

تم تحميل وعرض المادة من

موقع حلول كتيب

المدرسة اونلاين

 موقع  
حلول كتيب

<https://hululkitab.co>

\*جميع الحقوق محفوظة للقائمين على العمل\*

للعودة إلى الموقع ابحث في قوقل عن : موقع حلول كتيب

# كيمياء ٤

التعليم الثانوي- نظام المقررات  
(مسار العلوم الطبيعية)



قام بالتأليف والمراجعة  
فريق من المتخصصين

يُوزع مجاناً ولا يُبَاع

طبعة ١٤٤٢-٢٠٢٠

ح) وزارة التعليم ، ١٤٣٩هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر  
وزارة التعليم

الكيمياء ٤ التعليم الثانوي ، نظام المقررات ، مسار العلوم الطبيعية.  
وزارة التعليم. الرياض ، ١٤٣٩هـ .

٢٤٦ص : ٢٧,٥ X ٢١ سم

ردمك : ٩٧٨-٦٠٣-٥٠٨-٦٦٦-٠

١- الكيمياء - مناهج - السعودية  
السعودية. أ - العنوان

١٤٣٩/٩٥٢٩

ديوي ٥٤٠,٧١٢

رقم الإيداع : ١٤٣٩/٩٥٢٩

ردمك : ٩٧٨-٦٠٣-٥٠٨-٦٦٦-٠

حقوق الطبع والنشر محفوظة لوزارة التعليم

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

مواد إثرائية وداعمة على "منصة عين"



IEN.EDU.SA

تواصل بمقترحاتك لتطوير الكتاب المدرسي



FB.T4EDU.COM

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



## 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 المغسلة 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 الشديتين.	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 (النفثالين).	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، سواحل منسكبة، تماس كهربائي، أسلاك معزاة.	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 للقناة التنفسية.	حبوب اللقاح، كرات العث، سلك المواعين، ألياف الزجاج، برمنجنات البوتاسيوم.	ضع واقياً للقباز، 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، والبس 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	 نشاط إشعاعي	 وقاية الملابس	 سلامة العين
اغسل يديك بعد كل تجربة بالماء والصابون قبل نزع النظارة الواقية.	يظهر هذا الرمز عند استعمال مواد مشعة.	يظهر هذا الرمز عندما تسبب المواد بقعاً أو حريقاً للملابس.	يجب دائماً ارتداء نظارة واقية عند العمل في المختبر.

## 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 مسكوية.
- 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 المسكوية	غسل المنطقة المصابة بكمية كبيرة من الماء.

## بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

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 (٢٠٣٠) 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 كيمياء ٤ للتعليم الثانوي (نظام المقررات) داعماً لرؤية المملكة العربية السعودية (٢٠٣٠) نحو الاستثمار في التعليم "عبر ضمان حصول كل طالب على فرص التعليم الجيد وفق خيارات متنوعة"، بحيث يكون الطالب فيها هو محور العملية التعليمية التعلمية. وقد جاء هذا الكتاب في ستة فصول، هي: الغازات، والمخاليط والمحاليل، والأحماض والقواعد، وتفاعلات الأكسدة والاختزال، والكيمياء الكهربائية، والمركبات العضوية الحيوية.

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 التمهيديّة 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 (٢٠٣٠) "نتعلّم 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 تعمّق 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 (٢٠٣٠) وأهدافها الاستراتيجية، وبالمهن أو التمييز بين الاستعمال العلمي والاستعمال الشائع لبعض المفردات، أو إرشادات للتعامل مع المطوية التي تعدّها 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 لتعرّف ما يعرفه الطلاب عن موضوع الفصل، أو من خلال مناقشة الأسئلة المطروحة في التجربة الاستهلالية. ومع التقدم في دراسة كل جزء من المحتوى تجد سؤالاً تحت عنوان «ماذا قرأت؟»، وتجد 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

الغازات ..... 12

1-1 قوانين الغازات ..... 14

1-2 قانون الغاز المثالي ..... 25

1-3 الحسابات المتعلقة بالغازات ..... 33

الكيمياء والصحة: الصحة والضغط ..... 38

## الفصل 2

المخاليط والمحاليل ..... 48

2-1 أنواع المخاليط ..... 50

2-2 تركيز المحلول ..... 55

2-3 العوامل المؤثرة في الذوبان ..... 65

2-4 الخواص الجامعة للمحاليل ..... 74

في الميدان: مهن: كيميائي البيئة ..... 81

## الفصل 3

الأحماض والقواعد ..... 90

3-1 مقدمة في الأحماض والقواعد ..... 92

3-2 قوة الأحماض والقواعد ..... 102

3-3 أيونات الهيدروجين والرقم الهيدروجيني ..... 108

3-4 التعادل ..... 117

الكيمياء من واقع الحياة: تفاعلات الأحماض  
والقواعد وعملية الخبز ..... 127

## الفصل 4

تفاعلات الأكسدة والاختزال ..... 138

4-1 الأكسدة والاختزال ..... 140

4-2 وزن معادلات الأكسدة والاختزال ..... 149

في الميدان: المهنة: محقق البحث الجنائي ..... 157

## الفصل 5

الكيمياء الكهربائية ..... 168

5-1 الخلايا الجلفانية ..... 170

5-2 البطاريات ..... 180

5-3 التحليل الكهربائي ..... 190

كيف تعمل الأشياء؟ منظم ضربات القلب ..... 195

## الفصل 6

المركبات العضوية الحيوية ..... 206

6-1 البروتينات ..... 208

6-2 الكربوهيدرات ..... 214

6-3 الليبيدات ..... 217

6-4 الأحماض النووية ..... 222

في الميدان: المهنة: عالم البيولوجيا الجزيئية ..... 226

## الملاحق

المصطلحات ..... 236

الجدول الدوري ..... 244



# 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 الاستهلاكية**؛ 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.

### الفصل 1

#### الغازات

#### Gases



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

**1-1 قوانين الغازات**  
**الفكرة الرئيسية** إن تغير الضغط أو درجة الحرارة أو الحجم لكمية ثابتة من غاز ستؤثر على المتغيرين الآخرين.

**1-2 قانون الغاز المثالي**  
**الفكرة الرئيسية** يربط قانون الغاز المثالي بين هذه المولات مع كل من الضغط ودرجة الحرارة والحجم.

**1-3 الحسابات المتعلقة بالغازات**  
**الفكرة الرئيسية** عندما تتفاعل الغازات فإن المعاملات في المعادلات الكيميائية الموزونة التي تشمل هذه التفاعلات تشير إلى أعداد المولات والحجوم النسبية للغازات.

**حقائق كيميائية**

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

**سلة المتطاد**

**موقد البروبان**

يبدأ كل فصل بتجربة استهلاكية تقدم المادة التي يتناولها. نفذ **التجربة الاستهلاكية**، 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 استهلاكية

كيف تؤثر درجة الحرارة على حجم الغاز؟  
تعمل شعلة المتطاد - انظر الصفحة اليمنى - على رفع درجة حرارة الهواء داخله ليبقى معلقاً في الجو.



### خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. انقع بالوناً ثم اربطه.
3. اسكب ماء بارداً في دلو إلى منتصفه، ثم أضف إليه قطع من الثلج.
4. استخدم عيلاً لقياس محيط البالون.
5. حرك الماء والثلج في الدلو جيداً، حتى تبتت درجة حرارته، ثم اغمر البالون في الماء والثلج مدة 15 دقيقة.
6. أخرج البالون من الماء، ثم قس محيطه.

### التحليل

1. صف ما حدث لحجم البالون عندما غُمر في حوض الماء والثلج.
  2. توقع ما يحدث لحجم البالون لو كان الدلو يحتوي ماءً ساخناً.
- استنتج ما إذا يحدث إذا ملأت البالون بالهيليوم بدلاً من الهواء، وأجريت التجربة مرة أخرى؟

### المطويات

قوانين الغازات اصمم المطويات الآتية لتساعدك على تنظيم دراسة قوانين الغازات.



1. الخطوة 1 أحضر ثلاث ورقات، وضع بعضها فوق بعض، ودع حوافها العليا متباعدة رأسياً بمقدار 2 cm.
2. الخطوة 2 اثن الأطراف السفلية للأوراق على أن تكون خمس طيات متساوية. ثم اضغط على الطيات لتثبيتها في أماكنها.
3. الخطوة 3 ثبت المطوية، كتبها في الشكل، وحتون العليات على النحو الآتي: قوانين الغازات، بويل، شارل، جاي-لوساك، القانون العام، قانون الغاز المثالي.

استخدم هذه المطوية في إنشاء قراءة القسمين 1-1 و 1-2. خمس قوانين الغازات بكلماتك الخاصة.

## 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

- اكتساب العلاقة بين الضغط ودرجة الحرارة والحجم للغاز ثابت من الغاز.
- تطبيق قوانين الغاز على المسائل التي تتضمن الضغط ودرجة الحرارة والحجم لتقدير عدد من الغاز.

مراجعة المفردات

القانون العكسي، يصف علاقة في الطبيعة تدعمها عدة تجارب.

المفردات الجديدة

- قانون بويل
- القانون العكسي
- قانون شارل
- قانون جاي-لوساك
- القانون العام للغازات

### قوانين الغازات The Gas Laws

**الفكرة العامة:** إن تغير الضغط أو درجة الحرارة أو الحجم لكمية ثابتة من غاز متوحد على التكوينين الآخرين.

**الربط مع الحياة:** ماذا يحدث لغاز في بالون إذا قللت حجمه بالضغط عليه؟ مشعر بزيادة في المقاومة، وقد نشاهد انتفاخاً في جزء من البالون.

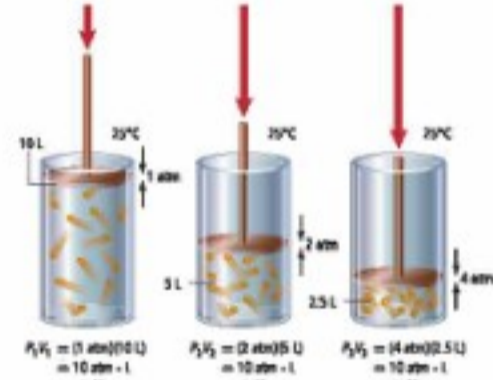
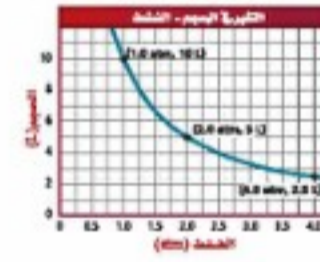
#### قانون بويل Boyle's Law

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

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

ينص قانون بويل على أن حجم كمية محددة من الغاز يتناسب عكسياً مع الضغط الواقع عليه عند ثبوت درجة حرارته. بين الشكل 1-1 العلاقة العكسية بين الضغط والحجم، حيث يتجه المنحنى إلى أسفل.

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



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

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.

### مثال 1-3

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

#### تحليل المسألة

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

<b>المعطيات</b>	$P_1 = 5.00 \text{ atm}$
$T_1 = 25.0 \text{ }^\circ\text{C}$	
$T_2 = -10.0 \text{ }^\circ\text{C}$	
<b>المطلوب</b>	$P_2 = ? \text{ atm}$

#### حساب المطلوب

حول درجات الحرارة السيليزية إلى مطلقة

$$T_K = 273 + T_C$$

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

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

استخدم قانون جاي-لوساك لإيجاد قيمة  $P_2$  وعرض بالقيم المعروفة في المعادلة التي أعيد ترتيبها.

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

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

$$P_2 = 5.00 \text{ atm} \left( \frac{263.0 \text{ K}}{298.0 \text{ K}} \right)$$

$$P_2 = 5.00 \text{ atm} \left( \frac{263.0}{298.0} \right) = 4.41 \text{ atm}$$

اضرب الأرقام والوحدات وانفسها.

#### تقويم الإجابة

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

#### مسائل تدريبية

- افترض أن الحجم و كمية الغاز ثابتان في المسائل الآتية:
- إذا كان ضغط إطار سيارة 1.88 atm عند درجة حرارة 25 °C، فكم يكون الضغط إذا ارتفعت درجة الحرارة إلى 37.0 °C؟
- يوجد غاز هيليوم في أسطوانة حجمها 2L، تحت تأثير ضغط جوي مقدار 1.12 atm، فإذا أصبح ضغط الغاز 2.56 atm، عند درجة حرارة 36.5 °C، فما قيمة درجة حرارة الغاز الابتدائية؟
- تظهر إذا كان ضغط عينة من الغاز يساوي 30.7 KPa عند درجة حرارة 00.0 °C، فكم ينبغي أن ترتفع درجة الحرارة السيليزية للعينة حتى يتضاعف ضغطها؟

21

## كيف تستفيد من كتاب الكيمياء؟

### بعدها قرأت

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

الجدول 1-1	قوانين الغازات		
المتغير	بويل	شارل	جاي لوساك
الصيغة	$P_1V_1 = P_2V_2$	$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$	$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$
ما الثابت؟	كمية الغاز ودرجة الحرارة	كمية الغاز والضغط	كمية الغاز والحجم
رسم توضيحي			

**مقاييس درجة الحرارة وقوانين الغازات** لا بد أنك لاحظت أن العمل الذي قام به كل من شارل وجاي-لوساك قد سبق تطوير التدرج بالكلفن (K)، على الرغم من أن قانونيهما تطلبا استخدام درجة الحرارة بالكلفن (K). حيث استخدم العلماء في القرن 17 وبدايات القرن 18 مقاييس حرارة مختلفة. فعمل سيبيل المثال استخدم تدرج رومر في فرنسا حتى في العصر نفسه الذي عاش فيه شارل تقريباً. وباستخدام هذا التدرج أو أي تدرج لا يعتمد على الصفر المطلق تصبح المعادلة التي تعبر عن قانون شارل أكثر تعقيداً؛ فهي تحتاج إلى ثابتين إضافة إلى الحجم V ودرجة الحرارة T. وقد بسط التدرج المطلق الأمور، وتبعت قوانين الغازات المستخدمة الآن. عرفت الآن كيف تؤثر متغيرات الضغط ودرجة الحرارة والحجم في عينة من الغاز. ويمكنك أيضاً استخدام قوانين الغازات التي تم تلخيصها في الجدول 1-1 إذا كانت كمية الغاز ثابتة، لكن ماذا يحدث إذا تغيرت كمية الغاز؟ هذا ما سنتلوه لاحقاً.

أدخل معلومات من هذا القسم في مطويتك.

#### التقويم 1-1

14. وضع العلاقة بين الضغط ودرجة الحرارة وحجم كمية ثابتة من الغاز.
15. اشرح أي المتغيرات الثلاثة، التي تؤثر في كمية ثابتة من الغاز، تتناسب تناسباً طردياً، وأيها تتناسب عكسياً؟
16. حقل أطلق بالون ممتلئ إلى الغلاف الجوي، وأنت تعرف كلاً من حجمه الابتدائي ودرجة حرارته ووضعه للغواص. ما المعلومات التي تحتاج إليها لحساب الحجم النهائي للبالون عندما يصل إلى أقصى ارتفاع له؟ وأي القوانين تستخدم لحساب الحجم؟
17. استنتج لماذا تُخفف الغازات التي تستخدم في المستشفيات، ومنها الأكسجين؟ ولماذا يجب حمايتها من ارتفاع درجات الحرارة؟ وماذا يجب أن يحدث للأكسجين المضغوط قبل استنشاقه؟
18. احسب بحري إزاء بلاستيكي صلب على 1.00 L من غاز الهيدروجين عند ضغط جوي مقدار 660 torr، ودرجة حرارة 22.0°C، ما مقدار الضغط الذي يبدله الغاز عند ارتفاع درجة الحرارة إلى 44.6°C؟
19. صمم خريطة مفاهيمية توضح فيها العلاقات بين الضغط والحجم ودرجة الحرارة في قوانين بويل، وشارل، وجاي-لوساك.

24

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

### دليل مراجعة الفصل

## الفصل 1

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

#### 1-1 قوانين الغازات

- المفاهيم الرئيسية**
- ينص قانون بويل على أن حجم كمية محددة من الغاز يتناسب عكسياً مع ضغطه عند ثبوت درجة الحرارة.
  - ينص قانون شارل على أن حجم كمية محددة من الغاز يتناسب طردياً مع درجة حرارته المطلقة عند ثبوت الضغط.
  - ينص قانون جاي-لوساك على أن ضغط كمية محددة من الغاز يتناسب طردياً مع درجة حرارته المطلقة عند ثبات الحجم.
  - يربط القانون العام للغازات كلاً من درجة الحرارة والضغط والحجم في معادلة واحدة.
- $$P_1V_1 = P_2V_2$$
- $$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$
- $$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$
- $$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

#### 1-2 قانون الغاز المثالي

- المفاهيم الرئيسية**
- ينص مبدأ أفوجادرو على أن الحجم المتساوي من الغازات عند نفس الضغط ودرجة الحرارة يحتوي على العدد نفسه من الجسيمات.
  - يربط قانون الغاز المثالي كمية الغاز مع ضغطه ودرجة حرارته وحجمه.
  - يمكن استخدام قانون الغاز المثالي لإيجاد الكتلة المولية للغاز إذا كانت كتلة الغاز معروفة، ويمكن استخدامه أيضاً لإيجاد كثافة الغاز إذا كانت كتلته المولية معروفة.
  - تتسلق الغازات الحقيقية عند الضغط العالي ودرجات الحرارة المنخفضة سلوكاً مغايراً لسلوك الغاز المثالي.
- $$PV = nRT$$
- $$M = \frac{nRT}{PV} \quad D = \frac{MP}{RT}$$

#### 1-3 الحسابات المتعلقة بالغازات

- المفاهيم الرئيسية**
- عندما تتعامل مع الغازات فإن المعاملات في المعادلات الكيميائية الموزونة النسب الحجمية للغازات المتفاعلة والمعادلات الكيميائية الموزونة التي تمثل هذه التفاعلات تشير إلى أعداد المولات والحجم النسبية للغازات.
  - يمكن أن تستخدم قوانين الغازات مع المعادلة الكيميائية الموزونة لحساب كميات الغازات المتفاعلة أو الناتجة عن التفاعل.

40

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.

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

### 1-1 قوانين الغازات

**الفكرة الرئيسية** إن تغير الضغط أو درجة الحرارة أو الحجم لكمية ثابتة من غاز ستؤثر على المتغيرين الآخرين.

### 1-2 قانون الغاز المثالي

**الفكرة الرئيسية** يربط قانون الغاز المثالي بين عدد المولات مع كل من الضغط ودرجة الحرارة والحجم.

### 1-3 الحسابات المتعلقة بالغازات

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

### حقائق كيميائية

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



سلة المنطاد

موقد البروبان



## نشاطات تمهيدية

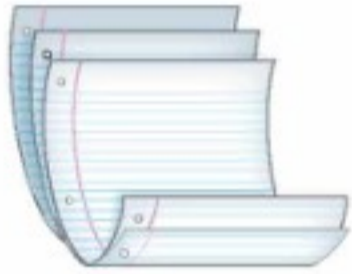
قوانين الغاز اعمل  
المطويات الآتية لتساعدك  
على تنظيم دراسة قوانين  
الغاز.

### المطويات

منظمات الأهلكار



**الخطوة 1** أحضر ثلاث  
ورقات، وضع بعضها فوق  
بعض، ودع حوافها العليا  
متباعدة رأسياً بمقدار 2 cm



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

قوانين الغازات
قانون بويل
قانون شارل
قانون جاي-لوساك
القانون العام
القانون المثالي

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

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

## تجربة استهلاكية

كيف تؤثر درجة الحرارة في حجم الغاز؟

تعمل شعلة المنطاد - انظر الصفحة اليمنى - على رفع درجة  
حرارة الهواء داخله ليبقى محلقاً في الجو.



### خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. انفخ بالوناً ثم اربطه.
3. اسكب ماءً بارداً في دلو إلى منتصفه، ثم أضف إليه قطع  
من الثلج.
4. استخدم خيطاً لقياس محيط البالون في درجة حرارة الغرفة.
5. حرك الماء والثلج في الدلو جيداً، حتى تثبت درجة  
حرارته، ثم اغمر البالون في الماء والثلج مدة 15 دقيقة.
6. أخرج البالون من الماء، ثم قس محيطه.

