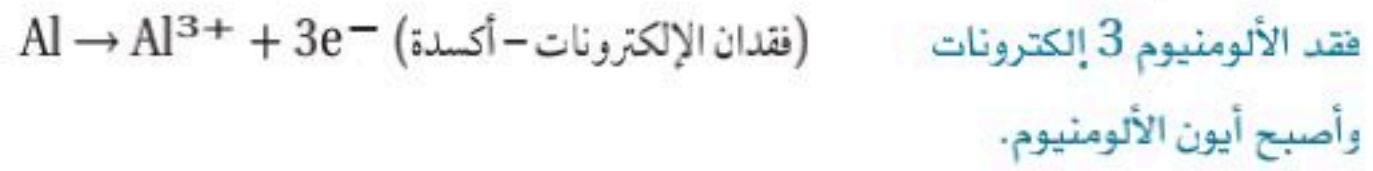
حدّد المادة التي تأكسدت والمادة التي اختزلت في هذا التفاعل.  
حدّد العامل المؤكسد والعامل المختزل.

### 1 تحليل المسألة

لقد أعطيت المتفاعلات والنواتج في التفاعل، لذا عليك تحديد انتقال الإلكترونات الحاصل، ثم يمكنك تطبيق تعريف العامل المؤكسد والعامل المختزل للإجابة عن السؤال.

### 2 حساب المطلوب

حدّد عمليتي التأكسد والاختزال.



لأن الألومنيوم تأكسد لذا فهو العامل المختزل، ولأن الحديد اختزل لذا فهو العامل المؤكسد.

### 3 تقويم الإجابة

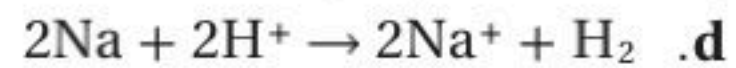
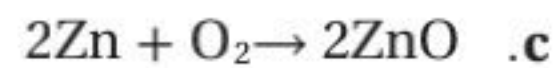
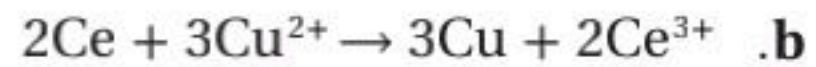
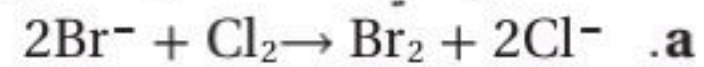
تأكسد الألومنيوم في هذه العملية بفقدته الإلكترونات، في حين اختزل الحديد واكتسب الإلكترونات، ومن ثم يتفق تعريف كل من الأكسدة والاختزال والعامل المؤكسد والعامل المختزل مع ما تقدم. لاحظ أن عدد تأكسد الأكسجين لم يتغير في هذا التفاعل؛ لذا لا يعدّ الأكسجين عاملاً مفتاحياً لحل المسألة.

### مسائل تدريبية

1. حدّد التغيرات، في كل مما يلي سواء أكانت أكسدة أم اختزالاً؟ وتذكر أن  $\text{e}^-$  هو رمز الإلكترون:



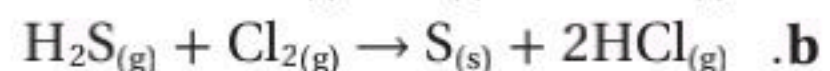
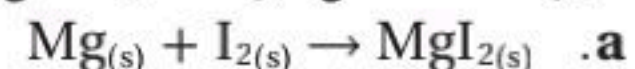
2. حدّد العناصر التي تأكسدت والعناصر التي اختزلت في العمليات الآتية:



3. حدّد العامل المؤكسد والعامل المختزل في التفاعل الآتي:

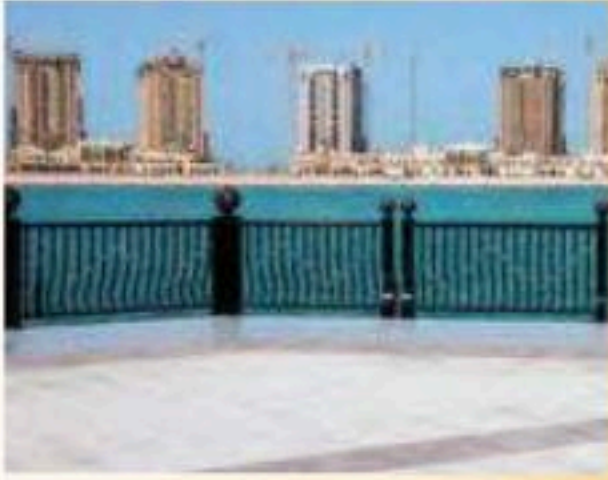


4. تحفيز حدّد العامل المؤكسد والعامل المختزل في التفاعل الآتي:



## واقع الكيمياء في الحياة

### الأكسدة



**الصدأ** يتأكسد الحديد عندما يلامسه الهواء الرطب، مكوناً أكسيد الحديد III  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ويسمى الصدأ، والصدأ شائع جداً؛ لأن مركبات الحديد سريعة التفاعل مع الأكسجين، والحديد النقي غير شائع في الطبيعة. وحالياً 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 تعرّف الطريقة التي يتم بها تحديد عدد التأكسد (n) لذرات العناصر الداخلة في التفاعل، ويلخص الجدول 2-3 القواعد التي يستعملها الكيميائيون لتسهيل عملية التحديد.

لاحظ أن الجدول لا يتضمن العناصر الانتقالية وأشباه الفلزات واللافلزات التي قد يكون لها أكثر من عدد تأكسد في المركبات المختلفة. فعلى سبيل المثال للتحديد أعداد تأكسد مختلفة يُستدل عليها من خلال الألوان الموضحة في الشكل 3-5.

الجدول 2-3 قواعد تحديد أعداد التأكسد للعناصر		
عدد التأكسد (n)	مثال	القاعدة
0	Na, O <sub>2</sub> , Cl <sub>2</sub> , H <sub>2</sub>	1. عدد تأكسد الذرة غير المتحدة يساوي صفرًا.
+2	Ca <sup>2+</sup>	2. عدد تأكسد الأيون الأحادي الذرة يساوي شحنة الأيون.
-1	Br <sup>-</sup>	
-3	NH <sub>3</sub> في N	3. عدد تأكسد الذرة الأكثر كهروسالبية في الجزيء أو الأيون المعقد هو الشحنة نفسها التي سيكون عليها كما لو كان أيونًا.
-2	NO في O	
-1	LiF في F	4. عدد تأكسد العنصر الأكثر كهروسالبية (الفلور) هو دائمًا -1 عندما يرتبط بعنصر آخر.
-2	NO <sub>2</sub> في O	5. عدد تأكسد الأكسجين في المركب دائمًا يساوي -2 ما عدا مركبات فوق الأكاسيد كما في المركب فوق أكسيد الهيدروجين H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ، حيث يساوي -1. وعندما يرتبط بالفلور العنصر الوحيد الذي له كهروسالبية أعلى من الأكسجين يكون عدد تأكسده موجبًا.
-1	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> في O	
+2	OF <sub>2</sub> في O	
-1	NaH في H	6. عدد تأكسد الهيدروجين في معظم مركباته يساوي +1 ما عدا الهيدريدات فيساوي -1.
+1	K	7. عدد تأكسد فلزات المجموعتين الأولى والثانية والألومنيوم يساوي عدد إلكترونات المدار الخارجي.
+2	Ca	
+3	Al	
(+2) + 2(-1) = 0	CaBr <sub>2</sub>	8. مجموع أعداد التأكسد في المركبات المتعادلة يساوي صفرًا.
(+4) + 3(-2) = -2	SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	9. مجموع أعداد التأكسد للمجموعات الذرية يساوي شحنة المجموعة.



الشكل 3-5 صخر يوضح طبقات من الحديد ناتجة عن الاختلاف في حالة تأكسد الحديد.

تجربة عملية

ميل الفلزات إلى فقد الإلكترونات

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

**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

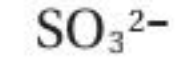
أعطيت أعداد التأكسد في قواعد تحديد أعداد التأكسد لكل من الأكسجين والبوتاسيوم، وأعطيت الشحنة الكلية للأيون أو المركب. استخدم هذه المعلومات، وطبق القواعد، وحدد عدد التأكسد لكل من الكلور والكبريت (اجعل  $n$  عدد التأكسد للعنصر في السؤال).

#### المطلوب

$$n_{Cl} = ?$$

$$n_S = ?$$

#### المعطيات



$$n_O = -2$$

$$n_K = +1$$

### 2 حساب المطلوب

بين أعداد التأكسد لكل من العناصر المعروفة، واجعل مجموع أعداد التأكسد للعناصر في المركب أو الأيون مساوية للصفر أو لشحنة الأيون، ثم جد القيمة المجهولة من أعداد التأكسد.

$$(n_K) + (n_{Cl}) + 3(n_O) = 0$$

$$(+1) + (n_{Cl}) + 3(-2) = 0$$

$$1 + n_{Cl} + (-6) = 0$$

$$n_{Cl} = +5$$

$$(n_S) + 3(n_O) = -2$$

$$(n_S) + 3(-2) = -2$$

$$n_S + (-6) = -2$$

$$n_S = +4$$

مجموع أعداد التأكسد للمركب المتعادل هو صفر.

ولفلزات المجموعة الأولى يكون  $n = +1$ .

$$n_K = +1, n_O = -2$$

جد قيمة  $n_{Cl}$ .

مجموع أعداد التأكسد للأيون المتعدد الذرات يساوي شحنة الأيون.

$$n_O = -2$$

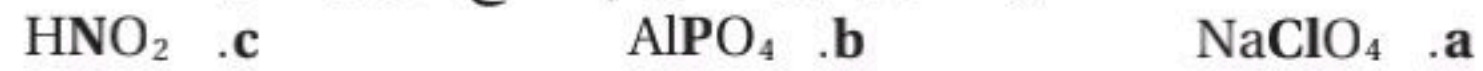
جد قيمة  $n_S$ .

### 3 تقويم الإجابة

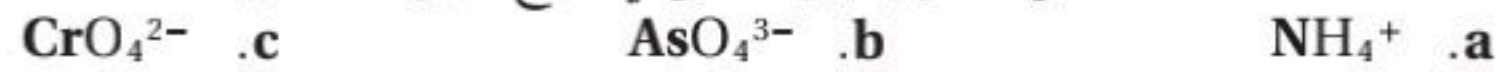
لقد طبقت قواعد حساب أعداد التأكسد تطبيقاً صحيحاً. فجميع أعداد التأكسد لكل عنصر أخذت القيمة الصحيحة لها.

#### مسائل تدريبية

5. حدّد عدد التأكسد للعنصر المكتوب بلون داكن في الصيغ الجزيئية الآتية:



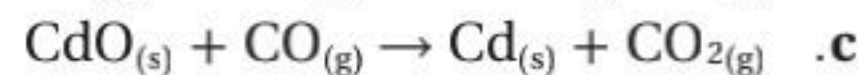
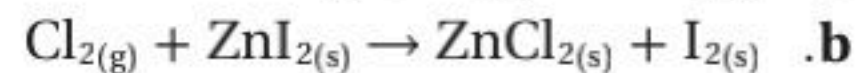
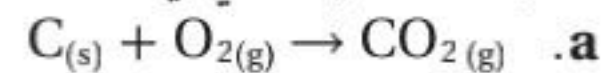
6. حدّد عدد التأكسد للعنصر المكتوب بلون داكن في صيغ الأيونات الآتية:



7. حدّد عدد التأكسد للنيتروجين في الجزيئات الآتية:



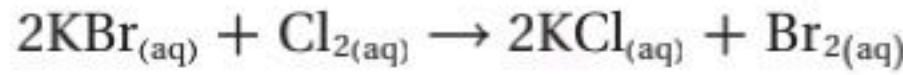
8. تحفيز حدّد التغير الكلي في عدد تأكسد كل من العناصر في معادلات الأكسدة والاختزال الآتية:



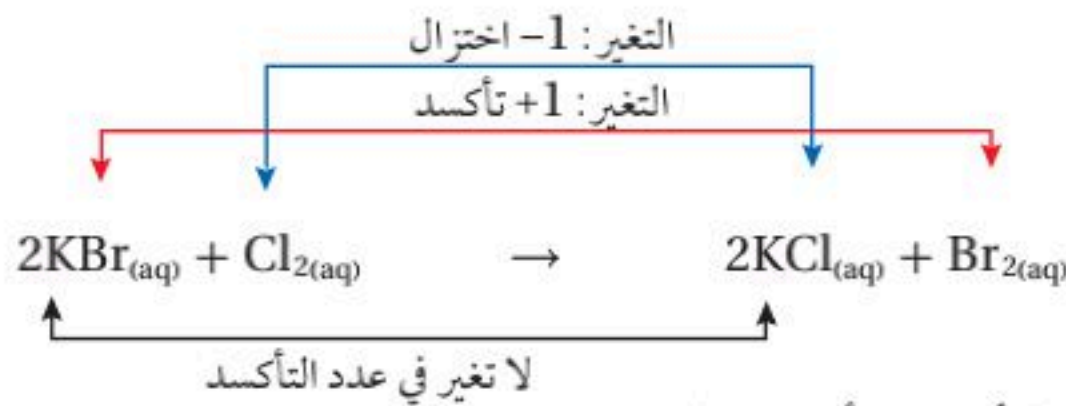


## أعداد التأكسد في تفاعلات الأكسدة والاختزال Oxidation Numbers in Redox Reactions

بعد أن درست أعداد التأكسد 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  $KBr$ .



ابدأ أولاً بتحديد عدد التأكسد لجميع العناصر في المعادلة الموزونة مستخدمًا الجدول 3-3، ثم راجع التغيرات كما هو موضح في المعادلة أدناه.



ستلاحظ أن عدد تأكسد البروم قد تغير من -1 إلى صفر، بزيادة مقدارها 1. وقد تغير في الوقت نفسه عدد تأكسد الكلور من صفر إلى -1؛ أي قل بمقدار 1؛ لذا اختزل الكلور وتأكسد البروم. عندما تتأكسد الذرة يزيد عدد التأكسد، وعندما تختزل يقل عدد التأكسد. لاحظ أنه ليس هناك تغير في عدد تأكسد البوتاسيوم؛ لأن أيون البوتاسيوم لا يشترك في التفاعل؛ لذا يُعد أيونًا متفرجًا.

### الجدول 3-3 أعداد التأكسد لبعض العناصر

عدد التأكسد	+1	+2	+3	-1	-2
الألمنيوم			×		
الباريوم		×			
البروم				×	
الكاديوم		×			
الكالسيوم		×			
السيزيوم	×				
الكلور				×	
الفلور				×	
الهيدروجين	×			×	
اليود				×	
الليثيوم	×				
الماغنسيوم		×			
الأكسجين					×
البوتاسيوم	×				
الصوديوم	×				
الفضة	×				
الإسترانشيوم		×			

## التقويم 3-1

### الخلاصة

- تتضمن 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 تتضمن مركبات جزيئية وأيونات متعددة الذرات بروابط تساهمية، فالذرات الأعلى كهروسالبية تختزل، في حين تتأكسد الذرات ذات الكهروسالبية الأقل.

9. **الفكرة الرئيسية** فسر لماذا يجب أن يحدث تفاعلًا الأكسدة والاختزال دائمًا معًا؟
10. صف دور كل من العوامل المؤكسدة والمختزلة في تفاعلات الأكسدة والاختزال. وكيف يتغير كل 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 اختزل والعنصر الذي تأكسد.
12. حدّد عدد التأكسد للعنصر الذي يظهر باللون الداكن في المركبات الآتية:  
a.  $HNO_3$  . b.  $Ca_3N_2$  . 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** تعدّ الفلزات القلوية عوامل مختزلة قوية. ارسم رسمًا بيانيًا توضح فيه كيف تزداد أو تقل قابلية الفلزات القلوية للاختزال كلما اتجهنا أسفل المجموعة ابتداءً من الصوديوم حتى الفروانسيوم.



## 3-2

### 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 الرئيسية** تصبح معادلات الأكسدة والاختزال موزونة عندما تكون الزيادة الكلية في أعداد التأكسد مساوية لانخفاض 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 جدًا، 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 ادرس المعادلات غير الموزونة الآتية للتفاعل الذي يحدث عندما يوضع النحاس في محلول مركز من حمض النيتريك، كما في الشكل 3-6. ينتج غاز بني اللون هو ثاني أكسيد النيتروجين  $\text{NO}_2$  من اختزال أيونات النترات  $\text{NO}_3^-$ ، أما المحلول الأزرق فينتج عن تأكسد النحاس  $\text{Cu}$  إلى أيون النحاس  $\text{Cu}^{2+}$  (II).



لاحظ أن الأكسجين يظهر فقط في مادة متفاعلة واحدة هي  $\text{HNO}_3$ ، ولكنه يظهر في النواتج الثلاثة جميعها، أما النيتروجين فيظهر في  $\text{HNO}_3$  وفي اثنين من النواتج. مثل معادلة الأكسدة والاختزال هذه التي يظهر فيها العنصر نفسه في عدة مواد متفاعلة ونواتج 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. ولذا 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 3-4.

**الشكل 3-6** 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.



### طريقة عدد التأكسد

### الجدول 3-4

1. حدّد أعداد التأكسد لجميع الذرات في المعادلة.
2. حدّد الذرات التي تأكسدت والذرات التي اختزلت.
3. حدّد التغير في عدد التأكسد للذرات التي تأكسدت والذرات التي اختزلت.
4. اجعل التغير في أعداد التأكسد متساويًا في القيمة؛ وذلك بضبط المعاملات في المعادلة.
5. استعمل الطريقة التقليدية في وزن المعادلة الكيميائية الكلية، إذا كان ذلك ضروريًا.

طريقة عدد التأكسد زن معادلة الأكسدة والاختزال الآتية:  $\text{Cu}_{(s)} + \text{HNO}_{3(aq)} \rightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_{2(aq)} + \text{NO}_{2(g)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)}$

### 1 تحليل المسألة

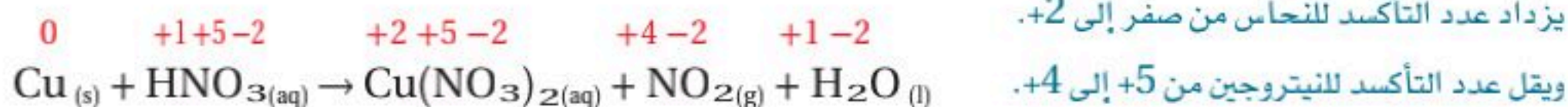
استخدم قواعد تحديد عدد التأكسد، ويجب أن تتساوى زيادة عدد التأكسد للذرات المتأكسدة مع نقصان عدد التأكسد للذرات المختزلة.

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.

حدّد أعداد التأكسد للذرات كلها في المعادلة:

Cu تأكسدت N اختزلت H لم تتغير O لم تتغير N لم تتغير في أيون النترات  $\text{NO}_3^-$

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 إلكترونات

التغير في عدد تأكسد N = -1

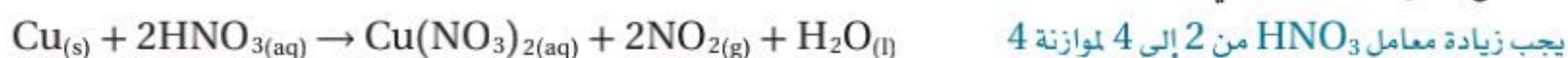
اجعل التغير في أعداد التأكسد متساويًا في القيمة؛ وذلك بضبط المعاملات في المعادلة:



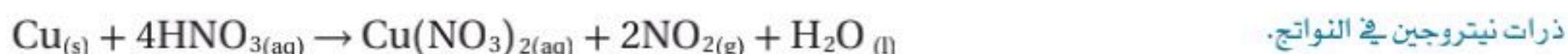
لما كان التغير في عدد التأكسد لـ N هو -1، فإنه يجب إضافة المعامل 2

إلى الوزن. وهذا المعامل ينطبق على كل من  $\text{HNO}_3$  و  $\text{NO}_2$ .

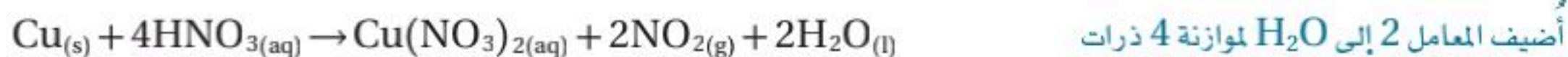
استعمل الطريقة التقليدية في وزن بقية المعادلة:



يجب زيادة معامل  $\text{HNO}_3$  من 2 إلى 4 لموازنة 4



ذرات نيتروجين في النواتج.



أضيف المعامل 2 إلى  $\text{H}_2\text{O}$  لموازنة 4 ذرات

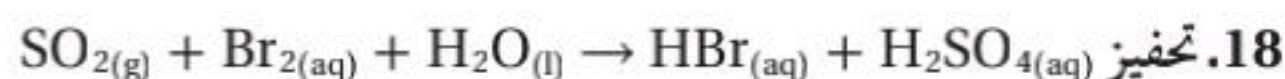
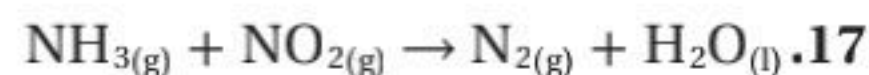
هيدروجين في الجهة اليسرى.

### 3 تقويم الإجابة

عدد ذرات كل عنصر متساوية على جانبي المعادلة.

### مسائل تدريبية

استعمل طريقة عدد التأكسد في وزن معادلات الأكسدة والاختزال الآتية:



## مختبر تحليل البيانات

\* مبنية على بيانات واقعية

### حلل واستنتج

كيف تعمل تفاعلات الأكسدة والاختزال على إطلاق المكوك الفضائي؟ يكتسب المكوك الفضائي 72% تقريباً من قوة اندفاعه من صواريخ الإطلاق التي تستعمل الوقود الصلب خلال الدقيقتين الأوليين من عملية إطلاق الصاروخ، ويرتبط صاروخان على هيئة قلم الرصاص معاً من كلا الجانبين بخزان الهيدروجين السائل ووقود الأكسجين. ويحتوي كل صاروخ على 499,000 kg تقريباً من مزيج الدفع.

### البيانات والملاحظات

مزيج الدفع في صواريخ الإسناد	
النسبة المئوية	المكونات
69.6	فوق كلورات الأمونيوم
16	ألومنيوم
0.4	المادة المحفزة
12.04	الأسمنت
1.96	معامل المعالجة

أخذت هذه البيانات من:

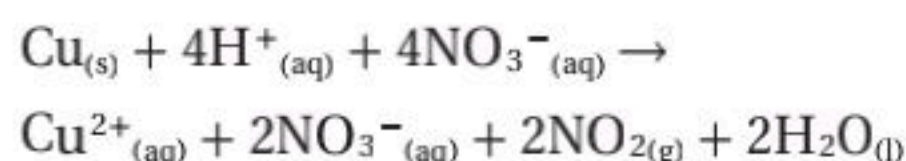
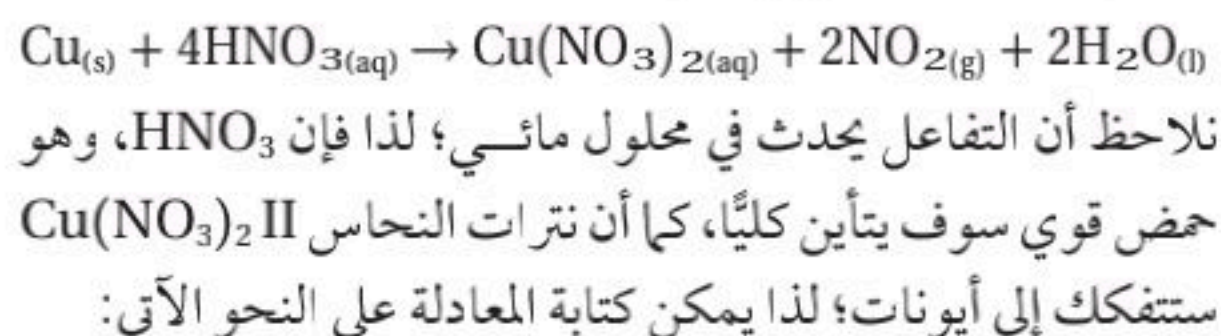
\*Dumoulin, Jim. "Solid Rocket Boosters." NSTSShuttle Reference Manual. 1988

### التفكير الناقد

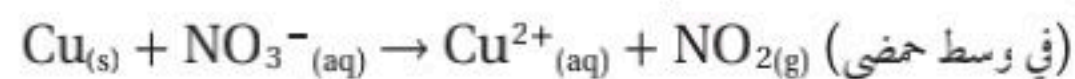
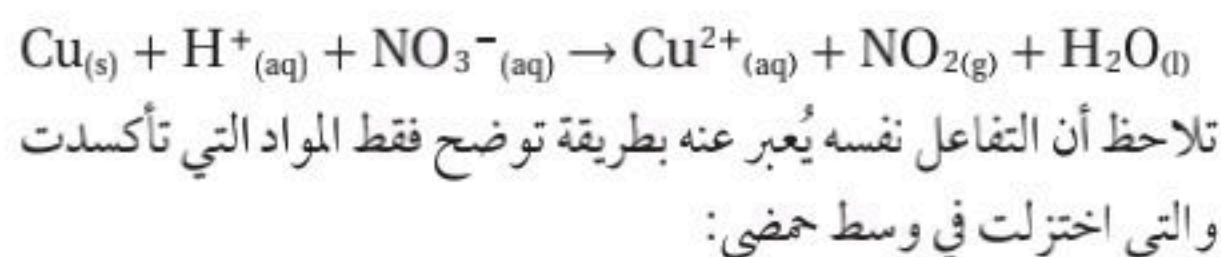
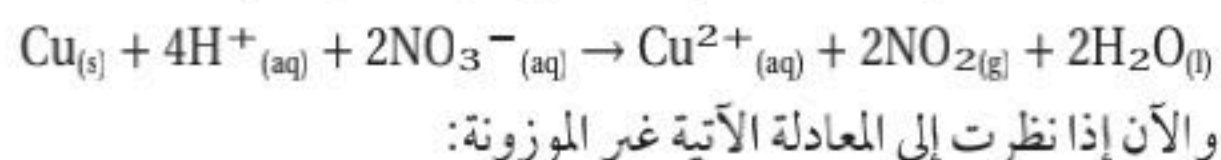
1. زن استعمل طريقة عدد التأكسد في وزن المعادلة الكيميائية لتفاعل صاروخ الإسناد.  
$$\text{NH}_4\text{ClO}_4(\text{s}) + \text{Al}(\text{s}) \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3(\text{s}) + \text{HCl}(\text{g}) + \text{N}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$$
2. حدّد أي العناصر تأكسدت، وأيها اختزلت؟
3. استدل ما مزايا استعمال تفاعل وقود الصواريخ الصلب (SRB) solid rocket boosters في الدقيقتين الأوليين من الإطلاق؟
4. احسب ما عدد مولات بخار الماء الناتجة عن تفاعل واحد من (SRB)؟

## 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 مجدداً إلى المعادلة الموزونة لتفاعل تأكسد النحاس في محلول حمض النيتريك:

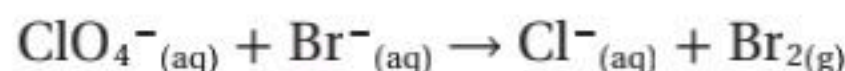


توجد أربعة أيونات من النترات في طرف المواد المتفاعلة؛ اثنان منها فقط قد تغيرا إلى ثاني أكسيد النيتروجين، وبقي الأيونان الآخران متفرجين، بحيث يمكن حذفهما من المعادلة. ولتبسيط الأمور، يكتب الكيميائيون أيونات الهيدروجين في صورة  $\text{H}^+_{(\text{aq})}$  مع الاتفاق على وجودها في صورة  $\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}$ . والآن يمكن كتابة المعادلة لبيان المواد المشتركة في التفاعل على النحو الآتي:



وفي هذه الحالة، تحذف أيونات الهيدروجين وجزيئات الماء لأن أيّاً منها لم يحدث لها أكسدة أو اختزال. وتوجد في المحلول أيونات الهيدروجين  $\text{H}^+$  وجزيئات الماء بوفرة وتستطيع المشاركة في تفاعل الأكسدة والاختزال سواء في صورة متفاعلات أو نواتج. وتحدث بعض تفاعلات الأكسدة والاختزال فقط في المحاليل القاعدية، وعند وزن معادلات هذه التفاعلات يمكنك إضافة أيونات الهيدروكسيد  $\text{OH}^-$  وجزيئات الماء إلى طرفي المعادلة.

وزن معادلة الأكسدة والاختزال الأيونية الكلية زن معادلة الأكسدة والاختزال الآتية:

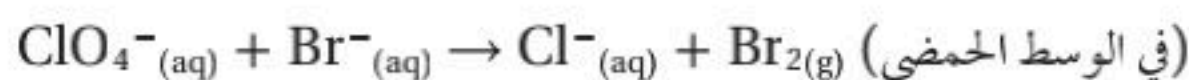


### 1 تحليل المسألة

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.



استعمل القواعد في الجدول 3-2

حدّد الذرات التي اختزلت والذرات التي تأكسدت.

Br تأكسدت

ازداد عدد تأكسد البروم من -1 إلى الصفر

Cl اختزلت

نقص عدد تأكسد الكلور من +7 إلى -1.

حدّد التغير في عدد التأكسد للذرات التي تأكسدت والذرات التي اختزلت. التغير في عدد التأكسد:

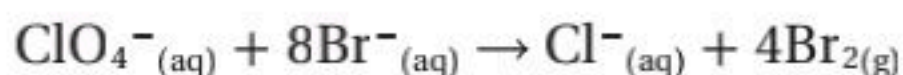
التغير في عدد تأكسد Br = +1

ازداد عدد تأكسد البروم من -1 إلى الصفر

التغير في عدد تأكسد Cl = -8

نقص عدد تأكسد الكلور من +7 إلى -1.

اجعل التغير في قيم عدد التأكسد متساويًا، وذلك بضبط معاملات المعادلة:

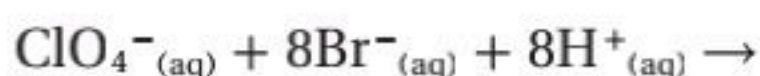


بما أن التغير في عدد التأكسد لـ Br هو +1؛ لذا يجب أن تضيف المعامل

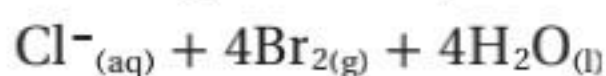
8 لوزن المعادلة الكيميائية.  $4\text{Br}_2$  تمثل 8 ذرات Br لوزن  $8\text{Br}$  - في

الجانب الأيسر.

أضف عددًا كافيًا من أيونات الهيدروجين وجزيئات الماء إلى المعادلة؛ لوزن ذرات الأكسجين على طرفي المعادلة:



بما أنك تعرف أن التفاعل يتم في وسط حمضي، يمكنك



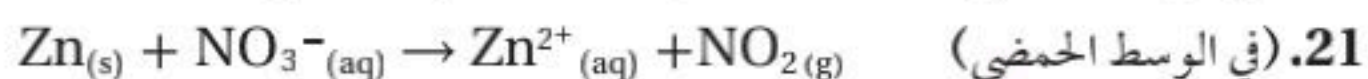
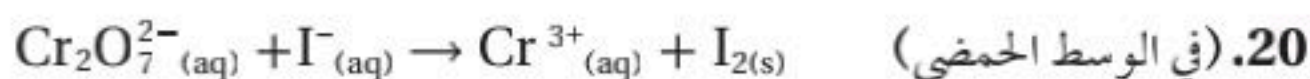
إضافة أيونات الهيدروجين  $\text{H}^+$  إلى طرفي المعادلة.

### 3 تقويم الإجابة

عددا ذرات كل عنصر متساويان 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:





**الشكل 3-7** تُصدر بعض الكائنات الحية ضوءاً لأهداف مختلفة؛ لجذب الإناث، أو للدفاع عن الصغار. ويساعد الضوء المنبعث على الرؤية والتمييز والإدراك.

**الربط مع علم الأحياء** فيم تشترك أسماك أعماق المحيط والذباب الناري مع البكتيريا المضيئة؟ إن هذه الأنواع من الكائنات - وكائنات أخرى - تطلق الضوء. والضوء المنبعث ما هو إلا تحويل لطاقة الوضع في الروابط الكيميائية إلى طاقة ضوئية خلال تفاعلات الأكسدة والاختزال. وينبعث الضوء بوسائل مختلفة اعتماداً على أنواع الكائنات. ففي الذباب الناري الموضح في الشكل 3-7، ينتج الضوء عن تأكسد جزيئات اللوسيفيرين Luciferin. ولا يزال العلماء يكتشفون سر الإضاءة الحيوية؛ فبعض الكائنات المضيئة تطلق الضوء باستمرار، في حين تطلق الكائنات الأخرى ضوءاً عندما تتعرض للمضايقة. ويبدو أن بعض أسماك أعماق البحار وقناديل البحر لها قدرة على التحكم في الضوء الذي تطلقه.