### التحليل

1. صف ما حدث لحجم البالون عندما غمر في حوض  
الماء والثلج.
  2. توقع ما يحدث لحجم البالون لو كان الدلو يحتوي ماءً  
ساخنًا.
- استقصاء** ماذا يحدث إذا ملأت البالون بالهيليوم بدلاً من  
الهواء، وأجريت التجربة مرة أخرى؟



# 1-1

## الأهداف

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

## قوانين الغازات The Gas Laws

**الفكرة الرئيسية** إن تغير الضغط أو درجة الحرارة أو الحجم لكمية ثابتة من غاز ستؤثر على المتغيرين الآخرين.

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

### قانون بويل Boyle's Law

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

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

ينص **قانون بويل** على أن حجم كمية محددة من الغاز يتناسب عكسياً مع الضغط الواقع عليه عند ثبوت درجة حرارته. يبين الشكل 1-1 العلاقة العكسية بين الضغط والحجم، حيث يتجه المنحنى إلى أسفل.

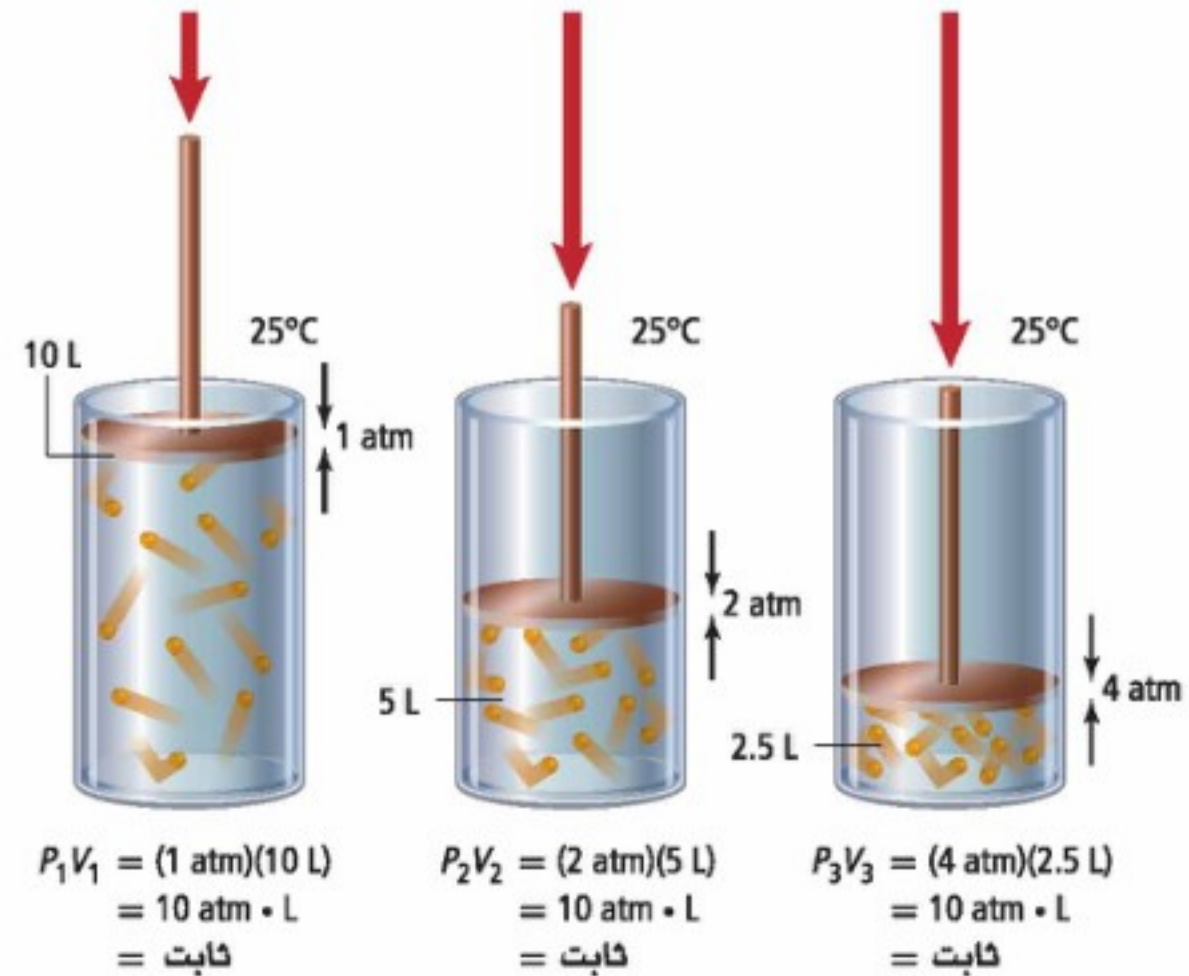
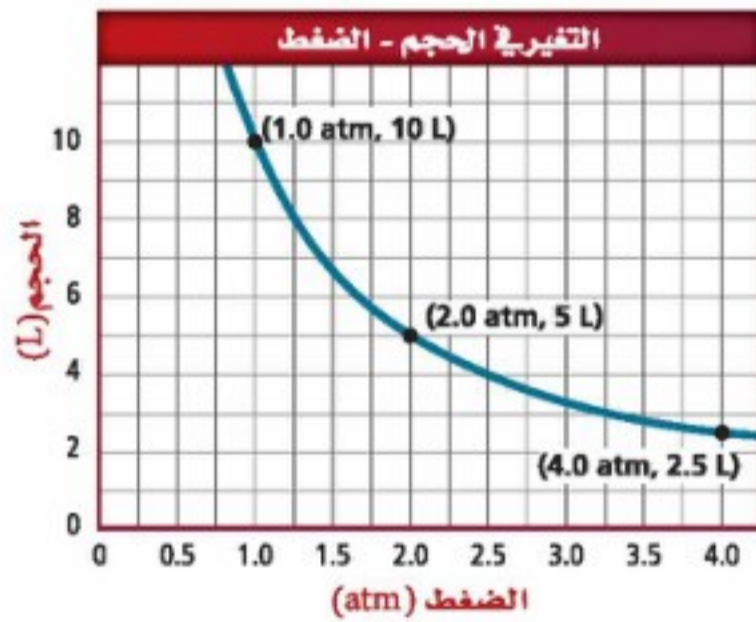
### مراجعة المفردات

القانون العلمي: يصف علاقة في الطبيعة تدعمها عدة تجارب.

### المفردات الجديدة

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

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



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

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

### قانون بويل

$$P_1V_1 = P_2V_2 \quad P: \text{تمثل الضغط}, V: \text{تمثل الحجم}$$

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

يمثل كل من  $P_1$  و  $V_1$  الضغط والحجم الابتدائيين، في حين يمثل كل من  $P_2$  و  $V_2$  الضغط والحجم الجديدين، فإذا علمت ثلاثة من المتغيرات الموجودة في المعادلة أمكنك معرفة قيمة المتغير الرابع.

### مثال 1-1

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

### 1 تحليل المسألة

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

### المعطيات

$$V_1 = 0.75 \text{ L}$$

$$P_1 = 2.25 \text{ atm}$$

$$P_2 = 1.03 \text{ atm}$$

### المطلوب

$$V_2 = ? \text{ L}$$

### 2 حساب المطلوب

استخدم قانون بويل لإيجاد قيمة  $V_2$  واحسب الحجم الجديد.

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

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

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

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

ضع نص قانون بويل

جد قيمة

$$V_1 = 0.75 \text{ L}, P_1 = 2.25 \text{ atm}, P_2 = 1.03 \text{ atm}$$

اضرب الأرقام والوحدات واقسمها

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

### مسائل تدريبية

افترض أن درجة الحرارة وكمية الغاز ثابتان في المسائل الآتية:

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



## مختبر حل المشكلات

### تطبيق التفسيرات العلمية

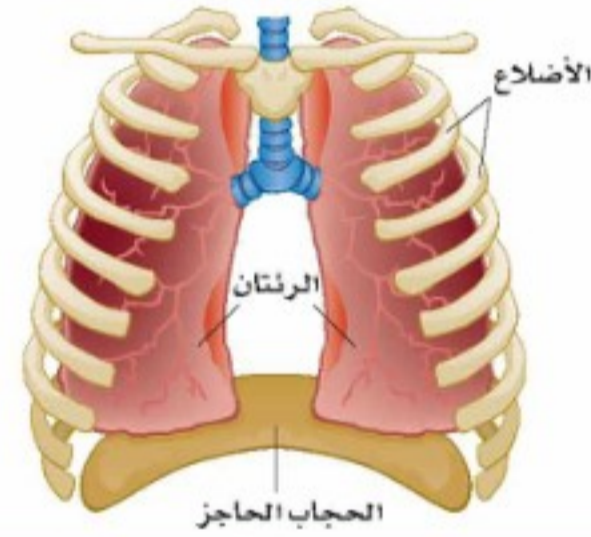
#### التفكير الناقد

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

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

#### التحليل

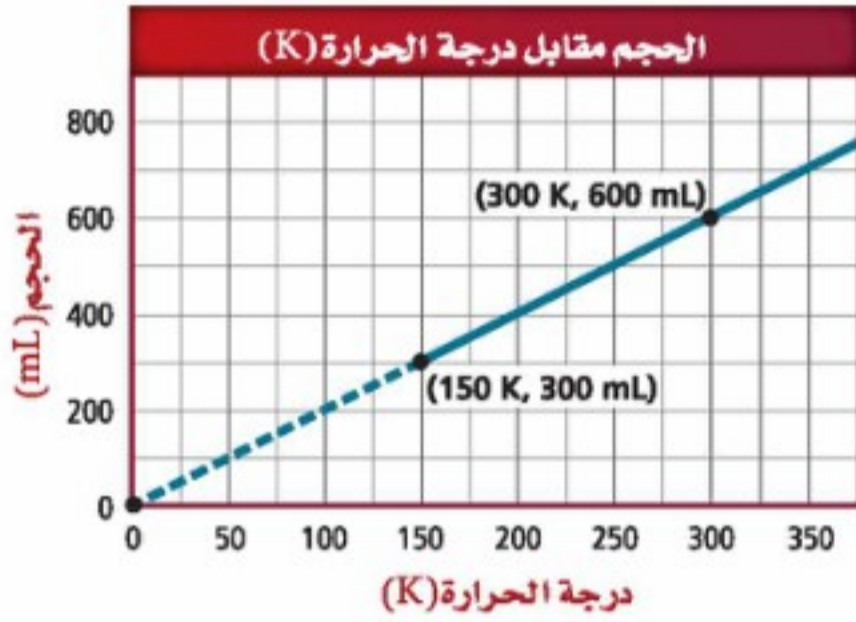
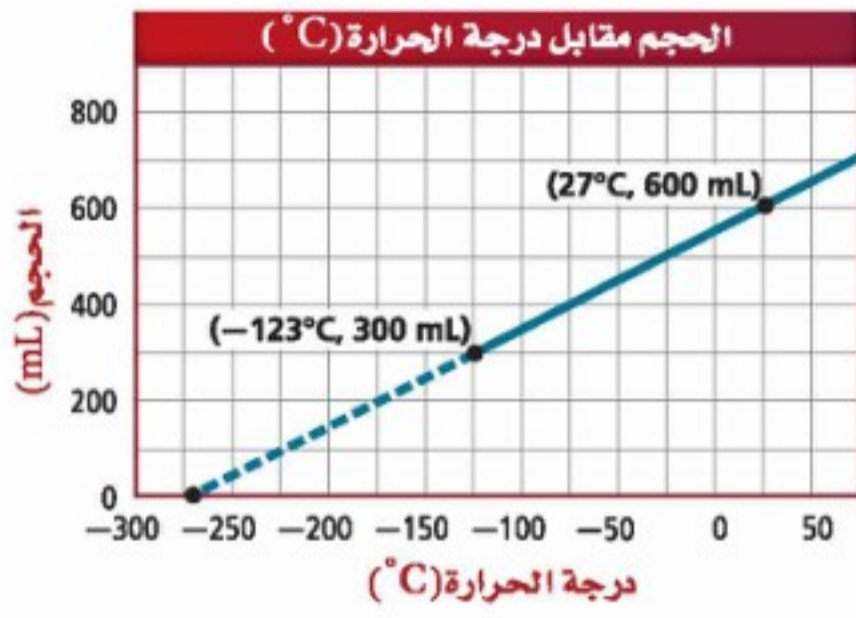
يسمح النسيج الإسفنجي المرن الذي تتكون منه الرئتان بتمدد الرئتين وانقباضهما؛ لتستجيب لحركة الحجاب الحاجز، وهو العضلة القوية الموجودة أسفلها. فعندما يتحرك الحجاب الحاجز إلى أسفل يزداد حجم الرئتين، وبذلك يتمكن من الشهيق، كما يقلص حجم الرئتين عندما يتحرك الحجاب الحاجز إلى أعلى، وبذلك تتمكن من الزفير.



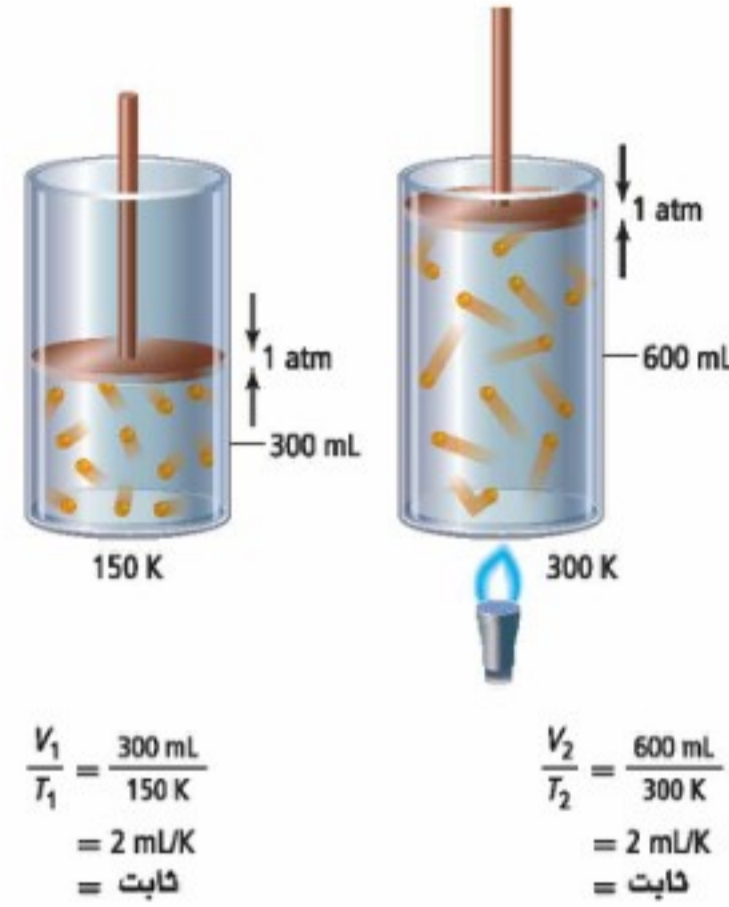
### قانون شارل Charles's Law

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

**كيف يرتبط الحجم مع درجة الحرارة؟** درس جاك شارل (1746-1823م) الفيزيائي الفرنسي العلاقة بين الحجم ودرجة الحرارة، حيث لاحظ أن كلاً من درجة حرارة وحجم عينة من الغاز يزداد عندما يبقى كل من كمية العينة والضغط ثابتين. يمكن تفسير هذه الخاصية بناءً على نظرية الحركة الجزيئية: فعندما تزداد درجة الحرارة تتحرك جسيمات الغاز وتصطدم أسرع بجدار الإناء الذي توجد فيه وبقوة أكبر. ولأن الضغط يعتمد على عدد اصطدامات جسيمات الغاز بجدار الإناء فإن هذا يؤدي إلى زيادة الضغط، وحتى يبقى الضغط ثابتاً لا بد أن يزيد الحجم؛ إذ تحتاج الجسيمات إلى الانتقال إلى مسافات أبعد قبل أن تصطدم بالجدار، مما يقلل من عدد اصطدامات الجسيمات بجدار الإناء. توضح الأسطوانات في الشكل 1-2 كيف يتغير حجم كمية محددة من الغاز بتسخينه.



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



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

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

**رسم العلاقة بين درجة الحرارة والحجم** يوضح الشكل 1-2 أيضاً العلاقة بين درجة الحرارة والحجم لمقدار محدد من الغاز تحت تأثير ضغط ثابت؛ حيث إن منحنى درجة الحرارة مع الحجم خطاً مستقيماً، فيمكنك توقع درجة الحرارة التي يصبح الحجم عندها 0 L، وذلك بتمديد الخط إلى درجات حرارة أدنى من الدرجات التي تم قياسها.

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

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

✓ **اختبار الرسم البياني** فسّر لماذا يوضح الرسم البياني الثاني في الشكل 1-2 تناسباً طردياً مباشراً، في حين لا يوضح الرسم البياني الأول ذلك.

**استخدام قانون شارل** ينص **قانون شارل** على أن حجم كمية محددة من الغاز يتناسب طرديًا مع درجة حرارته بالكلفن عند ثبوت الضغط، ويمكن التعبير عن قانون شارل بالعلاقة الرياضية الآتية:

#### قانون شارل

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

V تمثل الحجم  
T تمثل درجة الحرارة بالكلفن

حاصل قسمة حجم كمية محددة من الغاز على درجة حرارته بالكلفن عند ثبوت ضغطه يساوي كمية ثابتة.

تتمثل  $V_1, T_1$  في المعادلة أعلاه درجة الحرارة والحجم الابتدائيين، في حين تمثل  $V_2, T_2$  درجة الحرارة والحجم الجديدين، كما في قانون بويل، فإذا عرفت ثلاث متغيرات أمكنك حساب المتغير الرابع.

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

$$T_K = 273 + T_C$$

#### مثال 1-2

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

#### 1 تحليل المسألة

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

**المطلوب**  
 $V_2 = ? \text{ L}$

**المعطيات**

$$T_2 = 40.0^\circ\text{C}$$

$$V_1 = 2.32 \text{ L}$$

$$T_2 = 75.0^\circ\text{C}$$

#### 2 حساب المطلوب

حوّل درجة الحرارة السيليزية إلى الكلفن.

استخدم معامل التحويل

$$T_1 = 40.0^\circ\text{C} \text{ عوض بقيمة}$$

$$T_2 = 75.0^\circ\text{C} \text{ عوض بقيمة}$$

$$T_K = 273 + T_C$$

$$T_1 = 273 + 40.0^\circ\text{C} = 313.0 \text{ K}$$

$$T_2 = 273 + 75.0^\circ\text{C} = 348.0 \text{ K}$$

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

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

اكتب نص قانون شارل

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

جد قيمة  $V_2$

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

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

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

اضرب واقسم الوحدات والأرقام

### 3 تقويم الإجابة

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

### مسائل تدريبية

افترض أن الضغط وكمية الغاز ثابتان في المسائل الآتية:



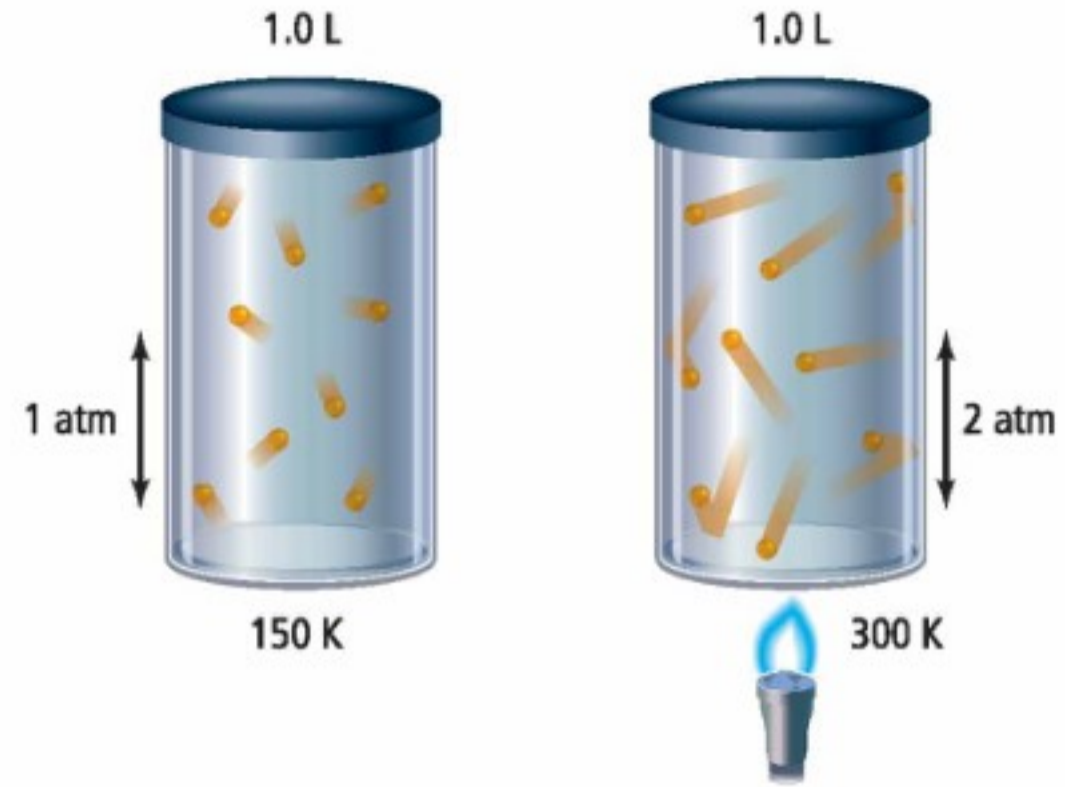
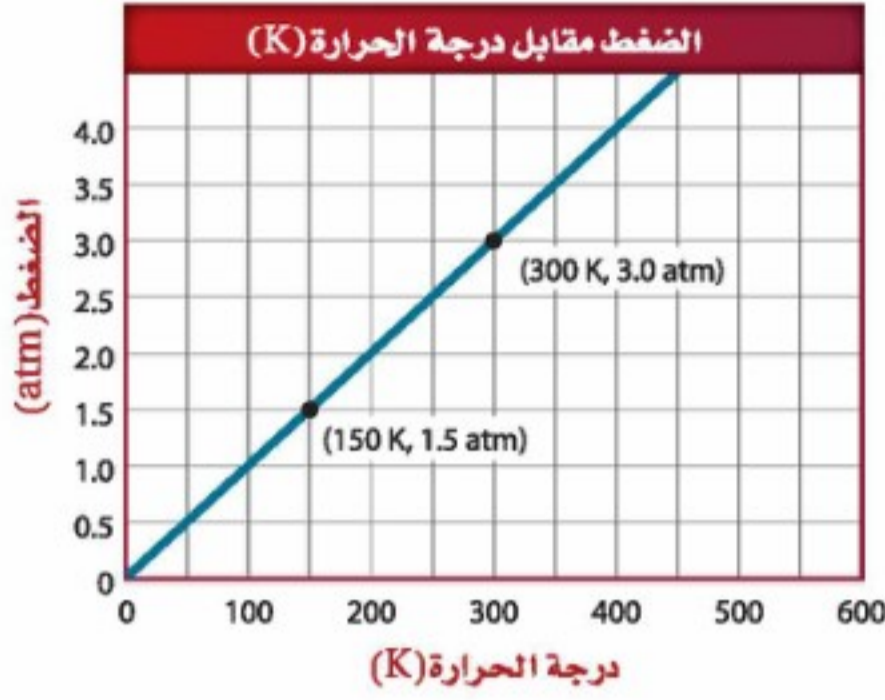
4. ما الحجم الذي يشغله الغاز في البالون الموجود على اليسار عند درجة 250 K؟
5. شغل غاز عند درجة حرارة 89 °C حجمًا مقداره (0.67 L). عند أي درجة حرارة سيليزية سيزيد الحجم ليصل إلى 1.12 L؟
6. إذا انخفضت درجة الحرارة السيليزية لعينة من الغاز حجمها 3.0 L من 80.0 °C إلى 30.0 °C فما الحجم الجديد للغاز؟
7. تحفيز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

### قانون جاي - لوساك Gay– Lussac's Law

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

**كيف ترتبط درجة الحرارة مع ضغط الغاز؟** ينتج الضغط عن اصطدام جسيمات الغاز بجدران الوعاء؛ فكلما ارتفعت درجات الحرارة زاد عدد الاصطدامات وطاقتها. لذا تؤدي زيادة الحرارة إلى زيادة الضغط إذا لم يتغير الحجم.

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



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

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

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

وقد وجد جاي لوساك (1778-1850م) أن درجة الحرارة المطلقة تتناسب طردياً مع الضغط، كما هو موضح في الشكل 1-3. وينص قانون جاي لوساك على أن ضغط مقدار محدد من الغاز يتناسب طردياً مع درجة الحرارة بالكلفن له، عند ثبوت الحجم. ويمكن التعبير عنه رياضياً كما يأتي:

#### قانون جاي لوساك

P تمثل الضغط

T تمثل درجة الحرارة بالكلفن

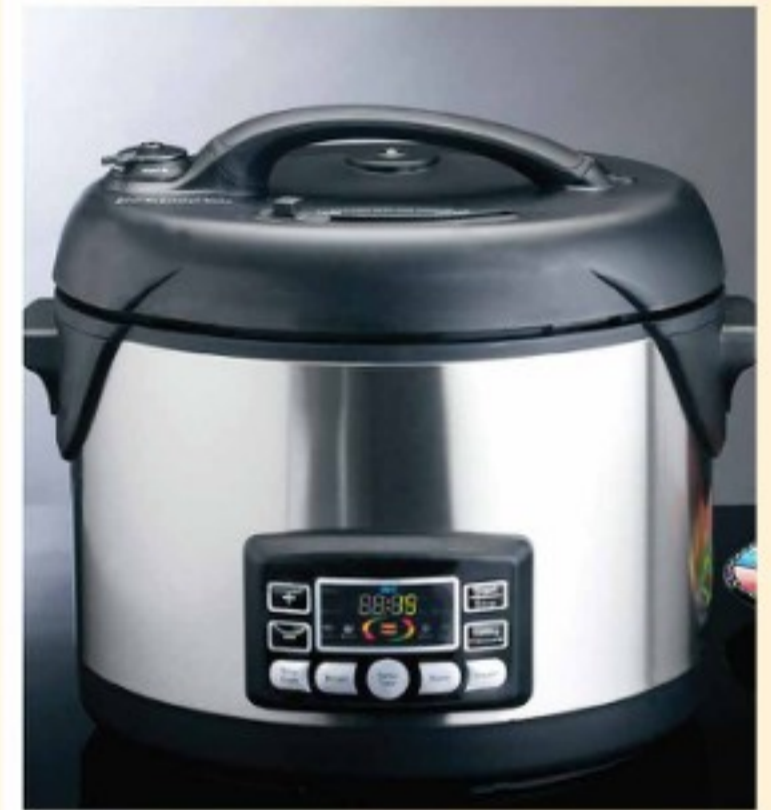
$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

حاصل قسمة الضغط على درجة الحرارة بالكلفن لمقدار محدد من الغاز ذي حجم ثابت يساوي مقداراً ثابتاً.

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

### الكيمياء في واقع الحياة

#### قانون جاي-لوساك



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

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

### 1 تحليل المسألة

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

#### المطلوب

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

#### المعطيات

$$P_1 = 5.00 \text{ atm}$$

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

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

### 2 حساب المطلوب

حول درجات الحرارة السيليزية إلى كلفن

$$T_K = 273 + T_C$$

استخدم معامل التحويل

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

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

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

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

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

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

اكتب نص قانون جاي لوساك

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

لإيجاد قيمة  $P_2$

$$P_2 = 5.00 \text{ atm} \left( \frac{263.0 \text{ K}}{298.0 \text{ K}} \right)$$

$$P_1 = 5.00 \text{ atm}, T_1 = 298.0 \text{ K}, T_2 = 263.0 \text{ K}$$

اضرب الأرقام والوحدات واقسمها.

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

### 3 تقويم الإجابة

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

### مسائل تدريبية

افترض أن الحجم و كمية الغاز ثابتان في المسائل الآتية:

8. إذا كان ضغط إطار سيارة 1.88 atm عند درجة حرارة 25 °C ، فكم يكون الضغط إذا ارتفعت درجة الحرارة إلى 37.0 °C ؟

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

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



**الشكل 4-1** تمتلك المملكة العربية السعودية ما يزيد عن 10 محطات رصد جوي والتي يُستخدم فيها بالون الطقس كما في الشكل المجاور والذي تتم تعبئته بالهيليوم أو الهيدروجين. ويحمل بالون الطقس على متنه أجهزة تسمى (راديو سوند) ترسل بيانات تتعلق بدرجة حرارة الهواء والضغط والرطوبة في طبقات الجو العليا، إضافة لذلك، يُساعد متابعة العلماء في معرفة سرعة واتجاه الرياح على تلك الارتفاعات.

### القانون العام للغازات The Combined Gas Law

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

#### القانون العام للغازات

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

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

حيث حاصل ضرب الضغط في الحجم مقسومًا على درجة الحرارة بالكلفن لمقدار محدّد من الغاز يساوي مقدارًا ثابتًا.

**استخدام القانون العام للغازات** يساعدك القانون العام للغازات على حل المسائل التي تتضمن أكثر من متغير واحد، كما يقدم لك طريقة لتذكر القوانين الثلاثة الأخرى دون تذكر معادلاتها، يمكننا القانون العام للغازات من اشتقاق القوانين الأخرى من خلال تذكر المتغير الثابت في كل حالة.

مثلًا إذا بقيت درجة الحرارة ثابتة بينما تغير الضغط والحجم فإن  $T_2 = T_1$ . وبعد تبسيط قانون الغاز العام تحت هذه الظروف ستجد أن المعادلة أصبحت  $P_1 V_1 = P_2 V_2$ ، والتي ينبغي أن تستنتج أنها قانون بويل.

✓ **ماذا قرأت؟ اشتق قانون شارل، وقانون جاي-لوساك من القانون العام للغازات.**

### مهن في الكيمياء

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

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

### 1 تحليل المسألة

تغير كل من درجة الحرارة والضغط؛ لذلك يجب أن تستخدم القانون العام للغازات. لقد زاد الضغط أربع مرات، لكن درجة الحرارة لم تتضاعف بنفس هذا المقدار، لذلك فإن الحجم الجديد سيكون أقل من الحجم الابتدائي.

المطلوب  
 $V_2 = ? L$

المعطيات  
 $P_1 = 110 \text{ kPa}$        $P_2 = 440 \text{ kPa}$   
 $T_1 = 30.0^\circ\text{C}$        $T_2 = 80.0^\circ\text{C}$   
 $V_1 = 2.00 \text{ L}$

### 2 حل المطلوب

حوّل درجات الحرارة من السيليزية إلى كلفن.

$$T_K = 273 + T_C$$

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

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

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

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

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

$$V_2 = 2.00 \text{ L} \left( \frac{110 \text{ kPa}}{440 \text{ kPa}} \right) \left( \frac{353.0 \text{ K}}{303.0 \text{ K}} \right)$$

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

طبق معامل التحويل

عوض  $T_1 = 30.0^\circ\text{C}$

عوض  $T_2 = 80.0^\circ\text{C}$

اكتب القانون العام للغازات

حل لإيجاد  $V_2$

عوض  $P_1 = 110 \text{ kPa}$ ,  $P_2 = 440 \text{ kPa}$ ,  $T_1 = 303.0 \text{ K}$

$T_2 = 353.0 \text{ K}$

اضرب الأرقام والوحدات واقسمها

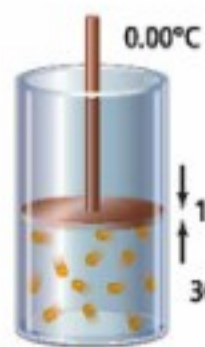
### 3 تقويم الإجابة

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

### مسائل تدريبية

افترض أن كمية الغاز ثابتة في المسائل الآتية:

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



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

13. تحفيزاً إذا زادت درجة الحرارة في الإسطوانة الموجودة على يسارك لتصل إلى 30.0°C، وزاد الضغط إلى 1.20 atm فهل يتحرك مكبس الأسطوانة إلى أعلى أم إلى أسفل؟



قوانين الغازات				الجدول 1-1
القانون العام	جاي لوساك	شارل	بويل	القانون
$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$	$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$	$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$	$P_1V_1 = P_2V_2$	الصيغة
كمية الغاز	كمية الغاز والحجم	كمية الغاز والضغط	كمية الغاز ودرجة الحرارة	ما الثابت؟
				رسم تنظيمي

**مقاييس درجة الحرارة وقوانين الغازات** لا بد أنك لاحظت أن العمل الذي قام به كل من شارل وجاي-لوساك قد سبق تطوير التدرج بالكلفن (K)، على الرغم من أن قانونيهما تطلبا استخدام درجة الحرارة بالكلفن (K). حيث استخدم العلماء في القرن 17 وبدايات القرن 18 مقاييس حرارة مختلفة. فعلى سبيل المثال استخدم تدرج ريومر في فرنسا حتى في العصر نفسه الذي عاش فيه شارل تقريباً. وباستخدام هذا التدرج أو أي تدرج لا يعتمد على الصفر المطلق تصبح المعادلة التي تعبر عن قانون شارل أكثر تعقيداً؛ فهي تحتاج إلى ثابتين إضافة إلى الحجم V ودرجة الحرارة T. وقد بسّط التدرج بالكلفن الأمور، ونتجت قوانين الغازات المستخدمة الآن. عرفت الآن كيف تؤثر متغيرات الضغط والحرارة والحجم في عينة من الغاز. ويمكنك أيضاً استخدام قوانين الغازات التي تم تلخيصها في الجدول 1-1 إذا كانت كمية الغاز ثابتة، لكن ماذا يحدث إذا تغيرت كمية الغاز؟ هذا ما ستدرسه لاحقاً.

#### المطويات

أدخل معلومات من هذا القسم في مطويتك.

## التقويم 1-1

### الخلاصة

- الفكرة الرئيسية** وضع العلاقة بين الضغط ودرجة الحرارة وحجم كمية ثابتة من الغاز.
- اشرح أي المتغيرات الثلاثة، التي تؤثر في كمية ثابتة من الغاز، تتناسب تناسباً طردياً، وأيها تتناسب عكسياً؟
- حلل أطلق بالون طقس إلى الغلاف الجوي، وأنت تعرف كلاً من حجمه الابتدائي ودرجة حرارته وضغط الهواء فيه. ما المعلومات التي تحتاج إليها لحساب الحجم النهائي للبالون عندما يصل إلى أقصى ارتفاع له؟ وأي القوانين تستخدم لحساب الحجم؟
- استنتج لماذا تُضغَط الغازات التي تستخدم في المستشفيات، ومنها الأكسجين؟ ولماذا يجب حمايتها من ارتفاع درجات الحرارة؟ وماذا يجب أن يحدث للأكسجين المضغوط قبل استنشاقه؟
- احسب يحتوي إناء بلاستيكي صلب على 1.00 L من غاز الميثان عند ضغط جوي مقداره 660 torr، ودرجة حرارة 22.0°C، ما مقدار الضغط الذي يحدثه الغاز عند ارتفاع درجة الحرارة إلى 44.6°C؟
- صمّم خريطة مفاهيمية توضح فيها العلاقات بين الضغط والحجم ودرجة الحرارة في قوانين بويل، وشارل، وجاي-لوساك.
- ينص قانون بويل على أن حجم مقدار محدد من الغاز يتناسب عكسياً مع ضغطه عند ثبوت درجة الحرارة.
- ينص قانون شارل على أن حجم كمية محددة من الغاز يتناسب طردياً مع درجة حرارته بالكلفن عند ثبوت الضغط.
- ينص قانون جاي-لوساك على أن ضغط مقدار محدد من الغاز يتناسب طردياً مع درجة الحرارة بالكلفن عند ثبوت الحجم.
- يربط القانون العام للغازات بين الضغط ودرجة الحرارة والحجم في معادلة واحدة.



# 1-2

## الأهداف

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

## قانون الغاز المثالي The Ideal Gas Law

**الفكرة الرئيسية** يربط قانون الغاز المثالي بين عدد المولات وكل من الضغط ودرجة الحرارة والحجم.

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

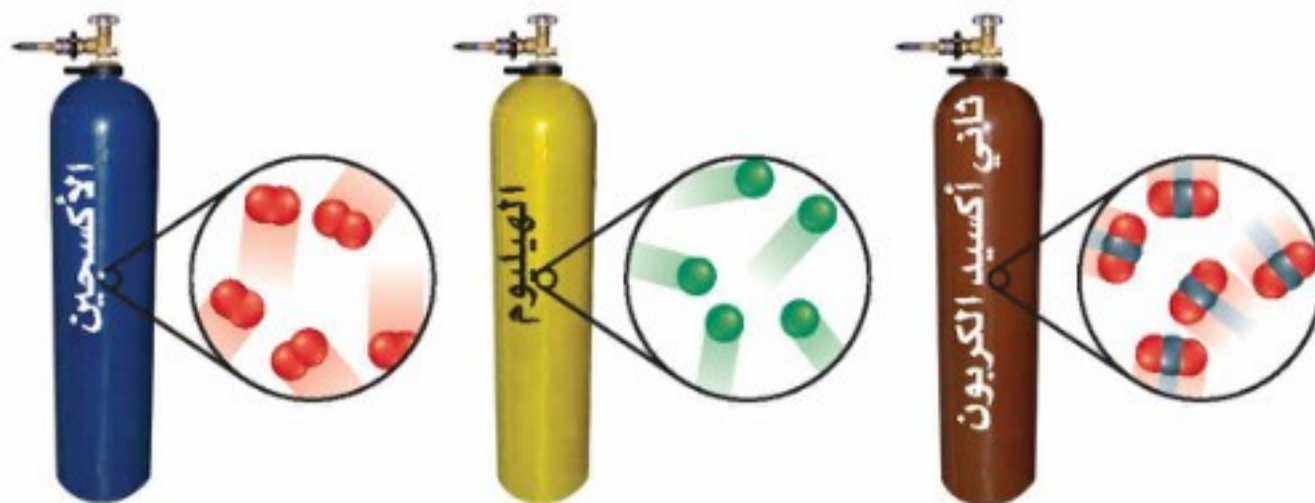
### مبدأ أفوجادرو Avogadro's Principle

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

**الحجم وعدد المولات** درست سابقاً أن المول الواحد من أي مادة يحتوي على  $6.02 \times 10^{23}$  من الجسيمات. والحجم المولاري لغاز هو الحجم الذي يشغله 1 mol منه عند الظروف المعيارية (standard temperature and pressure) ويرمز لها بالرمز STP  $(0.0^\circ\text{C}) (1 \text{ atm})$ .

وتعرف درجة الحرارة  $0.0^\circ\text{C}$  والضغط الجوي 1 atm بدرجة الحرارة والضغط المعياريين. هذا وقد بين أفوجادرو أن 1 mol من أي غاز يشغل حجماً مقداره 22.4 L، لذا يمكنك استعمال 22.4 L/mol بوصفه معامل تحويل عندما يكون الغاز في الظروف المعيارية. فإذا رغبت مثلاً في معرفة عدد المولات في عينة من غاز حجمها 3.72 L، في الظروف المعيارية، فيتعين عليك استخدام الحجم المولاري لتحويل وحدات الحجم إلى مولات.

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



**الشكل 1-5** أسطوانات غاز متساوية في الحجم تحت تأثير ضغط ودرجة حرارة متساويين، تحتوي كميات متساوية من الغاز بفض النظر عن نوع الغاز الذي تحتويه كل منها.

**استنتج** لماذا لا ينطبق مبدأ أفوجادرو على السوائل والمواد الصلبة؟

الحجم المولاري المكون الرئيس للغاز الطبيعي المستخدم في المنازل لأغراض التدفئة والطهو هو الميثان  $\text{CH}_4$ . احسب حجم 2.00 Kg من غاز الميثان في الظروف المعيارية STP.

### 1 تحليل المسألة

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

#### المعطيات

$$m = 2.00 \text{ kg}$$

$$T = 0.00^\circ \text{C}$$

$$P = 1.00 \text{ atm}$$

#### المطلوب

$$V = ? \text{ L}$$

### 2 حساب المطلوب

حدّد الكتلة المولية للميثان

حدد الكتلة المولية

عبر عن الكتلة الجزيئية باستخدام

g/mol لتصل إلى الكتلة المولية.

حدّد عدد مولات الميثان

حوّل الكتلة المولية من وحدة Kg إلى g

اقسم على الكتلة المولية لإيجاد عدد المولات.

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

$$= 12.01 \text{ amu} + 4.04 \text{ amu} = 16.05 \text{ amu} = 16.05 \text{ g/mol}$$

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

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

استخدم الحجم المولاري لتحديد حجم الميثان في الظروف المعيارية STP.

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

استخدم الحجم المولاري 22.4 L/mol

للتحويل من المولات إلى الحجم.