### وزن معادلة الأكسدة والاختزال باستعمال طريقة نصف التفاعل Balancing Redox Reactions Using Half-Reactions

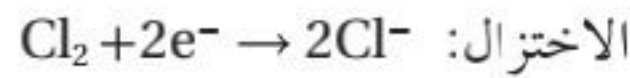
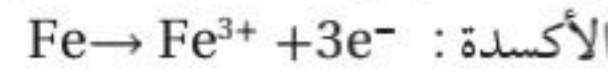
المواد في الكيمياء هي أيّ جسيمات توجد في المعادلة؛ حيث يوجد في معادلة الاتزان الآتية:



أربعة أنواع من المواد، كتالي جزيئان وهما  $\text{H}_2\text{O}$  و  $\text{NH}_3$ ، وأيونان هما  $\text{NH}_4^+$  و  $\text{OH}^-$  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 أنواعاً عدة من العوامل المؤكسدة، بما فيها الكلور.



وفي هذا التفاعل تتأكسد كل ذرة حديد بفقدانها 3 إلكترونات لتصبح أيون  $\text{Fe}^{3+}$ . وفي الوقت نفسه، فإن كل ذرة كلور في  $\text{Cl}_2$  تختزل باكتسابها إلكترونًا واحدًا لتصبح أيون  $\text{Cl}^-$ .



تمثل هذه المعادلات أنصاف تفاعلات؛ حيث يُمثل كل نصف تفاعل أحد جزأي تفاعل الأكسدة والاختزال؛ أي تفاعل الأكسدة أو تفاعل الاختزال. ويبين الجدول 3-5 التنوع في أنصاف تفاعلات الاختزال التي تتضمن تأكسد  $\text{Fe}$  إلى  $\text{Fe}^{3+}$ .

#### الجدول 3-5 تفاعلات الأكسدة والاختزال التي يحدث فيها تأكسد الحديد

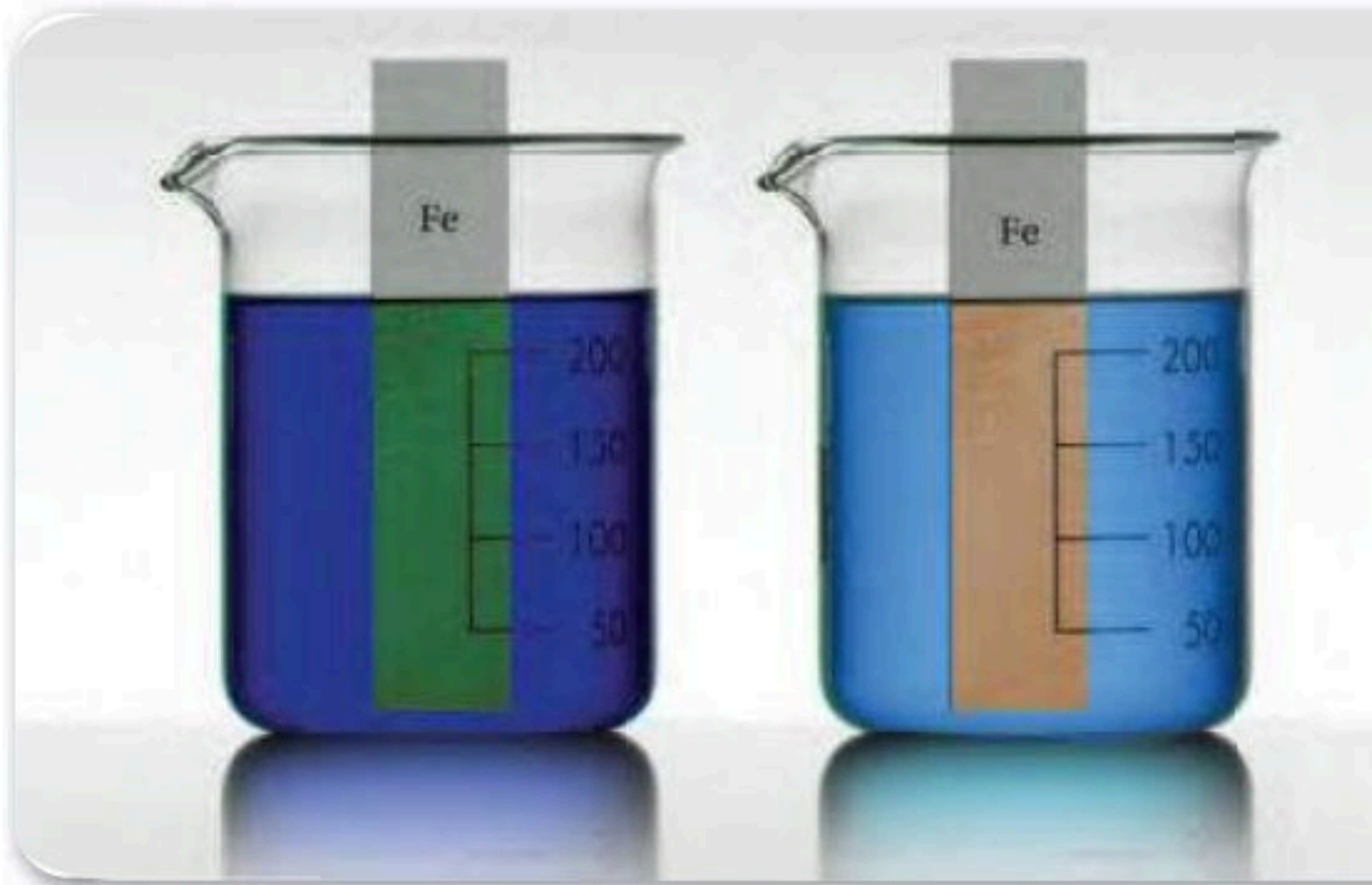
نصف تفاعل الاختزال	نصف تفاعل التأكسد	التفاعل الكلي (غير الموزون)
$\text{O}_2 + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{O}^{2-}$	$\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + 3\text{e}^-$	$\text{Fe} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3$
$\text{F}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{F}^-$		$\text{Fe} + \text{F}_2 \rightarrow \text{FeF}_3$
$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$		$\text{Fe} + \text{HBr} \rightarrow \text{H}_2 + \text{FeBr}_3$
$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}$		$\text{Fe} + \text{AgNO}_3 \rightarrow \text{Ag} + \text{Fe}(\text{NO}_3)_3$
$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$		$\text{Fe} + \text{CuSO}_4 \rightarrow \text{Cu} + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$

تجربة عملية

حساب أعداد التأكسد

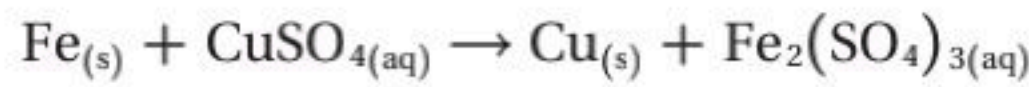
ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية





**الشكل 3-8** يترسب النحاس على الحديد نتيجة لتفاعل الأكسدة والاختزال بين الحديد ومحلول كبريتات النحاس، ويمكنك وزن المعادلة الكيميائية لهذا التفاعل بطريقة نصف التفاعل.

سوف تتعلم المزيد عن أهمية أنصاف التفاعلات عند دراستك الكيمياء الكهربائية لاحقاً، 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 صفيحة من الحديد في محلول كبريتات النحاس II، كما في الشكل 3-8.



تتأكسد ذرات الحديد عندما تفقد الإلكترونات لأيونات النحاس II. أما خطوات وزن معادلات الأكسدة والاختزال باستخدام طريقة نصف التفاعل فهي موضحة في الجدول 3-6.

#### المطويات

ضمّن مطويتك معلومات من هذا القسم.

#### المفردات

#### المفردات الأكاديمية

#### الطريقة (Method)

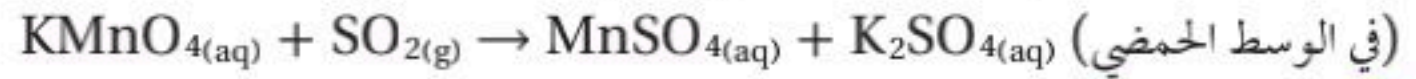
آلية لعمل شيء ما. يستعد الطلبة للامتحان بطرائق مختلفة.

الجدول 3-6	طريقة نصف التفاعل
1. اكتب المعادلة الأيونية الكلية للتفاعل، مهملاً الأيونات المتفرجة.	$\text{Fe}_{(s)} + \text{Cu}^{2+}_{(aq)} + \text{SO}_4^{2-}_{(aq)} \rightarrow \text{Cu}_{(s)} + 2\text{Fe}^{3+}_{(aq)} + 3\text{SO}_4^{2-}_{(aq)}$ $\text{Fe}_{(s)} + \text{Cu}^{2+}_{(aq)} \rightarrow \text{Cu}_{(aq)} + 2\text{Fe}^{3+}_{(aq)}$
2. اكتب نصفي تفاعل الأكسدة والاختزال للمعادلة الأيونية الكلية.	$\text{Fe}_{(s)} \rightarrow 2\text{Fe}^{3+}_{(aq)} + 6e^-$ $\text{Cu}^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow \text{Cu}_{(s)}$
3. زن الذرات والشحنات في كل نصف تفاعل.	$2\text{Fe}_{(s)} \rightarrow 2\text{Fe}^{3+}_{(aq)} + 6e^-$ $\text{Cu}^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow \text{Cu}_{(s)}$
4. زن المعادلات على أن يكون عدد الإلكترونات المفقودة في التأكسد يساوي عدد الإلكترونات المكتسبة في الاختزال.	$2\text{Fe}_{(s)} \rightarrow 2\text{Fe}^{3+}_{(aq)} + 6e^-$ $3\text{Cu}^{2+}_{(aq)} + 6e^- \rightarrow 3\text{Cu}_{(s)}$
5. اجمع نصفي التفاعل الموزونين، وأعد الأيونات المتفرجة.	$2\text{Fe}_{(s)} + 3\text{Cu}^{2+}_{(aq)} \rightarrow 3\text{Cu}_{(s)} + 2\text{Fe}^{3+}_{(aq)}$ $2\text{Fe}_{(s)} + 3\text{CuSO}_{4(aq)} \rightarrow 3\text{Cu}_{(s)} + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_{3(aq)}$



**وزن معادلة الأكسدة والاختزال باستعمال طريقة نصف التفاعل**

زن معادلة التأكسد والاختزال للتفاعل الآتي مستعملاً طريقة نصف التفاعل:

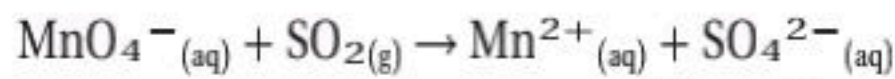


**1 تحليل المسألة**

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.

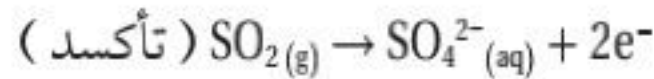
**2 حساب المطلوب**

اكتب المعادلة الأيونية الكلية للتفاعل.

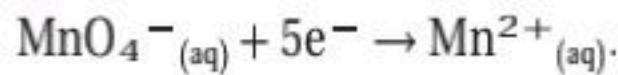


احذف المعاملات، والأيونات المتفرجة.

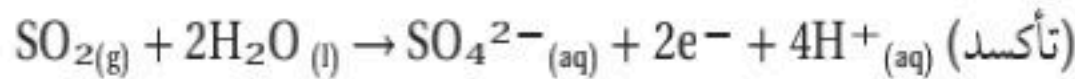
اكتب معادلة نصفي تفاعل الأكسدة والاختزال للمعادلة الأيونية الكلية، متضمنة أعداد التأكسد.



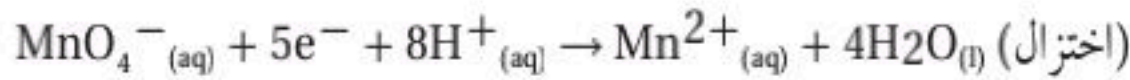
استخدم القواعد الواردة في الجدولين 3-2 و 3-6



زن الذرات والشحنات في نصفي التفاعل.



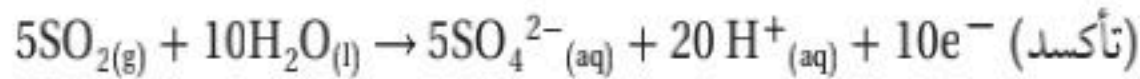
تتوافر جزيئات  $\text{H}_2\text{O}$  في الوسط الحمضي بكثرة، ويمكن



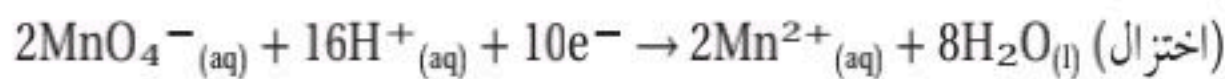
استخدامها في وزن ذرات الأكسجين في أنصاف التفاعل؛ وكذلك

تتوافر أيونات  $\text{H}^+$  بسهولة، ويمكن أن تستخدم في وزن الشحنة.

اضبط المعاملات على أن يكون عدد الإلكترونات المفقودة في التأكسد (2) يساوي عدد الإلكترونات المكتسبة في الاختزال (5).

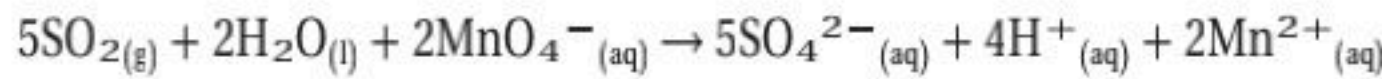
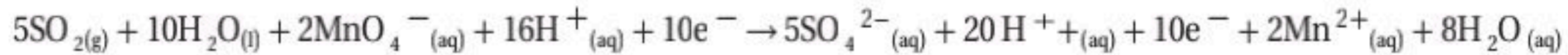


المضاعف المشترك الأصغر لـ 2، 5 هو 10. وبالضرب التبادلي

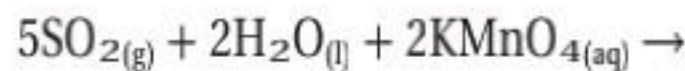


ستحصل على وزن لنصفي تفاعل التأكسد والاختزال.

اجمع نصفي التفاعل اللذين تم وزنهما، وبسط المعادلة بحذف أو تجميع المواد المتشابهة في طرفي المعادلة.



أعد وضع الأيونات المتفرجة ( $\text{K}^+$ )، وكذلك حالات المواد.



أضف أيونات  $\text{K}^+$  إلى أيونات  $\text{MnO}_4^-$  في الجهة اليسرى، وأحد أيونات  $\text{SO}_4^{2-}$



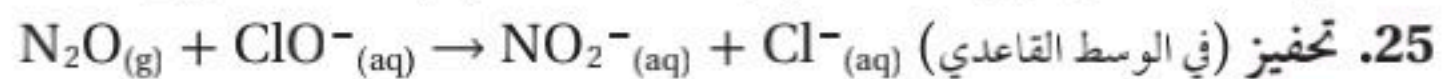
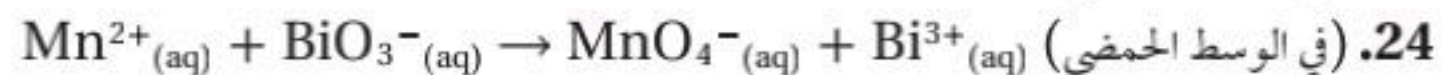
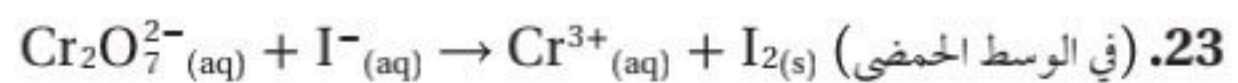
إلى الجهة اليمنى. ثم وزع الأيونات المتبقية بين أيون  $\text{H}^+$  وأيونات  $\text{Mn}^{2+}$ .

**3 تقويم الإجابة**

تشير مراجعة المعادلة الموزونة إلى أن عدد ذرات كل عنصر هو نفسه في طرفي المعادلة.

**مسائل تدريبية**

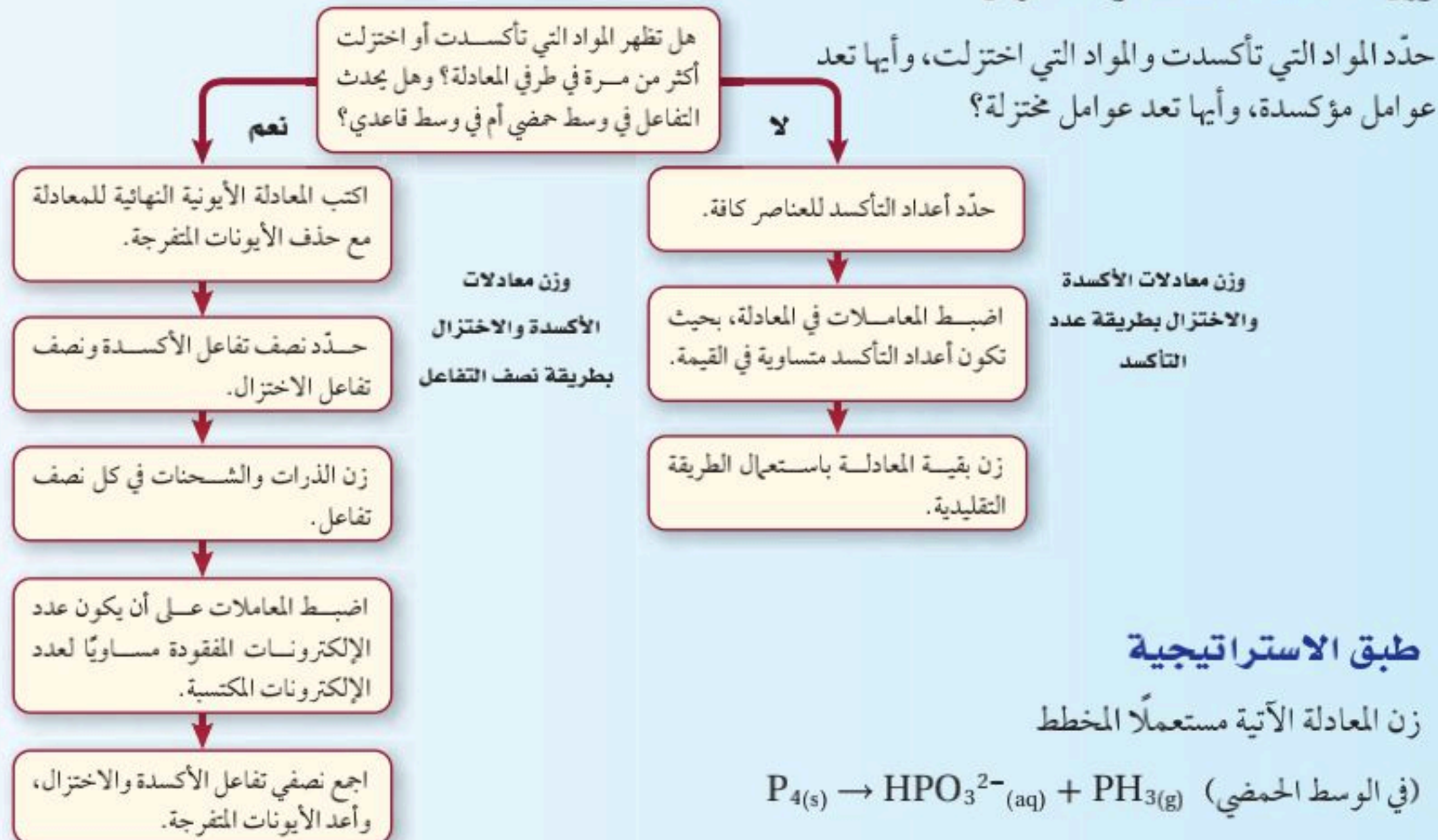
استعمل طريقة نصف التفاعل لوزن معادلات الأكسدة والاختزال الآتية:





## استراتيجية حل المسألة

### وزن معادلات الأكسدة والاختزال

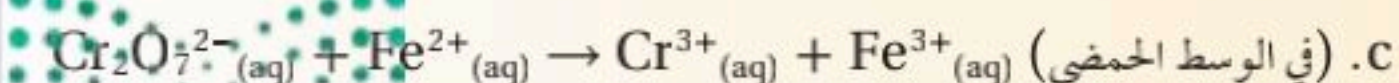
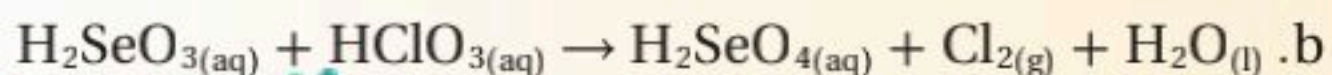
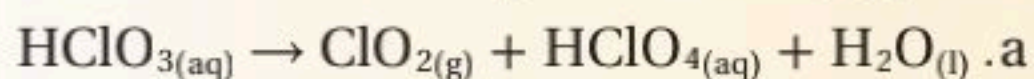


## التقويم 3-2

### 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.

- الفكرة الرئيسية** 26. فسّر كيف يرتبط التغير في عدد التأكسد بعمليات الأكسدة والاختزال؟
27. صف لماذا يُعدّ 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:



# في الميدان

المهنة : محقق البحث الجنائي

الدم المضيء، Blood That Glows

في الطب الشرعي الحديث يمكن استخدام مادة كيميائية تسمى " 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 في 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 بروتين يحتوي على حديد.

ولاستخدام اللومينول، يلجأ المحققون إلى مزج مسحوق أبيض  $C_8H_7N_3O_2$  بفوق أكسيد الهيدروجين  $H_2O_2$ ، وكيمياءويات أخرى؛ مما يجعل من المزيج سائلاً يمكن أن يُنشر في المنطقة التي يتوقع أن تحتوي على 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 يُرشد وهج اللومينول على السجاد المحققين حول بقع الدم. كما قد تدل البصمات الدموية في الشكل 2 على المجرم.

وهناك آخرون يستخدمون اللومينول غير المحققين؛ ففي حوادث السيارات، يمكن أن يكشف اللومينول ما إذا كان المهاجم مرتدياً حزام الأمان أم لا، حتى لو صدمت السيارة في أثناء المطر، أو البرد، أو كانت متعرضة لأشعة الشمس المباشرة التي قد تغير بقع الدم.

رذاذ الحل الأخير **Spray of last resort** هناك مواد أخرى تحتوي على 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.

## الكيمياء

الكتابة في

صحيفة الأخبار اكتب مقالة لصحيفة الأخبار تصف فيها كيف يقود اللومينول المحققين إلى الاشتباه بالمجرمين. صف نوع الإثبات المستخدم في التحقيق.



# مختبر الكيمياء

## تعرف شاحنة متهالكة (قديمة)

الملاحظات			
محلول مجهول	ZnSO <sub>4</sub>	HCl	AgNO <sub>3</sub>
			Cu
			Pb
			Fe
			Mg

10. كرر الخطوة 8 بإضافة محلول كبريتات الخارصين ZnSO<sub>4</sub> إلى العمود الثالث.

11. كرر الخطوة 8، بإضافة المحلول المجهول إلى 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، وأعدّها إلى أماكنها.

### التحليل والاستنتاج

1. لخص النتائج التي لاحظتها في كل فجوة. كيف عرفت بحدوث تفاعل كيميائي؟
2. اعمل نموذجاً اكتب معادلة تفاعل موزونة لكل تفاعل شاهدته، وحدد في كل معادلة المواد التي تأكسدت والمواد التي اختزلت.
3. استنتج استناداً لبياناتك، أي المحاليل أكثر تلويثاً للمياه؟ فسر إجابتك.
4. استخدم المتغيرات والثوابت والضوابط لمماذا كان مهماً مقارنة التفاعلات للمحلول المجهول مع أكثر من محلول معروف واحد؟
5. ابحث اكتب تقريراً حول أهمية الكيمياء التي توجد في النظام البيئي.
6. توسع ماذا تتوقع إذا كان محلول نترات الرصاص Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> II أحد المحاليل المستعملة؟
7. تحليل الخطأ قارن إجابتك بإجابات الطلبة الآخرين في المختبر. فسر وجود أي من الفروق.

### الاستقصاء

صمم تجربة ضع فرضية حول الطريقة التي يمكنك بها إزالة الكيمائيات من مصادر المياه دون إلحاق أذى إضافي بالبيئة والمنطقة المحيطة بها، ثم صمم تجربة لاختبار فرضيتك.

**الخلفية النظرية** هناك شيء ما يتفاعل مع المعادن التي توجد 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 بوصفها مصدرًا أساسيًا لها، تحتاج إلى مساعدتك لحل لغز الشاحنة المتهالكة ومن ثم 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<sub>3</sub> برادة Fe

0.1 M HCl شريط Mg

0.1 M ZnSO<sub>4</sub> ملقط

محلول مجهول المكونات قطارة عدد (4)

أسلاك نحاس طبق تفاعلات بلاستيكي 24 فجوة

حبيبات Pb صلبة

### إجراءات السلامة

تحذير: تُعد نترات الفضة AgNO<sub>3</sub> مادة شديدة السمية، وتؤدي إلى تكوّن البقع على الجلد والملابس.

### خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. صمّم جدولاً 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 الماغنسيوم إلى أربع فجوات في الصف الرابع.
8. ضع 20 قطرة من محلول نترات الفضة AgNO<sub>3</sub> في كل فجوة من العمود الأول.
9. كرر الخطوة 8، بإضافة حمض الهيدروكلوريك HCl إلى العمود الثاني.



**الفكرة العامة** تعدّ تفاعلات الأكسدة والاختزال من العمليات الكيميائية الشائعة في الطبيعة وفي الصناعة، وتتضمّن انتقالاً للإلكترونات.

### 3-1 الأكسدة والاختزال

#### المفاهيم الرئيسية

- 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 على روابط تساهمية) كما لو اختزلت، في حين تُعامل الذرات ذات الكهروسالبية المنخفضة كما لو تأكسدت.

		الكهروسالبية								
		1	2	13	14	15	16	17	18	
الكهروسالبية	1									
	2		Li	Be				O	F	
	3		Na	Mg					Cl	
	4		K	Ca					Br	
	5		Rb	Sr					I	
	6		Cs	Ba						
	7									

■ عامل مختزل      ■ عامل مؤكسد

#### الفكرة الرئيسية

يعدّ تفاعلا الأكسدة والاختزال تفاعلين متكاملين؛ إذ تتأكسد ذرة وتُختزل أخرى.

#### المفردات

- تفاعل الأكسدة والاختزال
- الأكسدة
- الاختزال
- العامل المؤكسد
- العامل المختزل

### 3-2 وزن معادلات الأكسدة والاختزال

#### المفاهيم الرئيسية

- يصعب وزن معادلات الأكسدة والاختزال التي يظهر فيها العنصر نفسه في كل من المواد المتفاعلة والناجمة 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.

#### الفكرة الرئيسية

تصبح معادلات الأكسدة والاختزال موزونة عندما تكون الزيادة الكلية في أعداد التأكسد مساوية لانخفاض الكلي في أعداد التأكسد للذرات الداخلة في التفاعل.

#### المفردات

- طريقة عدد التأكسد
- نصف التفاعل

## 3-1

## إتقان المفاهيم

33. ما أهم خواص تفاعلات الأكسدة والاختزال؟

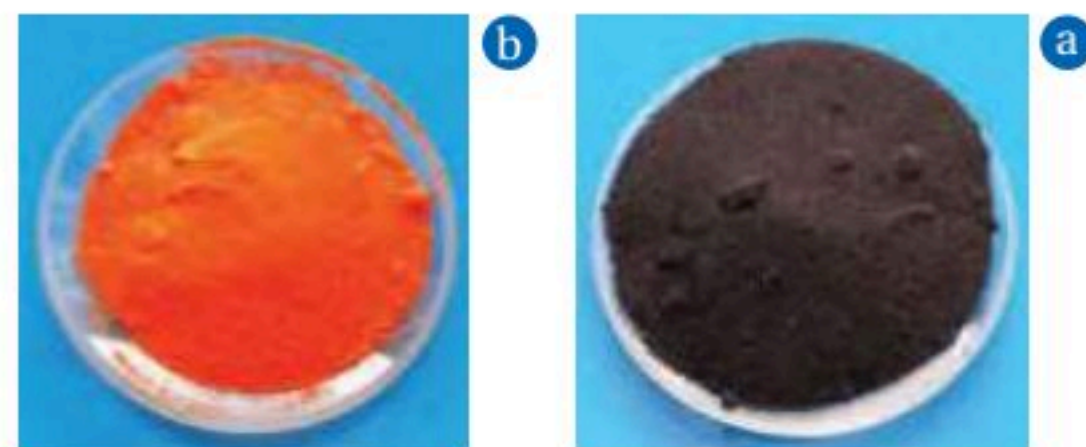
34. فسر، لماذا لا تتضمن جميع تفاعلات الأكسدة الأوكسجين؟

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؟



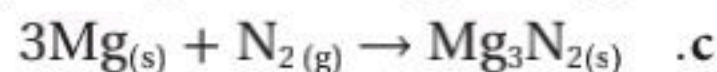
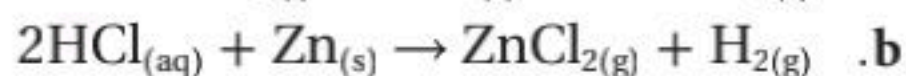
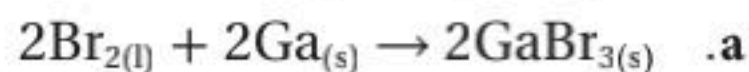
الشكل 3-9

39. ما سبب الاختلاف في أشكال خراطة النحاس الموضحة في الشكل 3-9؟

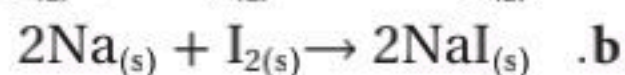
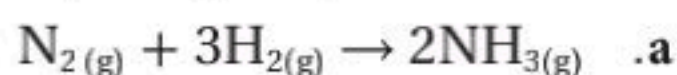
40. النحاس والهواء تبدأ أواني النحاس في الظهور بلون أخضر بعد تعرضها للهواء. ويتفاعل فلز النحاس في عملية الأكسدة هذه مع الأوكسجين لتكوين أكسيد النحاس الصلب، والذي يكون الغطاء الأخضر. اكتب تفاعل الأكسدة والاختزال، وعرّف ما الذي تأكسد، وما الذي اختزل في هذه العملية.

## إتقان حل المسائل

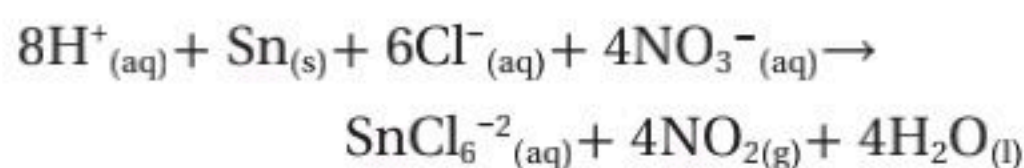
41. حدّد المواد التي تأكسدت والتي اختزلت في معادلات الأكسدة والاختزال الآتية:



42. حدّد العامل المؤكسد والعامل المختزل في كل من معادلات الأكسدة والاختزال الآتية:



43. ما العامل المختزل في المعادلة الموزونة الآتية؟

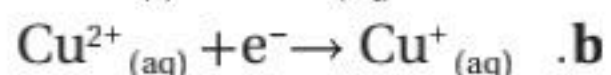
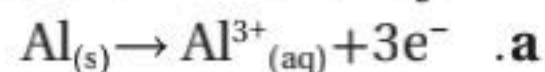


44. ما عدد التأكسد للمنجيز في  $\text{KMnO}_4$ ؟

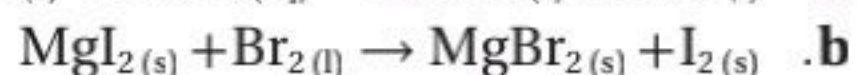
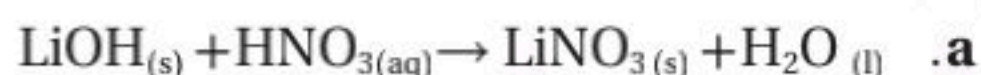
45. حدّد عدد التأكسد للعنصر الظاهر باللون الداكن في المواد والأيونات الآتية:



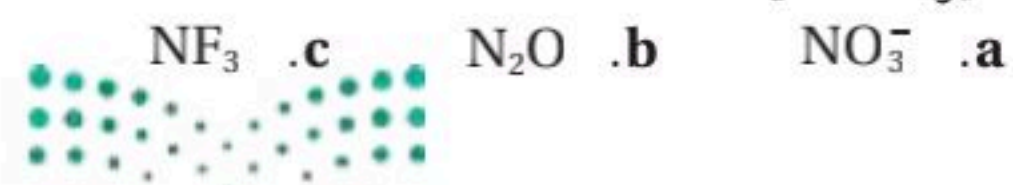
46. حدّد أي أنصاف التفاعلات الآتية أكسدة، وأيها اختزال؟



47. أي المعادلات الآتية لا تمثل تفاعل أكسدة واختزال؟ فسر إجابتك.