### 3 تقويم الإجابة

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

### مسائل تدريبية

20. ما حجم الوعاء اللازم لاحتواء 0.0459 mol من غاز النيتروجين  $\text{N}_2$  في الظروف المعيارية STP؟
21. ما كتلة غاز ثاني أكسيد الكربون بالجرامات، الموجودة في بالون حجمه 1.0 L في الظروف المعيارية STP؟
22. ما الحيز (mL)، الذي يشغله غاز الهيدروجين الذي كتلته 0.00922 g في الظروف المعيارية STP؟
23. ما الحجم الذي تشغله كتلة مقدارها 0.416 g من غاز الكربتون في الظروف المعيارية STP؟
24. احسب الحجم الذي تشغله كتلة مقدارها 4.5 Kg من غاز الإيثيلين  $\text{C}_2\text{H}_4$  في الظروف المعيارية STP؟
25. تحفيز إناء بلاستيكي مرن يحتوي 0.86 g من غاز الهيليوم بحجم (19.2 L). فإذا أخرج 0.205 g من غاز الهيليوم عند ضغط ودرجة حرارة ثابتين، فما الحجم الجديد؟



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

المطويات

أدخل معلومات من هذا القسم في مطويتك.

الجدول 1-2	قيم R
قيمة R	وحدات R
0.0821	$\frac{L \cdot atm}{mol \cdot K}$
8.314	$\frac{L \cdot kPa}{mol \cdot K}$
62.4	$\frac{L \cdot mmHg}{mol \cdot K}$

التحول بين وحدات الضغط  
 $1 atm = 760 mmHg = 760 Torr = 1.01325 Pa = 101.325 kPa$

## قانون الغاز المثالي The Ideal Gas Law

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

**من القانون العام للغازات إلى قانون الغازات المثالي** يربط القانون العام للغازات بين متغيرات الضغط والحجم ودرجة الحرارة لمقدار محدد من الغاز.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

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

$$\frac{PV}{T} = \text{مقداراً ثابتاً}$$

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

$$\frac{PV}{nT} = \text{ثابتاً}$$

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

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

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

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

### قانون الغاز المثالي

P = الضغط.

V = الحجم.

n = عدد المولات.

R = ثابت الغاز المثالي.

T = درجة الحرارة بوحدات كلفن.

$$PV = nRT$$

إن حاصل ضرب الضغط في الحجم مقسوماً على كمية معينة من الغاز عند درجة حرارة ثابتة يساوي مقداراً ثابتاً

قانون الغاز المثالي احسب عدد مولات غاز الأمونيا  $\text{NH}_3$  الموجودة في وعاء حجمه  $3.0 \text{ L}$  عند  $3.0 \times 10^2 \text{ K}$  وضغط  $(1.5 \text{ atm})$ .

### 1 تحليل المسألة

أعطيت الحجم ودرجة الحرارة والضغط لعينة من الغاز. استخدم قانون الغاز المثالي، واختر قيمة الثابت  $R$  بالاعتماد على وحدة الضغط في السؤال. لاحظ أن قيم الضغط ودرجة الحرارة قريبة من الظروف المعيارية، لكن الحجم أصغر كثيراً من  $22.4 \text{ L}$ ، فعليك أن تتوقع أن الإجابة أقل كثيراً من مول واحد.

المطلوب  
 $n = ? \text{ mol}$

المعطيات

$$V = 3.0 \text{ L}$$

$$T = 3.00 \times 10^2 \text{ K}$$

$$P = 1.50 \text{ atm}$$

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

### 2 حساب المطلوب

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

$$PV = nRT$$

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

اكتب قانون الغاز المثالي

حل لإيجاد  $n$

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

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

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

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

اضرب الأرقام والوحدات واقسمها

### 3 تقويم الإجابة

تتفق الإجابة مع توقع أن عدد المولات أقل كثيراً من  $1 \text{ mol}$ ، وحدة الإجابة  $\text{mol}$ ، وتحتوي رقمين معنويين.

### مسائل تدريبية

26. ما درجة حرارة  $2.49 \text{ mol}$  من الغاز بوحدة سيلزيوس ( $^\circ\text{C}$ )، والموجود في إناء سعته  $1.00 \text{ L}$ ، وتحت ضغط مقداره  $143 \text{ kPa}$ ؟

27. احسب حجم  $0.323 \text{ mol}$  من غاز ما عند درجة حرارة  $256 \text{ K}$  وضغط جوي مقداره  $0.90 \text{ atm}$ ؟

28. ما مقدار ضغط  $0.108 \text{ mol}$ ، بوحدة الضغط الجوي ( $\text{atm}$ )، لعينة من غاز الهيليوم عند درجة حرارة  $20.0^\circ\text{C}$ ، إذا كان حجمها  $0.050 \text{ L}$ ؟

29. إذا كان ضغط غاز حجمه  $0.044 \text{ L}$  يساوي  $3.81 \text{ atm}$  عند درجة حرارة  $25.0^\circ\text{C}$ ، فما عدد مولات الغاز؟

30. تحفيز غاز مثالي حجمه  $3.0 \text{ L}$ ، فإذا تضاعف عدد مولاته ودرجة حرارته وبقي الضغط ثابتاً، فما حجمه الجديد؟



## المفردات

### أصل الكلمة

### المول Mole

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

## قانون الغاز المثالي - الكتلة المولية والكثافة

### The Ideal Gas Law – Molar Mass and Density

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

**الكتلة المولية وقانون الغاز المثالي** لإيجاد الكتلة المولية لعينة غاز يجب أن يكون كلاً من الكتلة ودرجة الحرارة والضغط وحجم الغاز معروفاً. تذكر ما تعلمته سابقاً، حيث إن عدد مولات الغاز ( $n$ ) تساوي الكتلة ( $m$ ) بوحدة الجرام مقسومة على الكتلة المولية ( $M$ ). لذلك يمكن التعويض عن  $n$  بمقدار  $m/M$ .

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

ويمكنك إعادة ترتيب المعادلة لتصبح على النحو الآتي:

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

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

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

يمكنك إعادة ترتيب المعادلة لإيجاد الكثافة لتصبح على النحو التالي:

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

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

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

**اشرح** لماذا يحل ثاني أكسيد الكربون محل الأكسجين؟

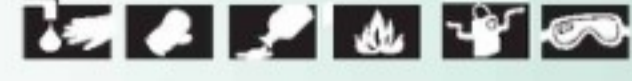


## تجربة

### إعداد نموذج لطفاية حريق

لماذا يستخدم غاز ثاني أكسيد الكربون لإطفاء الحريق؟

#### الخطوات



1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.

2. قس درجة الحرارة باستخدام مقياس الحرارة، والضغط الجوي باستخدام البارومتر، ثم سجل البيانات التي حصلت عليها.

3. لف قطعة من ورق الألمنيوم أبعادها 23 cm × 30 cm على أسطوانة ارتفاعها 30 cm ونصف قطرها 6 cm تقريباً ثم ألصق أطراف ورق الألمنيوم.

4. استخدم أعواد الثقاب لإشعال الشمعة. تحذير: اسكب الماء فوق أعواد الثقاب قبل رميها، وابتعد عن مصادر اللهب.

5. ضع 30 g من صودا الخبز  $\text{NaHCO}_3$  في كأس كبيرة، وأضف إليها 40 mL من الخل  $\text{CH}_3\text{COOH}$  تركيزه (5%).

6. ضع الأسطوانة الملفوفة بورق الألمنيوم بسرعة فوق لهب الشمعة بزاوية مقدارها  $(45^\circ)$ .

تحذير: لا تجعل نهاية طرف الأسطوانة يلامس الشمعة المشتعلة.

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



#### التحليل

1. طبق احسب الحجم المولاري لغاز ثاني أكسيد الكربون  $\text{CO}_2$  عند درجة حرارة الغرفة والضغط الجوي العادي.

2. احسب كثافة كل من ثاني أكسيد الكربون والأكسجين والنيتروجين بوحدة g/L عند درجة حرارة الغرفة. تذكر أن عليك حساب الكتلة المولية لكل غاز حتى تتمكن من حساب كثافة كل غاز.

3. فسر هل تدعم ملاحظتك وحساباتك استخدام ثاني أكسيد الكربون في مكافحة الحرائق؟ ولماذا؟

### الغاز الحقيقي مقابل الغاز المثالي Real Versus Ideal Gases

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

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

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



## استراتيجية حل المسائل

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

1. استخدم قانون الغاز المثالي لكتابة معادلتين تصفان عينة الغاز عند درجة حرارة وحجم مختلفين (الكميات التي لا تتغير تظهر باللون الأحمر).

2. اعزل الحجم ودرجة الحرارة، وهما القيمتان اللتان تتغيران في الجهة نفسها من المعادلة.

3. ولأن كلاً من  $P, R, n$  ثابت تحت هذه الظروف، فإنه يمكنك جعل كل من الحجم ودرجة الحرارة متساويين لاشتقاق قانون شارل.

$$PV_1 = nRT_1 \quad PV_2 = nRT_2$$

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

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

## تطبيق الاستراتيجية

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

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

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

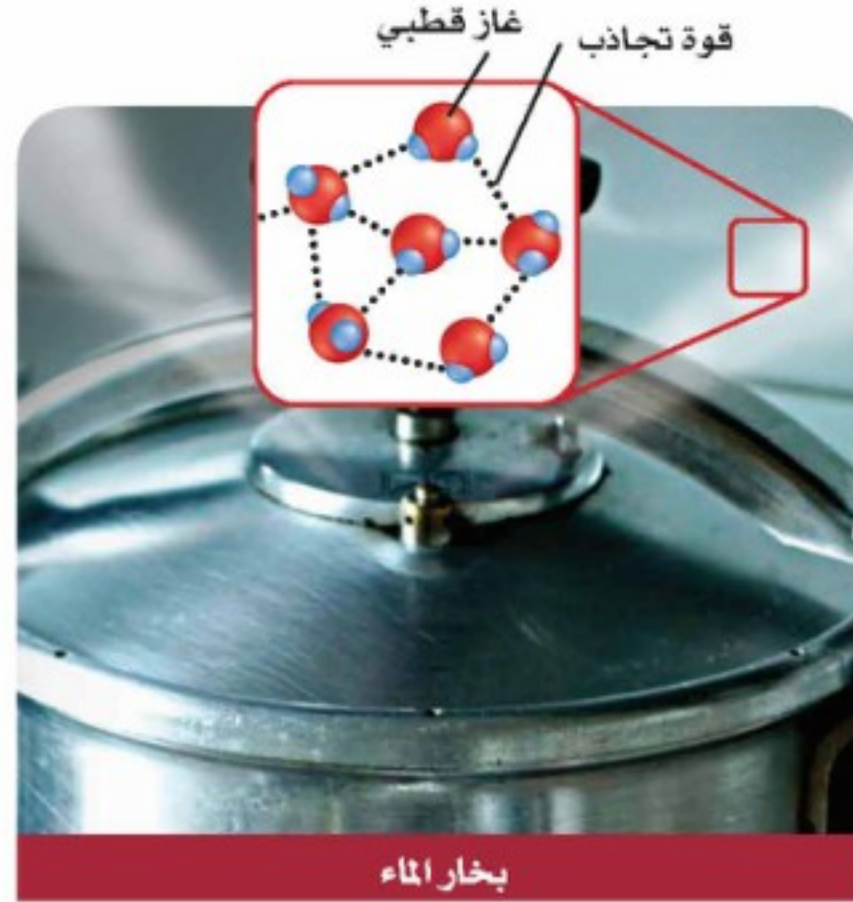


يتحول غاز النيتروجين إلى سائل عند درجة حرارة (-196°C) ويستطيع العلماء حفظ العينات البيولوجية. ومنها أنسجة الجسم. عند هذه الدرجة لإجراء البحوث والإجراءات الطبية الأخرى.



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





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

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

## التقويم 1-2

### الخلاصة

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

- الفكرة الرئيسة** 31. فسر لماذا ينطبق مبدأ أفوجادرو على الغازات التي تتكون من جزيئات صغيرة والتي تتكون من جزيئات كبيرة؟
32. اكتب معادلة قانون الغاز المثالي.
33. حلّ كيف ينطبق قانون الغاز المثالي على الغاز الحقيقي مستخدماً نظرية الحركة الجزيئية؟
34. توقع الظروف التي يحتمل أن يختلف عندها سلوك الغاز الحقيقي عن سلوك الغاز المثالي؟
35. ضع في قائمة، الوحدات الأكثر شيوعاً للمتغيرات في قانون الغاز المثالي.
36. احسب كتلة غاز البروبان  $C_3H_8$  الموجود في دورق حجمه 2.0 L عند ضغط جوي مقداره 1.00 atm ودرجة حرارة  $-15.0^\circ C$ .
37. ارسم رسماً بيانياً واستخدمه لخفض ضغط إطارات السيارات بمقدار 1psi (14.7psi=1.0 atm) عند انخفاض درجة الحرارة بمقدار  $6^\circ C$ ، ارسم رسماً بيانياً يوضح التغير في الضغط داخل الإطار، عندما تتغير درجات الحرارة من  $20^\circ C$  إلى  $-20^\circ C$  (افتراض أن الضغط يساوي 30 Psi عند درجة حرارة  $20.0^\circ C$ ).



## الحسابات المتعلقة بالغازات Gas Stoichiometry

### الأهداف

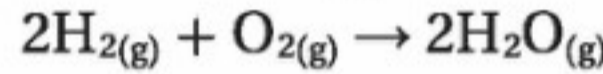
- تحدد النسب الحجمية للغازات المتفاعلة والنتيجة مستخدمًا المعاملات الموجودة في المعادلة الكيميائية.
- تطبق قوانين الغازات لحساب كميات الغازات المتفاعلة والنتيجة في التفاعل الكيميائي.

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

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

### الحسابات الكيميائية للتفاعلات المتضمنة للغازات Stoichiometry of Reactions Involving Gases

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



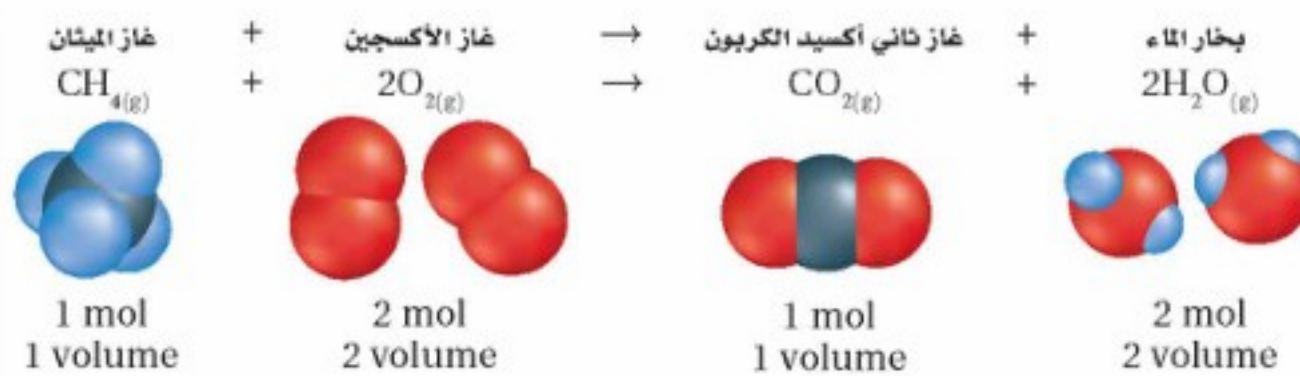
تخبرك المعادلة الكيميائية الموزونة بالنسب المولية للمواد في التفاعل؛ فمثلًا تبين معادلة التفاعل أعلاه أن 2 mol من غاز الهيدروجين تتفاعل مع 1 mol من غاز الأكسجين وينتج 2 mol من بخار الماء.

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

### الحسابات الكيميائية: حساب الحجم

### Stoichiometry and Volume–Volume Problems

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



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

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

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

### مثال 1-7

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

#### 1 تحليل المسألة

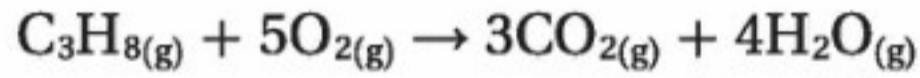
لقد أعطيت حجم الغاز المتفاعل في المعادلة الكيميائية. تذكر أن المعاملات في المعادلة الكيميائية الموزونة تزودك بالنسب الحجمية للغازات المتفاعلة والنتيجة.

**المطلوب**  
 $V_{O_2} = ? L$

**المعطيات**  
 $V_{C_3H_8} = 4.00 L$

#### 2 حساب المطلوب

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



اكتب المعادلة الموزونة

$$\frac{5 \text{ volume } O_2}{1 \text{ volume } C_3H_8}$$

جد النسبة الحجمية لـ  $O_2$ ،  $C_3H_8$

$$V_{O_2} = (4.00 L C_3H_8) \times \frac{5 \text{ volume } O_2}{1 \text{ volume } C_3H_8} = 20.0 L O_2$$

اضرب حجم  $C_3H_8$  المعروف بالنسبة الحجمية لإيجاد حجم  $O_2$

#### 3 تقويم الإجابة

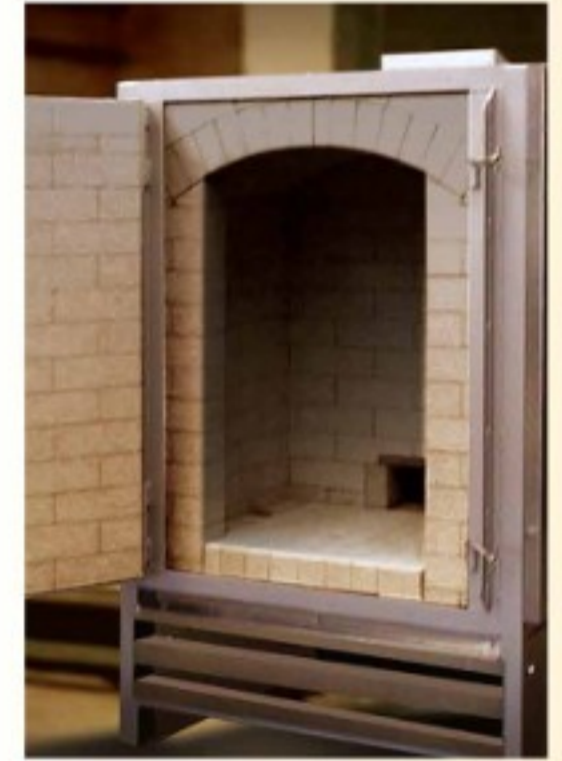
توضح المعاملات في معادلة تفاعل الاحتراق أن حجم غاز  $O_2$  المستخدم في التفاعل أكبر كثيرًا من حجم  $C_3H_8$ ، وهذا يتوافق مع الإجابة التي تم حسابها. وحدة الإجابة هي (L)، وهو وحدة حجم، وهناك ثلاثة أرقام معنوية.

#### مسائل تدريبية

38. كم لترًا من غاز البروبان  $C_3H_8$  يلزم لكي تحترق حرقًا كاملاً مع 34.0 L من غاز الأوكسجين؟
39. ما حجم غاز الهيدروجين اللازم للتفاعل تمامًا مع 5.00 L من غاز الأوكسجين لإنتاج الماء؟
40. ما حجم غاز الأوكسجين اللازم لاحتراق 2.36 L من غاز الميثان  $CH_4$  حرقًا كاملاً؟
41. تحفيز يتفاعل غازا النيتروجين والأوكسجين لإنتاج غاز أكسيد ثاني النيتروجين  $N_2O$ . ما حجم غاز  $O_2$  اللازم لإنتاج 34 L من غاز  $N_2O$ ؟

## الكيمياء في واقع الحياة

### استخدام الحسابات الكيميائية



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

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



## الحسابات الكيميائية: حسابات الحجم – الكتلة Stoichiometry and Volume – Mass Problems

الربط مع علم الأحياء

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

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

### المفردات

#### المفردات الأكاديمية

#### النسبة

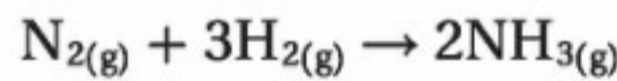
العلاقة الكمية بين شيئين.