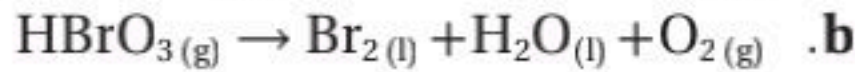
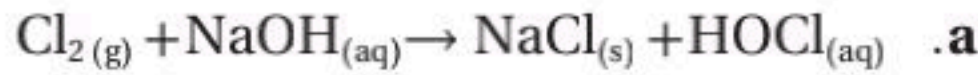
48. حدّد عدد التأكسد للنيتروجين في كل من الجزيئات أو الأيونات الآتية:



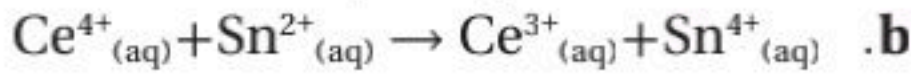
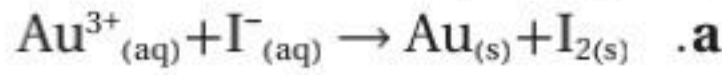
58. صف ما يحدث للإلكترونات في كل نصف تفاعل من عملية الأكسدة والاختزال.

### إتقان حل المسائل

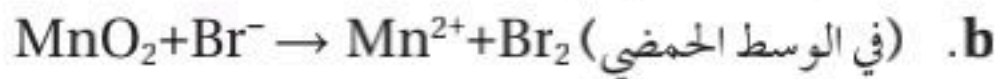
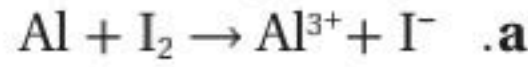
59. استعمل طريقة عدد التأكسد لوزن معادلات الأكسدة والاختزال الآتية:



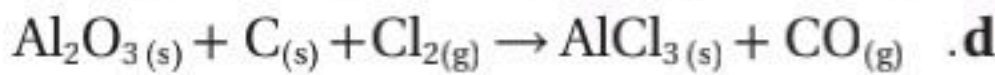
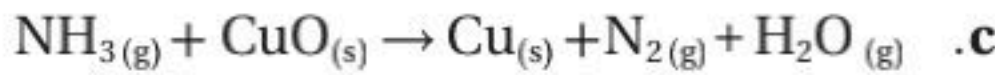
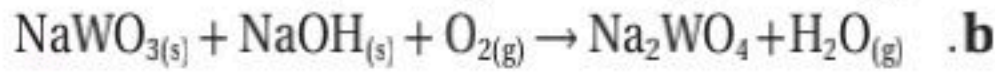
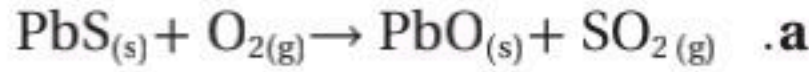
60. زن المعادلات الأيونية الكلية لتفاعلات الأكسدة والاختزال الآتية:



61. استخدم طريقة عدد التأكسد لوزن معادلات الأكسدة والاختزال الأيونية الآتية:



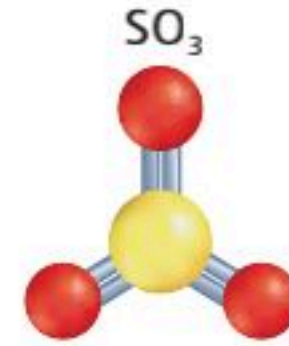
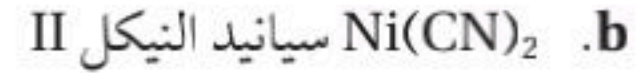
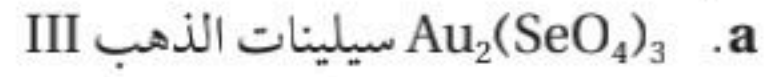
62. استعمل طريقة عدد التأكسد لوزن معادلات الأكسدة والاختزال الآتية:



الشكل 3-11

63. الياقوت يتكون معدن الكورنديوم من أكسيد الألومنيوم  $\text{Al}_2\text{O}_3$  وهو عديم اللون، ويعد أكسيد الألومنيوم المكون الرئيس للياقوت، إلا أنه يحتوي على مقادير بسيطة من  $\text{Fe}^{2+}$  و  $\text{Ti}^{4+}$ . ويعزى لون الياقوت إلى انتقال الإلكترونات من  $\text{Fe}^{2+}$  إلى  $\text{Ti}^{4+}$ . استناداً إلى الشكل 3-11، استنتج التفاعل الذي يحدث لينتج المعدن في الجهة اليمنى، وحدد العامل المؤكسد، والعامل المختزل.

49. حدّد أعداد التأكسد لكل عنصر في المركبات أو الأيونات الآتية:



الشكل 3-10

50. فسّر كيف يختلف أيون الكبريتيت  $\text{SO}_3^{2-}$  عن ثالث أكسيد الكبريت  $\text{SO}_3$ ، الموضح في الشكل 3-10؟

## 3-2

### إتقان المفاهيم

51. قارن بين معادلة الأكسدة والاختزال الموزونة في الوسط الحمضي والوسط القاعدي.

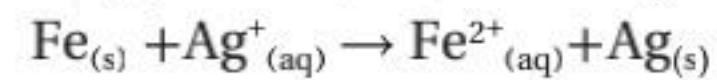
52. فسّر لماذا تعد كتابة أيون الهيدروجين على هيئة  $\text{H}^+$  في تفاعلات الأكسدة والاختزال تبسيطاً للواقع.

53. لماذا يتعين عليك قبل أن تبدأ بوزن معادلة تفاعل الأكسدة والاختزال معرفة ما إذا كان التفاعل يحدث في وسط حمضي أو قاعدي؟

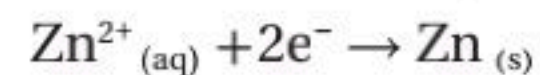
54. فسّر ما الأيون المتفرج؟

55. عرّف مصطلح أنواع المواد بدلالة تفاعلات الأكسدة والاختزال.

56. هل المعادلة الآتية موزونة؟ فسّر إجابتك.



57. هل المعادلة الآتية تمثل عملية أكسدة أم عملية اختزال؟ فسّر إجابتك.



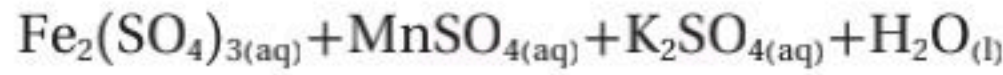
69. استعمل طريقة نصف التفاعل لوزن معادلات تفاعلات الأوكسدة والاختزال الآتية، مضيفاً جزيئات الماء وأيونات الهيدروجين (في الوسط الحمضي)، أو أيونات الهيدروكسيد (في الوسط القاعدي) إذا تطلب الأمر ذلك:

a.  $\text{NH}_3(\text{g}) + \text{NO}_2(\text{g}) \rightarrow \text{N}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$

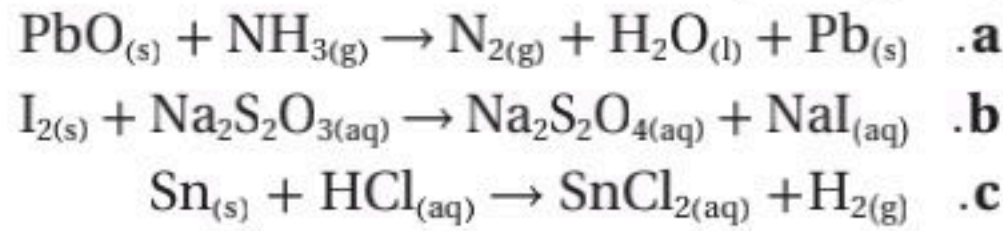
b.  $\text{Br}_2(\text{l}) \rightarrow \text{Br}^-(\text{aq}) + \text{BrO}_3^-(\text{aq})$  (في الوسط القاعدي)

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:

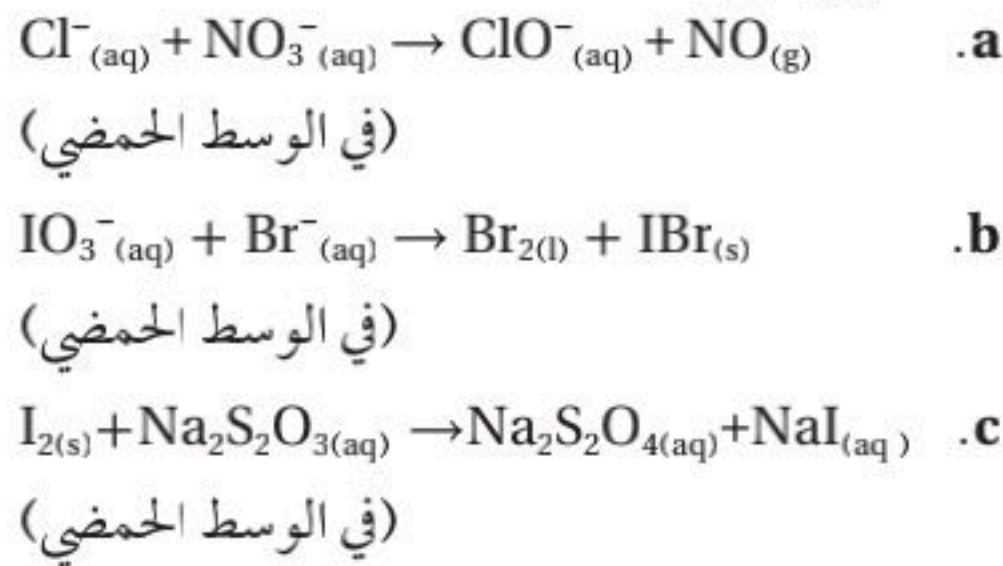
$\text{KMnO}_4(\text{aq}) + \text{FeSO}_4(\text{aq}) + \text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq}) \rightarrow$



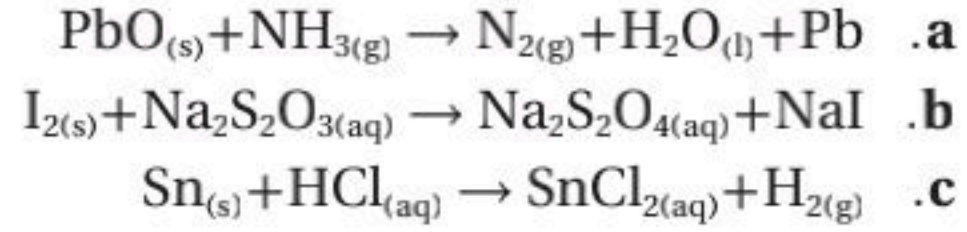
71. استخدم طريقة عدد التأكسد في وزن معادلات الأوكسدة والاختزال الآتية:



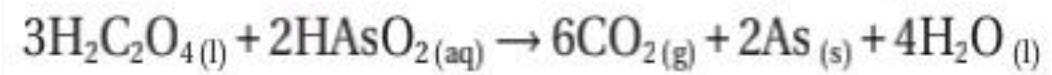
72. استخدم طريقة نصف التفاعل في وزن هذه المعادلات مضيفاً جزيئات الماء وأيونات الهيدروجين (في الوسط الحمضي)، أو أيونات الهيدروكسيد (في الوسط القاعدي) عند الحاجة. واحتفظ بالمعادلات الموزونة في صورة معادلة أيونية نهائية:



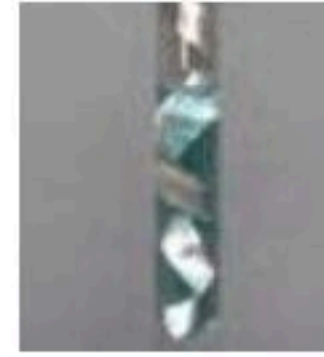
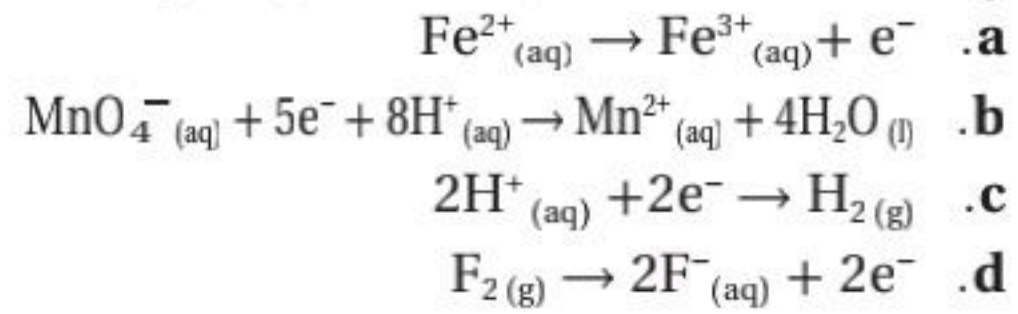
64. اكتب نصفي تفاعل الأوكسدة والاختزال في كل من معادلات الأوكسدة والاختزال الآتية على الصورة الأيونية إذا حدث في المحلول المائي:



65. اكتب نصفي التفاعل اللذين يكونان معادلة الأوكسدة والاختزال الموزونة الآتية:



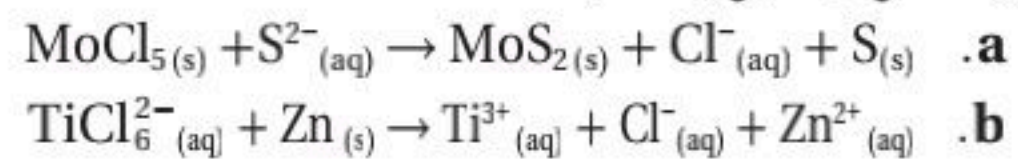
66. أي أنصاف التفاعلات الآتية أكسدة، وأيها اختزال؟



الشكل 3-12

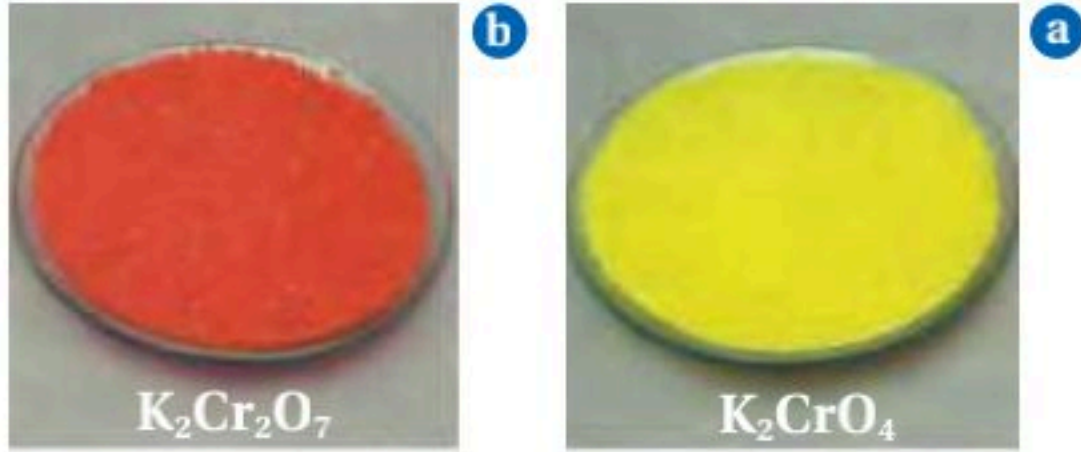
67. النحاس عندما توضع شرائح النحاس في محلول نترات الفضة كما في الشكل 3-12 يبدو فلز الفضة أزرق اللون، وتتكون نترات النحاس II. اكتب المعادلة الكيميائية غير الموزونة، ثم حدد حالة التأكسد لكل عنصر فيها. اكتب أيضاً نصفي معادلة التفاعل، وحدد أيهما تأكسد، وأيها اختزل. وأخيراً اكتب المعادلة الكيميائية الموزونة للتفاعل.

68. استخدم طريقة عدد التأكسد لوزن معادلات الأوكسدة والاختزال الأيونية الآتية:



78. ما عدد تأكسد الكروم في كل من المركبات الموضحة في

الشكل 13-3؟

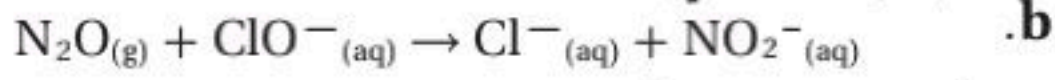


الشكل 13-3

79. زن معادلات الأكسدة والاختزال الأيونية الآتية بأي طريقة من طرائق وزن المعادلات.



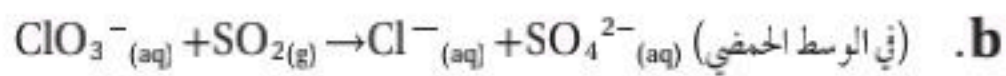
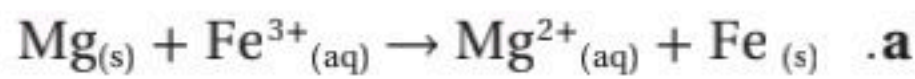
(في الوسط الحمضي)



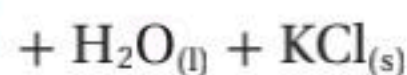
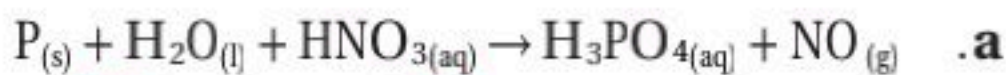
(في الوسط القاعدي)

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. هل هذا التفاعل تفاعل تأكسد واختزال؟

81. زن معادلات الأكسدة والاختزال الأيونية الآتية بأي طريقة من طرائق الوزن:



82. زن معادلات الأكسدة والاختزال الآتية بأي طريقة من طرائق الوزن:

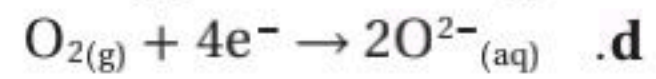
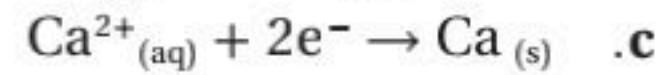
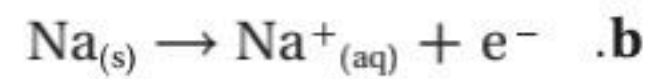
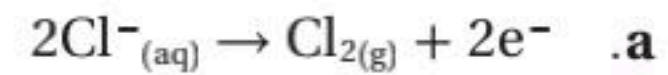


### مراجعة عامة

73. حدّد عدد التأكسد لكل عنصر من العناصر الظاهرة بلون داكن:



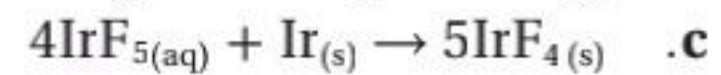
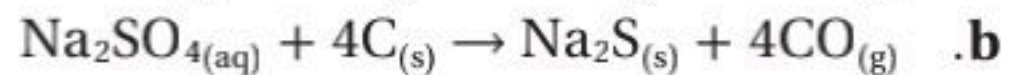
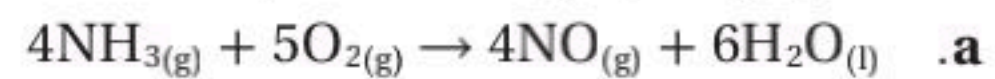
74. حدّد كلاً من التغيرات الآتية إذا كانت أكسدة أو اختزال:



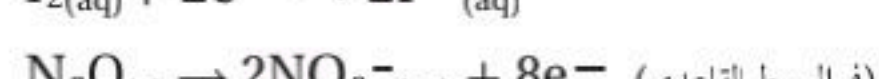
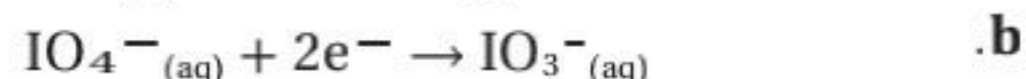
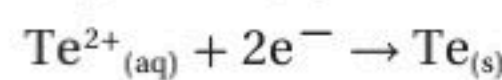
75. استعمل قواعد تحديد عدد التأكسد لإكمال الجدول 3-7.

الجدول 3 - 7 بيانات المركبين		
القاعدة	عدد التأكسد	العنصر
	+1	K in KBr
8		Br in KBr
1		Cl in $Cl_2$
7		K in KCl
	-1	Cl in KCl
	0	Br in $Br_2$

76. حدد العوامل المختزلة في المعادلات الآتية:



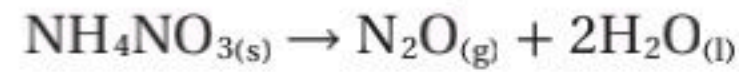
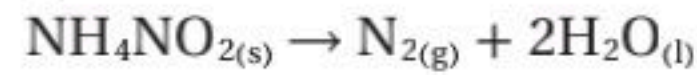
77. اكتب معادلة أيونية موزونة مستعملاً أزواج أنصاف تفاعلات الأكسدة والاختزال الآتية:





## التفكير الناقد

83. طبق تبيين المعادلات الآتية تفاعلات الأكسدة والاختزال التي تستخدم لتحضير غاز النيتروجين النقي وغاز ثاني أكسيد النيتروجين وغاز أول أكسيد النيتروجين  $N_2O$  في المختبر:

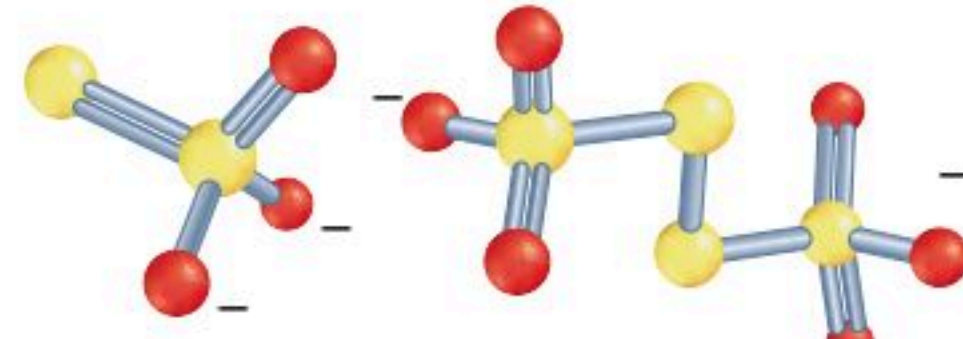
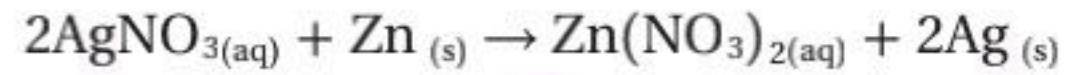


a. حدّد عدد التأكسد لكل عنصر في المعادلتين، ثم ارسّم مخططاً توضح فيه التغير في عدد التأكسد الذي يحدث في كل تفاعل.

b. حدّد الذرة التي تأكسدت والذرة التي اختزلت في كلا التفاعلين.

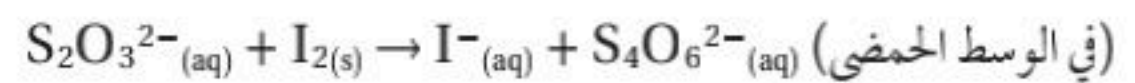
c. حدّد العامل المؤكسد والعامل المختزل لكلا التفاعلين.

d. اكتب جملة توضح فيها كيفية انتقال الإلكترونات الذي حدث في هذين التفاعلين عن التفاعل الآتي:

أيون الثيوكبريتات ( $S_2O_3^{2-}$ )أيون رابع ثيونات ( $S_4O_6^{2-}$ )

## الشكل 3-14

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 3-14 على تحديد أعداد التأكسد لاستعمالها.



85. توقع اعتبر أن جميع المركبات الآتية مركبات مستقرة حقيقة. ما الذي يمكنك أن تستدل عليه عن حالة التأكسد للفوسفور في مركباته؟



86. جد الحل تؤكسد بر منجنات البوتاسيوم أيونات الكلوريد لتكون غاز الكلور وأيون منجنيز  $Mn^{2+}$ . قم بموازنة معادلة تفاعل التأكسد والاختزال الذي يحدث في الوسط الحمضي.

87. في نصف التفاعل  $NO_3^- \rightarrow NH_4^+$ ، في أي الطرفين يجب إضافة الإلكترونات؟ قم بإضافة العدد الصحيح من الإلكترونات للطرف الذي يحتاج إلى ذلك، ثم أعد كتابة المعادلة.



الشكل 3-15

88. استعمل طريقة نصف التفاعل لوزن معادلة تفاعل الأكسدة والاختزال الذي يحدث بين أيونات الدايمرومات وأيونات اليوديد في الوسط الحمضي، والذي يوضحه الشكل 3-15.

## 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 وأيها نصف تفاعل اختزال.

a. عند وضع أكسيد الزئبق (II) الصلب في أنبوب وتسخينه بلطف يتكون 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.

96. النحاس كان النحاس فلزاً مهماً قبل استخلاص فلزات الحديد والفضة والذهب خاصة، واستعمال خاماتها في صناعة الأدوات والأواني والمجوهرات والأعمال الفنية. 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 3-16 بدرجة حرارة التسخين؛ حيث تُكسب الأيونات الفلزية النحاس الذي له أكثر من حالة أكسدة ألواناً مختلفة عند تسخينه. تتوافر 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 3-16

97. اكتب معادلة لما يحدث في الأنية الخزفية الموضحة في الشكل 3-16.
98. استناداً إلى لون آنية النحاس الخزفية، أيهما أكثر ميلاً للتأكسد، وأيها أكثر ميلاً للاختزال؟

#### مراجعة تراكمية

استخدم القائمة الآتية للإجابة عن الأسئلة من 90 إلى 93. تحتوي خمس كؤوس على 500 mL من محلول مائي تركيزه 0.250 M على المواد الكيميائية الآتية:

KCl .A

CH<sub>3</sub>OH .B

Ba(OH)<sub>2</sub> .C

CH<sub>3</sub>COOH .D

NaOH .E

90. أي المواد ستفكك إلى أكبر 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، وكتب ملخصاً للنتائج التي حصلت عليها متضمناً الرسوم المناسبة والمعادلات التي تمثل التفاعلات.
95. الأواني الفضية اكتب طريقة لتنظيف الأواني الفضية من الملوثات الناتجة عن عمليات الأكسدة والاختزال. وتأكد من تضمين ذلك معلومات نظرية تصف فيها العملية في خطوات متسلسلة تجعل أي شخص قادراً على تنفيذ هذه المهمة.

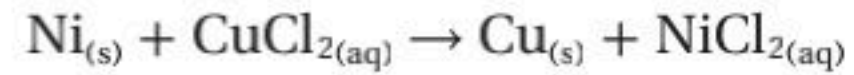


## أسئلة الاختيار من متعدد

1. أي مما يأتي لا يعد عاملاً مختزلاً في تفاعل الأكسدة والاختزال؟

- a. المادة التي تأكسدت
- b. مستقبل الإلكترون
- c. المادة الأقل كهروسالبية
- d. مانح الإلكترون

التفاعل بين النيكل وكلوريد النحاس II موضح على النحو الآتي:



استعمل المعادلة الكيميائية في الإجابة عن السؤالين 2 و 3.  
2. ما نصف تفاعل الأكسدة والاختزال للتفاعل؟

- a.  $\text{Ni}_{(s)} \rightarrow \text{Ni}^{2+}_{(aq)} + 2e^{-}$ ,  $\text{Cl}_{2(g)} \rightarrow 2\text{Cl}^{-}_{(aq)} + 2e^{-}$
- b.  $\text{Ni}_{(s)} \rightarrow \text{Ni}^{2+}_{(aq)} + e^{-}$ ,  $\text{Cu}^{+}_{(aq)} + e^{-} \rightarrow \text{Cu}_{(s)}$
- c.  $\text{Ni}_{(s)} \rightarrow \text{Ni}^{2+}_{(aq)} + 2e^{-}$ ,  $\text{Cu}^{2+}_{(aq)} + 2e^{-} \rightarrow \text{Cu}_{(s)}$
- d.  $\text{Ni}_{(s)} \rightarrow \text{Ni}^{2+}_{(aq)} + 2e^{-}$ ,  $2\text{Cu}^{+}_{(aq)} + 2e^{-} \rightarrow \text{Cu}_{(s)}$

3. العامل المختزل في المعادلة هو:

- a.  $\text{NiCl}_2$
- b.  $\text{Cu}$
- c.  $\text{CuCl}_2$
- d.  $\text{Ni}$

4. رقم التأكسد للكlor في  $\text{HClO}_4$  هو:

- a. +7
- b. +5
- c. +3
- d. +1

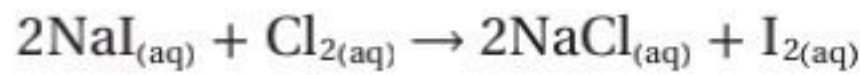
5. العنصر الأعلى كهروسالبية بين العناصر الآتية

- هو:
- a. Cl
- b. N
- c. O
- d. F

6. المادة التي عدد تأكسدها يساوي صفراً هي:

- a.  $\text{Cu}^{2+}$
- b.  $\text{H}_2$
- c.  $\text{SO}_3^{2-}$
- d.  $\text{Cl}^{-}$

7. التفاعل بين يوديد الصوديوم والكلور موضح على النحو الآتي:

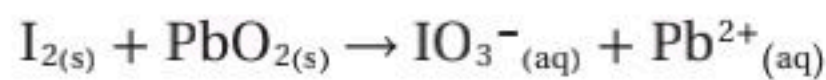


أي الأسباب الآتية تبقي حالة تأكسد الصوديوم دون تغيير:

- a.  $\text{Na}^{+}$  أيون متفرج.
- b.  $\text{Na}^{+}$  لا يمكن أن يختزل.
- c.  $\text{Na}^{+}$  عنصر غير متحد.
- d.  $\text{Na}^{+}$  أيون أحادي الذرة.

## أسئلة الإجابات القصيرة

استعمل المعادلة أدناه للإجابة عن السؤالين 8، 9، علماً أن المعادلة الأيونية الكلية بين اليود وأكسيد الرصاص IV موضحة على النحو الآتي:



8. حدّد عدد التأكسد لكل مشارك في التفاعل.

9. فسّر كيف تحدد العنصر الذي تأكسد والعنصر الذي اختزل؟



## أسئلة الإجابات المفتوحة

استعمل جدول العناصر الآتي للإجابة عن الأسئلة من 10 إلى 12.

		الكهروسالبية →																	
		1	2											13	14	15	16	17	18
↑ الكهروسالبية	1																		
	2	Li	Be														O	F	
	3	Na	Mg															Cl	
	4	K	Ca															Br	
	5	Rb	Sr															I	
	6	Cs	Ba																
	7																		

10. أي العناصر تمثل أقوى عامل مؤكسد؟

11. أي العناصر تمثل أقوى عامل مختزل؟

12. أي العناصر لها أقل كهروسالبية؟





مجس كاميرا



بطارية نيشيوم

بطاريات  
قلوية حجم C

**الفكرة (العامة)** يمكن تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية، كما يمكن تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية.

### 4-1 الخلايا الجلفانية

**الفكرة الرئيسية** تحدث الأكسدة في الخلايا الجلفانية عند الأنود (المصعد) منتجة إلكترونات تتدفق نحو الكاثود (المهبط) حيث يحدث الاختزال.

### 4-2 البطاريات

**الفكرة الرئيسية** البطاريات خلايا جلفانية تستعمل التفاعلات التلقائية لإنتاج الطاقة لأغراض متعددة.

### 4-3 التحليل الكهربائي

**الفكرة الرئيسية** 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 أيضاً مجسات الضغط الحساسة.
- تزود البطارية كلاً من الكاميرا وجهاز الاستشعار بالطاقة، وتشكل الحرارة والرطوبة والبرودة تحديات لأداء كل منهما.
- يمكن تعديل المجسات لتعمل في أوقات معينة فقط؛ وذلك للمحافظة على البطارية.

## نشاطات تمهيدية

الخلايا الكهروكيميائية  
قم بإعداد المطوية الآتية  
لمساعدتك على مقارنة  
الخلايا الكهروكيميائية بخلايا  
التحليل الكهربائي.

### المطويات

منظمات الأفكار

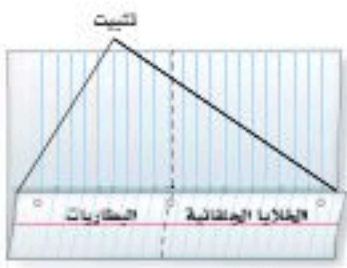
الخطوة 1 اثن 5 cm من  
أسفل الورقة أفقيًا.



الخطوة 2 اثن الورقة  
رأسياً نصفين.



الخطوة 3 افتح الورقة،  
ثم ثبت الشية في أسفلها  
لعمل قسمين منفصلين،  
وعنونهما كما في الشكل.