النسبة بين الهيدروجين والأكسجين في

جزء الماء هي 2:1

### مثال 1-8

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



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

#### 1 تحليل المسألة

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

#### المعطيات

$$V_{N_2} = 5.00 \text{ L}$$

$$P = 3.00 \text{ atm}$$

$$T = 298 \text{ K}$$

#### المطلوب

$$m_{NH_3} = ? \text{ g}$$

## 2 حساب المطلوب

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

جد النسبة الحجمية لـ  $N_2$  و  $NH_3$  مستخدماً المعادلة الموزونة

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

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

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

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

$$PV = nRT$$

اكتب نص قانون الغاز المثالي

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

جد قيمة  $n$

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

عوض  $V = 5.00 \text{ L}$ ,  $P = 3.0 \text{ atm}$ ,  $T = 298 \text{ K}$

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

اضرب واقسم الأرقام والوحدات

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

$$= 17.04 \text{ amu}$$

جد الكتلة المولية لـ  $NH_3$

عبر عن الكتلة المولية بوحدة  $\text{g/mol}$

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

حول مولات الأمونيا إلى جرامات الأمونيا

استخدم الكتلة المولية معاملاً للتحويل

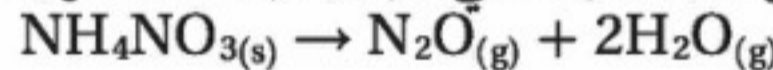
$$1.23 \text{ mol } NH_3 \times \frac{17.04 \text{ g } NH_3}{1 \text{ mol } NH_3} = 21.0 \text{ g } NH_3$$

## 3 تقويم الإجابة

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

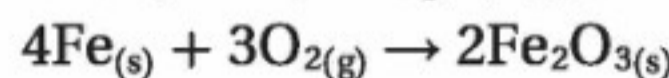
## مسائل تدريبية

42. نترات الأمونيوم مكون شائع في الأسمدة الكيميائية. استخدم التفاعل التالي لحساب كتلة نترات الأمونيوم الصلبة التي يجب أن تستخدم للحصول على 0.100 L من غاز أكسيد ثنائي النيتروجين عند الظروف المعيارية (STP).



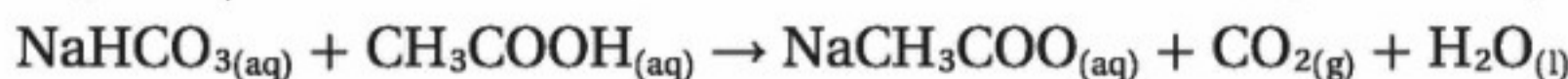
43. عند تسخين كربونات الكالسيوم  $CaCO_3$  تتحلل لتكون أكسيد الكالسيوم  $CaO$  الصلب وغاز ثاني أكسيد الكربون  $CO_2$ . ما عدد لترات ثاني أكسيد الكربون التي تتكون عند STP إذا تحلل 2.38 Kg من كربونات الكالسيوم تمامًا؟

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



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

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

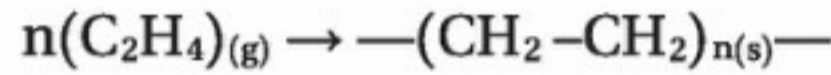


### الشكل 1-12 لصناعة منتج ما

بفاعلية كهذه المنتجات البلاستيكية،  
من الضروري إجابة الأسئلة الآتية:  
ما مقدار المتفاعلات التي يجب  
شراؤها؟ ما مقدار النواتج؟



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



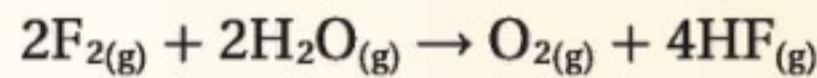
لو كنت مهندساً في مصنع لصناعة البولي إيثيلين فإنك ستحتاج لمعرفة بعض خصائص غاز الإثيلين، ومعرفة تفاعلات البلمرة أيضاً، وستساعدك المعلومات المتعلقة بقوانين الغازات على حساب كتلة وحجم المادة الخام اللازمة تحت درجات حرارة وضغط مختلفة لصناعة أنواع مختلفة من البولي إيثيلين.

## التقويم 1-3

### الخلاصة

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

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



- فإذا بدأ التفاعل بـ 2 L من غاز الفلور فما حجم بخار الماء (L) اللازم للتفاعل مع غاز الفلور؟ وما حجم غاز الأكسجين وغاز فلوريد الهيدروجين الناتجين؟
47. **حلل** هل يتناسب حجم الغاز تناسباً طردياً أو عكسياً مع عدد مولات الغاز عند درجة حرارة وضغط ثابتين؟ فسر إجابتك.
48. **احسب** يشغل 1 mol من الغاز حجماً مقداره 22.4 L عند الظروف المعيارية (STP)، احسب درجة الحرارة والضغط اللازمين لإدخال 2 mol من الغاز في حجم 22.4 L.
49. **فسر البيانات** يتفاعل غاز الإيثين  $C_2H_4$  مع غاز الأكسجين ليكونا غاز ثاني أكسيد الكربون والماء. اكتب المعادلة الكيميائية الموزونة لهذا التفاعل، ثم جد النسبة المولية للمواد الموجودة على كل جهة من المعادلة.

## الصحة والضغط

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

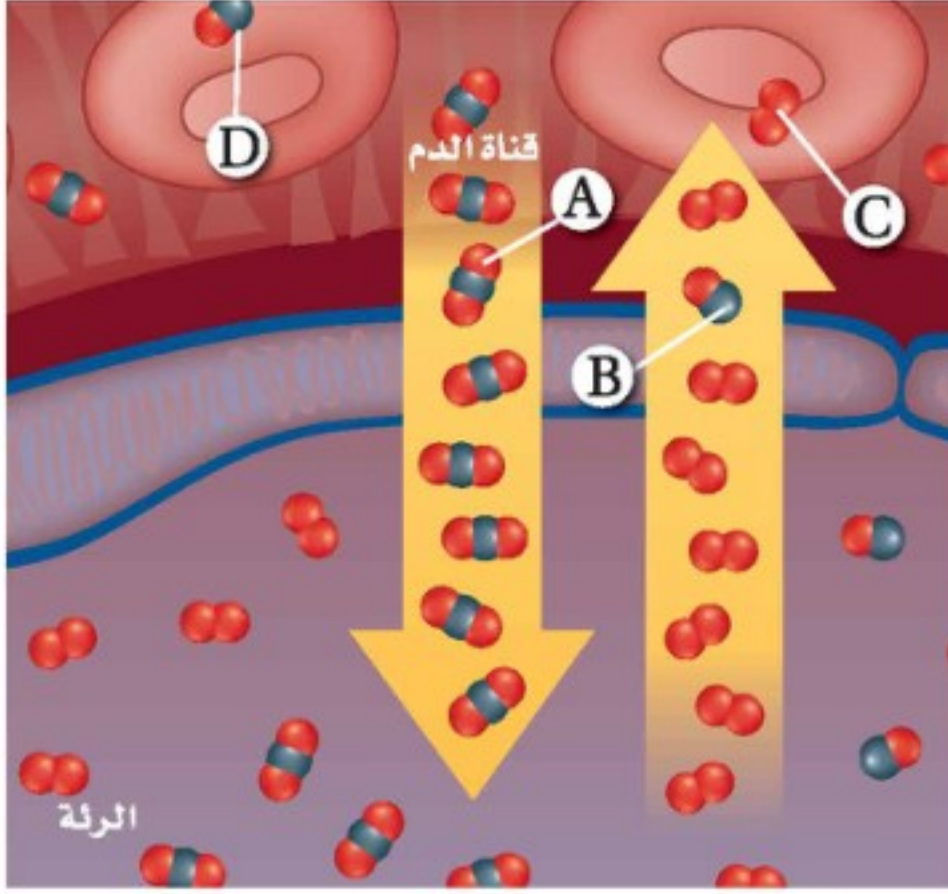
## العلاج بالأكسجين المضغوط Hyperbaric medicine

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

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



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



الشكل 2 تبادل الغازات بين الرئتين وجهاز الدوران.

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

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

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

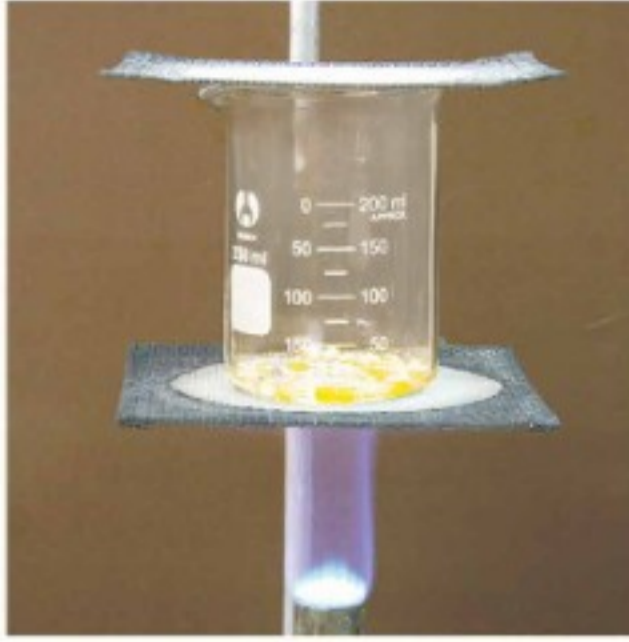
الأكسجين في بلازما الدم بالإضافة إلى الأكسجين الذي يحمله الهيموجلوبين يذوب الأكسجين في بلازما الدم كما هو مبين في C. وتساعد المعالجة بالأكسجين (HBOT) على زيادة تركيز الأكسجين المذاب إلى المقدار الذي يحافظ على الجسم سليمًا.

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

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

## مختبر الكيمياء

### تحديد الضغط في حبات الفشار



**الخلفية النظرية** عندما يكون ضغط بخار الماء داخل حبات الذرة المجففة (الفشار) كبيراً بشكل كافٍ، تتحول الحبات إلى فشار وتطلق بخار ماء. ويمكن استخدام قانون الغاز المثالي في إيجاد الضغط في هذه الحبات عند انفجارها.

**سؤال** ما مقدار الضغط اللازم لتنفس حبات الفشار؟

#### المواد والأدوات

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

#### احتياطات السلامة

#### خطوات العمل

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

12. قس الكتلة النهائية للكأس والزيت والفشار.

13. التنظيف والتخلص من الفضلات تخلص من حبات الذرة والزيت باتباع تعليمات معلمك. نظّف الأدوات المخبرية وضعها في أماكنها.

#### حلل واستنتج

1. احسب حجم حبات الذرة بالتر، وذلك من خلال إيجاد الفرق بين حجم الماء المقطر في المخبار قبل إضافة الذرة وبعده.
2. احسب الكتلة الكلية لبخار الماء المنطلق مستخدماً قياسات كتل الكأس والزيت وحبات الذرة قبل النفث وبعده.
3. حوّل استخدم الكتلة المولية للماء؛ لإيجاد عدد مولات الماء المتحررة.
4. استخدم الصيغ اعتبر أن درجة حرارة الزيت المغلي  $225^{\circ}\text{C}$  هي درجة حرارة الغاز، واحسب ضغط الغاز باستخدام قانون الغاز المثالي.
5. قارن بين الضغط الجوي وضغط بخار الماء في الحبات.
6. استنتج لماذا لم تنفس حبات الذرة جميعها؟
7. تحليل الخطأ حدّد مصادر الخطأ في هذه التجربة، واقترح طريقة لتصحيحها.

#### الاستقصاء

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



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

## 1-1 قوانين الغازات

### الفكرة الرئيسية

إن تغير الضغط أو درجة الحرارة أو الحجم لكمية ثابتة من غاز ستؤثر على المتغيرين الآخرين.

### المفردات

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

### المفاهيم الرئيسية

• ينص قانون بويل على أن حجم كمية محددة من الغاز يتناسب عكسيًا مع ضغطه عند ثبوت درجة الحرارة.

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

• ينص قانون شارل على أن حجم كمية محددة من الغاز يتناسب طرديًا مع درجة حرارته المطلقة عند ثبوت الضغط.

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

• ينص قانون جاي-لوساك على أن ضغط كمية محددة من الغاز يتناسب طرديًا مع درجة حرارته المطلقة عند ثبات الحجم.

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

• يربط القانون العام للغازات كلاً من درجة الحرارة والضغط والحجم في معادلة واحدة.

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

## 1-2 قانون الغاز المثالي

### الفكرة الرئيسية

يربط قانون الغاز المثالي عدد المولات مع كل من الضغط ودرجة الحرارة والحجم.

### المفردات

- مبدأ أفوجادرو
- الحجم المولاري
- ثابت الغاز المثالي (R)
- قانون الغاز المثالي

### المفاهيم الرئيسية

• ينص مبدأ أفوجادرو على أن الحجم المتساوية من الغازات عند نفس الضغط ودرجة الحرارة تحتوي على العدد نفسه من الجسيمات.

• يربط قانون الغاز المثالي كمية الغاز مع ضغطه ودرجة حرارته وحجمه.

$$PV = nRT$$

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

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

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

## 1-3 الحسابات المتعلقة بالغازات

### الفكرة الرئيسية

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

### المفاهيم الرئيسية

• تحدد المعاملات في المعادلات الكيميائية الموزونة النسب الحجمية للغازات المتفاعلة والنتيجة.

• يمكن أن تستخدم قوانين الغازات مع المعادلة الكيميائية الموزونة لحساب كميات الغازات المتفاعلة أو الناتجة عن التفاعل.

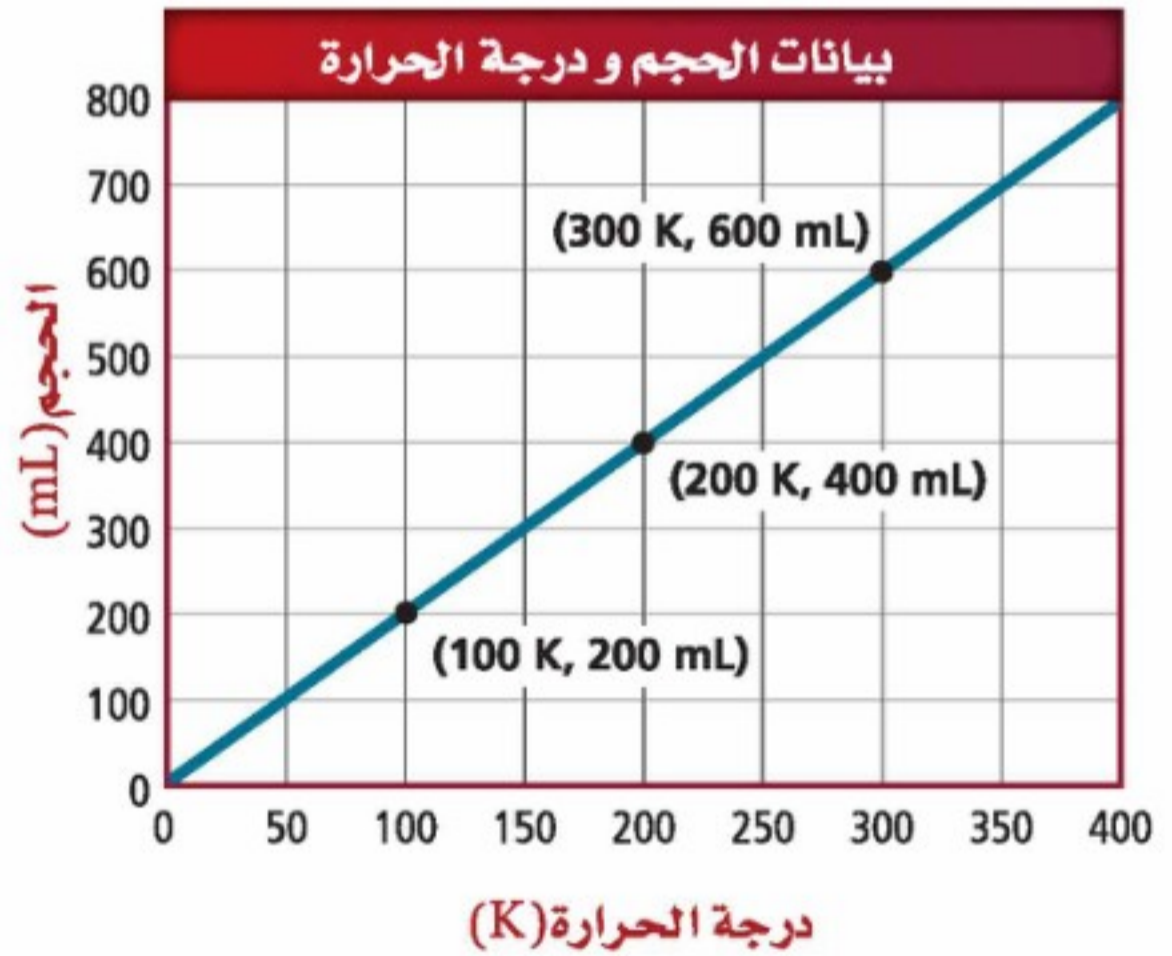
1-1

إتقان المفاهيم

50. اذكر نصوص قوانين بويل، وشارل، وجاي-لوساك والقانون العام للغازات، واكتب معادلاتها.
51. إذا تناسب متغيران تناسبًا عكسيًا فماذا يحدث لأحدهما إذا زاد الآخر؟
52. إذا تناسب متغيران تناسبًا طرديًا فماذا يحدث لأحدهما إذا زاد الآخر؟
53. ما الظروف المعيارية المستخدمة في حسابات الغازات؟
54. حدّد وحدات الضغط والحجم ودرجة الحرارة الأكثر استعمالاً.

إتقان المسائل

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



الشكل 1-13

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

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

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

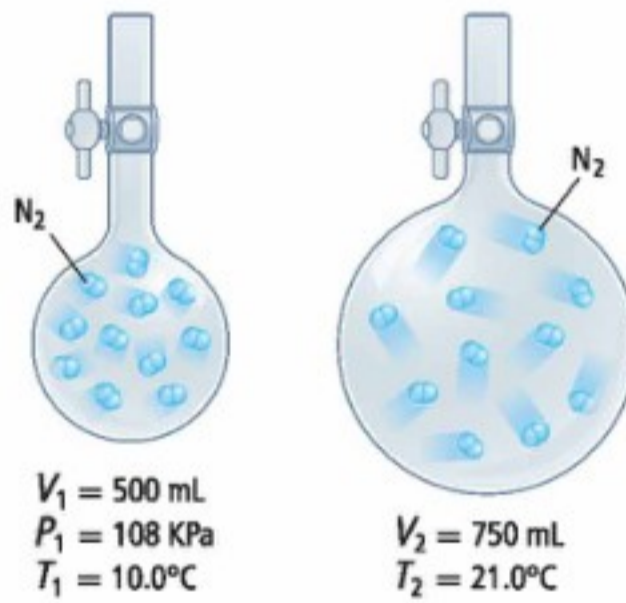
b.  $V_1 = 250$  mL,  $T_1 = ?$ ,  $V_2 = 400$  mL,  $T_2 = 298$  K

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

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

59. ما ضغط حجم ثابت من غاز الهيدروجين عند درجة حرارة  $30.0^\circ\text{C}$ ، إذا كان ضغط غاز الهيدروجين  $1.11$  atm عند درجة حرارة مقدارها  $15.0^\circ\text{C}$ ؟

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



الشكل 1-14

1-2

إتقان المفاهيم

61. اذكر نص مبدأ أفوجادرو.
62. اذكر نص قانون الغاز المثالي.

72. حدّد كثافة غاز الكلور عند درجة  $22.0^{\circ}\text{C}$  وضغط جوي (1.00 atm).

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

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

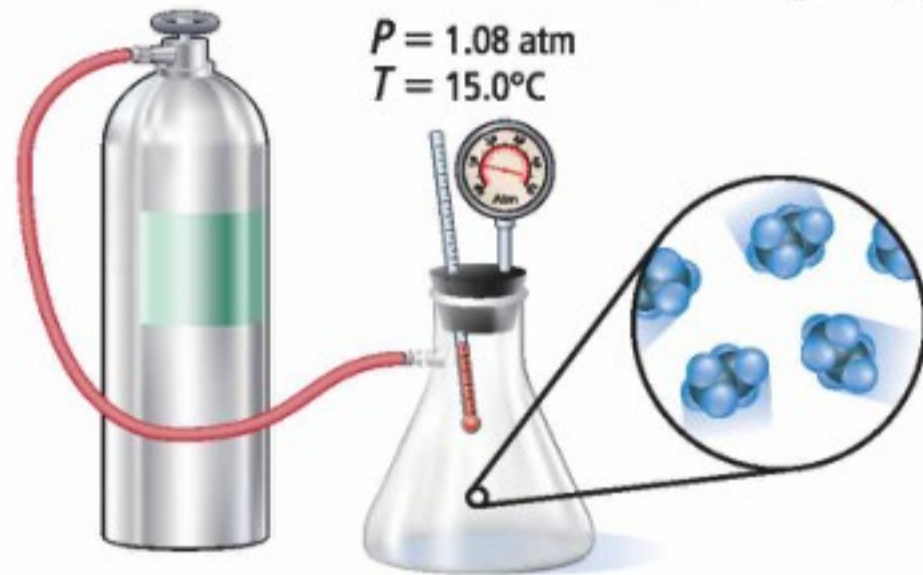


كتلة  $\text{C}_3\text{H}_8 = 0.52\text{kg}$

كتلة  $\text{N}_2 = 0.38\text{kg}$

الشكل 1-15

75. مُلئ دورق حجمه 2.00 L بغاز الإيثان  $\text{C}_2\text{H}_6$  من أسطوانة صغيرة، كما يظهر في الشكل 1-16. ما كتلة الإيثان في الدورق؟



الشكل 1-16

76. ما كثافة عينة من غاز النيتروجين  $\text{N}_2$ ، ضغطها 5.30 atm وفي وعاء حجمه 3.50 L عند درجة حرارة مقدارها  $125^{\circ}\text{C}$ ؟

77. ما عدد مولات غاز الهيليوم He اللازمة لتعبئة وعاء حجمه 22 L، عند درجة حرارة  $35.0^{\circ}\text{C}$ ، وضغط جوي مقداره 3.1 atm؟

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

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

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

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

## إتقان المسائل

67. غاز المنازل يستعمل غاز البروبان  $\text{C}_3\text{H}_8$  في المنازل لأغراض الطهي والتدفئة.