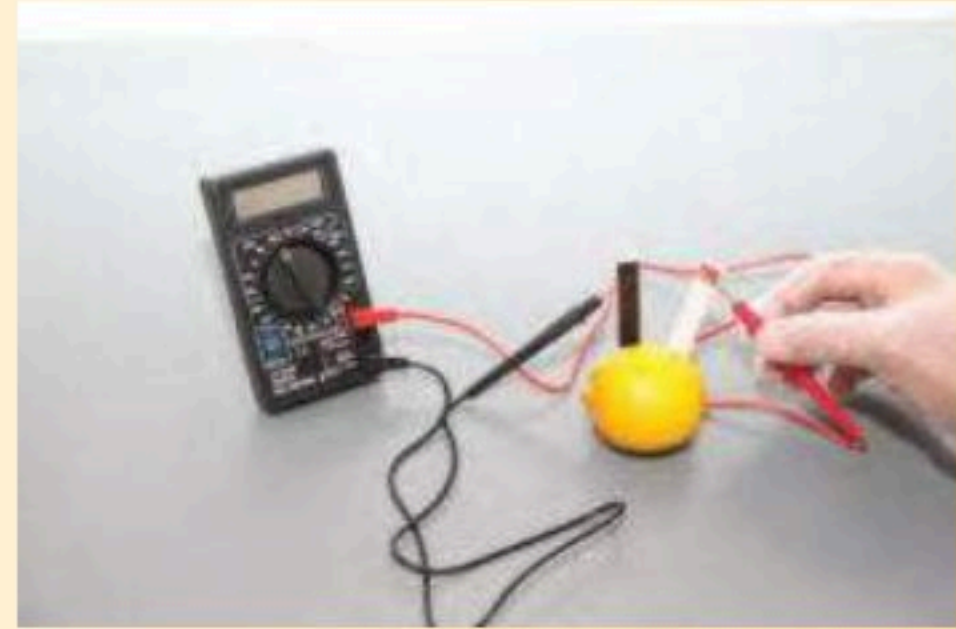


المطويات استعمال هذه المطوية مع القسمين 1-4  
و3-4، وذلك عند قراءتك للخلايا الكهروكيميائية. لخص  
المعلومات في بطاقات، واحفظها في القسم الخاص بها.

## تجربة استهلاكية

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 هذان المصدران للطاقة؟



### خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. اغرس شريحة من الخارصين وأخرى من النحاس في حبة ليمون، واطرك 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.

### تحليل النتائج

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، وطبق فرضيتك بعد موافقة معلمك عليها.





# 4-1

## 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

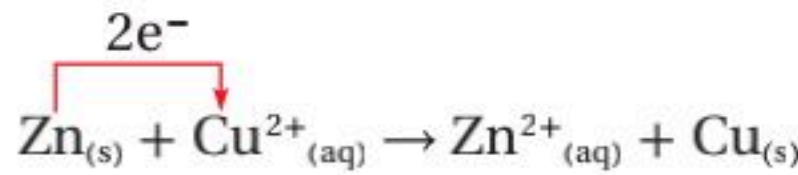
## الخلايا الجلفانية Voltaic Cells

**الفكرة الرئيسية** تحدث الأكسدة في الخلايا الجلفانية عند الأنود (المصدر) منتجة إلكترونات تتدفق نحو الكاثود (المهبط) حيث يحدث الاختزال.

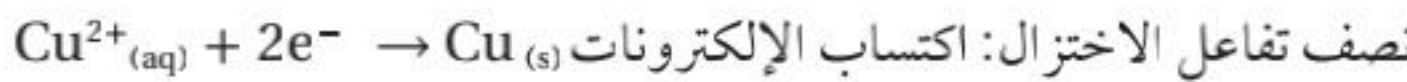
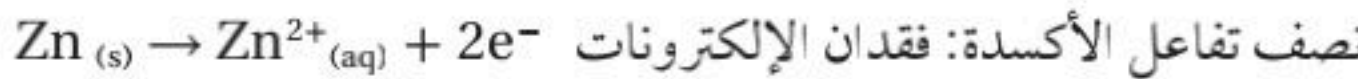
**الربط مع الحياة** إذا تم قص ورقة نقدية من فئة الريال نصفين. فما الذي يمكن عمله بأحد النصفين؟ لا يمكن استعماله من دون النصف الآخر. وهذا ينطبق أيضاً على الخلايا الجلفانية التي تتكون من نصفي خلية؛ إذ يجب وجودهما معاً لإنتاج الطاقة.

## الأكسدة والاختزال في الكيمياء الكهربائية Redox in Electrochemistry

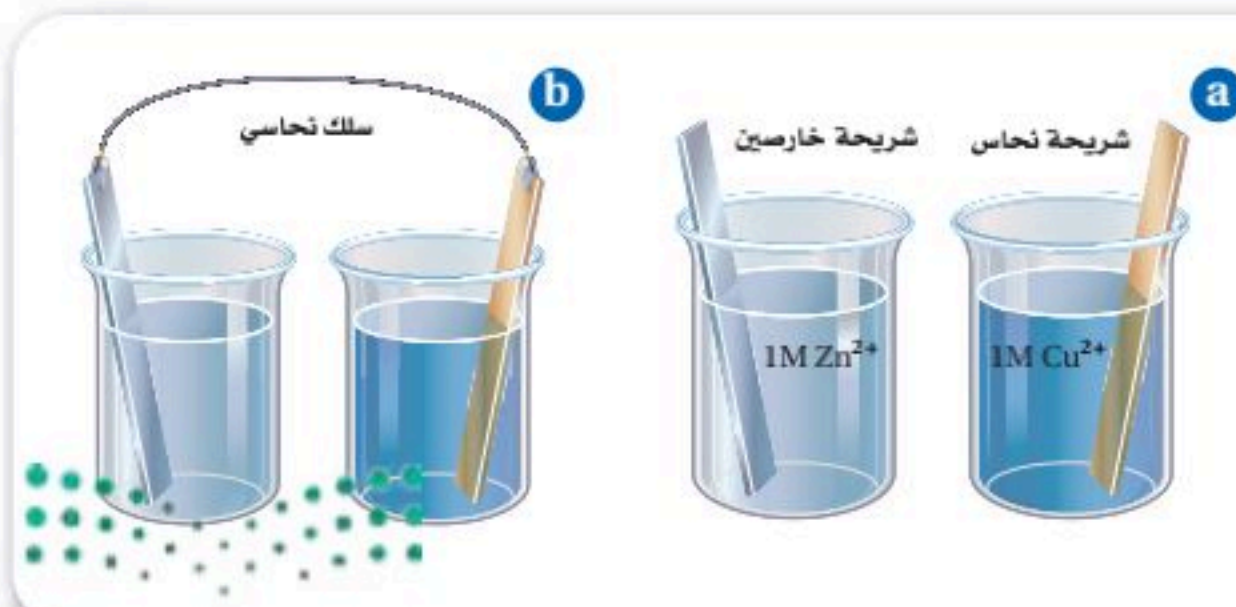
الكيمياء الكهربائية هي دراسة عمليات الأكسدة والاختزال التي تتحول من خلالها الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية، وبالعكس. من المعروف أن تفاعلات الأكسدة والاختزال جميعها تتضمن انتقال الإلكترونات من المواد المتأكسدة إلى المواد المختزلة. ويوضح كل من الشكلين 1-4 و 2-4 تفاعلاً بسيطاً للأكسدة والاختزال؛ حيث تتأكسد ذرات الخارصين لتكوّن أيونات الخارصين  $Zn^{2+}$ ، ويكتسب أيون النحاس  $Cu^{2+}$  الإلكترونين اللذين فقدتهما ذرة خارصين ليكون ذرة النحاس. وتبين المعادلة الأيونية الكلية الآتية انتقال الإلكترونات:



**أنصاف التفاعل** يتألف هذا التفاعل من نصفي تفاعل الأكسدة والاختزال الآتين:



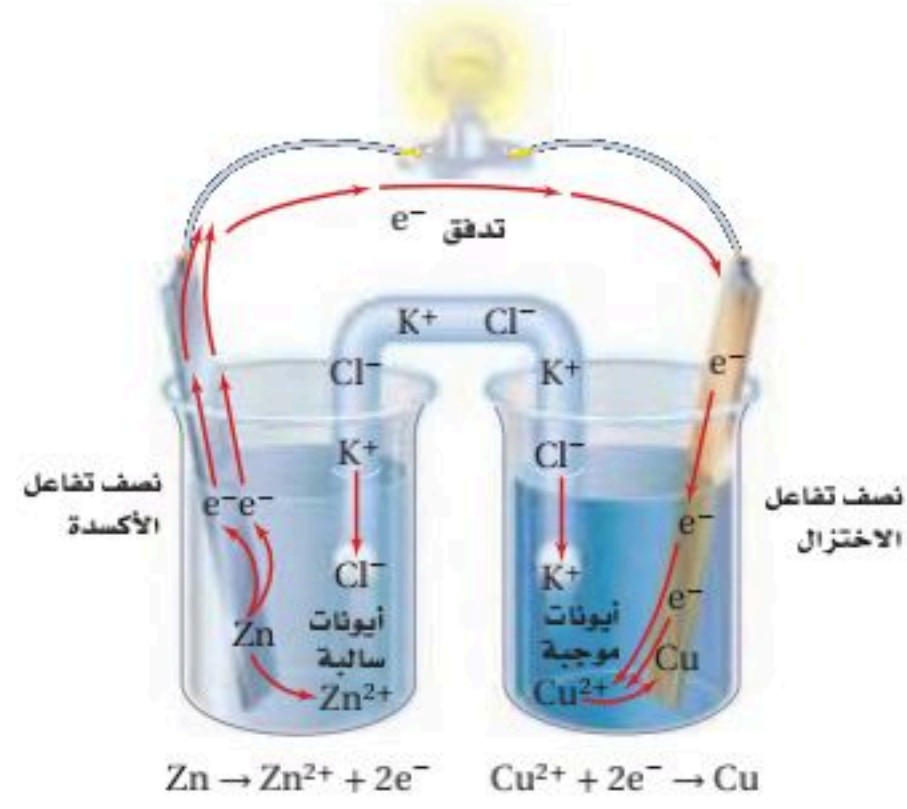
تري، ماذا يحدث لو فصل نصف تفاعل الأكسدة عن نصف تفاعل الاختزال؟ وهل يمكن أن يحدث التفاعل؟ مع الأخذ في الاعتبار الشكل 1a-4 الذي غُمست فيه شريحة الخارصين في محلول كبريتات الخارصين، وغُمست فيه شريحة النحاس في محلول كبريتات النحاس II.



## الشكل 4-1

- a.** غُمست شريحة الخارصين في محلول 1M من كبريتات الخارصين، وغُمست 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 4-2** إضافة القنطرة الملحية إلى جانب السلك تعمل على إكمال طريق التدفق؛ فتتحرك الأيونات السالبة خلال القنطرة الملحية نحو الخارصين النحاس. أما الأيونات الموجبة فتتحرك خلال القنطرة نحو



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 4-1b؛ 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 لأيونات يوقف أي استمرار للتفاعل. ولحل هذه المشكلة تستعمل **القنطرة الملحية**؛ وهي ممر لتدفق الأيونات من جهة إلى أخرى، كما في الشكل 4-2. وتتكون من أنبوب يحتوي على محلول موصل للتيار الكهربائي (محلول إلكتروليتي) ملح ذائب في الماء مثل KCl، ويحفظ داخل الأنبوب بواسطة جل هلامي أو أي غطاء يسمح لأيونات 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 4-2 تدفق الإلكترونات خلال السلك، وتدفق الأيونات خلال القنطرة الملحية، فيتكون ما يعرف بالتيار الكهربائي. وتنتج طاقة تدفع الإلكترونات لإضاءة المصابيح

**الخلايا الكهروكيميائية** بين الشكل 4-2 نوعاً من الخلايا الكهروكيميائية يعرف بالخلايا الجلفانية. **والخلية الكهروكيميائية** جهاز يستعمل تفاعل الأكسدة والاختزال لإنتاج طاقة كهربائية، أو يستعمل الطاقة الكهربائية لإحداث تفاعل كيميائي. **والخلية الجلفانية** نوع من الخلايا الكهروكيميائية التي تحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية بواسطة تفاعل الأكسدة والاختزال التلقائي. وقد سميت أيضاً الخلايا الفولتية نسبة إلى أليساندرو فولتا Alessandro Volta (1745-1827م) العالم الفيزيائي الإيطالي الذي نسب إليه الاختراع عام 1800م، انظر الشكل 4-3.

**الشكل 4-3** 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 الأقرص المعدنية المستخدمة.





## كيمياء الخلايا الجلفانية Chemistry of Voltaic Cells

تتكون الخلايا الكهروكيميائية من جزأين يطلق على كل منهما نصف الخلية؛ حيث يحدث فيها تفاعلات الأكسدة والاختزال المنفصلين. ويحتوي كل نصف خلية على قطب ومحلول يشتمل على أيونات. ويتكون القطب من مادة موصلة للتيار الكهربائي، وعادة ما تكون هذه المادة قطعة معدنية أو قطعة من الجرافيت توصل الإلكترونات من محلول نصف الخلية وإليه. ويوضح الشكل 2-4 كأس قطب الخارصين التي يحدث فيها نصف تفاعل الأكسدة، وكأس قطب النحاس التي يحدث فيها نصف تفاعل الاختزال. ويسمى التفاعل الذي يحدث في كل نصف خلية تفاعل نصف الخلية. ويسمى القطب الذي يحدث عنده تفاعل الأكسدة الأنود (المصعد)، في حين يسمى القطب الذي يحدث عنده تفاعل الاختزال الكاثود (المهبط).

✓ **ماذا قرأت؟ حدّد أي الكأسين في الشكل 2-4 تحتوي على الأنود؟**

**الخلايا الجلفانية والطاقة** لأن طاقة الوضع لأي جسم ناتجة عن موضعه أو مكوناته. لذا تعد طاقة الوضع الكهربائية في الكيمياء الكهربائية مقياس كمية التيار التي يمكن توليدها من خلية جلفانية للقيام بشغل. وتستطيع الشحنة الكهربائية الانتقال بين نقطتين فقط عندما يكون هناك فرق في طاقة الوضع الكهربائية بينهما. وهاتان النقطتان في الخلايا الكهروكيميائية هما القطبان؛ حيث تدفع الإلكترونات المتكونة عند الأنود موقع التأكسد أو تتحرك نحو الكاثود بواسطة القوة الدافعة الكهربائية التي تنشأ عن وجود فرق في طاقة الوضع الكهربائية بين القطبين، وتعرف بجهد الخلية. والفولت هو الوحدة المستعملة في قياس جهد الخلية. وفرق الجهد في الخلية الجلفانية هو إشارة إلى كمية الطاقة المتوافرة لدفع الإلكترونات من الأنود إلى الكاثود.

انظر إلى التماثل الظاهر في الشكل 4-4، حيث تقف الأفعوانية عند قمة المنحدر لحظة قصيرة، ثم تتحرك من موقعها المرتفع نزولاً إلى أسفل؛ بسبب اختلاف طاقة الوضع للجاذبية الأرضية بين قاع المسار وقمته. وتحدد طاقة الأفعوانية الحركية بواسطة الاختلاف في الارتفاع بين قاع المسار وقمته. وكذلك تتحدد طاقة الإلكترونات المتدفقة من الأنود إلى الكاثود في الخلايا الجلفانية بواسطة الاختلاف في طاقة الوضع الكهربائية بين القطبين. ووفقاً لمفردات تفاعل الأكسدة والاختزال يتحدد فرق جهد الخلية بمقارنة مدى الفرق في قابلية مادتي الأقطاب على اكتساب الإلكترونات؛ فكلما زاد الفرق بين القطبين زاد فرق جهد الخلية وزاد معه أيضاً جهد الخلية.



**الشكل 4-4** عندما تكون الأفعوانية في قمة المسار يكون لها طاقة وضع عالية بالنسبة إلى المسار المنخفض بسبب اختلاف الارتفاع، وبالمثل يكون للخلية الكهروكيميائية طاقة وضع لإنتاج تيار بسبب اختلاف قابلية الأقطاب لتحريك الإلكترونات من الأنود إلى الكاثود.



وتسحب قوة الجاذبية هواء رياضة الغطس في الماء دائماً للسقوط نحو وضع منخفض من الطاقة، وليس إلى أعلى؛ 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

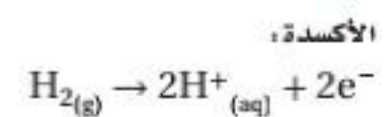
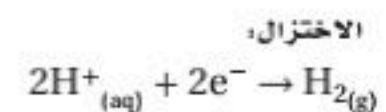
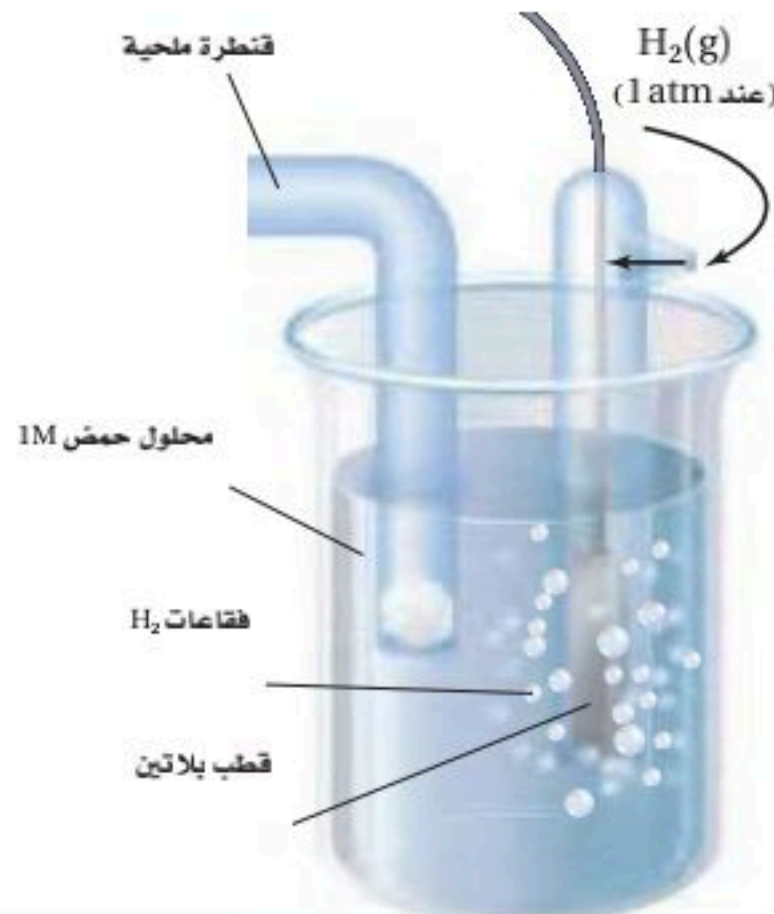
#### Calculating Electrochemical Cell Potentials

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  $25^\circ C$ ، وتعرف هذه الظروف بالظروف القياسية (STP)، كما في الشكل 4-5، ويكون فرق الجهد لقطب الهيدروجين القياسي، المسمى جهد الاختزال القياسي ( $E^\circ_{H_2}$ ) مساوياً  $0.000 V$ ، ويعمل هذا القطب بوصفه نصف تفاعل اختزال، أو نصف تفاعل أكسدة؛ اعتماداً على نصف الخلية الموصلة به. والتفاعلات اللذان يمكن حدوثهما عند قطب الهيدروجين القياسي هما:



**الشكل 4-5** يتكون قطب الهيدروجين القياسي من قطب بلاتين يتدفق فوقه غاز الهيدروجين عند  $1 atm$  ويضخ في محلول حمضي يحتوي على أيونات هيدروجين بتركيز  $1 M$ . ويعرف فرق جهد الاختزال لهذا الترتيب بالقيمة  $0.000 V$ .



#### المفردات

##### أصل الكلمة

التلازم: (Correspond)

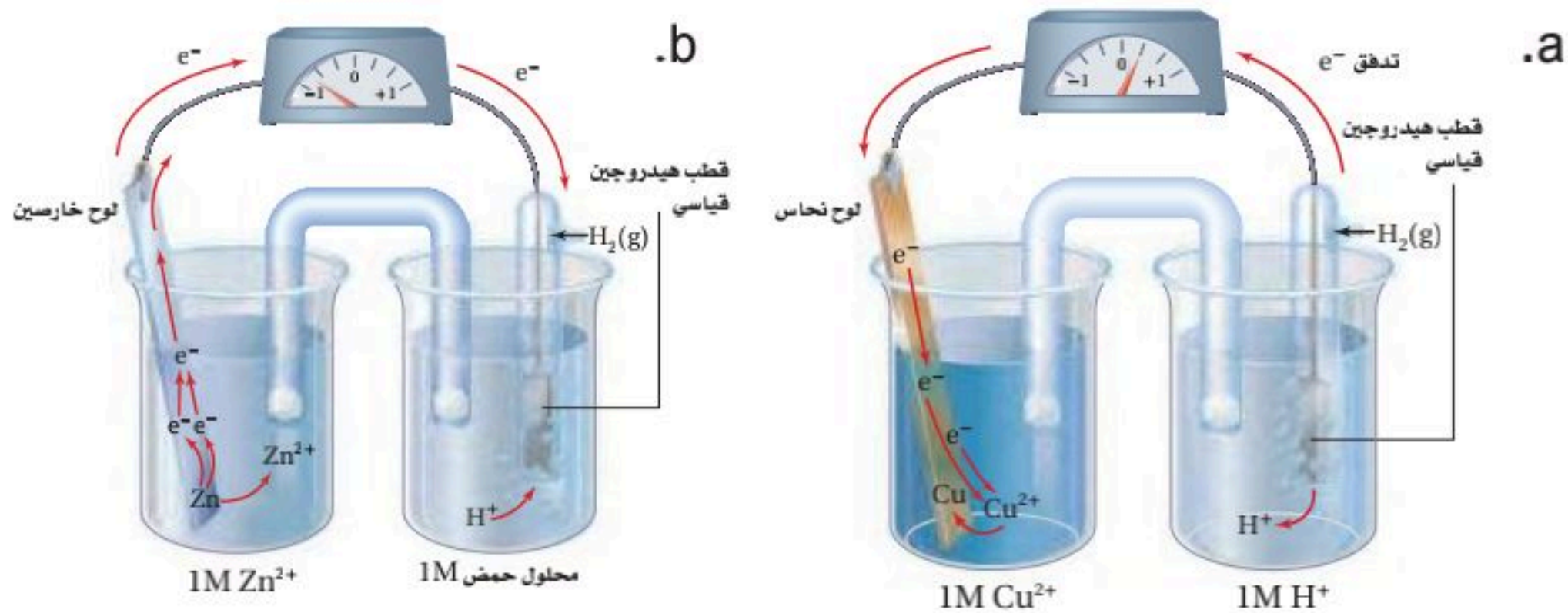
الموافقة أو الانسجام  
تتوافق الاتجاهات مع الخريطة،  
أو الأكسدة والاختزال عمليتان  
متلازمتان.

##### المطويات

ضمّن مطويتك معلومات  
من هذا القسم.

**جهود نصف الخلية** قام الكيميائيون عبر السنين بقياس جهود الاختزال القياسية وتسجيلها لعدد من أنصاف الخلايا. ويرتب الجدول 1-4 بعض تفاعلات نصف الخلية الشائعة تصاعدياً بحسب 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 1-4 جميعها في صورة تفاعلات اختزال. ومع ذلك ففي أي خلية جلفانية تحتوي دائماً 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  $E^{\circ}$  باختصار إلى أن القياس تم تحت ظروف قياسية.

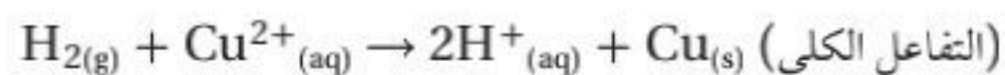
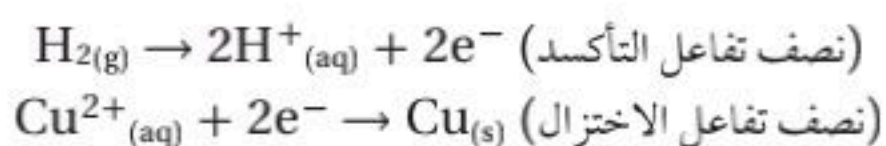
جهود الاختزال القياسية		الجدول 1-4	
نصف التفاعل	$E^{\circ}$ (V)	نصف التفاعل	$E^{\circ}$ (V)
$\text{Cu}^{2+} + e^{-} \rightarrow \text{Cu}^{+}$	+0.153	$\text{Li}^{+} + e^{-} \rightarrow \text{Li}$	-3.0401
$\text{Cu}^{2+} + 2e^{-} \rightarrow \text{Cu}$	+0.3419	$\text{Ca}^{2+} + 2e^{-} \rightarrow \text{Ca}$	-2.868
$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^{-} \rightarrow 4\text{OH}^{-}$	+0.401	$\text{Na}^{+} + e^{-} \rightarrow \text{Na}$	-2.71
$\text{I}_2 + 2e^{-} \rightarrow 2\text{I}^{-}$	+0.5355	$\text{Mg}^{2+} + 2e^{-} \rightarrow \text{Mg}$	-2.372
$\text{Fe}^{3+} + e^{-} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$	+0.771	$\text{Be}^{2+} + 2e^{-} \rightarrow \text{Be}$	-1.847
$\text{NO}_3^{-} + 2\text{H}^{+} + e^{-} \rightarrow \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	+0.775	$\text{Al}^{3+} + 3e^{-} \rightarrow \text{Al}$	-1.662
$\text{Hg}_2^{2+} + 2e^{-} \rightarrow 2\text{Hg}$	+0.7973	$\text{Mn}^{2+} + 2e^{-} \rightarrow \text{Mn}$	-1.185
$\text{Ag}^{+} + e^{-} \rightarrow \text{Ag}$	+0.7996	$\text{Cr}^{2+} + 2e^{-} \rightarrow \text{Cr}$	-0.913
$\text{Hg}^{2+} + 2e^{-} \rightarrow \text{Hg}$	+0.851	$2\text{H}_2\text{O} + 2e^{-} \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^{-}$	-0.8277
$2\text{Hg}^{2+} + 2e^{-} \rightarrow \text{Hg}_2^{2+}$	+0.920	$\text{Zn}^{2+} + 2e^{-} \rightarrow \text{Zn}$	-0.7618
$\text{NO}_3^{-} + 4\text{H}^{+} + 3e^{-} \rightarrow \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$	+0.957	$\text{Cr}^{3+} + 3e^{-} \rightarrow \text{Cr}$	-0.744
$\text{Br}_{2(l)} + 2e^{-} \rightarrow 2\text{Br}^{-}$	+1.066	$\text{S} + 2e^{-} \rightarrow \text{S}^{5-}$	-0.47627
$\text{Pt}^{2+} + 2e^{-} \rightarrow \text{Pt}$	+1.18	$\text{Fe}^{2+} + 2e^{-} \rightarrow \text{Fe}$	-0.447
$\text{O}_2 + 4\text{H}^{+} + 4e^{-} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	+1.229	$\text{Cd}^{2+} + 2e^{-} \rightarrow \text{Cd}$	-0.4030
$\text{Cl}_2 + 2e^{-} \rightarrow 2\text{Cl}^{-}$	+1.35827	$\text{PbI}_2 + 2e^{-} \rightarrow \text{Pb} + 2\text{I}^{-}$	-0.365
$\text{Au}^{3+} + 3e^{-} \rightarrow \text{Au}$	+1.498	$\text{PbSO}_4 + 2e^{-} \rightarrow \text{Pb} + \text{SO}_4^{5-}$	-0.3588
$\text{MnO}_4^{-} + 8\text{H}^{+} + 5e^{-} \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	+1.507	$\text{Co}^{2+} + 2e^{-} \rightarrow \text{Co}$	-0.28
$\text{Au}^{+} + e^{-} \rightarrow \text{Au}$	+1.692	$\text{Ni}^{2+} + 2e^{-} \rightarrow \text{Ni}$	-0.257
$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^{+} + 2e^{-} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	+1.776	$\text{Sn}^{2+} + 2e^{-} \rightarrow \text{Sn}$	-0.1375
$\text{Co}^{3+} + e^{-} \rightarrow \text{Co}^{2+}$	+1.92	$\text{Pb}^{2+} + 2e^{-} \rightarrow \text{Pb}$	-0.1262
$\text{S}_2\text{O}_8^{5-} + 2e^{-} \rightarrow 2\text{SO}_4^{5-}$	+2.010	$\text{Fe}^{3+} + 3e^{-} \rightarrow \text{Fe}$	-0.037
$\text{F}_2 + 2e^{-} \rightarrow 2\text{F}^{-}$	+2.866	$2\text{H}^{+} + 2e^{-} \rightarrow \text{H}_2$	0.0000



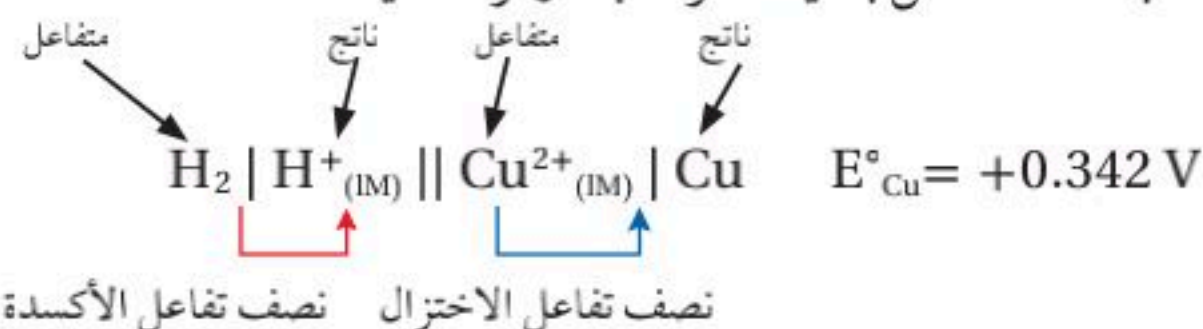
الشكل 4-6

**a.** عند توصيل قطب  $\text{Cu}^{2+} | \text{Cu}$  بقطب هيدروجين تتدفق الإلكترونات نحو لوح النحاس، فتختزل أيونات  $\text{Cu}^{2+}$  إلى ذرات  $\text{Cu}$ ، وفرق الجهد لهذا التفاعل يساوي  $+0.342\text{V}$ .  
**b.** وعند توصيل قطب  $\text{Zn} | \text{Zn}^{2+}$  بقطب الهيدروجين تتدفق الإلكترونات مبتعدة عن لوح الخارصين، فتتأكسد ذرات الخارصين إلى أيونات  $\text{Zn}^{2+}$ ، وفرق الجهد لهذا التفاعل يساوي  $-0.762\text{V}$ .

**تحديد جهود اختزال الخلية الكهروكيميائية** يمكنك استعمال الجدول 1-4 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  $E^\circ_{\text{Cu}}$  عند توصيل قطب النحاس بقطب الهيدروجين القياسي، كما في الشكل 4-6a؛ حيث تتدفق الإلكترونات من قطب الهيدروجين إلى قطب النحاس، وتختزل أيونات النحاس إلى فلز النحاس، وتساوي قيمة  $E^\circ_{\text{Cu}}$  المقاسة بواسطة مقياس فرق الجهد (voltmeter)  $+0.342\text{V}$ . ويشير الجهد الموجب إلى أن أيونات  $\text{Cu}^{2+}$  عند قطب النحاس تكتسب إلكترونات بصورة أسهل من أيونات  $\text{H}^+$  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:



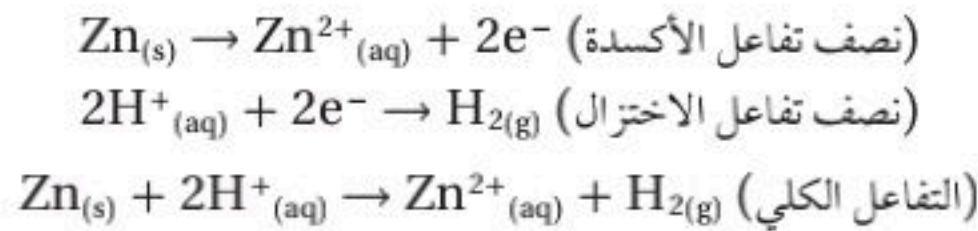
ويمكن كتابة هذا التفاعل بصيغة تعرف بـ "رمز الخلية":



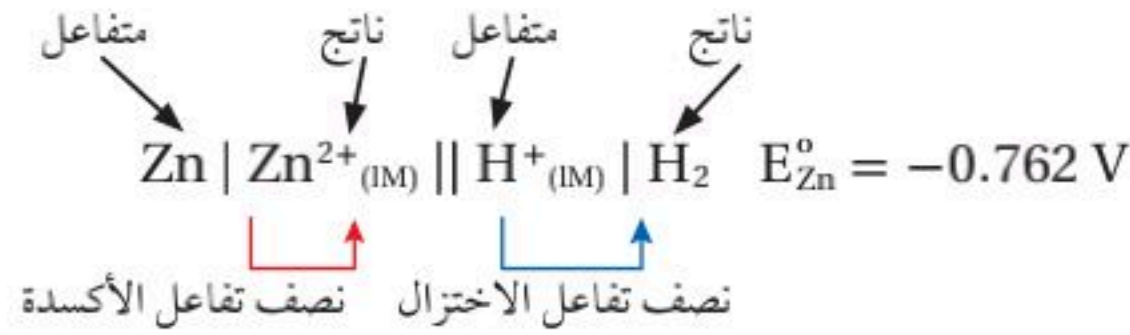
تكتب الذرات/ الأيونات (التركيز) الداخلة في عملية الأكسدة أولاً وبالترتيب الذي تظهر به في نصف تفاعل الأكسدة، ويوضع بعدهما خطان عموديان (||) يمثلان السلك والقنطرة الملحية وتربطان نصفي الخلية. ثم تكتب الأيونات (التركيز)/ الذرات الداخلة في الاختزال بالترتيب نفسه. لاحظ ضرورة وضع إشارة ناتج الجمع لقيم  $E^\circ$  قبل قيمة الجهد.