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

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

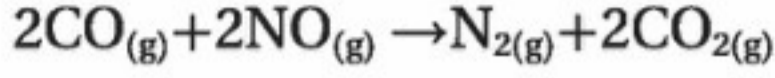
68. مهن في الكيمياء قاس كيميائي أقل ضغط يمكن الوصول إليه في المختبر فكان  $1.0 \times 10^{-15} \text{ mm Hg}$ ، ما عدد جسيمات غاز حجمه 1.00 L ودرجة حرارته  $22.0^{\circ}\text{C}$  عند هذا الضغط؟

69. احسب عدد مولات  $\text{O}_2$  الموجودة في وعاء مغلق حجمه 2.00 L ودرجة حرارته  $25.0^{\circ}\text{C}$ ، إذا كان ضغطه (3.50 atm). ما عدد المولات الموجودة في الوعاء إذا ارتفعت درجة الحرارة إلى  $49.0^{\circ}\text{C}$  وبقي الضغط ثابتًا؟

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

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

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



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

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

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

88. عند تسخين كلورات البوتاسيوم الصلبة  $\text{KClO}_3$  فإنها تتحلل لتنتج كلوريد البوتاسيوم الصلب وغاز الأكسجين. فإذا تحلل 20.8 g من كلورات البوتاسيوم، فما عدد لترات غاز الأكسجين التي ستنتج في الظروف المعيارية STP؟

### مراجعة عامة

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

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

a. STP

b. 3.00 atm و 160°C

c. 288 K و 118 Kpa

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

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

### 1-3

#### إتقان المفاهيم

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

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

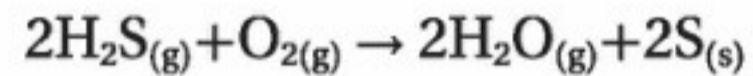
81. فسر لماذا لا تمثل المعاملات في المعادلة الكيميائية الموزونة أعداد المولات فقط، وإنما أيضًا الحجوم النسبية للغازات؟

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

#### إتقان المسائل

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

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



فإذا تفاعل  $\text{H}_2\text{S}$  تمامًا عند ضغط 2.0 atm ودرجة حرارة مقدارها 290 K فما كتلة (g) بخار الماء الناتج.

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

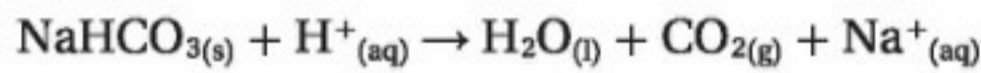
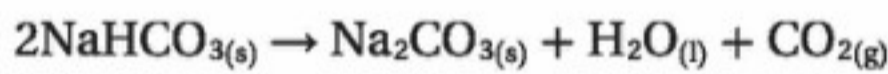
97. حُلِّ عندما يتفكك النيتروجين  $C_3H_5N_3O_9$  فإنه يتحلل إلى الغازات الآتية:  $CO_2$ ،  $N_2$ ،  $NO$ ،  $H_2O$ . ما حجم مزيج الغازات الناتجة عند ضغط  $1.00 \text{ atm}$  ودرجة حرارة  $2678^\circ\text{C}$  إذا تفكك  $239 \text{ g}$  من النيتروجين؟

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

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

### مسألة تحفيز

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



احسب حجم  $\text{CO}_2$  المتكون لكل جرام من  $\text{NaHCO}_3$  في كلا التفاعلين. افترض أن التفاعل يحدث عند  $210^\circ\text{C}$  وضغط جوي مقداره  $0.985 \text{ atm}$

### مراجعة تراكمية

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

247 g .a

7.23 mg .c

53 mg .b

975 mg .d

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

a. أول أكسيد الكربون عند  $90^\circ\text{C}$

b. ثالث فلوريد النيتروجين عند  $30^\circ\text{C}$

c. الميثان عند  $90^\circ\text{C}$

d. أول أكسيد الكربون عند  $30^\circ\text{C}$

92. التنفس يتنفس الإنسان  $0.50 \text{ L}$  من الهواء تقريباً خلال التنفس الطبيعي. افترض أن ذلك يتم في الظروف الطبيعية STP.

a. ما حجم النفس الواحد في يوم بارد على قمة جبل إفرست إذا كانت درجة الحرارة  $-60^\circ\text{C}$ ، والضغط  $253 \text{ mm Hg}$ ؟

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

93. يحترق غاز الميثان  $\text{CH}_4$  كاملاً عند تفاعله مع غاز الأكسجين ليكون ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء.

a. اكتب المعادلة الكيميائية الموزونة لهذا التفاعل.

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

### التفكير الناقد

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

95. احسب يستخدم مصنع للألعاب تترافلوروإيثان  $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$  عند درجة حرارة عالية لملء القوالب البلاستيكية.

a. ما كثافة  $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$  بوحدة  $\text{g/L}$  في الظروف المعيارية STP؟

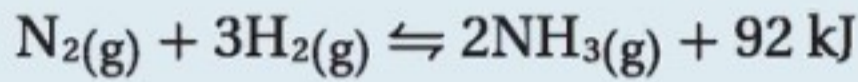
b. أوجد عدد الجزيئات في لتر من  $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$  عند درجة حرارة  $220^\circ\text{C}$  و  $1 \text{ atm}$  ضغط جوي.

96. حُلِّ يزن مكعب صلب من الجليد الجاف  $0.75 \text{ Kg}$  ( $\text{CO}_2$ ) تقريباً، فما حجم غاز  $\text{CO}_2$  في الظروف المعيارية عندما يتسامى المكعب كلياً؟

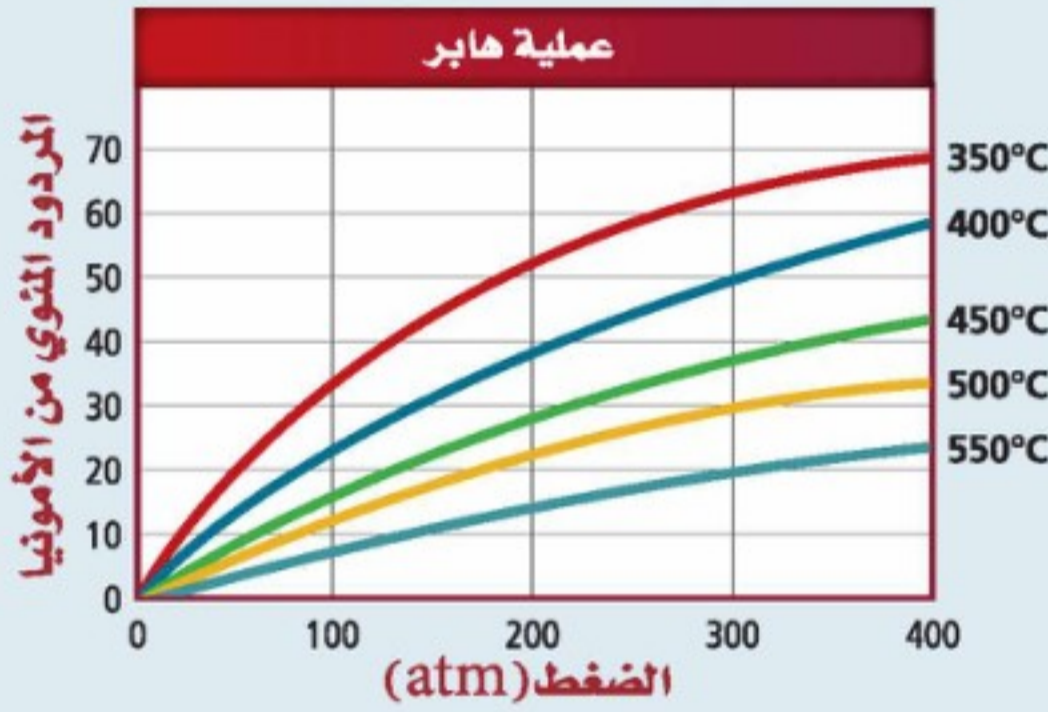
# 1 تقويم الفصل

## أسئلة المستندات

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



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



الشكل 1-17

109. فسركيف تتأثر نسبة المرود المثوية للأمونيا بالضغط ودرجة الحرارة؟

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

- a. ما أثر إجراء التفاعل عند ضغط أعلى من 200 atm، عند درجة حرارة الوعاء الذي يتم فيه التفاعل؟
- b. ترى، كيف يؤثر تقليل درجة حرارة التفاعل إلى 450°C على الزمن اللازم لإنتاج الأمونيا؟

103. اكتب التوزيع الإلكتروني لكل ذرة فيما يأتي:

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

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

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

105. إذا أعطيت محلولين شفافين عديمي اللون، وكان أحدهما يحتوي مركباً أيونياً، والآخر مركباً تساهمياً، فكيف يمكنك تحديد أي المحلولين أيوني، وأيها تساهمي؟

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

- a. إحلل الزنك مكان الفضة في محلول كلوريد الفضة.
- b. تفاعل هيدروكسيد الصوديوم وحمض الكبريتيك لتكوين كبريتات الصوديوم والماء.

## تقويم إضافي

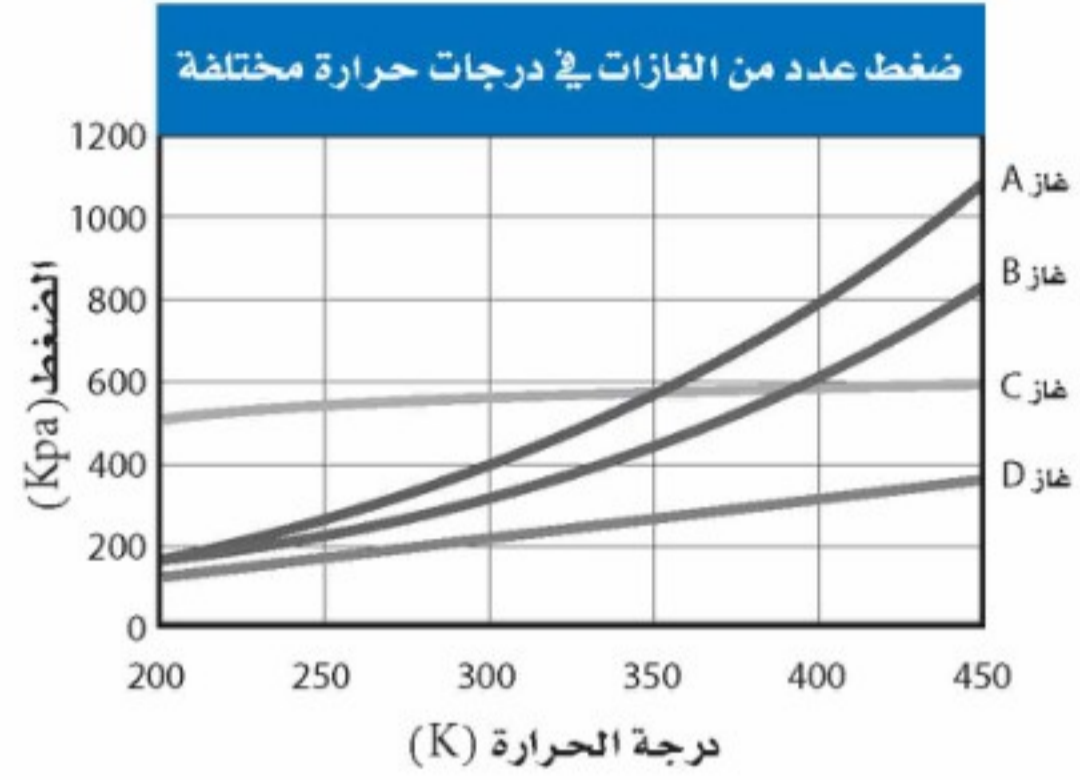
### الكتابة في الكيمياء

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

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

## أسئلة الاختيار من متعدد

استخدم الرسم البياني الآتي للإجابة عن السؤالين 1 ، 2:



1. أي مما يأتي يوضحه الرسم البياني أعلاه:

- عندما تزداد درجة الحرارة يقل الضغط.
- عندما يزيد الضغط يقل الحجم.
- عندما تزيد درجة الحرارة يقل عدد المولات.
- عندما يقل الضغط تقل درجة الحرارة.

2. أي الغازات الآتية يسلك سلوك الغاز المثالي؟

- الغاز A
- الغاز B
- الغاز C
- الغاز D

3. يستخدم حمض الهيدروفلوريك HF في صناعة الأدوات

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

- خاصية كيميائية
- خاصية فيزيائية كمية
- خاصية فيزيائية نوعية
- خاصية كمية

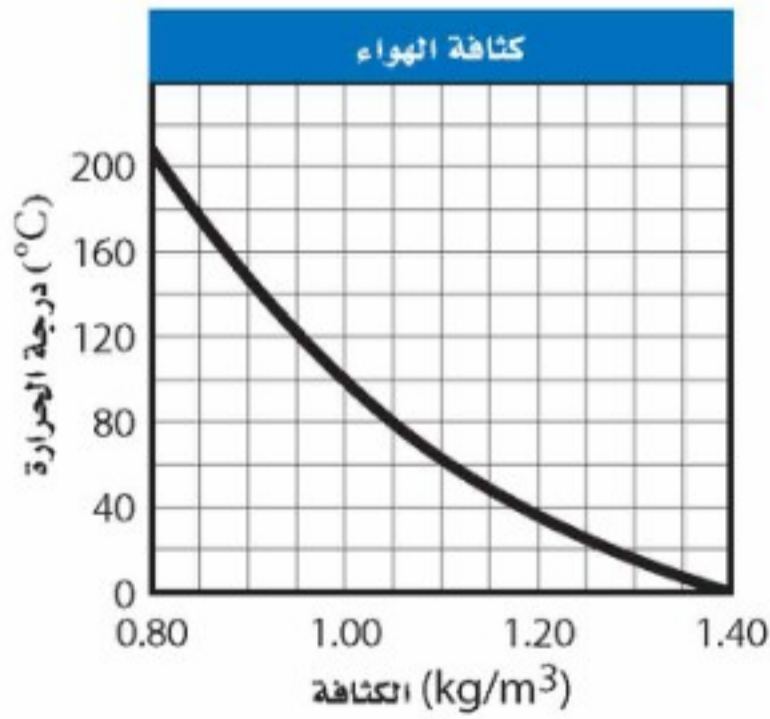
4. يعد هيدروكسيد الصوديوم NaOH قاعدة قوية، تستخدم في فتح مصارف الصرف الصحي. ما نسب مكونات هيدروكسيد الصوديوم؟

- 57.48% Na, 60.00% O, 2.52% H
- 2.52% Na, 40.00% O, 57.48% H
- 57.48% Na, 40.00% O, 2.52% H
- 40.00% Na, 2.52% O, 57.48% H

5. ملء منطاد صغير وهو على سطح الأرض بـ  $5.66 \times 10^6$  L من غاز الهيليوم He، وكان الضغط داخل المنطاد  $1.10 \text{ atm}$ ، عند درجة حرارة  $25^\circ\text{C}$ ، فإذا بقي الضغط داخل المنطاد ثابتاً، فكم يكون حجمه عند ارتفاع 2300 m حيث درجة الحرارة  $12^\circ\text{C}$ ؟

- $2.72 \times 10^6 \text{ L}$
- $5.40 \times 10^6 \text{ L}$
- $5.66 \times 10^6 \text{ L}$
- $5.92 \times 10^6 \text{ L}$

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



- الكثافة
- الكتلة
- درجة الحرارة
- الزمن

## اختبار مقنن

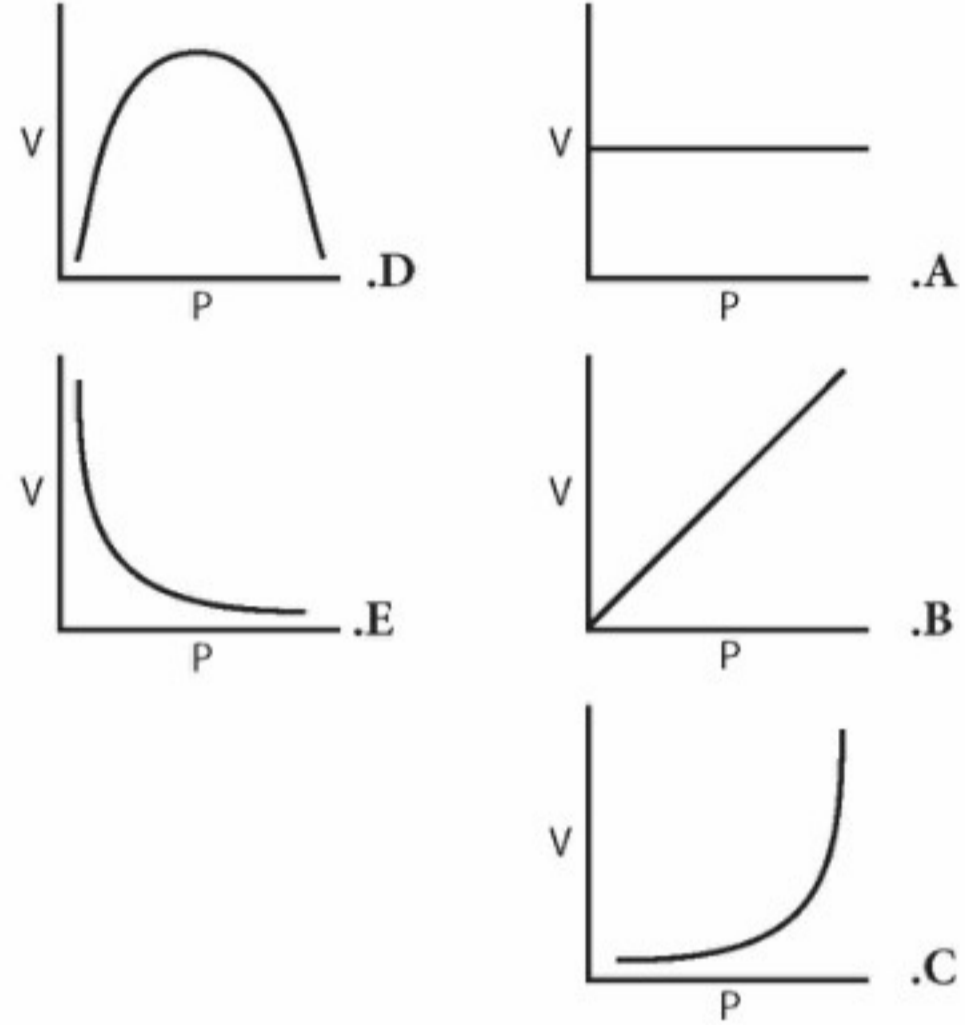
### أسئلة الإجابات المفتوحة

استخدم الجدول الآتي للإجابة عن السؤال 12:

مستويات غاز الرادون من أغسطس 2004 حتى يوليو 2005			
مستوى الرادون mJ/m <sup>3</sup>	التاريخ	مستوى الرادون mJ/m <sup>3</sup>	التاريخ
0.05	2 /05	0.15	8 /04
0.05	3 /05	0.03	9 /04
0.06	4 /05	0.05	10 /04
0.13	5 /05	0.03	11 /04
0.05	6 /05	0.04	12 /04
0.09	7 /05	0.02	1 /05

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

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



8. ما مقدار الضغط الذي يحدثه 0.0468 g من الأمونيا NH<sub>3</sub> على جدران وعاء حجمه 4.00 L عند درجة 35.0°C، على افتراض أنه يسلك سلوك الغاز المثالي؟

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

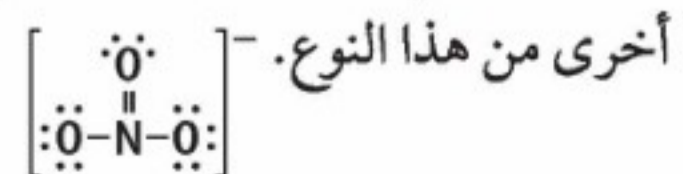
### أسئلة الإجابات القصيرة

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

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

11. يوضح الرسم أدناه بناء لويس لأيون النترات المتعدد الذرات (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

عرف مفهوم متعدد الذرات، وأعط أمثلة على أيونات







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

### 2-1 أنواع المخاليط

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

### 2-2 تركيز المحلول

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

### 2-3 العوامل المؤثرة في الذوبان

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

### 2-4 الخواص الجامعة للمحاليل

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

## حقائق كيميائية

- ينتج حوالي 42.3% من الفولاذ سنويًا عن إعادة التدوير.
- الحديد هو المكون الأساسي للفولاذ، لكن يمكن إضافة عناصر - منها النيكل والمنجنيز والكروم والفناديوم والتنجستون - بحسب المواصفات المطلوبة.
- يستعمل الأسمنت في صناعة الخلطات الأسمنتية و مواد البناء لتقويتها، وجعلها تتحمل العوامل البيئية العادية.
- ينتج نحو 6 بلايين متر مكعب من الخلطات الأسمنتية سنويًا. أي ما يعادل 1 متر مكعب (1m<sup>3</sup>) لكل شخص سنويًا.

## نشاطات تمهيدية

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

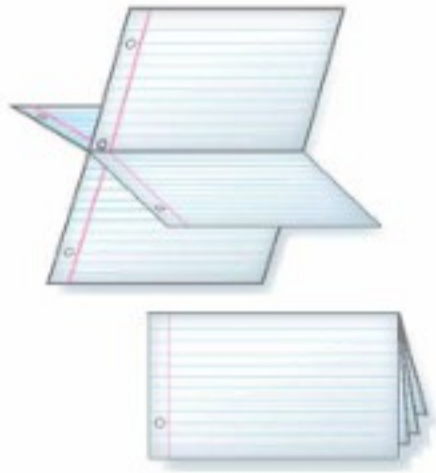
### المطويات

منظّمات الأفكار



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

**الخطوة 2** اقطع 3 cm على طول خط الشئ لإحدى الورقتين من كلا الجانبين. وقص الورقة الثانية على طول خط الشئ 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 استعمال هذه المطوية مع القسم 2-2

في أثناء قراءتك لهذا القسم، استعمال 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. املا 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.



## 2-1

### 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 تتميز بمكوناتها 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 2-1؛ 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 2-1 يمكن فصل المخلوط المعلق إذا ترك دون تحريك فترة من الزمن، أو فصله بالترشيح.

## أنواع المخاليط الغروية وأمثلة عليها

### الجدول 1-2

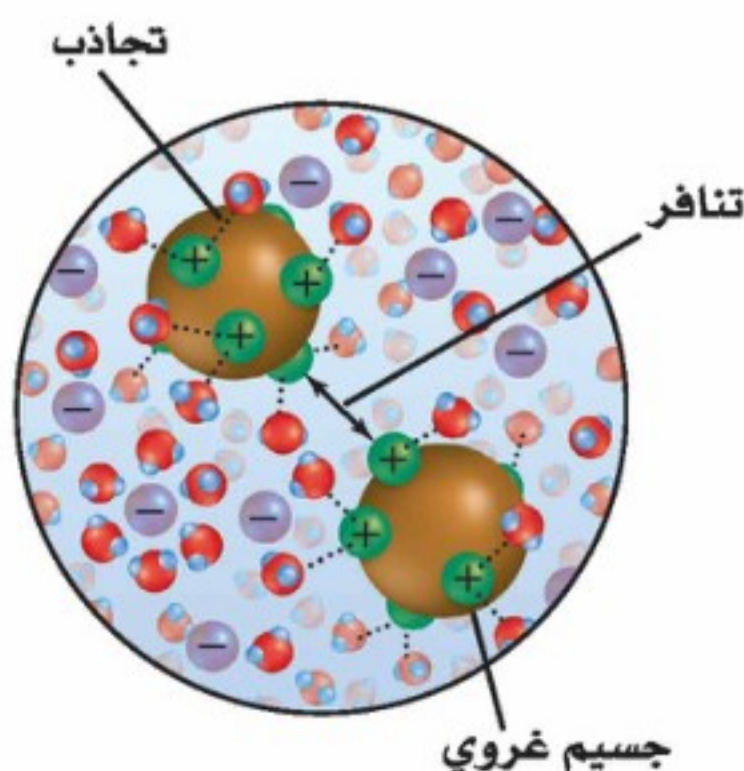
التصنيف	مثال	الجسيمات المنتشرة	وسط الانتشار
صلب في صلب	الأحجار الكريمة الملونة	صلب	صلب
صلب في سائل	الدم، الجيلاتين	صلب	سائل
مستحلب صلب	الزبد، الجبن	سائل	صلب
مستحلب	الحليب، المايونيز	سائل	سائل
رغوة صلبة	الصابون الذي يطفو، حلوى الخطمي	غاز	صلب
* الهباء الجوي الصلب	الدخان، الغبار في الهواء	صلب	غاز
* الهباء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

**المخاليط الغروية** لأن أحجام جسيمات المخلوطة المعلقة 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 1-2 وصف أنواع أخرى من المخاليط الغروية. تُمنع 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 2-2، 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 متآينة (إلكتروليزية) في مخلوط غروي مثلاً تتجمع الجسيمات المنتشرة معاً، وتتلف 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 2-2 تَكون جسيمات الوسط طبقات مشحونة حول الجسيمات المنتشرة، حيث تتنافر هذه الطبقات بعضها مع بعض، وتمنع الجسيمات المنتشرة من الترسب.



\* الهباء: مخلوط غروي يتكون من جسيمات دقيقة صلبة أو سائلة منتشرة في الهواء أو غاز آخر

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

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

✓ **ماذا قرأت؟ اشرح** سببين لعدم ترسب جسيمات المخلوط الغروي.

**تأثير تندال** يظهر المخلوط الغروي المركز عادةً معتمًا أو معكرًا، ولكن المخلوط الغروي المخفف يظهر أحيانًا 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 تندال**. يُظهر الشكل 2-3 مرور حزمة من الضوء في خلال مخلوطين مجهولين. ويمكنك ملاحظة كيف تعمل الجسيمات المنتشرة في المخلوط الغروي على تشتيت الضوء.

وتُظهر المخاليط المعلقة أيضاً تأثير تندال، أما المحاليل فلا يمكن أن تظهر هذه الظاهرة. كما يمكنك ملاحظة تأثير تندال عندما تشاهد مرور أشعة الشمس خلال الهواء المشبع بالدخان، أو مرور ضوء خلال الضباب. ويستخدم تأثير تندال في تحديد كمية الجسيمات المنتشرة في المخلوط 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 2-2. الهواء محلول غازي والمذيب فيه هو غاز النيتروجين. وقد تكون أسلاك تقويم الأسنان التي تضعها على أسنانك مصنوعة من النيتينول، 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 2-3

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

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

## الكيمياء في واقع الحياة

### ظاهرة تندال



تشكل أشعة الشمس عند مرورها داخل الغيوم لوحة فنية رائعة الجمال بقدرة الله عز وجل. ويمكنك ملاحظة ظاهرة تندال 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 المخلوط الغروي.
2. اربط بين المتغيرات التي استخدمتها في التجربة والعدد الحقيقي للجسيمات في المخلوط الغروي.
3. حلل ما احتياطات السلامة التي يجب اتخاذها؟
4. حدّد المواد اللازمة لقياس تأثير تبدال، واختر تقنية لجمع أو تفسير البيانات.

كيف يمكنك قياس التعكر؟ وضعت هيئة المواصفات والمقاييس ماء الشرب مجموعة من المعايير والمواصفات لضمان سلامته. ومن المواصفات التي يتم مراقبتها التعكر، 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 تعكر 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 2-2. وتسمى المادة التي لا تذوب في المذيب مادة غير ذائبة. فالرمل مثلاً لا يذوب في الماء. وتسمى السوائل التي تمتزج معاً فترة قصيرة عند خلطها، ثم تنفصل بعدها - السوائل غير الممتزجة. فالزيت مثلاً لا يمتزج مع الخل؛ أي أن الزيت لا يذوب في الخل.

#### أنواع المحاليل وأمثلة عليها

#### الجدول 2-2

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 2-1

### 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.



## 2-2

### الأهداف

- تصف التركيز باستعمال وحدات مختلفة.
- تحديد 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 2-4؛ 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 2-4 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 التعابير 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 2-3 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 2-4 2-4 تعكس شدة اللون تركيز الشاي، فتركيز الشاي ذو اللون الغامق أعلى من تركيز الشاي ذي اللون الفاتح.



الجدول 2-3	
نسب التركيز	وصف التركيز
$100 \times \frac{\text{كتلة المذاب}}{\text{كتلة المحلول}}$	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



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

**المطويات**

أدخل معلومات من هذا القسم في مطويتك.

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

**مثال 2-1**

**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 معًا).

**المعطيات**

كتلة المذاب = 3.6 g = NaCl

كتلة المذيب = 100 g = H<sub>2</sub>O

**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

$$3.6 \text{ g} + 100.0 \text{ g} = 103.6 \text{ g}$$

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

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

**3 تقويم الإجابة**

تكون النسبة المئوية بدلالة الكتلة صغيرة؛ لأن كتلة كلوريد الصوديوم 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 لهيبوكلوريت 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 وقوداً 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 و80% 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 باللتر 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.



## مثان 2-2

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

### 1 تحليل المسألة

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

### المطلوب

تركيز المحلول =  $M$  ؟

كتلة المذاب = 5.10 g  $C_6H_{12}O_6$

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

حجم المحلول = 100.5 mL

### المعطيات

### 2 حساب المطلوب

احسب عدد مولات  $C_6H_{12}O_6$

بتطبيق العلاقة الرياضية

عدد مولات المذاب = الكتلة (g) / الكتلة المولية

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

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

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؟

## مهمن في الكيمياء

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



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 2-5 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 5-2.

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 2-6 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 2-6، 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

$$M = \text{المولارية}$$

$$V = \text{الحجم}$$

$$M_1 V_1 = M_2 V_2$$

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 ملتر.

**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 ملتر 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 ملترات، 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.** تخفّض 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  $1 \text{ mol}$  من المذاب في  $1 \text{ kg}$  من المذيب  $1 \text{ m}$  (1 محلول مولالي).

### المولالية

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

### مثال 2-4

حساب المولالية أضاف طالب في إحدى التجارب  $4.5 \text{ g}$  من كلوريد الصوديوم إلى  $100.0 \text{ g}$  من الماء. احسب مولالية المحلول.

#### 1 تحليل المسألة

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

#### المعطيات

$$100.0 \text{ g} = \text{H}_2\text{O} \text{ كتلة الماء}$$

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

#### 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  $\text{H}_2\text{O}$  من جرامات إلى كيلوجرامات باستعمال معامل

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

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  $0.077 \text{ mol NaCl}$  وكتلة المذيب

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

$0.1000 \text{ kg H}_2\text{O}$

#### 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.

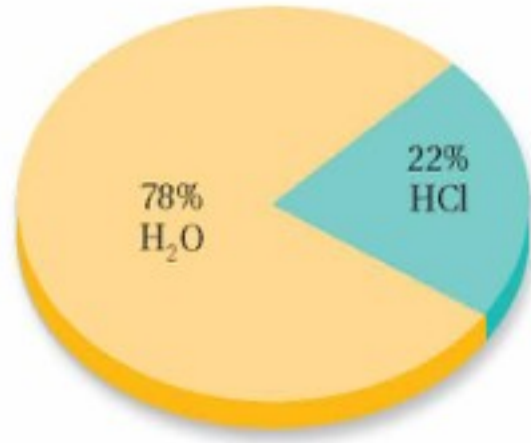
#### مسائل تدريبية

27. ما مولالية محلول يحتوي على  $10.0 \text{ g}$  من كبريتات الصوديوم  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ذائبة في  $1000.0 \text{ g}$  ماء؟

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



محلول حمض الهيدروكلوريك



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

$$0.22 + 0.78 = 1.00$$

الشكل 2-7 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 ( $X_{\text{H}_2\text{O}}$ ) 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.  
 $n_A$  و  $n_B$  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 2-7 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 2-2

### الخلاصة

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

- يقاس التركيز كميًا 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
- $$M_1V_1 = M_2V_2$$



## 2-3

### 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

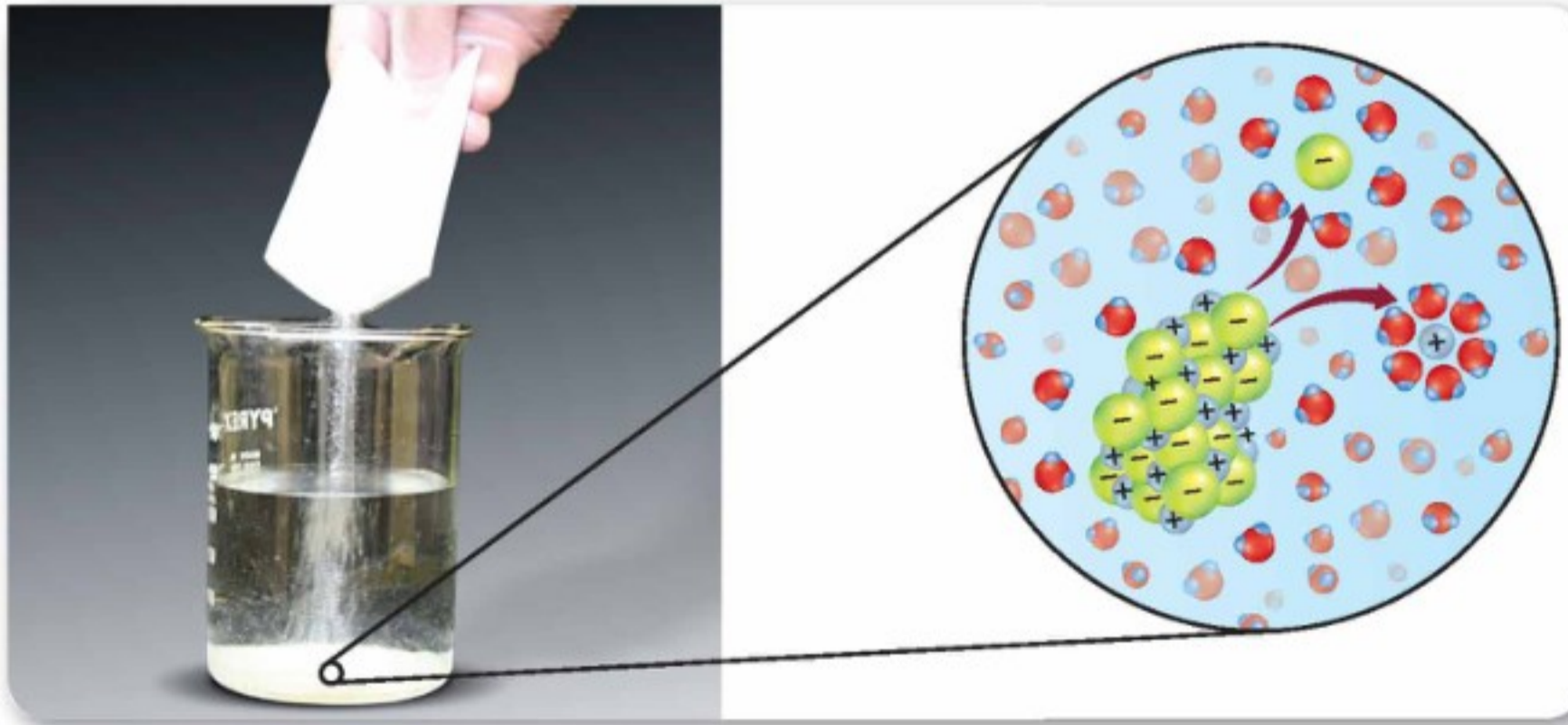
**الفكرة الرئيسية** يتأثر تكون المحلول بعوامل، منها الحرارة والضغط والقطبية.

**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

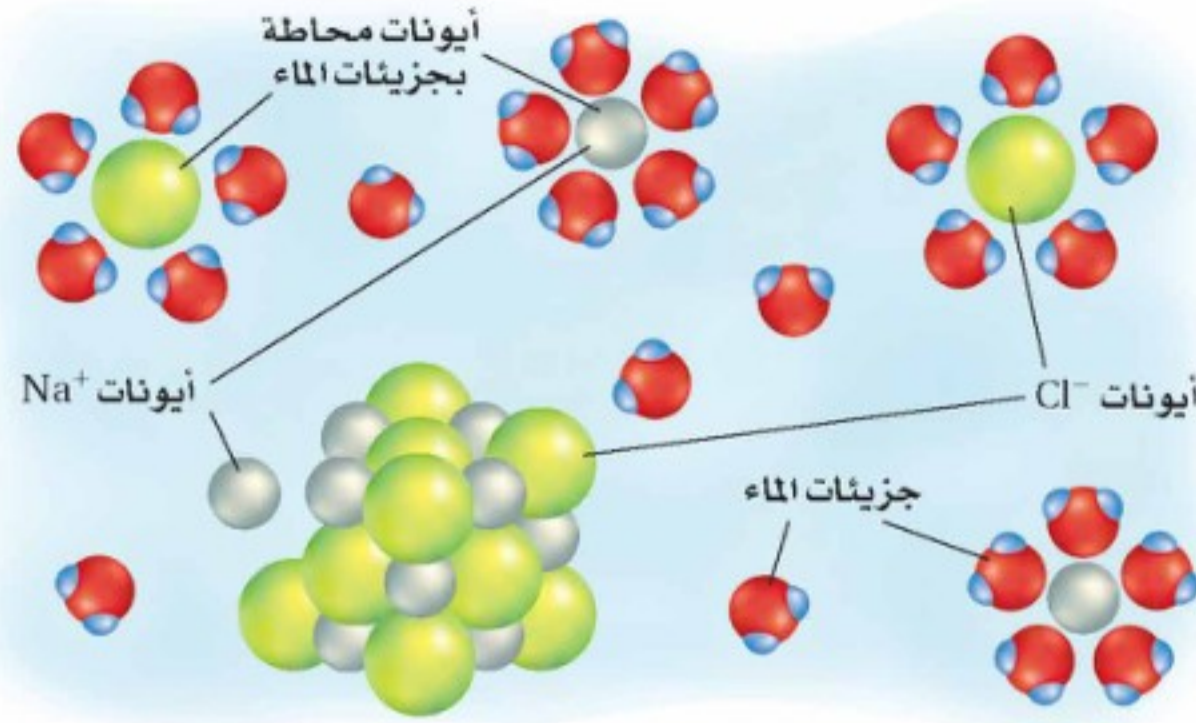
عند وضع مذاب صلب في مذيب، تحيط جسيمات المذيب بسطح المذاب الصلب تمامًا. فإذا كانت قوى التجاذب المتكونة بين جسيمات المذاب والمذيب أكبر من قوى التجاذب بين جسيمات المذاب نفسه فسوف تجذب جسيمات المذيب جسيمات المذاب، وتفصل بعضها عن بعض وتحيط بها، ثم تتعد جسيمات المذاب المحاطة بجسيمات المذيب عن المذاب الصلب،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

وتسمى عملية إحاطة جسيمات المذاب بجسيمات المذيب **الذوبان**، كما هو موضح في الشكل 2-8، 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 2-8 يأخذ الملح في الانفصال عندما يوضع في الماء؛ إذ تسحب جسيمات المذاب وتحاط بجسيمات المذيب.

ذوبان ملح الطعام NaCl في الماء



**الشكل 2-9** 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، معرضة أيونات أخرى على سطح البلورة للذوبان، وهكذا تستمر عملية الذوبان حتى تذوب البلورة كلها، انظر الشكل 2-9.

لا يمكن إذابة جميع المركبات الأيونية في الماء؛ فالجس 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 2-10.