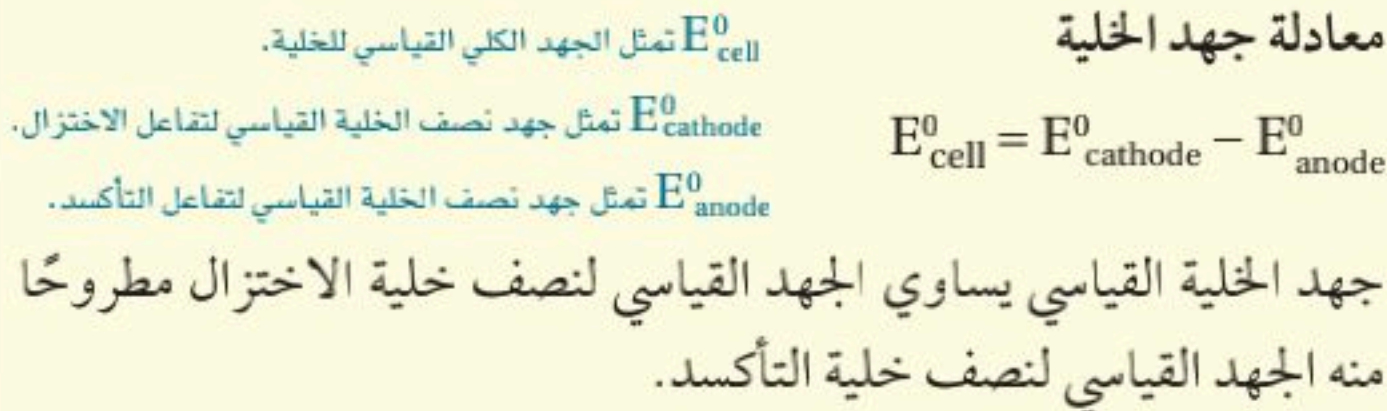
إن الخطوة الآتية هي تحديد جهد الاختزال القياسي لنصف خلية الخارصين  $E_{Zn}^{\circ}$  عند قياس جهد اختزال الخارصين مقابل قطب الهيدروجين القياسي تحت الظروف القياسية، كما في الشكل 4-6b؛ حيث تتدفق الإلكترونات من قطب الخارصين إلى قطب الهيدروجين. وعند قياس قيمة  $E^{\circ}$  لنصف خلية الخارصين بواسطة مقياس 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  $0.00V$ ، لذا فإن جهد اختزال قطب الخارصين يجب أن يكون قيمة سالبة. ويمكن كتابة تفاعلي أنصاف الخلية والتفاعل الكلي على النحو الآتي:



ويمكن كتابة هذا التفاعل بصيغة تعرف بـ "رمز الخلية":



أما الخطوة النهائية في حساب جهد الخلية الكهروكيميائية فتكون بجمع نصفي تفاعل النحاس والخارصين، على أنها خلية جلفانية، وهذا يعني حساب جهد الخلية الجلفانية القياسي باستعمال المعادلة الآتية:

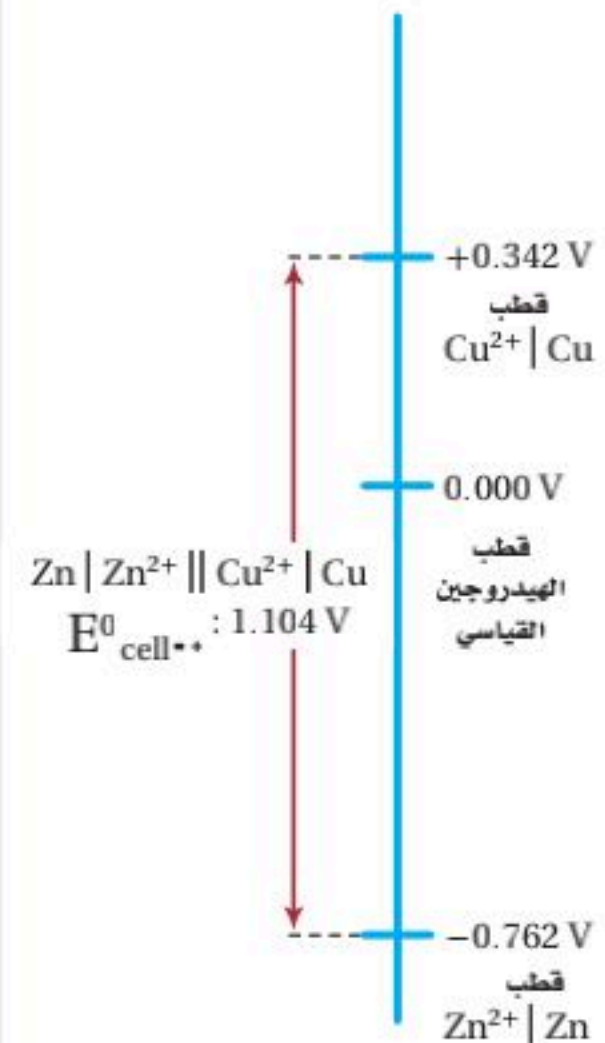


ولما كان الاختزال يحدث عند قطب النحاس، والأكسدة تحدث عند قطب الخارصين، فإن قيم  $E^{\circ}$  يمكن تعويضها على النحو الآتي:

$$\begin{aligned} E_{cell}^{\circ} &= E_{Cu^{2+} \mid Cu}^{\circ} - E_{Zn^{2+} \mid Zn}^{\circ} \\ &= +0.342 V - (-0.762 V) \\ &= +1.104 V \end{aligned}$$

والشكل 4-7 يوضح طريقة حساب الجهد الكلي لهذه الخلية.

**الشكل 4-7** يوضح كيف يحسب جهد الخلية الكلي من فرق جهود الاختزال لقطبين.

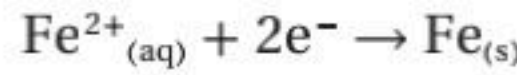
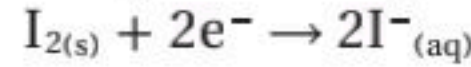


**اختبار الرسم البياني**

أيهما يتأكسد أسهل من الهيدروجين: النحاس أم الخارصين؟



حساب جهد الخلية تمثل أنصاف تفاعلات الاختزال الآتية نصفي خلية جلفانية:



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 4-1. وسيكون نصف التفاعل الذي له أقل جهد اختزال هو تفاعل الأكسدة، ويمكنك بهذه المعلومة كتابة التفاعل الكلي للخلية وكتابة رمزها.

### المعطيات

المطلوب  
التفاعل الكلي للخلية = ؟

جهود الاختزال القياسية لأنصاف الخلايا

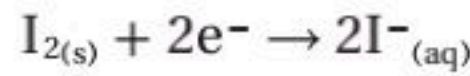
$$E^0_{cell} = ?$$

$$E^0_{cell} = E^0_{cathode} - E^0_{anode}$$

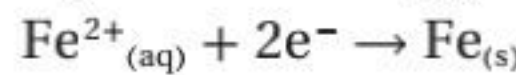
رمز الخلية = ؟

### 2 حساب المطلوب

أوجد قيم جهود الاختزال القياسية لكل نصف خلية من الجدول 4-1.

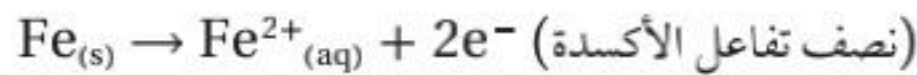


$$E^0_{I_2|I^-} = +0.536 V$$

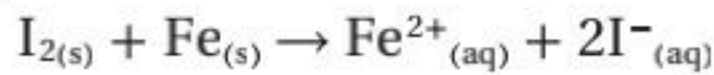
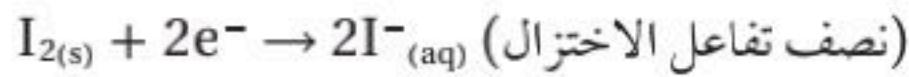


$$E^0_{Fe^{2+}|Fe} = -0.447 V$$

لما كان لاختزال اليود أكبر جهد اختزال فإن نصف التفاعل هذا يستمر في الاتجاه الطرد في صورة اختزال، في حين يستمر نصف تفاعل الحديد في الاتجاه العكسي في صورة أكسدة.



أعد كتابة نصف تفاعل الحديد في الاتجاه الصحيح.



اجمع المعادلتين.



احسب جهد الخلية القياسي.

ضع معادلة جهد الخلية

$$E^0_{cell} = E^0_{cathode} - E^0_{anode}$$

$$E^0_{cell} = E^0_{I_2|I^-} - E^0_{Fe^{2+}|Fe}$$

$$E^0_{cell} = +0.536 V - (-0.447 V)$$

$$E^0_{cell} = +0.983 V$$

عوض عن  $E^0_{I_2|I^-}$  و  $E^0_{Fe^{2+}|Fe}$  في المعادلة العامة.

عوض عن  $E^0_{I_2|I^-}$  بالقيمة  $+0.536 V$ ، وعن  $E^0_{Fe^{2+}|Fe}$  بالقيمة  $-0.447 V$ .

كتابة رمز الخلية.



اكتب أولاً نصف تفاعل الأكسدة باستعمال رمز المادة المتفاعلة ثم الناتجة.



واكتب بعد ذلك نصف تفاعل الاختزال عن اليمين، وافصل بين نصفي التفاعل بخطين عموديين.

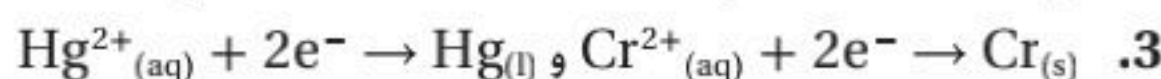


### 3 تقويم الإجابة

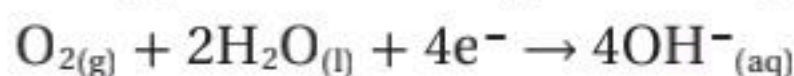
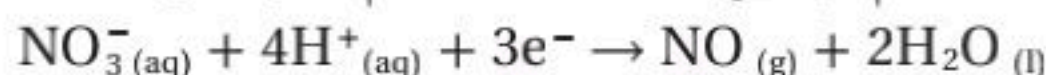
جهد الاختزال المحسوب معقول بالنظر إلى جهود أنصاف الخلية.



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 سابقاً.



4. تحفيز اكتب معادلة موزونة لتفاعل الخلية، واحسب جهد الخلية القياسي للتفاعل الذي يحدث عندما يتم توصيل هذه الخلايا معاً، ثم اكتب رمز الخلية.



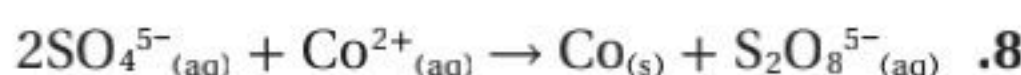
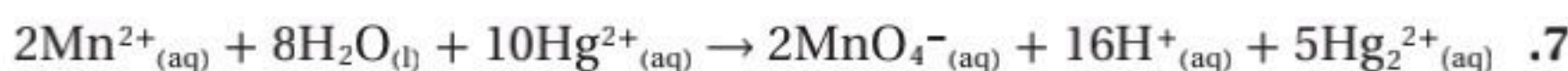
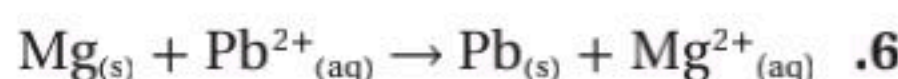
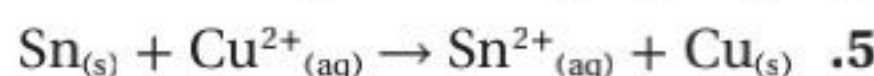
### استعمال جهود الاختزال القياسية

### Using Standard Reduction Potentials

توضح الأمثلة كيفية استعمال البيانات في الجدول 1-4 لحساب الجهد القياسي للخلايا الجلفانية. والاستعمال الآخر المهم لجهود الاختزال القياسية هو تحديد هل سيكون التفاعل المقترح تحت الظروف القياسية تلقائياً؟ وكيف يمكن أن تكون جهود الاختزال القياسية مؤشراً على التلقائية؟ تتدفق الإلكترونات في الخلية الجلفانية من نصف الخلية ذات جهد الاختزال القياسي الأقل إلى نصف الخلية ذات جهد الاختزال القياسي الأكبر؛ لتعطي جهداً موجباً للخلية. ولتوقع 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 موجباً فالتفاعل تلقائي، أما إذا كانت القيمة سالبة فالتفاعل غير تلقائي. لكن في حالة عكس تفاعل غير تلقائي فسيكون له جهد خلية موجب؛ وهذا يعني أن التفاعل العكسي يكون تلقائياً.

✓ **ماذا قرأت؟** حدد إشارة جهد الخلية القياسي لتفاعل الأكسدة والاختزال الذي يحدث بصورة تلقائية.

احسب جهد الخلية لتحديد ما إذا كانت تفاعلات الأكسدة والاختزال الآتية تحدث بصورة تلقائية كما هي مكتوبة أم لا، واستخدم الجدول 1-4 لمساعدتك على تحديد أنصاف التفاعل الصحيحة:



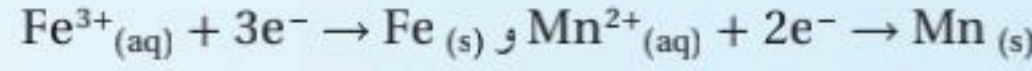
9. تحفيز اكتب المعادلة، وحدد جهد الخلية  $E^{\circ}$  للخلية الآتية باستعمال الجدول 1-4 هل التفاعل تلقائي؟



## استراتيجية حل المسألة

### تحديد جهود الخلية

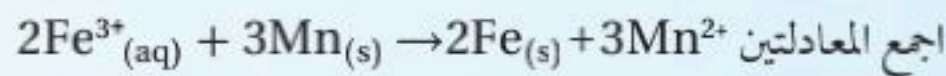
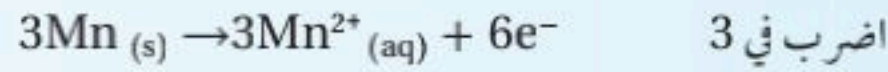
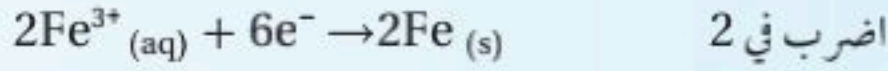
تلخص الخطوات الخمس الآتية إجراءات حساب جهد الخلية الجلفانية التي يحدث فيها تفاعل الأكسدة والاختزال بشكل تلقائي. افترض أن عليك كتابة معادلة للخلية التي تتكون من أنصاف التفاعل الآتية وحساب جهدها:



كل ما تحتاج إليه هو جدول لجهود الاختزال، مثل الجدول 1-4.

4. زن الإلكترونات في معادلات نصفي الخلية بضرب كلتا

المعادلتين في المعامل المناسب، ثم اجمعهما.



5. لا تؤثر مساواة الإلكترونات المفقودة والمكتسبة في  $E^{\circ}$  للتفاعل

الكلية. استخدم الصيغة  $E^{\circ}_{\text{cell}} = E^{\circ}_{\text{reduction}} - E^{\circ}_{\text{oxidation}}$

للحصول على جهد الخلية.

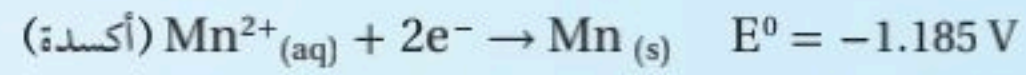
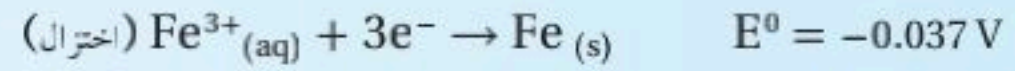
$$E^{\circ}_{\text{cell}} = E^{\circ}_{\text{Fe}^{3+}|\text{Fe}} - E^{\circ}_{\text{Mn}^{2+}|\text{Mn}} = -0.037 \text{ V} - (-1.185 \text{ V})$$

$$= +1.148 \text{ V}$$

2. قارن بين جهد نصفي الخلية؛ فنصف الخلية التي لها جهد

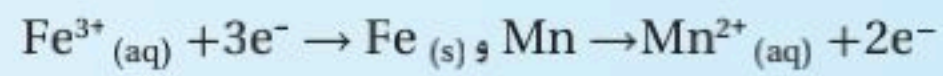
اختزال أعلى هي التي سيحدث عندها الاختزال، في حين

تحدث أكسدة في نصف الخلية التي لها جهد اختزال أقل.



3. اكتب معادلة الاختزال كما هي في الجدول 1-4، وكتب معادلة

الأكسدة في الاتجاه المعاكس.



## استراتيجية حل المسألة

حدّد  $E^{\circ}$  لتفاعل التأكسد والاختزال التلقائي الذي يحدث بين الماغنسيوم والنيكل.

## التقويم 4-1

### 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.

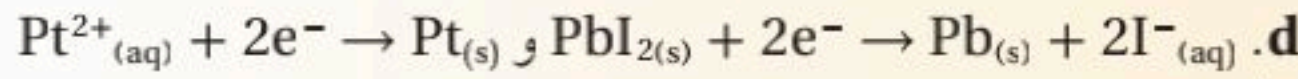
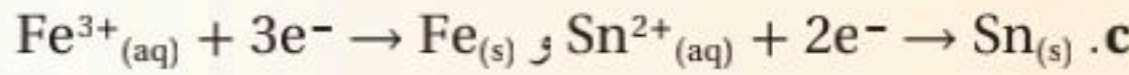
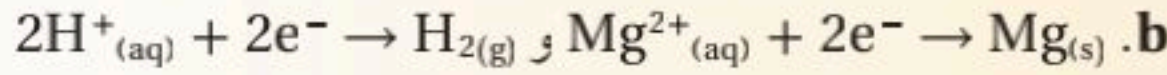
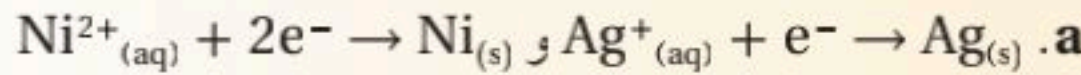
10. الفكرة الرئيسية صف الظروف التي يؤدي عندها تفاعل الأكسدة

والاختزال إلى تدفق التيار الكهربائي خلال السلك.

11. حدّد مكونات الخلية الجلفانية، وفسّر دور كل مكون في عملية تشغيل الخلية.

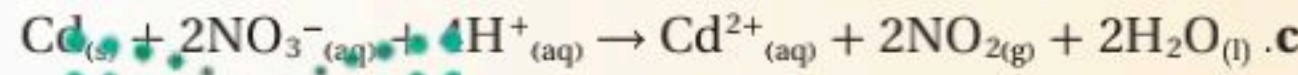
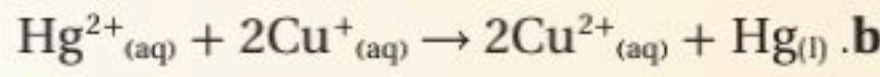
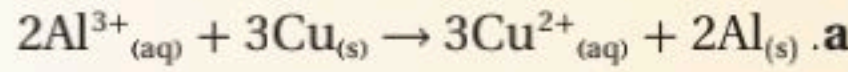
12. اكتب المعادلة الموزونة لتفاعل الخلية التلقائي الذي يحدث في الخلية التي

لها أنصاف تفاعل الاختزال الآتية:



13. حدّد الجهد القياسي للخلايا الكهروكيميائية؛ حيث تمثل كل معادلة التفاعل

الكلية للخلية. وحدد أيضًا هل التفاعلات المكتوبة أدناه تلقائية أم غير تلقائية.



14. صمّم خريطة مفاهيم للبند 1-4 مبتدئًا بالمصطلح "خلية كهروكيميائية"،

ثم أدرج جميع المصطلحات الجديدة في خريطة.





## 4-2

### الأهداف

- تصف تركيب البطارية الجافة التقليدية المصنوعة من الكربون والخاصين ومكوناتها وآلية عملها.
- تميز بين البطاريات الأولية والثانوية، وتعطي مثالين على كل نوع.
- تفسر 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

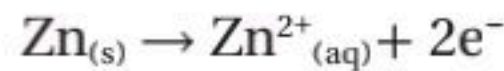
**الفكرة الرئيسية** البطاريات خلايا جلفانية تستعمل التفاعلات التلقائية لإنتاج الطاقة لأغراض متعددة.

**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؟

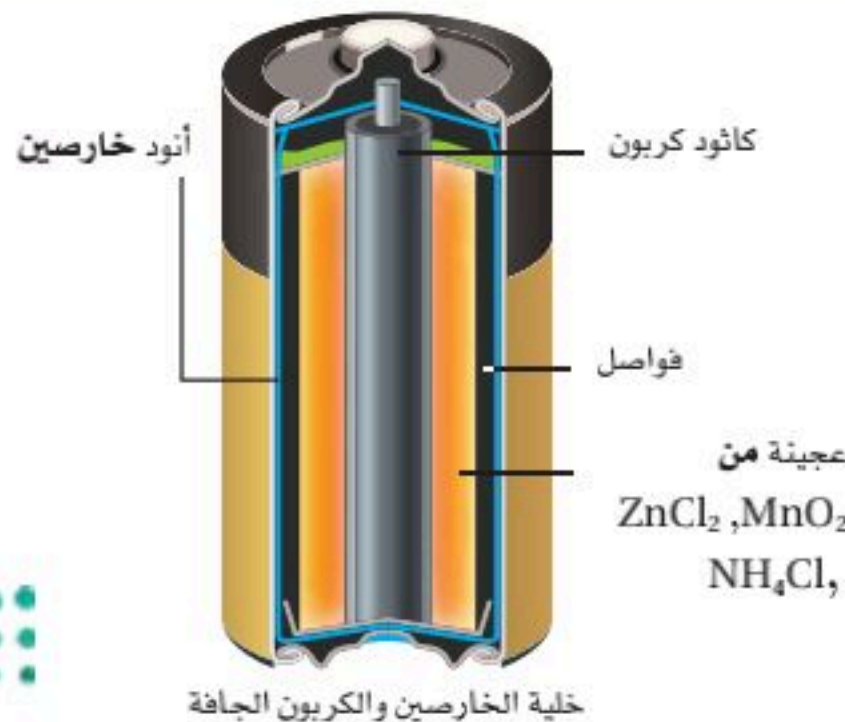
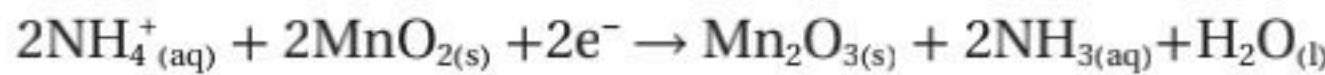
### الخلايا الجافة Dry Cells

تزود بعض تفاعلات الخلايا التلقائية التي درستها البطاريات بالطاقة التي نستعملها يومياً. **والبطارية** عبارة عن خلية جلفانية أو أكثر في عبوة واحدة تنتج التيار الكهربائي. ولقد كانت البطارية الجافة المكونة من الخاصين والكربون، كما في الشكل 4-8، هي الأكثر استعمالاً منذ اكتشاف البطارية عام 1860 م حتى الآن.

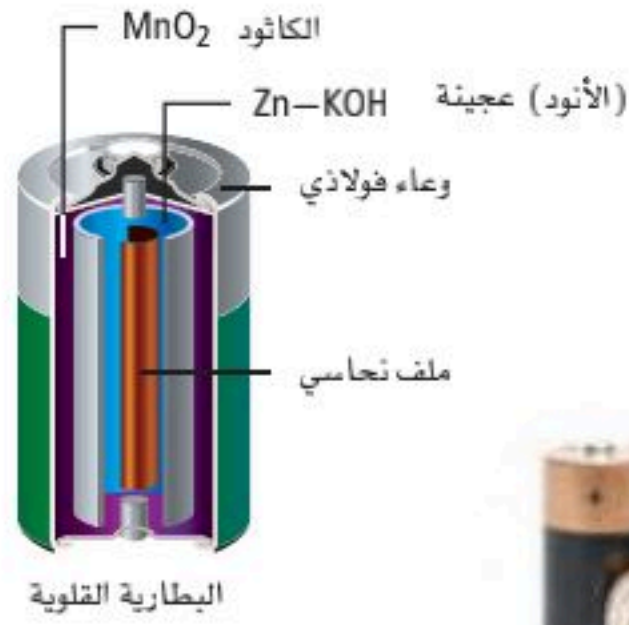
**خلية الخاصين والكربون الجافة** الخلية الجافة هي خلية جلفانية؛ حيث يكون المحلول الموصل للتيار عجينة رطبة تتكون من خليط من كلوريد الخاصين وأكسيد المنجنيز IV وكلوريد الأمونيوم وكمية قليلة من الماء داخل حاوية من الخاصين. وحافطة الخاصين هي الأنود في الخلية؛ حيث يحدث تأكسد الخاصين بحسب المعادلة الآتية:



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 الكاثود غير الفعال؛ لأنه يتكون من مادة لا تسهم في تفاعل الأكسدة والاختزال، إلا أن القطب غير الفعال له غرض مهم في توصيل الإلكترونات. ويتم تفاعل الاختزال لنصف الخلية على النحو الآتي:



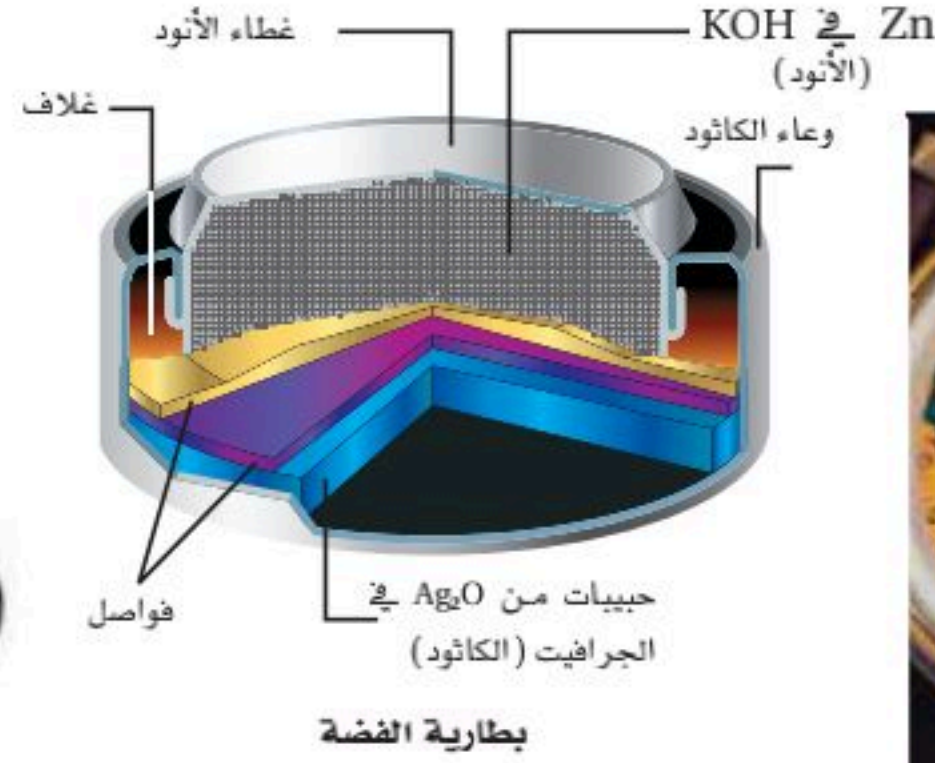
**الشكل 4-8** تتكون ما يطلق عليه الخلية الجافة من عجينة رطبة يحدث فيها نصف تفاعل الاختزال، وتعمل حاوية الخاصين في خلية الخاصين والكربون عمل الأنود.



البطارية القلوية



تستخدم البطارية القلوية مسحوق الخارصين كأنود



بطارية الفضة

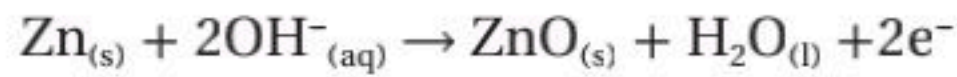


تشبه بطارية الفضة إلى حد كبير البطارية القلوية، على الرغم من أنها تظهر مختلفة ونستعمل أكسيد الفضة  $Ag_2O$  في الكاثود بدلاً من أكسيد المنجنيز

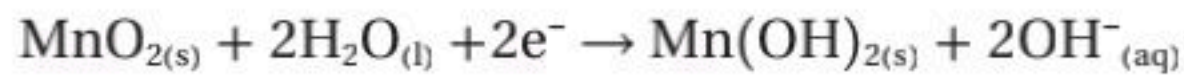
**الشكل 9-4** البطاريات القلوية أكثر كفاءة من خلية الخارصين والكربون الجافة، وأكثر نفعاً عند الحاجة إلى بطاريات صغيرة الحجم. أما بطاريات الفضة فهي أصغر حجماً من القلوية، وتناسب الأجهزة الصغيرة الحجم مثل الساعات.

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 1-4. 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 9-4. ويوجد الخارصين في الخلية القلوية على هيئة مسحوق، مما يوفر مساحة سطح أكبر للتفاعل، ويخلط مع هيدروكسيد البوتاسيوم على شكل عجينة، 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:

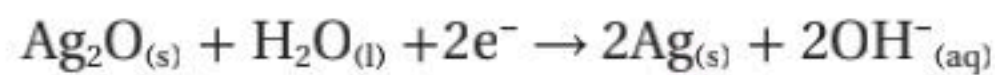


أما تفاعل الكاثود لنصف الخلية فهو:



ولا تحتاج البطاريات القلوية إلى عمود الكربون بوصفه كاثوداً؛ لذا يمكن تصنيعها بأحجام صغيرة، ولها استعمالات متعددة في الأجهزة الصغيرة.

**بطاريات الفضة** بطاريات الفضة الموضحة في الشكل 9-4 أصغر حجماً، وتعمل في تزويد الأجهزة بالطاقة، ومنها ساعات الأذن والساعات وآلات التصوير. وتعمل بطاريات الفضة تفاعل أنود نصف خلية البطاريات القلوية. أما تفاعل الكاثود لنصف الخلية فهو على النحو الآتي:



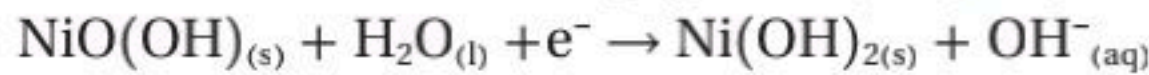
**ماذا قرأت؟** حدد أنصاف التفاعلات المشتركة التي تحدث في كل من البطاريات القلوية، وبطاريات الفضة.



**البطاريات الأولية والثانوية** تقسم البطاريات إلى نوعين اعتماداً على عملياتها الكيميائية. وتصنف خلايا الخارصين والكربون، والقلوية، والفضة على أنها بطاريات أولية. **والبطاريات 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 10-4. 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:



أما تفاعل الكاثود فهو اختزال النيكل من حالة تأكسد +3 إلى +2.

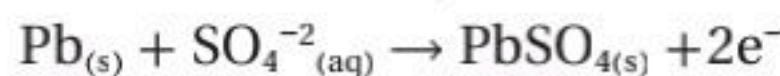


وتحدث هذه التفاعلات بشكل عكسي عند شحن البطارية.

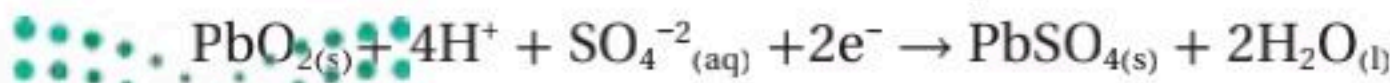
### بطاريات تخزين المرحم الرصاصي الحمضية Lead-Acid Storage Battery

هذا النوع من البطاريات شائع الاستخدام في السيارات. وتتكون معظم بطاريات السيارات من 6 خلايا تولد كل منها 2V ليصبح ناتجها الكلي 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 شيوعاً 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 إلى +2 في  $\text{PbSO}_4$ .



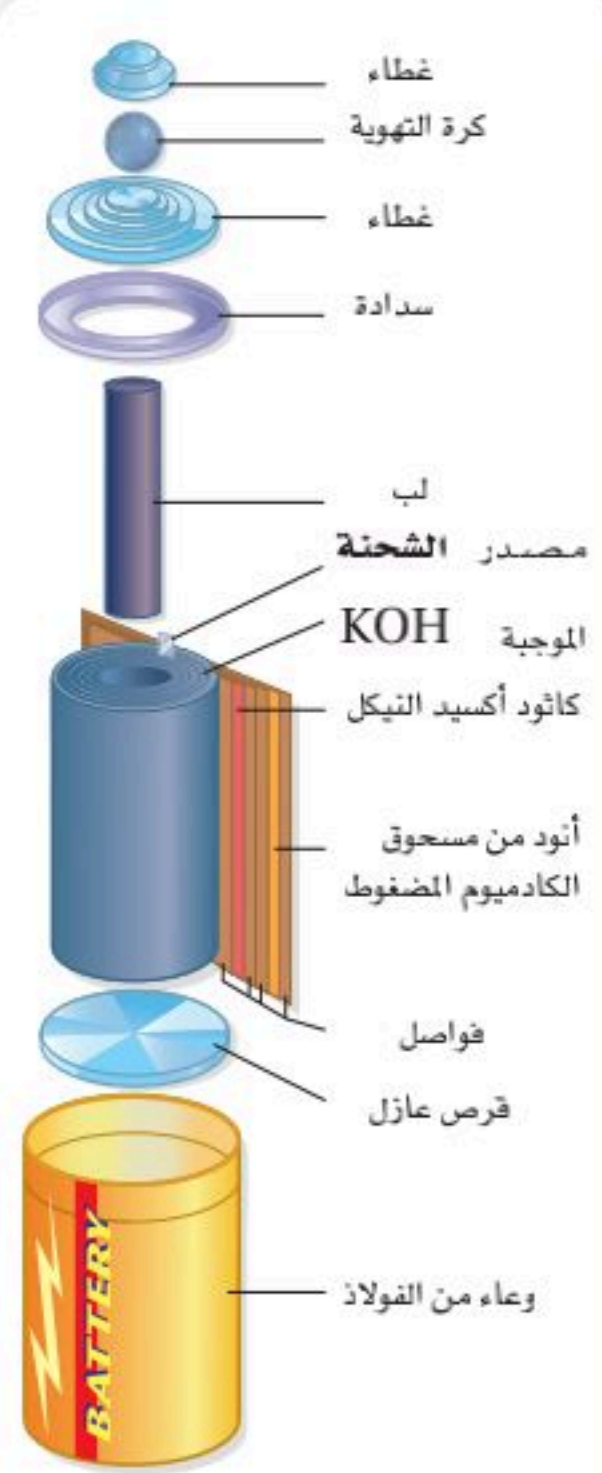
ويختزل الرصاص من حالة تأكسد +4 إلى +2 عند الكاثود، ويمثل تفاعل الاختزال لنصف الخلية عند الكاثود كما يلي:



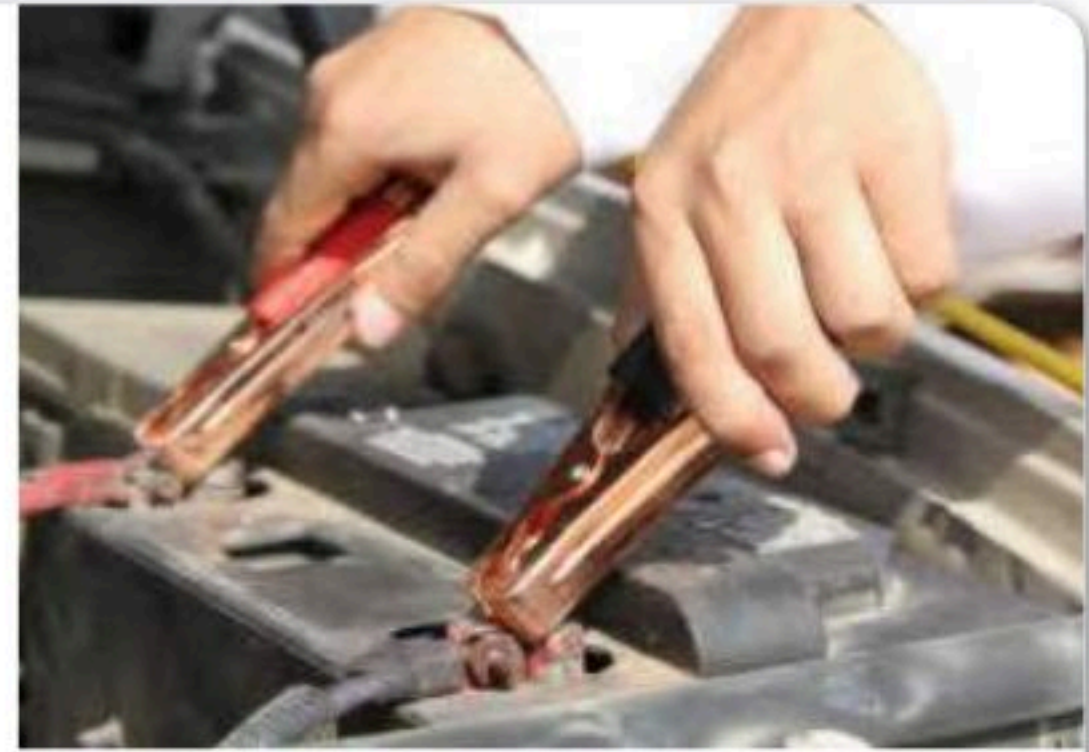
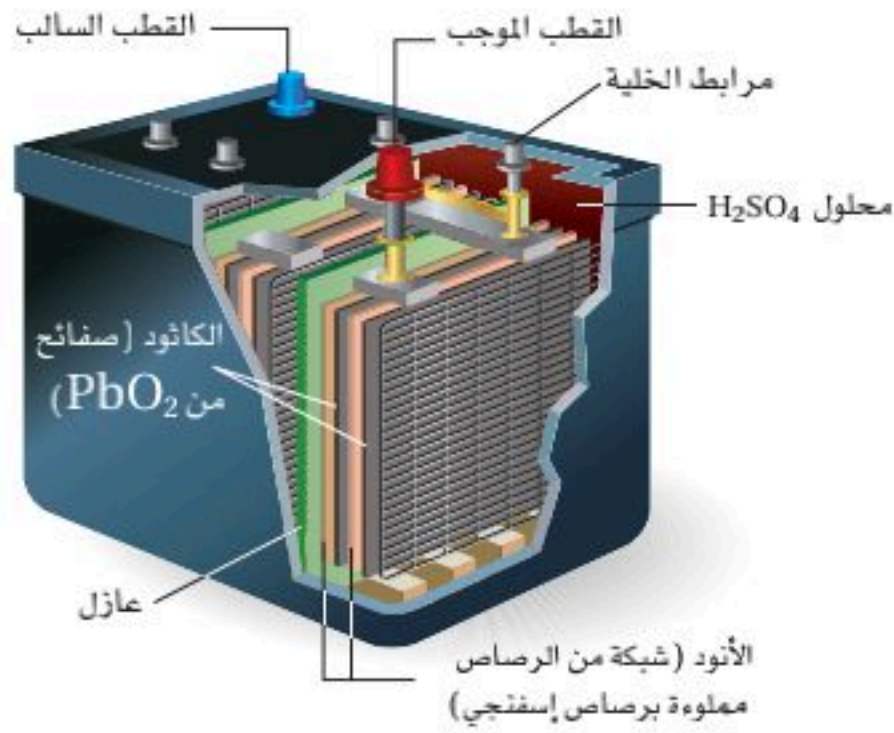
لذا فإن التفاعل الكلي هو:



وبالنظر إلى تفاعلات نصفي الخلية يمكنك ملاحظة أن كبريتات الرصاص  $\text{PbSO}_4$  II



**الشكل 10-4** 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.



تحتوي بطاريات المركب الرصاصي على صفائح من الرصاص وأكسيده، والمحلول الموصل عبارة عن محلول حمض الكبريتيك، وعند استعمال البطارية يُستهلك الحمض ويصبح المحلول الموصل أقل كثافة.

يسبب انخفاض مستوى المحلول الموصل نفاذ شحنة البطارية، وتقوم أسلاك الشحن بنقل التيار من سيارة بها بطارية جيدة وذلك لإعادة شحن البطارية المستهلكة.

**الشكل 11-4** تستهلك بطاريات المركب الرصاصي المستعملة في السيارات عند تشغيل السيارة، وتُشحن عندما يعمل المحرك.

هي ناتج الأكسدة والاختزال. وكذلك فإن كلاً من  $PbO_2$  و  $Pb$  و  $PbSO_4$  مادة صلبة، لذا تبقى في مكان تكونها نفسه. ولذلك تكون المواد المتفاعلة في الأماكن المطلوبة سواء أكانت البطارية في حالة استعمال أو شحن.

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 عكسياً؛ 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 11-4 اختياراً جيداً للسيارات؛ لأنها تزود المحرك بطاقة ابتدائية عالية جداً في البداية، ولها زمن حفظ طويل قبل البيع، ويُعتمد عليها عند انخفاض درجات الحرارة.

✓ **ماذا قرأت؟ حدد** المواد التي تتأكسد والمواد التي تختزل عند شحن بطارية المركب الرصاصي.

## بطاريات الليثيوم Lithium Batteries

على الرغم من أن بطاريات المركب الرصاصي موثوق بها ومناسبة للكثير من التطبيقات، فما زال المهندسون يطورون بطاريات بكتلة أقل وقدرة أكبر لتزويد الأجهزة بالطاقة؛ بدءاً من ساعة اليد إلى السيارات الكهربائية. وفي التطبيقات التي تكون فيها البطارية هي المكون الأهم ويجب تزويدها بكميات كبيرة من القدرة - كما في عملية تشغيل السيارات الكهربائية - تكون بطاريات المركب الرصاصي ثقيلة جداً، لذا 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، وأن له أقل جهد اختزال قياسي بالنسبة إلى العناصر الفلزية الأخرى  $3.04 V$  - كما في الجدول 1-4. لذا تولد البطارية التي تؤكسد الليثيوم على الأنود  $2.3 V$  تقريباً أكثر من البطاريات المشابهة، وتؤدي إلى تأكسد الخارصين.

### المفردات

#### أصل الكلمة

السعة (Capacity):

من أصل لاتيني وتعني القدرة

على الاستيعاب أو الاحتواء.....



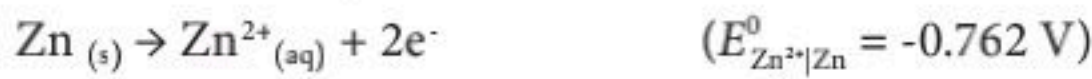


تنتج بطاريات الليثيوم عادة 3 و9 فولت، ولها عدة أحجام لتناسب الأجهزة المختلفة



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

قارن بين نصف تفاعل التأكسد للخارصين والليثيوم وجهود اختزالهما القياسية.



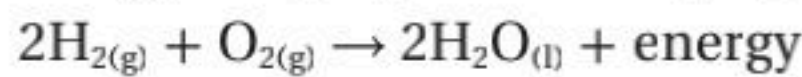
$$E_{\text{Zn}^{2+}|\text{Zn}}^0 - E_{\text{Li}^+|\text{Li}}^0 = +2.28 \text{ V}$$

يمكن لبطاريات الليثيوم أن تكون أولية أو ثانوية اعتماداً 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  $\text{MnO}_2$  إلى أكسيد المنجنيز III  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ، وتنتج هذه البطاريات تياراً إذا جهد يساوي 3V مقارنة بـ 1.5 V لخلايا الخارصين والكربون. وتستمر بطاريات الليثيوم فترة أطول من أنواع البطاريات الأخرى. ونتيجة لذلك تستعمل عادة في الساعات والحواسيب وآلات التصوير للحفاظ على الزمن والتاريخ والذاكرة والاستعدادات الشخصية حتى إطفاء الجهاز. والشكل 12-4 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.



فهل يمكن أن يحدث هذا التفاعل تحت ظروف مضبوطة داخل الخلية؟

**الربط الفيزياء** **خلية الوقود** 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 عُرِضت عام 1839م عن طريق عالم الكيمياء الكهربائي البريطاني وليام جروف William Grove والذي سمى خليته بطارية الغاز. وقد بدأ بعض العلماء عملاً جاداً في خمسينيات القرن الماضي لتطوير خلايا وقود عملية ذات كفاءة لإبرامج الفضاء. وإذا كان على رواد الفضاء الطيران في سفن فضائية فإنهم يحتاجون إلى الماء للمحافظة على حياتهم في السفينة، ومصدر كهربائي موثوق به لتزويد أنظمة السفينة المختلفة

**الشكل 12-4** الصفات التي تجعل

بطاريات الليثيوم الاختيار الأمثل

للعديد من الاستعمالات هي خفة

الوزن وطول العمر والجهد العالي.

## واقع الكيمياء في الحياة

### خلايا الوقود



**التقليل من التلوث** تعد السيارات

من أكبر مصادر تلوث الهواء في المدن.

وقد أدى تزويد حافلات - تحت التجربة

في بعض المدن الأوربية - بخلايا وقود

الهيدروجين إلى 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.

## مهمن في الكيمياء

### اختصاصي الطاقة البديلة

إذا كنت ترغب في اختراع أشياء جديدة وجعلها تعمل فقد تكون مهتمًا 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.

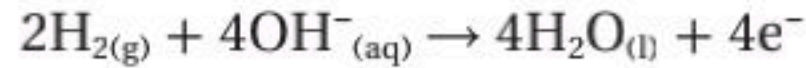
### الشكل 4-13

**a.** يكون الهيدروجين هو الوقود. ويتم فصل نصفي التفاعل بواسطة غشاء لتبادل البروتونات؛ حيث تتدفق الإلكترونات المفقودة 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.

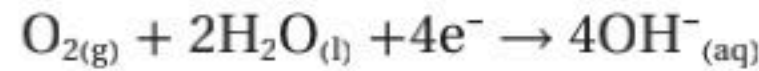
**b.** يمكن لخلايا الحزمة من نوع PEM إنتاج طاقة كافية لتشغيل سيارة كهربائية.

بالكهرباء. والحاجتان السابقتان كلتاهما 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.

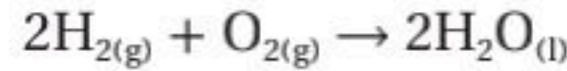
**كيف تعمل خلية الوقود؟** خلية الوقود - كما في الخلايا الجلفانية الأخرى - أنود وكاثود، وتتطلب محلولاً موصلًا؛ حتى تستطيع الأيونات الانتقال بين الأقطاب. والمحلول الموصل الشائع في خلية الوقود محلول قلوي من هيدروكسيد البوتاسيوم. وكل قطب عبارة عن وعاء أجوف، جدرانها من كربون مسامي تسمح بالاتصال بين الحجرة الداخلية والمحلول الموصل المحيط بها. ويكتب نصف تفاعل الأكسدة للخلية على الأنود على النحو الآتي:



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:



تختزل الإلكترونات الأكسجين عند وجود الماء لإنتاج 4 أيونات هيدروكسيد تعمل على تعويض أيونات الهيدروكسيد المستخدمة عند الأنود. وعند جمع معادلتي نصفي التفاعل تكون المعادلة الكلية هي نفس معادلة احتراق الهيدروجين في الأكسجين.

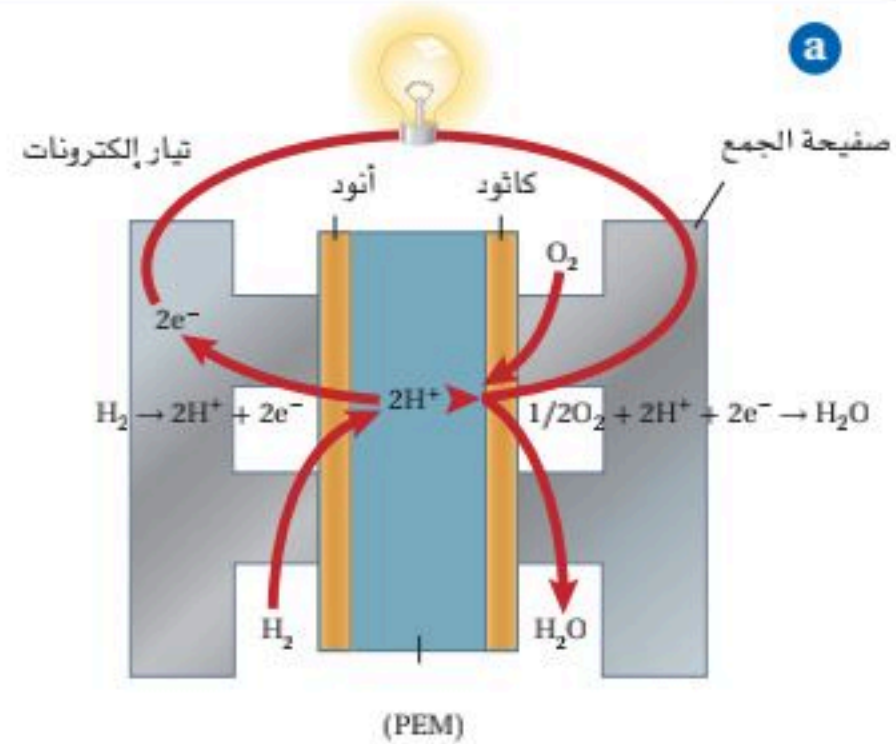


ولما كانت الخلية تزود بالوقود من مصدر خارجي فإن خلية الوقود لا تنفذ مثل سائر البطاريات؛ حيث تستمر في إنتاج الكهرباء ما دام الوقود متوافرًا.

وتستخدم بعض الخلايا وقودًا غير الهيدروجين. فمثلًا يستبدل الهيدروجين بالميثان في بعض الخلايا إلا أنه قد يؤدي إلى إنتاج ثاني أكسيد الكربون كغاز الدفيئة. وتستعمل خلايا الوقود، كما في الشكل 4-13، صفيحة بلاستيكية تسمى غشاء تبادل البروتون (PEM) proton - exchange membrane، مما يستبعد الحاجة إلى محلول موصل سائل.

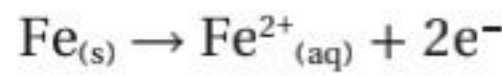
✓ **ماذا قرأت؟** قارن خلايا الوقود بغيرها من الخلايا الجلفانية.

### خلية وقود

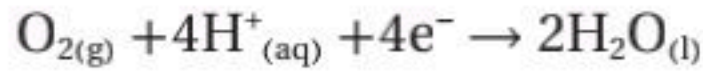


## التآكل Corrosion

من المعروف أن تفاعلات الأكسدة والاختزال التلقائية تحدث في الخلايا الجلفانية، كما تحدث في الطبيعة أيضاً بشكل تلقائي، 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 تعقيداً. 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 14-4؛ 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 15-4.

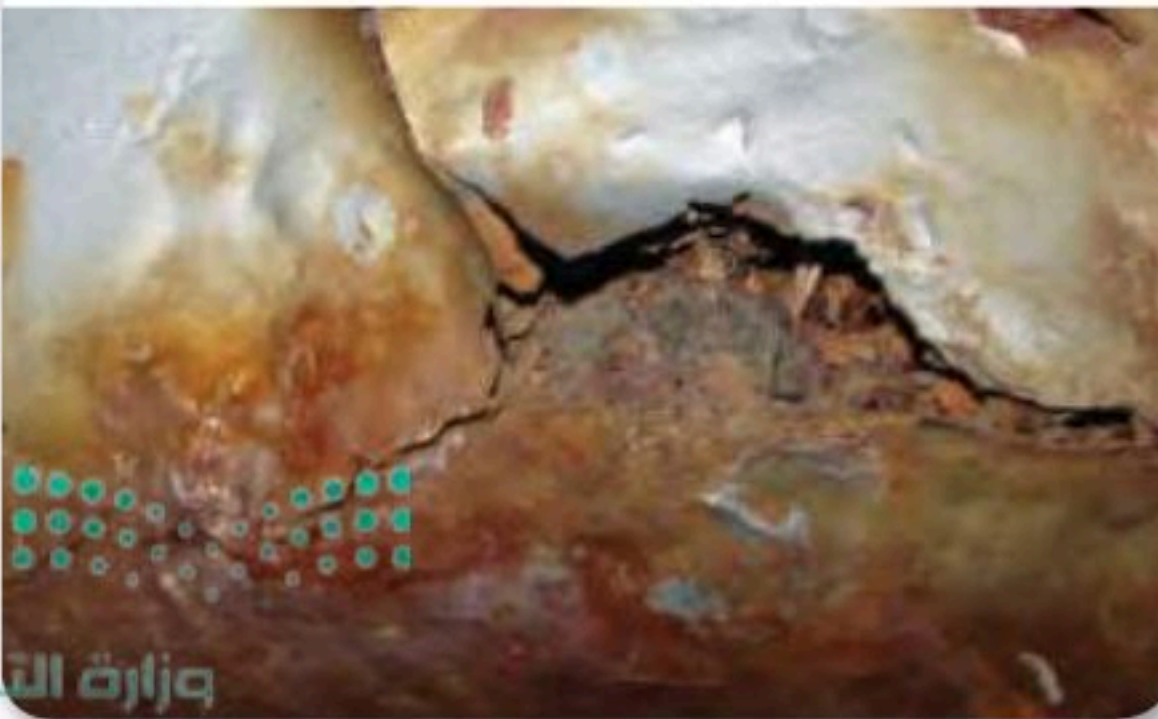


وتصبح أيونات الحديد II جزءاً من المحلول المائي، في حين تتحرك الإلكترونات خلال القطعة الحديدية إلى منطقة الكاثود، فتصبح القطعة الحديدية هي الدائرة الخارجية والأنود في آن واحد. ويقع الكاثود عادة على حافة قطرة الماء، حيث يتم الاتصال بين الماء والهواء وقطعة الحديد. وهناك تختزل الإلكترونات الأكسجين من الهواء، كما في المعادلة الآتية:



ويتم تزويد أيونات  $\text{H}^{+}$  على الأرجح من تكوّن حمض الكربونيك الناتج عن ذوبان  $\text{CO}_2$  من الهواء في الماء. ثم تتأكسد أيونات

**الشكل 14-4** يتأكسد الحديد ببطء عند تركه مكشوفاً ومعرضاً للهواء والرطوبة مكوناً الصدأ ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).



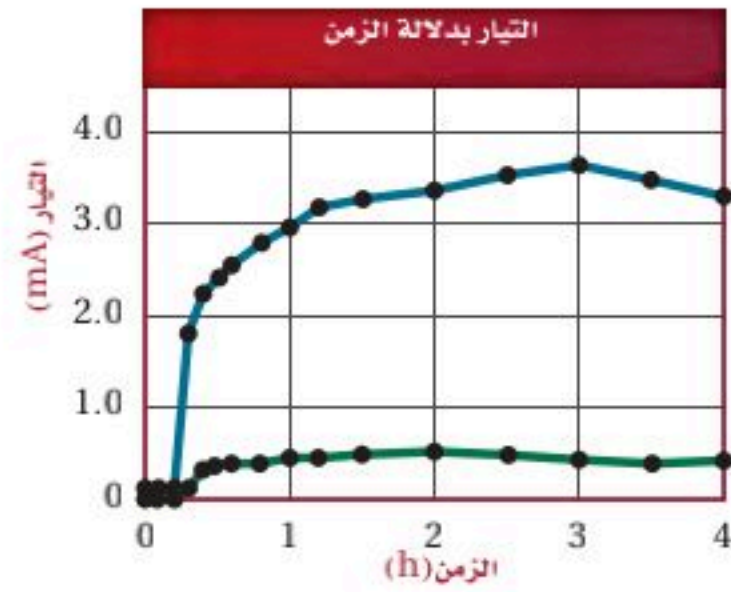
## مختبر تحليل البيانات

### تفسير الرسوم البيانية

كيف يمكنك الحصول على التيار الكهربائي من الميكروبات؟ درس العلماء استعمال الميكروبات كخلايا وقود حيوية؛ حيث تحول هذه الخلايا الطاقة الأيضية الميكروبية بصورة مباشرة إلى طاقة كهربائية. ويسهل إلكترون وسيط انتقال الإلكترونات إلى القطب. والإلكترون الوسيط عبارة عن مركب يدخل ضمن سلسلة انتقال الإلكترون للخلايا ويسرق الإلكترونات المنتجة.

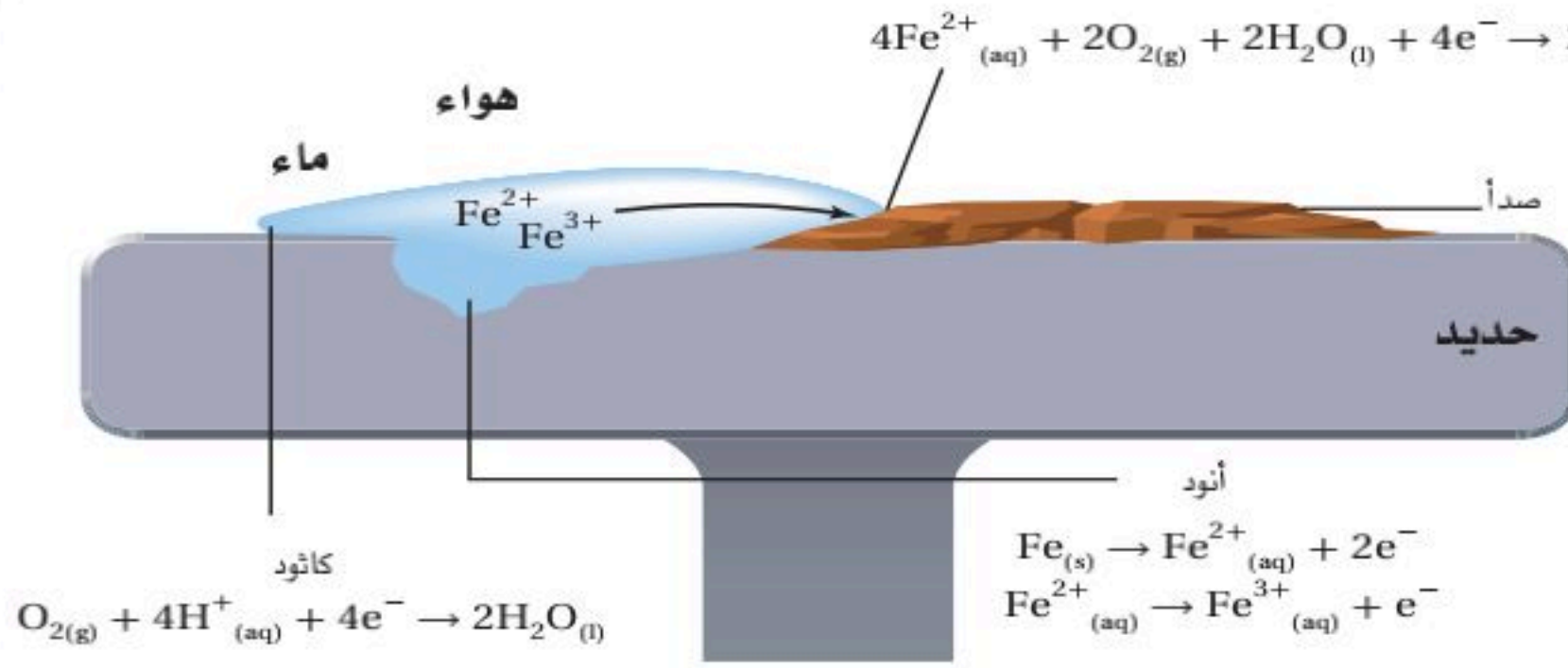
### البيانات والملاحظات

يوضح الرسم البياني التيار الناتج عن خلية وقود حيوية باستعمال إلكترون وسيط (الخط الأزرق)، ومن دون استعماله (الخط الأخضر).

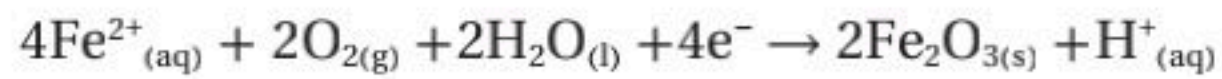


### التفكير الناقد

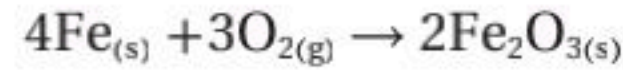
1. استنتج الزمن التقريبي لإدخال الإلكترون الوسيط.
2. حدّد هل أحدث إدخال الإلكترون الوسيط اختلافاً في إنتاج التيار؟ فسّر إجابتك.
3. حلّل ما أعلى شدة تيار تم الحصول عليها من الخلية؟



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  $Fe_2O_3$ :



وعند جمع المعادلات الثلاث تنتج المعادلة الكلية لتفاعل الخلية لتآكل الحديد:



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 أسرع؛ لأن الماء يصبح محلولاً موصلاً جيداً.

**منع التآكل** لما كان تآكل السيارات والجسور والسفن وهياكل المباني الفولاذية والعديد من الأشياء الفلزية يكلف أكثر من 100 بليون دولار من الخسائر سنوياً في الولايات المتحدة، لذا تم ابتكار طرائق عديدة لتقليل هذا التآكل. ومن هذه الطرائق عمل غطاء من الطلاء لعزل الماء والهواء. ونظراً لأن الطلاء يتلف مع الزمن، كالجسر الذي في الشكل 4-16 مثلاً، فإنه يجب إعادة طلاؤه مرات عديدة.



الشكل 4-16 لما كان التآكل يسبب الكثير من الضرر، 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، وغلف مسمارين بشريط ماغنسيوم، وغلف مسمارين آخرين بقطع من النحاس، وتأكد من إحكام لف المسامير حتى لا تنزلق.

3. ضع المسامير في كؤوس منفصلة، وأضف ماء مقطرًا إلى أحد المسمارين الملفوفين بالماغنسيوم وأحد المسمارين الملفوفين بالنحاس. وأضف كمية ماء كافية حتى تغمر المسمارين، ثم أضف ماء مالحة إلى الكأسين الآخرين، 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

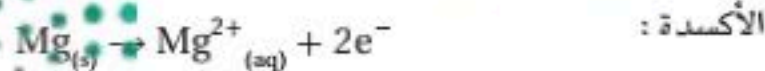
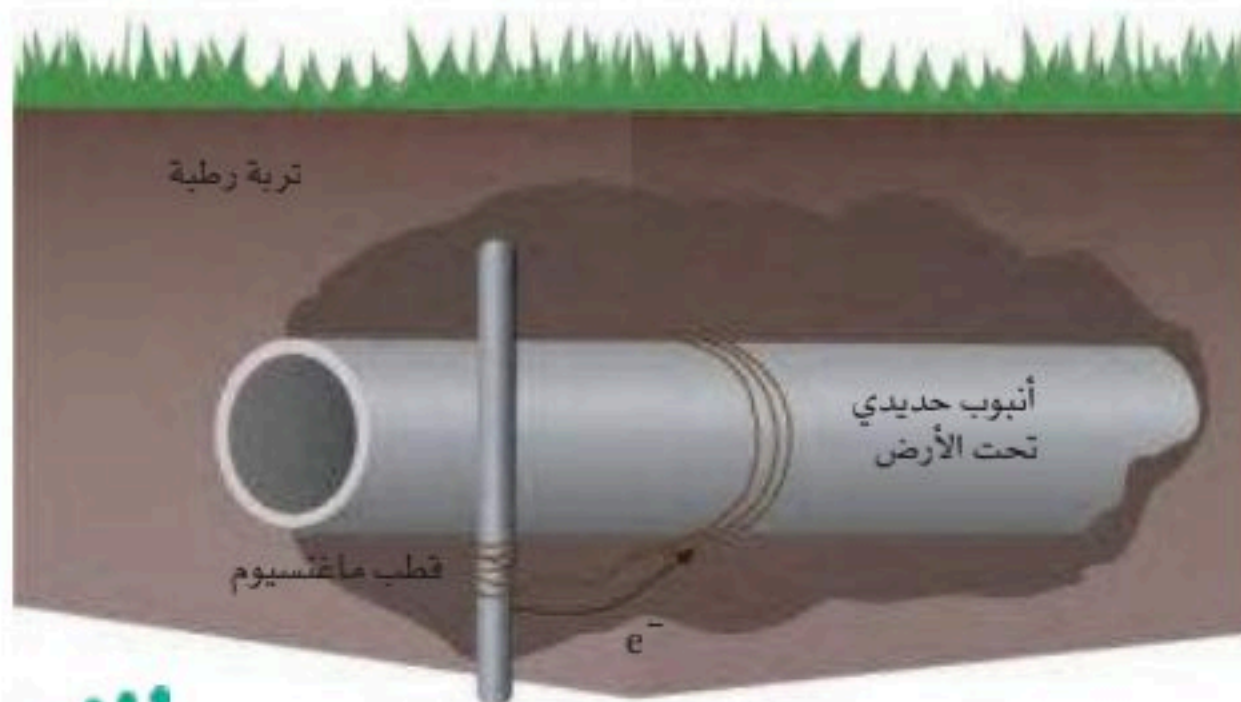
1. صف الاختلاف بين المسامير الملفوفة بالنحاس في الماء المقطر والماء المالح بعد تركها خلال الليل.

2. صف الاختلاف بين المسامير الملفوفة بالماغنسيوم في الماء المقطر والماء المالح بعد تركها خلال الليل.

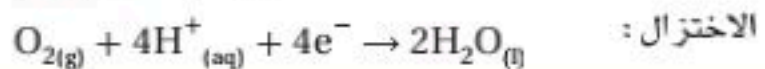
3. فسّر الاختلاف بين المسامير الملفوفة بالنحاس والمسامير الملفوفة بالماغنسيوم.

لما كانت هياكل السفن تتصل بصورة دائمة بالماء المالح، لذا فإن منع التآكل شيء ضروري. وعلى الرغم من إمكانية طلاء الهيكل إلا أن هناك طريقة أخرى تستعمل في تقليل التآكل؛ حيث توصل كتل من الفلز مثل الماغنسيوم 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 الماغنسيوم بواسطة أسلاك بالأنايب، فيتآكل الماغنسيوم بدلاً من الأنايب، كما في الشكل 4-17.

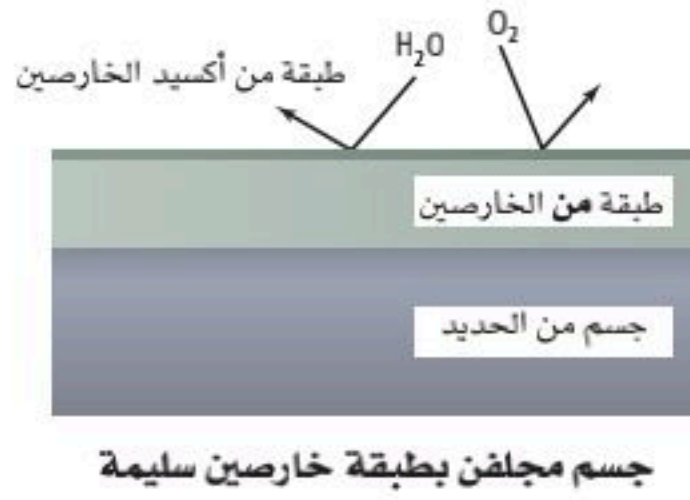
**الشكل 4-17** يستعمل الماغنسيوم أو أي فلز نشط آخر لمنع التآكل؛ إذ يتأكسد الماغنسيوم الملفوف حول أنابيب الحديد المدفونة في الأرض أولاً، مما يساعد على منع تآكل الأنايب.



الأكسدة:

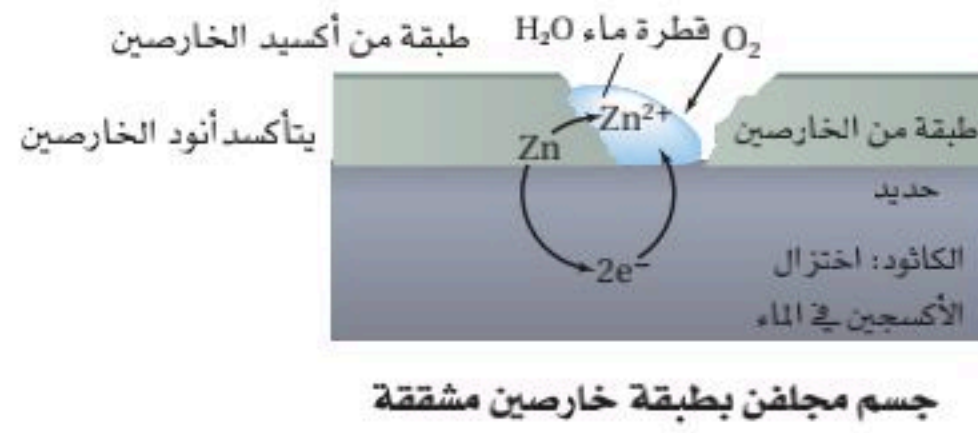


الاختزال:



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.

الشكل 4-18 تساعد الجلفنة على منع التآكل بطريقتين.

والطريقة الأخرى لمنع التآكل هي **الجلفنة**؛ إذ يتم بها تغليف الحديد بفلز أكثر مقاومة للتأكسد. وكمثال على ذلك يتم تغليف الحديد بطبقة من الخارصين؛ إما عن طريق غمس القطعة الحديدية بمصهور الخارصين، وإما بطلاء الجسم بالخارصين كهربائياً. وعلى الرغم من أن الخارصين يتأكسد أسهل من الحديد إلا أنه أحد العناصر التي تحمي نفسها، وتتضمن الألومنيوم والكروم. فعند تعرضها للهواء يتأكسد سطحها مكوناً طبقة رقيقة من أكسيد الفلز تحمي الفلز من التأكسد مرة أخرى. وتحمي الجلفنة الحديد بطريقتين ما دامت طبقة الخارصين سليمة؛ إذ لا تمكن 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 ملاصقة الهواء والماء للحديد والخارصين في الوقت نفسه. ويوضح الشكل 4-18 كيف تعمل طريقتا الحماية من التآكل.

## التقويم 4-2

### الخلاصة

- 15. الفكرة الرئيسية: حدد ما الذي يتأكسد؟ وما الذي يختزل في بطارية الخلية الجافة الخارصين والكربون؟ وما الخواص التي تجعل الخلية الجافة القلوية أكثر تطوراً 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 قطباً مضحياً. وفيم يتشابه عمله مع الجلفنة؟
  - 19. فسر لماذا يعد الليثيوم اختياراً جيداً ليكون أنوداً للبطارية؟
  - 20. احسب باستعمال بيانات الجدول 1-4 جهد خلية وقود الهيدروجين-الأكسجين الموضحة في صفحة 138.
  - 21. صمّم تجربة استخدم معرفتك بالأحماض في ابتكار طريقة لتحديد ما إذا كان المركب الرصاصي مشحوناً بصورة كاملة أم أن شحنه بدأ يتفقد.
- تستخدم البطاريات الأولية مرة واحدة فقط، ولكن يمكن شحن البطاريات الثانوية.
  - تُزوّد البطارية عند شحنها بطاقة كهربائية تعكس اتجاه تفاعل البطارية التلقائي.
  - خلايا الوقود بطاريات تكون فيها المادة المتأكسدة وقوداً من مصدر خارجي.
  - طرائق الحماية من التآكل هي: الطلاء، أو التغليف بفلز آخر، أو استعمال أنود مضحّ.



## 4-3

### 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 الرئيسية** 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 تولد بطارية تياراً كهربائياً 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 19-4؛ 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 تلقائياً من جهة الخارصين إلى جهة النحاس مولدة تياراً كهربائياً. ويستمر التفاعل حتى تستهلك قطعة الخارصين أو تنفذ أيونات النحاس، وعندئذ 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 الخلية بطاقة خارجية لفترة زمنية كافية فسوف تعود البطارية إلى قوتها الأصلية تقريباً. 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.



الخلية الجلفانية  
تعمل أكسدة الخارصين في هذه الخلية على تزويد المصباح بالإلكترونات لإضاءته واختزال أيونات النحاس. ويستمر التفاعل التلقائي حتى يستهلك الخارصين.

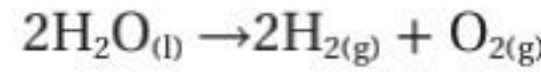


خلية التحليل الكهربائي  
عندما يتم تزويد الخلية بطاقة خارجية ينعكس تدفق الإلكترونات ويحدث التفاعل غير التلقائي، الذي يستعيد الوضع الأصلي للخلية.

**الشكل 19-4** 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

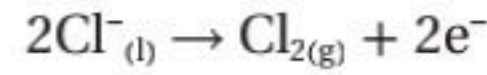
تقوم الخلايا الجلفانية بتحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية نتيجة تفاعل الأكسدة والاختزال التلقائي. وتعمل خلايا التحليل الكهربائي على عكس ذلك؛ حيث تستعمل الطاقة الكهربائية لإحداث تفاعل أكسدة واختزال غير تلقائي. ومن الأمثلة الشائعة التحليل الكهربائي للماء؛ حيث يعد هذا التفاعل عكس احتراق الهيدروجين في خلية الوقود:



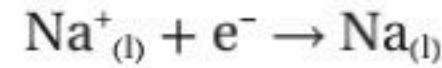
والتحليل الكهربائي للماء هو إحدى طرائق إنتاج الهيدروجين لاستعمالات تجارية.

**التحليل الكهربائي لمصهور NaCl** لما كان التحليل الكهربائي يستطيع تحليل الماء إلى عناصره، لذا فإنه يمكنه أيضاً 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 20-4؛ 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.

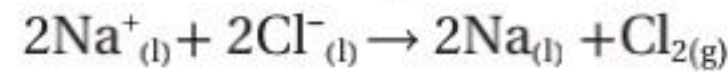
يتأكسد أيون الكلوريد عند الأنود إلى غاز الكلور  $\text{Cl}_2$ :



أما عند الكاثود فتختزل أيونات الصوديوم إلى فلز الصوديوم:



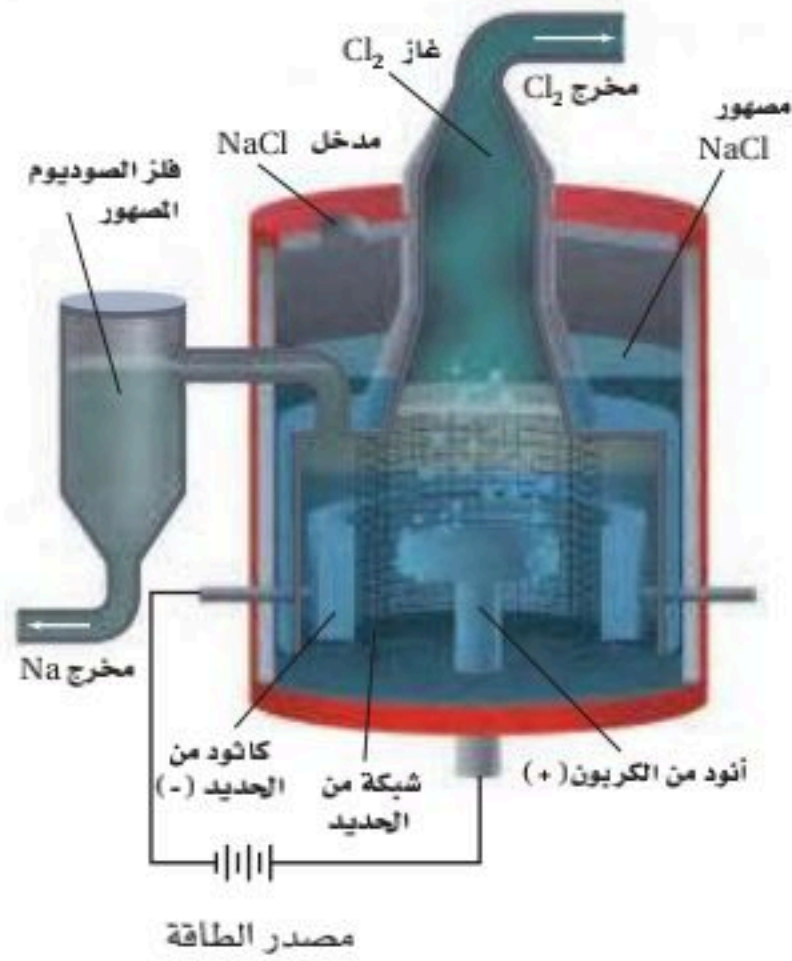
ويكون التفاعل الكلي للخلية كما يلي



ويمكن تقدير أهمية خلية داون بصورة ممتازة اعتماداً 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 - وخصوصاً المبيضات المنزلية - على مركبات الكلور. كما تُتخذ مركبات الكلور وسيلة لمعالجة الكثير من المنتجات، ومنها الورق والبلاستيك ومبيدات الحشرات والقماش والأصبغ والطلاء التي تحتوي على الكلور أو استعمل في إنتاجها.

ويستعمل الصوديوم في حالته النقية مبرداً في المفاعلات النووية، وفي مصابيح 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 مصهوراً في خلية داون؟



خلية داون Down's cell

الشكل 20-4 في خلية داون، تستخدم الإلكترونات التي يوفرها المولد لاختزال أيونات الصوديوم وعند انتزاع الإلكترونات من الأنود تتأكسد أيونات الكلوريد إلى غاز الكلور.

### المطويات

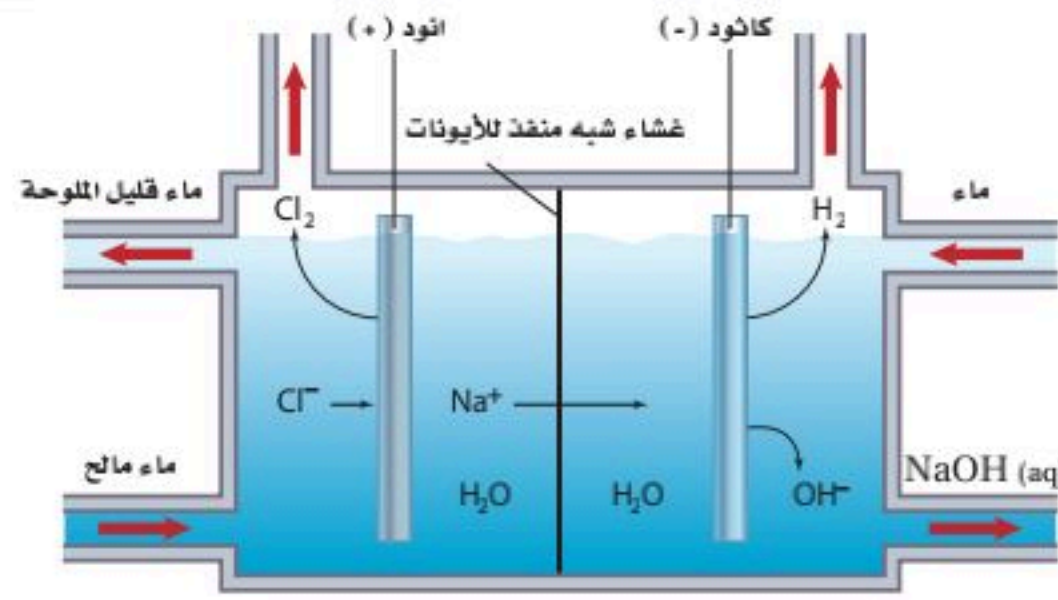
ضمّن مطويتك معلومات من هذا القسم.

### تجربة عملية

تحليل الماء كهربائياً

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية





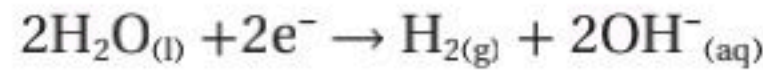
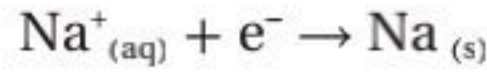
تقوم بعض الصناعات على استعمال غاز الهيدروجين والكلور ومحلول هيدروكسيد الصوديوم التي تنتج عن التحليل الكهربائي لماء البحر.



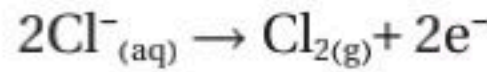
يستعمل الكلور في صناعة بوليمر كلوريد الفينيل الذي يستعمل في صناعة الأنابيب.

**الشكل 4-21** لا ينتج الصوديوم عن التحليل الكهربائي لماء البحر؛ لأن جزيئات الماء لديها ميل للاختزال أكثر من الصوديوم.

**التحليل الكهربائي لماء البحر** يتم تحليل ماء البحر - وهو محلول مائي لكلوريد الصوديوم - بواسطة التحليل الكهربائي أيضاً، ويوضح الشكل 4-21 خلية تحليل كهربائي نموذجية، ونواتج التحليل الكهربائي؛ حيث يوجد احتمال لحدوث تفاعلين عند الكاثود، هما: اختزال أيونات الصوديوم، أو الهيدروجين في جزيئات الماء.



إلا أن اختزال أيونات الصوديوم  $\text{Na}^+$  لا يحدث؛ بسبب أن اختزال أيونات الهيدروجين في الماء أسهل حدوثاً، ومن ثم يتم الاختزال التفضيلي. وكذلك هناك احتمال لحدوث تفاعلين عند الأنود، هما تأكسد أيونات الكلوريد، أو تأكسد الأكسجين في جزيئات الماء.



إلا أن تأكسد أيونات الأكسجين لا يحدث؛ بسبب أن تأكسد أيونات الكلوريد أسهل حدوثاً، لذلك يحدث تفاعل الأكسدة للكلور في جزيئات الماء. أما التفاعل الكلي للخلية فهو على النحو الآتي:



وتكون النواتج الثلاثة جميعها مواد ذات أهمية تجارية.

**✓ ماذا قرأت؟ حدّد** المواد 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 يُنقى بكميات كبيرة. قام تشارلز مارتن هول Charles Martin Hall وهو في سن 22 عاماً (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 أقطاباً. وفي الوقت نفسه اكتشف أحد طلبة لوتشاتيليه Lechatelie وهو هيروليت T. Heroult البالغ من العمر 22 عاماً أيضاً (1863-1914م) العملية نفسها. لذا تسمى هذه العملية هول-هيروليت.

## المفردات

الاستعمال العلمي مقابل

الاستعمال الشائع

يختزل Reduce:

الاستعمال العلمي: تقليل عدد

التأكسد بإضافة إلكترونات.

يختزل الحارصين أيونات النحاس

II إلى ذرات النحاس بفقدان

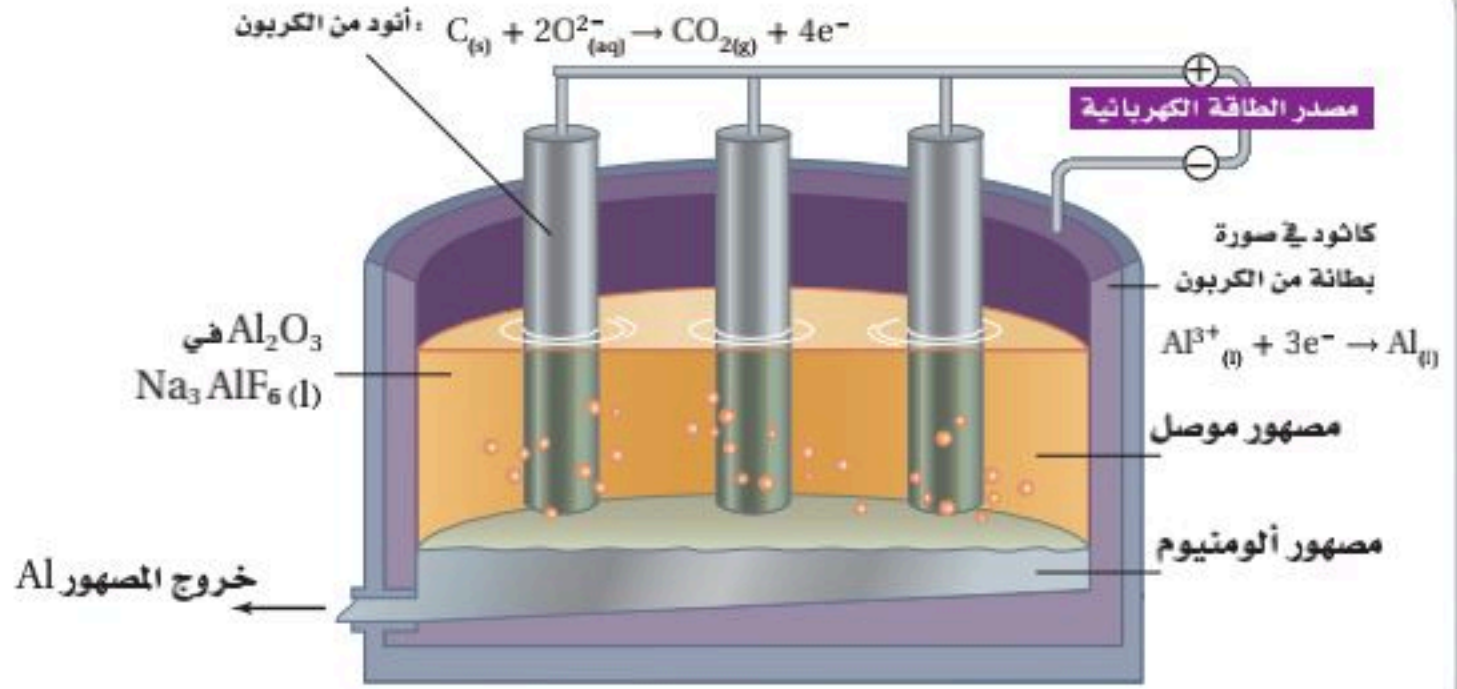
إلكترونين.

الاستعمال الشائع: تقليل الحجم

أو الكمية أو البعد أو العدد.....

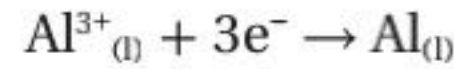


يوفر كل طن يعاد تدويره من الألمنيوم كميات كبيرة من الطاقة الكهربائية التي تستعمل في إنتاج ألومنيوم جديد من خاماته.

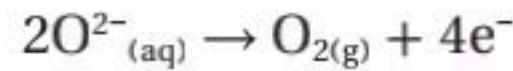


**الشكل 4-22** تتم عملية هول - هيروليت عند درجة  $1000^{\circ}\text{C}$  في مصهر مشابه لهذا . ويستعمل الجرافيت أنوداً وكاثوداً . وتتم إضافة الألومنيوم المعاد تدويره إلى الخليّة مع الألومنيوم لتساعد على خفض درجة الانصهار.

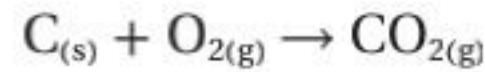
وهي موضحة في الشكل 4-22. يتم الحصول على فلز الألمنيوم في النموذج الحديث لطريقة هول-هيروليت من التحليل الكهربائي لأكسيد الألمنيوم المستخلص من خام البوكسيت  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ؛ حيث يذوب أكسيد الألمنيوم عند  $1000^{\circ}\text{C}$  في مصهور الكريوليت الصناعي  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  الذي يعد مركباً آخر للألمنيوم؛ حيث تُغطى الخليّة من الداخل بطبقة من الجرافيت لتعمل عمل كاثود للتفاعل، كما في الشكل 4-22. وهناك مجموعة أخرى من أصابع الجرافيت تُغمس في المصهور وتعمل عمل الأنود، ومن ثم يحدث التفاعل الآتي عند الكاثود:



يستقر الألمنيوم المصهور في قاع الخليّة، ويسحب بصورة دورية. وتتأكسد أيونات الأكسيد عند الأنود في نصف التفاعل الآتي:



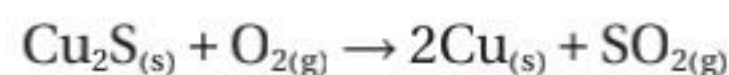
لما كانت درجات الحرارة عالية، لذا فإن الأكسجين الناتج يتفاعل مع كربون الأنود لتكوين ثاني أكسيد الكربون:



تستخدم عملية هول-هيروليت كميات ضخمة من الطاقة الكهربائية؛ لذا يتم إنتاج الألمنيوم في مصانع قريبة من محطات طاقة كهربائية؛ حيث تقل تكلفة الطاقة الكهربائية. والكمية الهائلة من الكهرباء التي يتطلبها إنتاج الألمنيوم من الخام هي السبب الأول لإعادة تدوير الألمنيوم، الذي كان قد حلّ كهربائياً من قبل، لذا فالطاقة الوحيدة اللازمة لجعله قابلاً للاستعمال هي الحرارة التي يتطلبها صهره في الفرن.

✓ **ماذا قرأت؟** فسر يجب استبدال قضبان الجرافيت (الأنود) باستمرار.

**تنقية الخامات** يستعمل التحليل الكهربائي أيضاً في تنقية الفلزات، ومنها النحاس. ويستخرج معظم النحاس على شكل خامات الكالكوبرايت  $\text{CuFeS}_2$  والكالكوسايت  $\text{Cu}_2\text{S}$  والملاكايت  $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ . وتعد الكبريتيدات أكثر توافراً، وتنتج فلز النحاس عند تسخينها بقوة في وجود الأكسجين.



تجربة  
عملية

الطلاء الكهربائي

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية



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 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 جزءاً من الكاثود، في حين تترسب الشوائب في قاع الخلية.

**الطلاء بالكهرباء** يمكن طلاء الأشياء كهربائياً 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 23-4، 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 طليت أجزاءها الفولاذية - مثل ماصات الصدمات - لتكون مقاومة للتآكل؛ حيث تطلّى بالنيكل أولاً ثم بالكروم.



**الشكل 23-4** 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.

## التقويم 3-4

### 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 الرئيسية** عرّف التحليل الكهربائي، واربطة 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-هيروليت.
- 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 1-4، وهل يجب أن يكون هذا الجهد موجباً أو سالباً؟
- 29.** لخص اكتب فقرة تتعلق بكل هدف من الأهداف الثلاثة للقسم 3-4 بلغتك الخاصة.

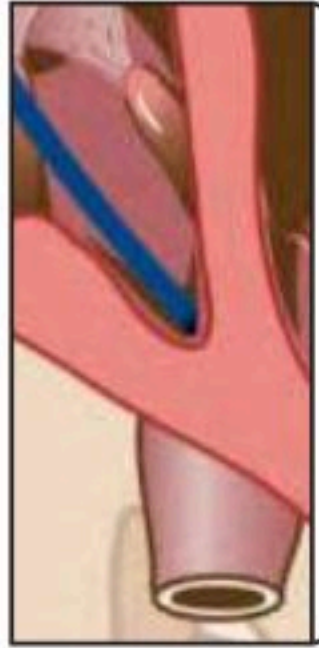
# كيف تعمل الأشياء؟

## 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؟

**2** الأسلاك معزولة، تحمل الإشارات الكهربائية بين القلب وجهاز تنظيم ضربات القلب، وتزرع في الأوعية الدموية، ومن ثم في حجرة القلب. ويستعمل الجهاز سلكاً أو سلكين أو ثلاثة، كل منها في حجرة مختلفة.

**1** منظم ضربات القلب جهاز يحتوي على بطارية وهوائي ودوائر حاسوبية، ويرتبط به سلك يوصل بقلب المريض. يزرع الجهاز تحت الجلد أسفل عظمة الترقوة. يتطلب استبدال الجهاز - نتيجة نفاذ البطارية أو عطل في الدوائر - عملية جراحية.



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 تنفذ تدريجياً، 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 فترة عن طريقة غيرت فيها التكنولوجيا الطبية حياتك أو حيات من تعرفه. كيف يمكن للتكنولوجيا الطبية أن تغير المستقبل؟



# مختبر الكيمياء

## قياس جهد الخلية الجلفانية

وإذا حصلت على قراءة مقياس فرق الجهد بالسالب فاعكس التوصيل.

5. سجّل 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. سجّل فرق الجهد لكل خلية.

7. التنظيف والتخلص من النفايات استعمل الملاقط لإزالة القطع الفلزية من طبق التفاعلات، ونظفها بورق الزجاج أو الصوف، ثم اغسلها بالماء.

### التحليل والاستنتاج

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 1-4، وسجّلها في الجدول.

2. احسب الجهد النظري لكل خلية جلفانية وسجّله.

3. توقع ترتيب الفلزات، بدءاً من أكثرها نشاطاً إلى أقلها، اعتماداً على بياناتك.

4. تحليل الخطأ احسب النسبة المئوية للخطأ، ولماذا تكون هذه النسبة مرتفعة في بعض الخلايا ومنخفضة في بعضها الآخر؟

### الاستقصاء

صمّم تجربة لتقليل النسبة المئوية للخطأ التي نوقشت في السؤال 4.

**الخلفية النظرية** عند توصيل نصفي خلية ينتج فرق جهد يمكن قياسه بالفولتметр.

**السؤال** كيف يقارن الجهد المقيس بالجهد المحسوب للخلية الجلفانية؟

### المواد والأدوات اللازمة

- قطع فلزية من النحاس والألومنيوم والخارصين والماغنسيوم قياسها (فولتметр)
- عدد 5 ماصات
- 1M نترات البوتاسيوم
- 1M نترات النحاس II
- 1M نترات الألومنيوم
- 1M نترات الخارصين
- 1M نترات الماغنسيوم
- طبق تفاعلات بلاستيكي ذو 24 فجوة
- ملاقط
- صوف أو ورق زجاج
- جدول جهود الاختزال القياسية



### خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. خَطِّط كيف تقوم بترتيب الخلايا الجلفانية باستعمال مجموع الفلزات الأربعة في طبق التفاعلات البلاستيكي (24 فجوة). دع معلمك يوافق على الخطة.
3. انقع قطعاً من ورق الترشيح في محلول نترات البوتاسيوم لانتخاذها قنطرة ملحية، وثبتها بملاقط.
4. ركب 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.

**الفكرة العامة** يمكن تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية، كما يمكن تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية.

#### 4-1 الخلايا الجلفانية

##### الفكرة الرئيسية

تحدث الأكسدة في الخلايا الجلفانية عند الأنود (المصعد) منتجة إلكترونات تتدفق نحو الكاثود (المهبط)، حيث يحدث الاختزال.

##### المفردات

- القنطرة الملحية
- الخلية الكهروكيميائية
- الخلية الجلفانية
- نصف الخلية
- الأنود
- الكاثود
- جهد الاختزال
- قطب الهيدروجين القياسي

##### المفاهيم الرئيسية

- يحدث تفاعل الأكسدة والاختزال في الخلايا الجلفانية على أقطاب منفصلة بعضها عن بعض.
- الجهد القياسي لنصف خلية التفاعل 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:

$$E^0_{\text{cell}} = E^0_{\text{cathode}} - E^0_{\text{anode}}$$

#### 4-2 البطاريات

##### الفكرة الرئيسية

البطاريات خلايا جلفانية تستعمل تفاعلات تلقائية لإنتاج الطاقة لأغراض متعددة.

##### المفردات

- البطارية
- الخلية الجافة
- البطارية الأولية
- البطارية الثانوية
- خلية الوقود
- التآكل
- الجلفنة

##### المفاهيم الرئيسية

- 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 (الجلفنة)، واستعمال الأنود المضحى.

#### 4-3 التحليل الكهربائي

##### الفكرة الرئيسية

يؤدي وجود مصدر تيار كهربائي في التحليل الكهربائي إلى حدوث تفاعل غير تلقائي في الخلايا الكهروكيميائية.

##### المفردات

- التحليل الكهربائي
- خلية التحليل الكهربائي

##### المفاهيم الرئيسية

- 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.
- تُنقى الفلزات ومنها النحاس بواسطة خلايا التحليل الكهربائي.
- يستعمل التحليل الكهربائي في طلاء الأجسام والأشياء وإنتاج الألومنيوم النقي من خامه.

## 4-1

## 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.

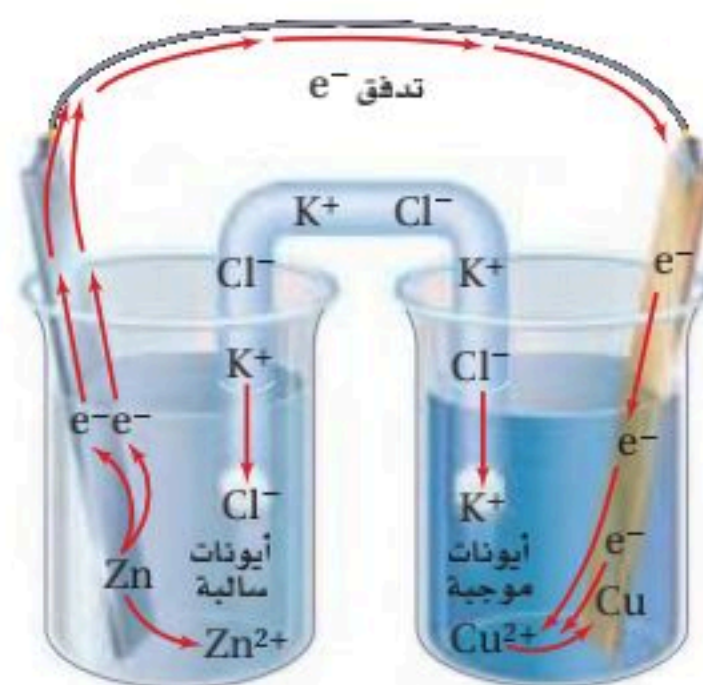
32. ما وظيفة القنطرة الملحية في الخلية الجلفانية؟

33. ما المعلومات اللازمة لتحديد الجهد القياسي للخلية الجلفانية؟

34. في الخلية الجلفانية الممثلة بالرموز الآتية:

$\text{Al}|\text{Al}^{3+}(\text{IM})||\text{Cu}^{2+}(\text{IM})|\text{Cu}$ ، ما الذي يتأكسد، وما الذي يختزل عندما يمر التيار في الخلية؟

35. عند أي ظروف يتم قياس جهد الاختزال القياسي؟



الشكل 4-24

36. حدّد كلاً من الفلز الذي يتأكسد والكاثود في الشكل 4-24.

37. تملأ القنطرة الملحية بـ  $\text{KNO}_3$ . فسّر لماذا يُعد من الضروري أن تتحرك أيونات البوتاسيوم عبر القنطرة الملحية إلى الكاثود؟

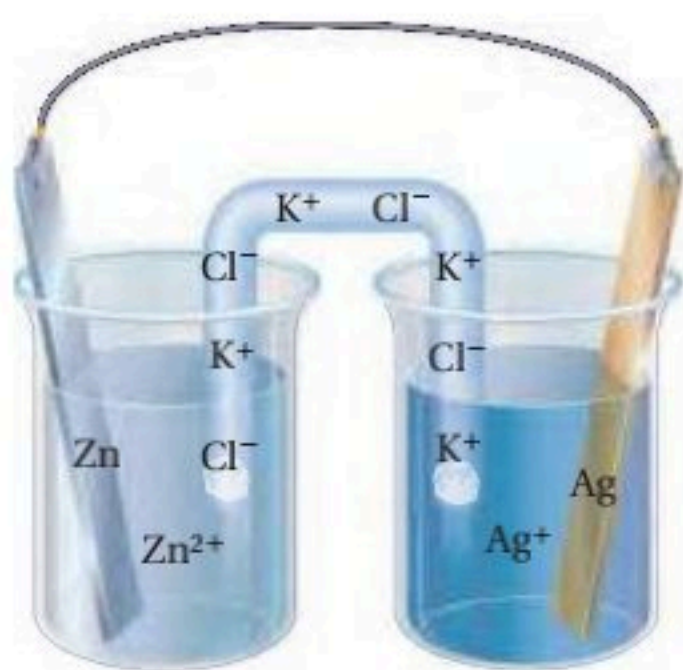
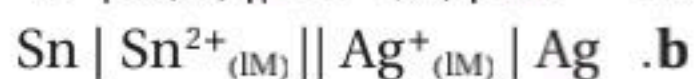
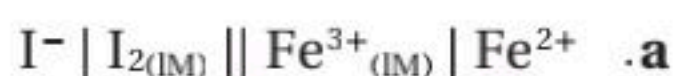
38. تذكر أن العامل المختزل هو المادة التي تتأكسد، وأن العامل المؤكسد هو المادة التي تختزل. استعمل الجدول 4-1 لاختيار العامل المؤكسد الذي سيحوّل  $\text{Au}^{3+}$  إلى  $\text{Au}$  ولا يحول  $\text{Co}^{2+}$  إلى  $\text{Co}^{3+}$ .

## إتقان حل المسائل

39. استعمل الجدول 4-1 في كتابة رمز الخلية القياسية لكل نصف خلية مما يأتي وموصلة بقطب الهيدروجين القياسي.



40. اكتب معادلة كيميائية موزونة لكل ترميز يمثل الخلايا القياسية الآتية:



الشكل 4-25

41. يوضح الشكل 4-25 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 4-1 في الإجابة عن الأسئلة الآتية:

- حدّد الأنود.
- حدّد الكاثود.
- أين تحدث الأكسدة؟
- أين يحدث الاختزال؟
- ما اتجاه مرور التيار خلال أسلاك التوصيل؟
- ما اتجاه مرور الأيونات الموجبة خلال القنطرة الملحية؟
- ما جهد الخلية عند  $25^\circ\text{C}$  و  $1\text{ atm}$ ؟

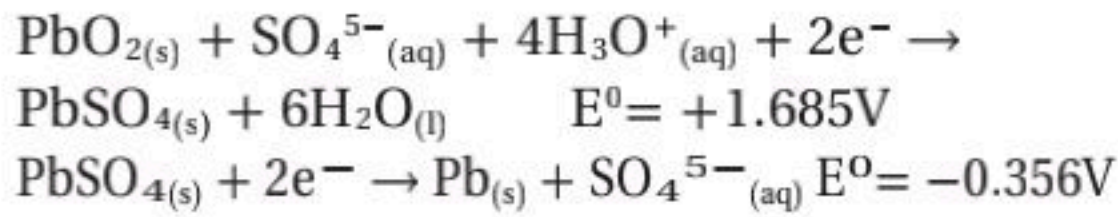


50. الصوف حزمة من الشعيرات الفولاذية المصنوعة من الفولاذ، وهي سبيكة من الحديد والكربون. ما أفضل طريقة لتخزين سلك المواعين المستعمل في غسل الأواني؟
- تخزينه في الماء.
  - تخزينه في الهواء الطلق.
  - تخزينه في وعاء التجفيف.

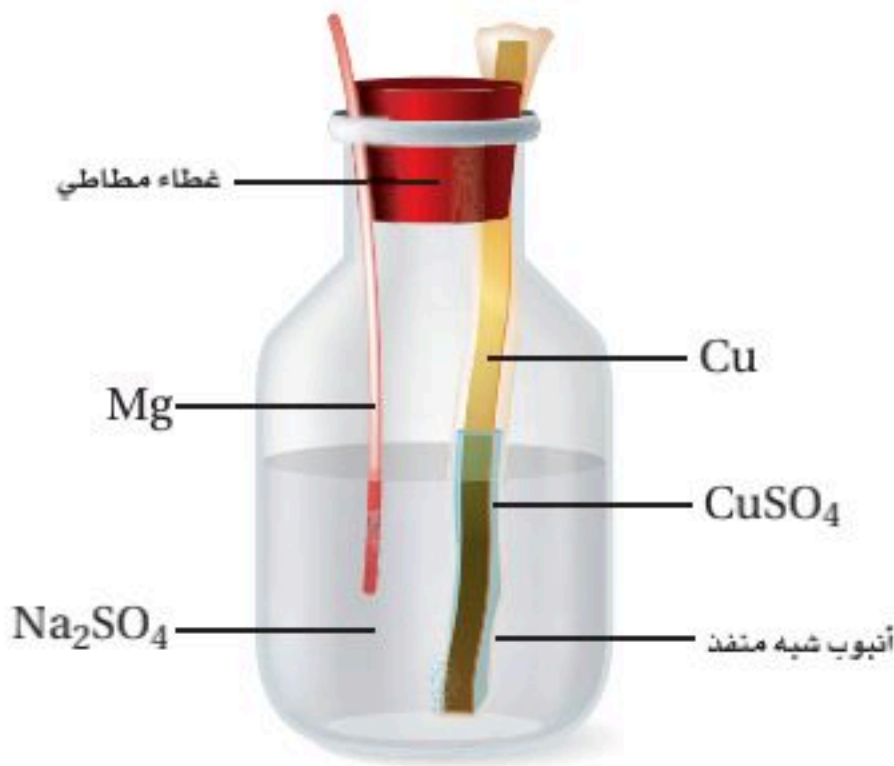
51. الحماية من التآكل اذكر ثلاث طرائق لحماية الفلز من التآكل؟

### إتقان حل المسائل

52. فيما يأتي أنصاف تفاعل بطاريات تخزين المراكم الرصاصية:



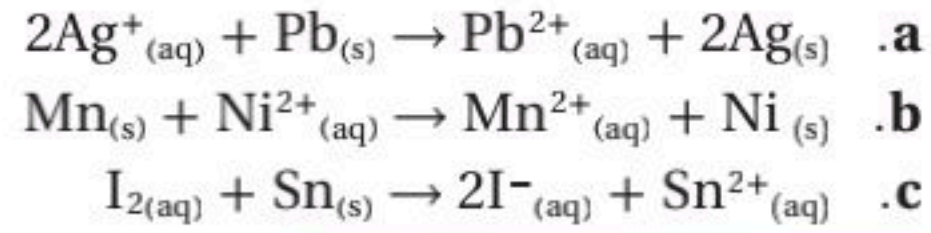
ما جهد الخلية القياسي لخلية واحدة في بطارية السيارة؟



الشكل 4-26

53. التركيب في الشكل 4-26 يعمل عمل بطارية.
- حدّد التفاعل الذي يحدث عند قطعة النحاس.
  - حدّد التفاعل الذي يحدث عند سلك الماغنسيوم.
  - حدّد الأنود.
  - حدّد الكاثود.
  - احسب جهد الخلية القياسي لهذه البطارية.

42. بالرجوع إلى الجدول 4-1، احسب جهد الخلية لكل من الخلايا الجلفانية الآتية:

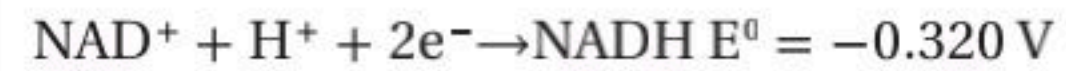


## 4-2

### 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؟

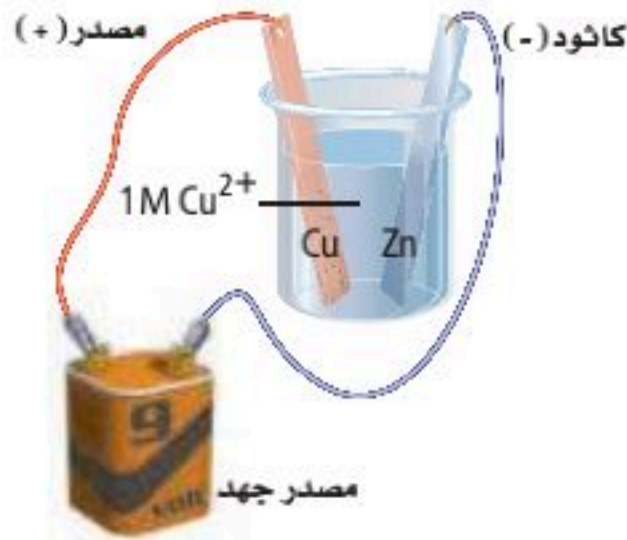
46. خلية الوقود الحيوي يختزل  $\text{Fe}^{3+}$  عند كاثود خلية الوقود الحيوي في بوتاسيوم سداسي سيانيد الحديد III ( $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ) إلى  $\text{Fe}^{2+}$  في بوتاسيوم سداسي سيانيد الحديد II ( $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ). ويختزل عند الأنود نيكوتين أميد - أدنين - ثنائي النيوكليوتيد ( $\text{NADH}$ ) الذي يتأكسد إلى  $\text{NAD}^+$ . استعمل جهود الاختزال القياسية الآتية لتحديد جهد الخلية:



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 تركيز  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ؟



الشكل 4-28

62. اعتماداً على الشكل 4-28، 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. مستعيناً بالشكل 4-28، فسّر ماذا يحدث لأيونات النحاس في المحلول؟

## مراجعة عامة

64. لماذا تتدفق الإلكترونات من قطب إلى آخر في الخلية الجلفانية؟
65. إنتاج الألومنيوم من المادة التي يتم تحليلها كهربائياً في العملية الصناعية لإنتاج فلز الألومنيوم؟
66. اكتب أنصاف تفاعل الأكسدة والاختزال للخلية الجلفانية فضة-كروم، وحدد 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.  $Pb^{2+}_{(aq)} + 2Cu^{+}_{(aq)} \rightarrow Pb_{(s)} + 2Cu^{2+}_{(aq)}$

54. إذا 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. فارسم البطارية، ثم اكتب أنصاف التفاعل التي تحدث في كل نصف خلية. ما أكبر جهد يمكن أن تنتجه هذه الخلية؟

## 4-3

## 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 4-27

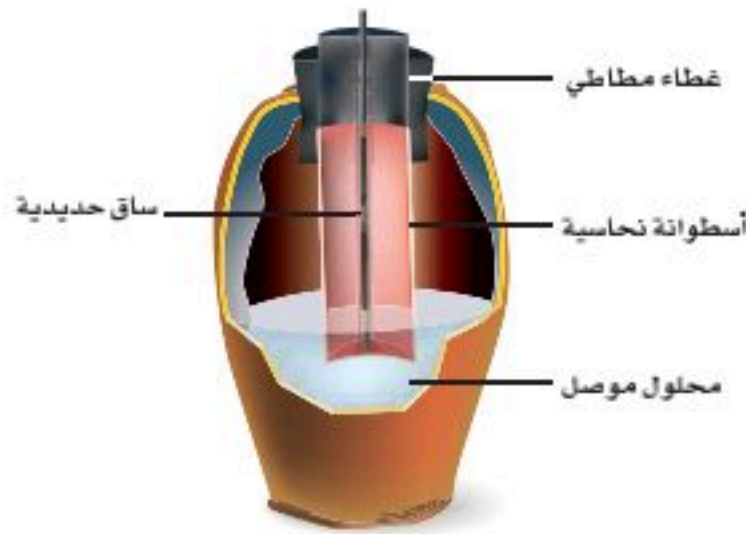
61. الطلاء بالكهرباء يوضح الشكل 4-27 مفتاحاً يُطلى كهربائياً بالنحاس في خلية تحليل كهربائي. فأين تحدث الأكسدة؟ فسّر إجابتك.

فما مقدار جهد قطب الهيدروجين إذا كان قطب النحاس هو القطب القياسي؟ وكيف يمكن أن تتغير العلاقات بين جهود الاختزال القياسية؟

76. طبق افتراض 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 4-30

78. حُلِّ 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 4-30. 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.

68. حدّد جهد الخلية المتكونة من كل نصف خلية مما يأتي مرتبطة مع نصف خلية  $Ag|Ag^+$ :

- a.  $Be^{2+}_{(IM)} | Be$   
b.  $S | S^{5-}_{(IM)}$   
c.  $Au^+_{(IM)} | Au$   
d.  $I_2 | I^-_{(IM)}$

69. التآكل فسّر لماذا يعد وجود الماء ضرورياً لحدوث تآكل الحديد؟

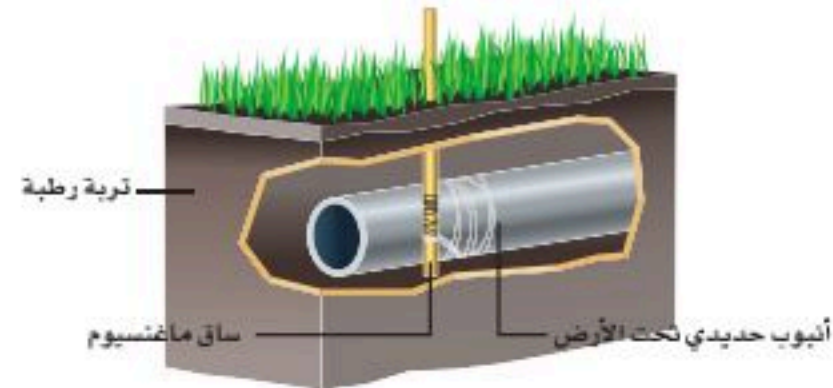
70. السفر عبر الفضاء تستخدم السفن الفضائية خلايا الوقود  $H_2/O_2$  في إنتاج الكهرباء.

- 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 أحياناً بطاريات التخزين، فما الذي يخزن في هذه البطاريات؟



الشكل 4-29

74. منع التآكل يوضح الشكل 4-29 كيف يتم حماية أنابيب الحديد المدفونة من التآكل؛ إذ توصل هذه الأنابيب بفلز أكثر نشاطاً يتآكل بدلاً من الحديد.

- a. حدّد الكاثود والأنود.  
b. فسّر كيف يعمل الماغنسيوم على حماية الأنابيب.

### التفكير الناقد

75. التوقع افتراض أن العلماء قد اختاروا نصف خلية  $Cu^{2+}_{(IM)} | Cu$  على أنها خلية قياسية بدلاً من نصف الخلية  $H^+_{(IM)} | H_2$ .

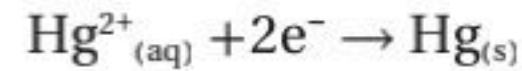
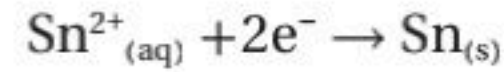
84. اعتمادًا على نموذج التصادم للتفاعلات الكيميائية، فسّر كيف يمكن لجزيئين أن يتصادما ولا يتفاعلا؟
85. عدد خمسة عوامل تؤثر في سرعة التفاعل.
86. يصل تفاعل التفكك  $A_2B \rightarrow 2A + B$  إلى الاتزان عند  $499^\circ\text{C}$ ، ويوضح تحليل خليط الاتزان أن  $0.855 \text{ mol/L} = [A_2B]$  و  $2.045 \text{ mol/L} = [A]$  و  $1.026 \text{ mol/L} = [B]$ . فما قيمة  $K_{eq}$ ؟
87. ما ذائبية يوديد الفضة  $\text{AgI}$  بوحدة  $\text{mol/L}$  إذا علمت أن قيمة  $K_{sp}$  لـ يوديد الفضة تساوي  $3.5 \times 10^{-15}$ ؟
88. إذا كان لديك محلول من حمض قوي، فهل يعني ذلك أن لديك محلولاً مركزاً من ذلك الحمض؟ فسّر إجابتك.
89. ما أعداد التأكسد لكل عنصر في الأيون  $\text{PO}_4^{3-}$ ؟

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؟ فسّر إجابتك.

### مسألة تحفيز

81. تم تركيب بطارية باستعمال القصدير والزنبق، وكانت أنصاف تفاعلات الاختزال فيها على النحو الآتي:



- 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 4-1.
- 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 الألومنيوم أكثر سخونة من الكرسي المصنوع من الخشب عند وضع الكرسيين تحت أشعة الشمس الفترة الزمنية نفسها.
83. علام تدل الإشارة السالبة للطاقة الحرة للتفاعل؟

$$\Delta G_{\text{system}} = \Delta H_{\text{system}} - \Delta T_{\text{system}}$$



## الجدول 4-2

E°	القطب
-0.4141	$2H^+_{(aq)} + 2e^- \rightarrow H_{2(g)}$
-0.320	$NAD^+ + H^+_{(aq)} + 2e^- \rightarrow NADH$
+0.19	$HOCCOCH_3^* + 2H^+_{(aq)} + 2e^- \rightarrow HOOCCHOHCH_3^{**}$
+0.769	$Fe^{3+}_{(aq)} + e^- \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)}$
+0.8147	$O_{2(g)} + 4H^+_{(aq)} + 4e^- \rightarrow 2H_2O_{(l)}$

\* حمض البيروفيك ( $HOCCOCH_3$ )

\*\* حمض اللاكتيك ( $HOOCCHOHCH_3$ )

92. اكتب نصفي التفاعل اللذين يحدثان في هذا التفاعل.

93. احسب جهد الخلية لهذا التفاعل باستعمال الجدولين 4-1 و 4-2.

94. هل يستطيع  $NAD^+$  أكسدة  $Fe^{2+}$  إلى  $Fe^{3+}$ ؟ فسّر إجابتك.

## تقويم إضافي

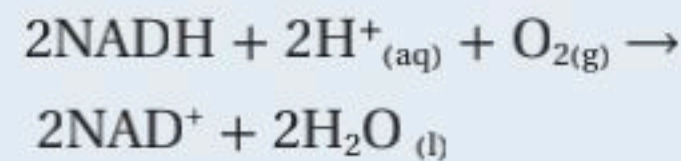
90. **الكتابة في الكيمياء** السفن الغارقة كشفت دراسة سفينة التيتانك الغارقة في المحيط مجالاً لاحتمال أن سبب تلف الهيكل الحديدي يعود جزئياً إلى وجود بيئات ملائمة للصدأ. ابحث كيف يؤدي هذا النشاط الحيوي إلى تأكسد الحديد، واكتب مقالا تصف فيه دور المجتمعات الملائمة للصدأ في تدمير التيتانك.

91. **العملات المعدنية الأثرية:** تتعرض العملات المعدنية الأثرية لعمليات الصدأ الذي ينتج عن تفاعل المعدن مع الأكسجين في وجود الرطوبة وعوامل مساعدة أخرى.

ابحث عن المواد التي صيغت منها العملات المعدنية، ولماذا تأكلت بصورة سيئة جداً؟ اكتب تقريراً تفسر فيه العمليات الكيميائية التي حدثت وجعلت العملات المعدنية الأثرية تبدو في هذه الصورة.

## أسئلة المستندات

التفاعلات البيولوجية الكهروكيميائية: يتضمن الجدول 4-2 قائمة بجهود الاختزال القياسية لبعض التفاعلات الحيوية المهمة، ويعد الأكسجين أقوى العوامل المؤكسدة الموجودة في الأنظمة الحيوية. تأمل تأكسد مادة نيكوتين أميد - أدنين - ثنائي النيوكليو تيد ( $NADH$ ) المختزلة بواسطة جزيء أكسجين، والذي يمكن تمثيله على النحو الآتي:





## أسئلة الاختيار من متعدد

استخدم الجدول الآتي للإجابة عن الأسئلة من 1 إلى 4.

جهود الاختزال القياسية لبعض أنصاف الخلايا عند 25°C و 1M	
الاسم	E° (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. اعتماداً 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 الماغنسيوم 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، فأى الخلايا الآتية تعطي جهداً مقداره 2.513 V؟

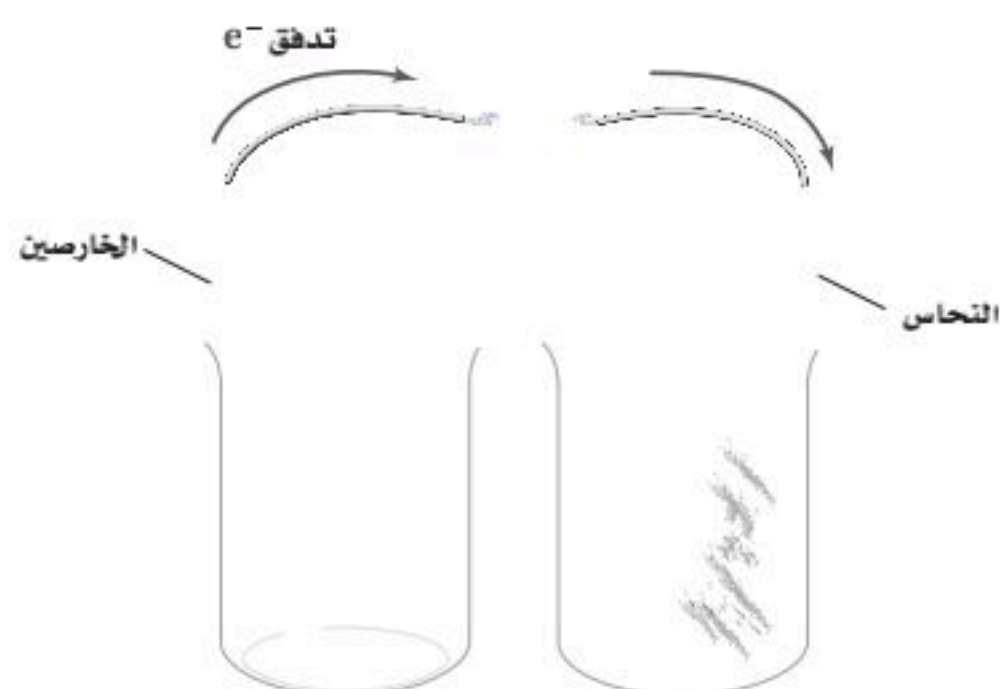
- a.  $Al | Al^{3+} || Hg^{2+} | Hg$   
b.  $Hg^{2+} | Hg || H_2 | H^{+}$   
c.  $Mg | Mg^{2+} || Al^{3+} | Al$   
d.  $Pb | Pb^{2+} || Ag | Ag^{+}$

5. أي العبارات الآتية 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. ما الذي تتوقع حدوثه إذا غمرت شريحة من الفضة في محلول مائي يحتوي أيونات  $Cu^{2+}$ ؟
- a. عدم حدوث تفاعل  
b. تأكسد الفضة  
c. يترسب النحاس على شريحة الفضة  
d. اختزال أيونات النحاس
7. ما المادة التي تتكون على المهبط عند التحليل الكهربائي لمحلول مائي من NaCl؟
- a. اليود  
b. الأكسجين  
c. الهيدروجين  
d. البوتاسيوم
8. ما الذي يحدث عند وضع قطعة من الخارصين Zn في محلول  $1.0 M Cu(NO_3)_2$ ؟
- a. يقل  $[Cu^{2+}]$   
b. يقل  $[Zn^{2+}]$   
c. يزداد  $[NO_3^{-}]$   
d. لا يحدث تغير



## أسئلة الإجابات القصيرة

استعمل الشكل الآتي للإجابة عن الأسئلة من 9 إلى 11.



9. حدد القطب الموجب والقطب السالب في هذا الجهاز.

10. اكتب نصف تفاعل الأكسدة.

11. اشرح وظيفة القنطرة الملحية في هذا الجهاز.

## أسئلة الإجابات المفتوحة

استعمل الجدول الآتي في الإجابة عن السؤال 12.

جهود اختزال قياسية مختارة عند  $25^\circ\text{C}$  و  $1\text{atm}$   
وتركيز  $1\text{M}$

0.7996	$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}$
-0.744	$\text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Cr}$

12. إذا وصل قطب فضة بقطب كروم في خلية جلفانية فأى القطبين سيتأكسد، وأيها سيختزل؛ اعتمداً على جهود الاختزال القياسية أعلاه؟ فسر إجابتك.



## (أ)

**الاختزال Reduction** اكتساب ذرات المادة للإلكترونات.

**الارتفاع في درجة الغليان Boiling Point Elevation** خاصية جامعة تتناسب قيمتها تناسباً طردياً مع مولالية المحلول.

**الأزواج المترافقة Conjugate Pairs** مادتان ترتبطان معاً عن طريق منح واستقبال أيون الهيدروجين.

**الأكسدة Oxidation** فقدان ذرات المادة للإلكترونات.

**الانخفاض في درجة التجمد Freezing-Point Depression** الفرق بين درجة غليان المحلول ودرجة غليان المذيب النقي.

**الانخفاض في الضغط البخاري Vapor Pressure Lowering** الضغط الذي تحدثه جزيئات السائل في وعاء مغلق والتي تتطاير من سطح السائل متحولة إلى الحالة الغازية.

**الأنود Anode** القطب الذي يحدث عنده تفاعل الأكسدة في الخلية الجلفانية.

**الأيون المشترك Common Ion** أيون مشترك بين مادتين أيونيتين أو أكثر.

## (ب)

**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)

**التآكل Corrosion** خسارة الفلز الناتج عن تفاعل الأكسدة واختزال بين الفلز والمواد التي في البيئة؛ مثل تآكل الحديد المعروف بالصدأ.



**تأثير تندال Tendall Effect** قدرة جسيمات المخاليط الفردية على تثبيت الضوء.

**التحليل الكهربائي Electrolysis** استعمال الطاقة الكهربائية لإحداث تفاعل كيميائي.

**التركيز Concentration** قياس كمية المذاب في كمية محددة من المذيب.

**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 الهيدروكسيد من الماء عند إذابة الملح في الماء.

## (ث)

**ثابت تأين الحمض Acid Ionization Constant** قيمة تعبير ثابت الاتزان لتأين الحمض.

**ثابت تأين القاعدة Base Ionization Constant** قيمة تعبير ثابت الاتزان لتأين القاعدة.

**ثابت تأين الماء Water Ionization Constant** تعبير ثابت الاتزان للتأين الذاتي للماء ويساوي حاصل ضرب تراكيز أيون الهيدروجين وأيون الهيدروكسيد في المحاليل المخففة.

## (ج)

**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 كهربائياً.

**جهد الاختزال Reduction Potential** مدى قابلية المادة لاكتساب الإلكترونات.

## (ح)

**حرارة الذوبان Melting heat** التغير الكلي للطاقة الذي يحدث خلال عملية تكون المحلول.

**حرارة المحلول Heat of Solution** التغير الكلي في الطاقة في أثناء عملية تكوّن المحلول.

**الحركة البراونية Brownian 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.

## (خ)

**الخاصية الأسموزية Osmotic Property** انتشار المذيب خلال غشاء شبه منفذ من المحلول الأقل تركيزًا إلى المحلول الأكثر تركيزًا.

**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 المنجنيز IV وكلوريد الأمونيوم وكمية قليلة من الماء داخل حاوية 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 تزود به باستمرار من مصدر خارجي.

## (ذ)

**الذوبان Solvation** عملية إحاطة جسيمات المذاب بجسيمات المذيب.

## (ر)

**الرقم الهيدروجيني pH** القيمة السالبة اللوغارتم تركيز أيون الهيدروجين في المحلول.

**الرقم الهيدروكسيدي pOH** القيمة السالبة اللوغارتم تركيز أيون الهيدروكسيد في المحلول.



## (س)

**سعة المحلول المنظم Buffered solution capacity** كمية الحمض أو القاعدة التي يستطيع المحلول أن يستوعبها دون تغير مهم في pH.

## (ض)

**الضغط الأسموزي Osmotic Pressure** كمية الضغط الإضافي الناتج عن انتقال جزيئات الماء إلى المحلول المركز.

## (ط)

**طريقة عدد التأكسد Oxidation-Number Method** طريقة في موازنة معادلات الأكسدة والاختزال تعتمد على وجوب أن يكون مجموع الزيادة في عدد التأكسد مساوياً لمجموع 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)

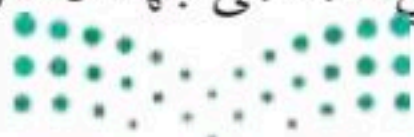
**القاعدة الضعيفة Weak Base** قاعدة تتأين جزئياً في الماء.

**القاعدة القوية Strong Base** القاعدة التي تتأين بشكل تام في الماء.

**القاعدة المرافقة Conjugate Base** المركب الكيميائي الذي ينتج عندما يمنح الحمض أيون الهيدروجين.

**قانون هنري Henry's law** تتناسب ذائبية الغاز في سائل تناسباً طردياً مع ضغط الغاز الموجود فوق السائل عند ثبوت درجة الحرارة.

**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  $25^\circ C$ ، ويكون فرق الجهد لقطب الهيدروجين القياسي، المسمى جهد الاختزال القياسي ( $E^0$ )، مساوياً 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.

**كاشف الحمض والقاعدة Acid-base indicator** أصباغ كيميائية تتأثر ألوانها بالمحاليل الحمضية والقاعدية.

**الكسر المولي Mole Fraction** نسبة عدد مولات المذاب أو المذيب في المحلول إلى عدد المولات الكلية للمذاب والمذيب.

## (م)

**المادة الذائبة Soluble** المادة التي تذوب في مادة أخرى (المذيب).

**المادة غير الذائبة Insoluble** المادة التي لا تذوب في مادة أخرى (المذيب).

**المادة المترددة Amphoteric** المادة التي تسلك سلوك الأحماض والقواعد.

**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 فوق المشبع Ultra saturated solution** محلول يحتوي على كمية أكبر من المادة المذابة مقارنة بمحلول مشبع عند درجة الحرارة نفسها.

**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.

**المخلوط الغروي Colloid** مخلوط غير متجانس يتكون من جسيمات متوسطة الحجم تتراوح أقطارها بين  $10^3$  nm و  $10^6$  nm.

و  $1000$  nm.

**المخلوط المعلق Suspension** مخلوط يحتوي على جسيمات يمكن أن تترسب بالترويق إذا ترك فترة دون تحريك.

**المعايرة Titration** تفاعل حمض وقاعدة لمعرفة تركيز أحدهما.

**الملح Salt** مركب أيوني أيونه الموجب من القاعدة، وأيونه السالب من الحمض.

**المولارية Molarity** عدد مولات المذاب في لتر واحد من المحلول.

**المولالية Molality** عدد مولات المذاب المذابة في كيلوجرام من المذيب.

### (ن)

**نقطة التكافؤ Equivalence Point** النقطة التي يكون عندها تركيز أيونات الهيدروجين مساوياً لتركيز أيونات الهيدروكسيد.

**نقطة النهاية End Point** النقطة التي يغير عندها الكاشف لونه.

**نظرية أرهينيوس Arrhenius Model** يمنح حمض أرهينيوس أيونات الهيدروجين عند إذابتها في الماء؛ بينما تمنح قاعدته أيونات الهيدروكسيد.

**نظرية برونستد - لوري Bronsted-Lowry Model** يمنح حمض برونستد البروتونات، وتستقبل قاعدته البروتونات.

**نظرية لويس Lewis Model** يستقبل حمض لويس زوجاً من الإلكترونات في حين قاعدته تمنح زوجاً من الإلكترونات.

**نصف التفاعل Half Reaction** أحد جزأي تفاعل الأكسدة والاختزال؛ أي تفاعل التأكسد أو تفاعل الاختزال.

**نصف الخلية Half Cell** أحد نصفي الخلية الكهروكيميائية. ويحتوي كل نصف خلية على قطب ومحلول يشتمل على أيونات.







# جداول مرجعية

## جداول مرجعية

العناصر في كل عمود تسمى مجموعة، ولها خواص كيميائية متشابهة.

غاز  
سائل  
صلب  
مُصنَع

العنصر  
العدد الذري  
الرمز  
الكتلة الذرية المتوسطة

حالة المادة

الرموز الثلاثة العليا تدل على حالة العنصر في درجة حرارة الغرفة، بينما يدل الرمز الرابع على العناصر المصنعة.

1	Hydrogen 1 H 1.008																	
2	Lithium 3 Li 6.941	Beryllium 4 Be 9.012																
3	Sodium 11 Na 22.990	Magnesium 12 Mg 24.305																
4	Potassium 19 K 39.098	Calcium 20 Ca 40.078	Scandium 21 Sc 44.956	Titanium 22 Ti 47.867	Vanadium 23 V 50.942	Chromium 24 Cr 51.996	Manganese 25 Mn 54.938	Iron 26 Fe 55.845	Cobalt 27 Co 58.933									
5	Rubidium 37 Rb 85.468	Strontium 38 Sr 87.62	Yttrium 39 Y 88.906	Zirconium 40 Zr 91.224	Niobium 41 Nb 92.906	Molybdenum 42 Mo 95.94	Technetium 43 Tc (98)	Ruthenium 44 Ru 101.07	Rhodium 45 Rh 102.906									
6	Cesium 55 Cs 132.905	Barium 56 Ba 137.327	Lanthanum 57 La 138.906	Hafnium 72 Hf 178.49	Tantalum 73 Ta 180.948	Tungsten 74 W 183.84	Rhenium 75 Re 186.207	Osmium 76 Os 190.23	Iridium 77 Ir 192.217									
7	Francium 87 Fr (223)	Radium 88 Ra (226)	Actinium 89 Ac (227)	Rutherfordium 104 Rf (261)	Dubnium 105 Db (262)	Seaborgium 106 Sg (266)	Bohrium 107 Bh (264)	Hassium 108 Hs (277)	Meitnerium 109 Mt (268)									

صفوف العناصر الأفقية تسمى دورات. يزداد العدد الذري من اليسار إلى اليمين في كل دورة.

يدل السهم على المكان الذي يجب أن توضع فيه هذه العناصر في الجدول. لقد تم نقلها إلى أسفل الجدول توفيراً للمكان.

سلسلة اللانثانيدات

سلسلة الأكتينيدات

الرقم المحاط بقوسين هو العدد الكتلي للنظير الأطول عمراً للعنصر.

Cerium 58 Ce 140.116	Praseodymium 59 Pr 140.908	Neodymium 60 Nd 144.24	Promethium 61 Pm (145)	Samarium 62 Sm 150.36
Thorium 90 Th 232.038	Protactinium 91 Pa 231.036	Uranium 92 U 238.029	Neptunium 93 Np (237)	Plutonium 94 Pu (244)