**الشكل 2-10 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 الخليط.

1910

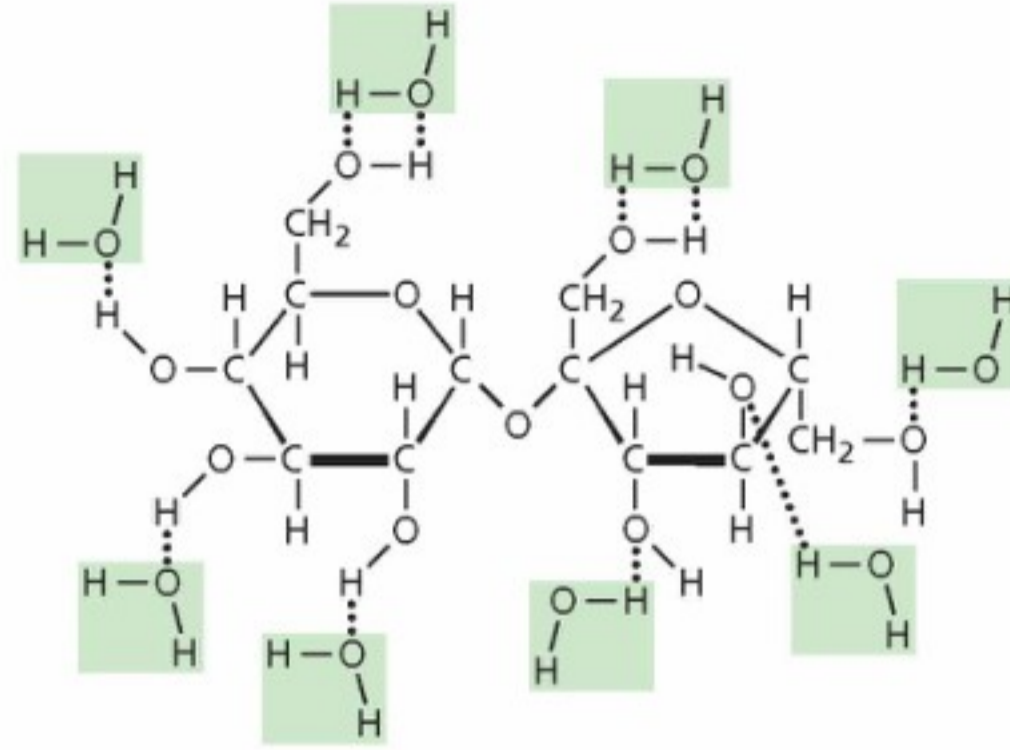
1890

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 11-2 يحتوي جزيء السكرز على 8 روابط O - H قطبية، وتكوّن جزيئات الماء القطبية روابط هيدروجينية مع الروابط O - H في السكرز، وتسحب جزيئات السكرز نحو المحلول.

**محاليل المركبات الجزيئية** يعد الماء مذيّباً جيّداً للكثير من المركبات الجزيئية. فسكر المائدة عبارة عن المركب الجزيئي السكرز، وتحتوي جزيئاته القطبية على عدة روابط من O - H، كما هو موضح في الشكل 11-2. وبمجرد ملامسة بلورات السكر الماء، تصطدم جزيئات الماء بالسطح الخارجي للبلورات، وتصبح كل رابطة O - H في السكرز موقعاً لتكوين روابط هيدروجينية مع الماء، لذا يتم التغلب على قوى التجاذب بين جزيئات السكرز بقوى التجاذب التي تتكون بين جزيئاته وجزيئات الماء القطبية، فتترك جزيئات السكرز 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 مذيّب غير قطبي؛ لأن المذاب غير القطبي يذوب بسهولة أكبر في المذيّب 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<sub>هـ</sub>)، لذلك فكلتا الخطوتين ماصّة للطاقة. وعند خلط جسيمات المذيب مع جسيمات المذاب تتجاذب جسيماتها وتنطلق طاقة تعرف طاقة التمييه ويرمز لها بالرمز (طه) أو (H<sub>hyd</sub>)، لذا فإن هذه الخطوة في عملية الذوبان طاردة للطاقة. ويسمى التغير الكلي للطاقة الذي يحدث خلال عملية تكون المحلول **حرارة الذوبان**.

وكما لاحظت في التجربة الاستهلالية أن بعض المحاليل تُنتج طاقة في أثناء تكونها (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؟** فسّر لماذا تنتج بعض المحاليل طاقة في أثناء تكونها بينما يمتص بعضها الآخر طاقة في أثناء تكونه؟

### العوامل المؤثرة في الذوبان Factors That Affect Solvation

يحدث الذوبان عند تصادم جسيمات المذاب والمذيب معاً. ويبين الشكل 12-2 ثلاث طرائق شائعة لزيادة التصادمات بين جسيمات المذاب والمذيب وزيادة سرعة الذوبان، وهي: التحريك، وزيادة مساحة سطح المذاب، ورفع درجة حرارة المذيب.

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

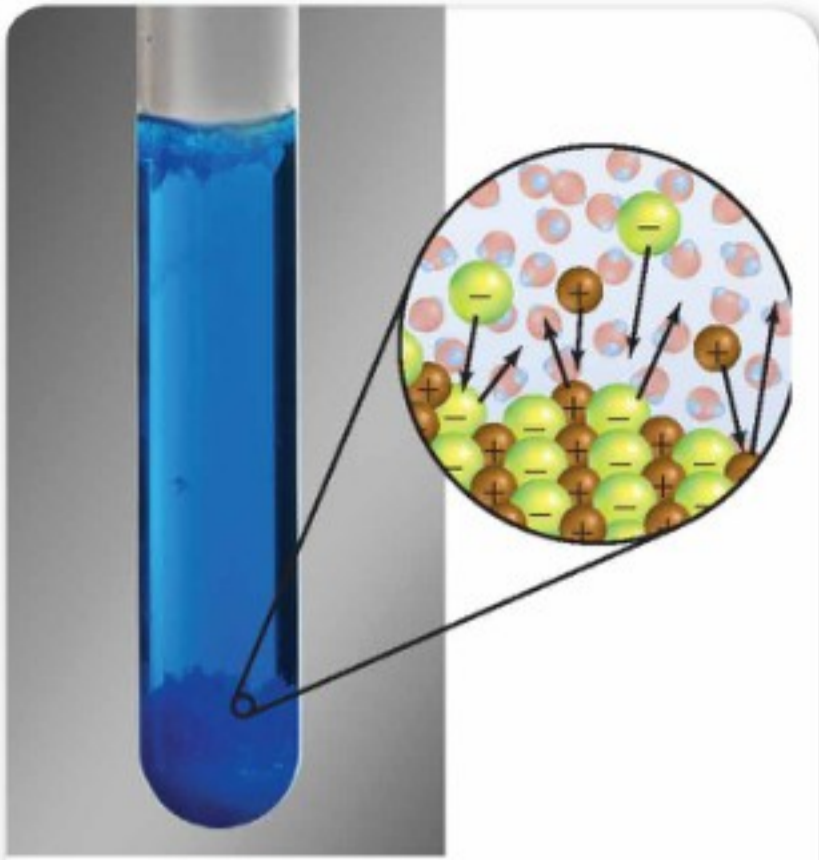


يذوب السكر المطحون بسرعة أكبر من مكعب السكر في الشاي المثلج، كما يزيد التحريك من سرعة ذوبان السكر المطحون.



يذوب السكر المطحون بسرعة كبيرة جداً في الشاي الساخن.

**الشكل 12-2** يؤثر كل من التحريك، ومساحة السطح، ودرجة الحرارة في سرعة الذوبان.



الشكل 2-13 تُساوي سرعة الذوبان في المحلول المشبع سرعة التبلور، لذلك لا تتغير كمية المذاب.

## الذائبية Solubilitys

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 عشوائيًا. إلا أنه مع زيادة عدد جسيمات المذاب الذائبة يزداد عدد تصادماتها مع بقية البلورة، مما يجعل بعضها يلتصق بسطح البلورة، أو يتبلور مرة أخرى، كما هو موضح في الشكل 2-13. ومع استمرار عملية الذوبان تزداد سرعة التبلور، بينما تبقى سرعة الذوبان ثابتة. ويستمر الذوبان ما دامت سرعة الذوبان أعلى من سرعة التبلور.

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

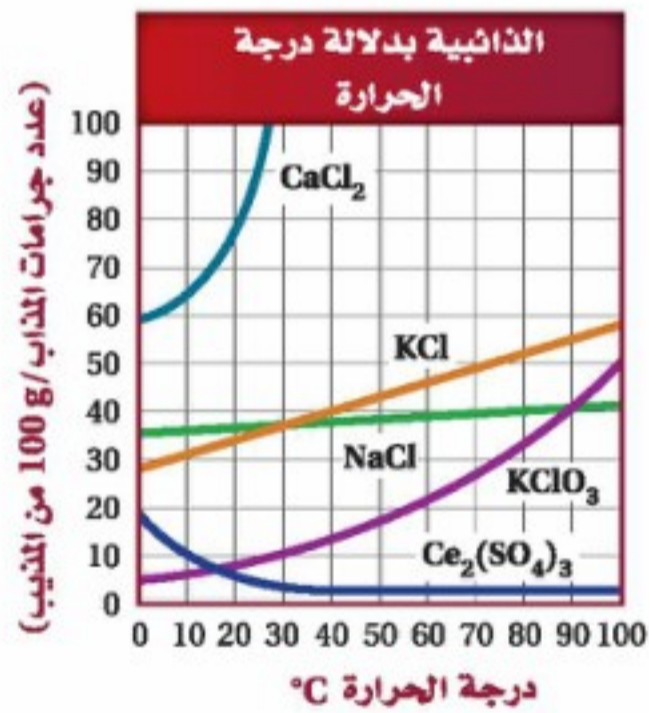
**المحلول غير المشبع** يحتوي المحلول غير المشبع على كمية مذاب أقل مما في المحلول المشبع عند درجة حرارة وضغط معينين. أي أنه يمكن إضافة كميات أكبر من المذاب إلى المحلول غير المشبع.

**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 2-13 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 2-14. فذائبية كلوريد الكالسيوم  $\text{CaCl}_2$  تساوي 64g لكل 100g من  $\text{H}_2\text{O}$  عند درجة حرارة  $10^\circ\text{C}$ ، وعند زيادة درجة الحرارة إلى  $27^\circ\text{C}$  تزداد الذائبية بنسبة 50% تقريبًا: 100 g  $\text{CaCl}_2$  لكل 100 g  $\text{H}_2\text{O}$  تقريبًا.

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

الشكل 2-14 يبين الرسم البياني أدناه منحنى ذائبية عدة مواد عند درجات حرارة مختلفة.



### اختبار الرسم البياني

حدد ذائبية  $\text{NaCl}$  عند درجة حرارة  $80^\circ\text{C}$ .

الذائبية في الماء عند درجات حرارة مختلفة				الصيغة الكيميائية	المادة
الذائبية (g/100 g H <sub>2</sub> O)*					
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*

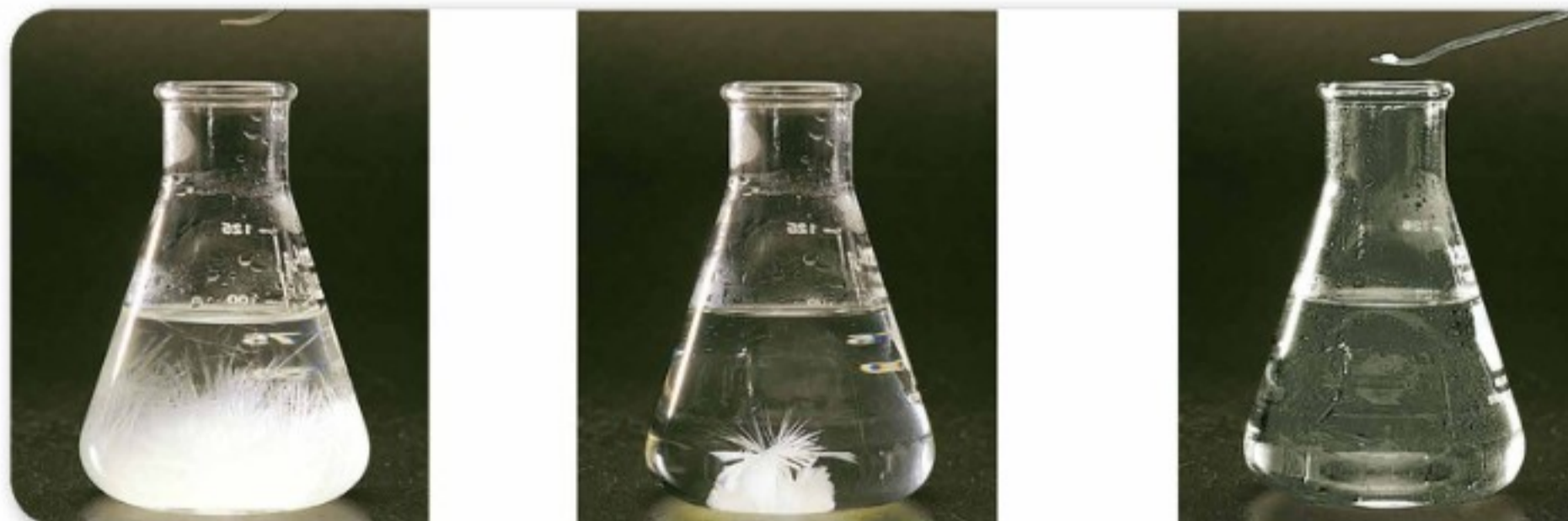
\* L/1 L H<sub>2</sub>O في حالة الغاز عند الضغط الجوي القياسي 101 kPa.

يمكن توضيح تأثير درجة الحرارة في ذائبية المواد من خلال البيانات الموجودة في الجدول 2-4. 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. وحقيقة أن الذائبية تتغير عند تغير درجة الحرارة وأن بعض المواد تصبح أكثر قابلية للذوبان عند زيادة درجة الحرارة، هي المفتاح الأساسي لتكوين المحاليل فوق المشبعة. يحتوي المحلول فوق المشبع على كمية أكبر من المادة المذابة مقارنة بمحلول مشبع عند درجة الحرارة نفسها. ولعمل محلول فوق مشبع يتم تحضير محلول مشبع عند درجة حرارة عالية، ثم يبرد تدريجيًا وببطء؛ إذ يسمح التبريد البطيء للمادة المذابة الزائدة أن تبقى مذابة في المحلول عند درجات حرارة منخفضة، كما هو موضح في الشكل 15-2.

## المفردات

### أصل الكلمة

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



بعد اضافة نواة التبلور

عند اضافة نواة التبلور

محلول فوق مشبع

الشكل 15-2 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 16-2 الرواسب المعدنية في  
الينابيع الحارة مثل (عيون الليث في المملكة  
العربية السعودية) تعتبر مثال على تكون  
البلورات من المحاليل فوق المشبعة .



## 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.

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 15-2.

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 قطرات 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 16-2  
- من محاليل فوق مشبعة.

**ذائبية الغازات** تقل ذائبية غازي الأكسجين وثاني أكسيد الكربون عند درجات  
الحرارة المرتفعة مقارنة بدرجات الحرارة المنخفضة. وهذا سلوك متوقع لجميع  
المواد الغازية المذابة في المذيبات السائلة. هل تستطيع تفسير هذا السلوك؟ تذكر  
أن الطاقة الحركية لجسيمات الغاز تسمح للجسيمات بالتححرر أو النفاذ 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.



ينص قانون هنري على أن "تناسب 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 17-2، 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 17-2 ثاني أكسيد الكربون  $CO_2$  مذاب في الصودا، كما يوجد بعضه فوق السائل.

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



يقال 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  $S_2$

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.

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

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

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

### 3 تقويم الإجابة

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

### مسائل تدريبية

36. إذا ذاب 0.55 g من 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 2-3

### 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 تشابه 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 2-4 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؟



## الخواص الجامعة للمحاليل

### Colligative Properties of Solutions

#### الأهداف

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

**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 فلعلك 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 18-2. 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.

#### مراجعة المفردات

الأيون؛ ذرة مشحونة كهربائياً.

#### المفردات الجديدة

الخواص الجامعة

الانخفاض في الضغط البخاري

الارتفاع في درجة الغليان

الانخفاض في درجة التجمد

الخاصية الأسموزية

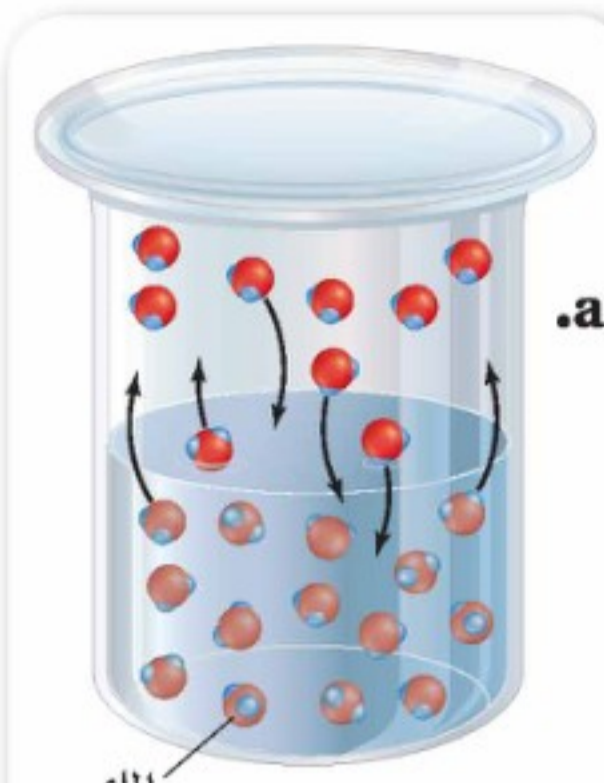
الضغط الأسموزي

**الشكل 18-2** محلول كلوريد الصوديوم موصل جيد للكهرباء؛ وذلك لأنه محلول لمادة متأينة، في حين لا يوصل محلول السكروز التيار الكهربائي؛ لأنه محلول لمادة غير متأينة.

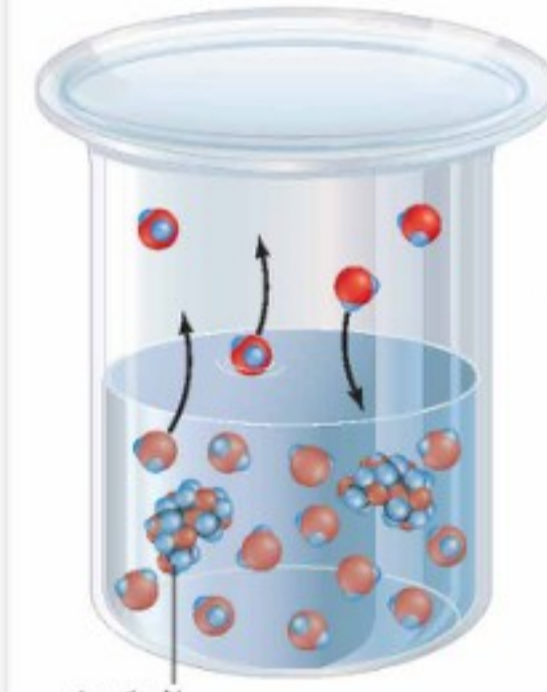


السكروز

كلوريد الصوديوم



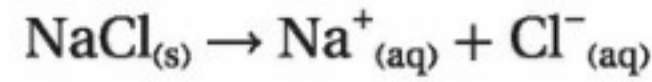
.a



.b

الشكل 19-2 الضغط البخاري لمذيب نقي أكبر من الضغط البخاري لمحلول يحتوي على مذاب غير متطاير.

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



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  $Na^+$  و  $Cl^-$ .

**المواد غير المتأيّنة 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 18-2. وتسمى المواد المذابة مواد غير متأيّنة. والسكروز مثال على المواد غير المتأيّنة؛ حيث يحتوي محلول السكروز الذي تركيزه 1 m على 1 mol فقط من جزيئات السكروز.

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

### الانخفاض في الضغط البخاري Vapor Pressure Lowering

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 19 a-2 تشغل جسيماته مساحة السطح كلها. أما عندما يحتوي المذيب على مذاب، كما في الشكل 19 b-2، فإن خليط جسيمات المذاب والمذيب يحتل مساحة سطح المحلول. وبسبب وجود كمية قليلة من جسيمات المذيب على السطح يتحول القليل منها إلى الحالة الغازية، ومن ثم ينخفض الضغط البخاري. وكلما ازداد عدد جسيمات المذاب في المذيب قل الضغط البخاري الناتج، لذا فإن **الانخفاض في الضغط البخاري** يعتمد على عدد جسيمات المذاب في المحلول، ولذلك فهو من الخواص الجامعة للمحاليل.

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

## 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

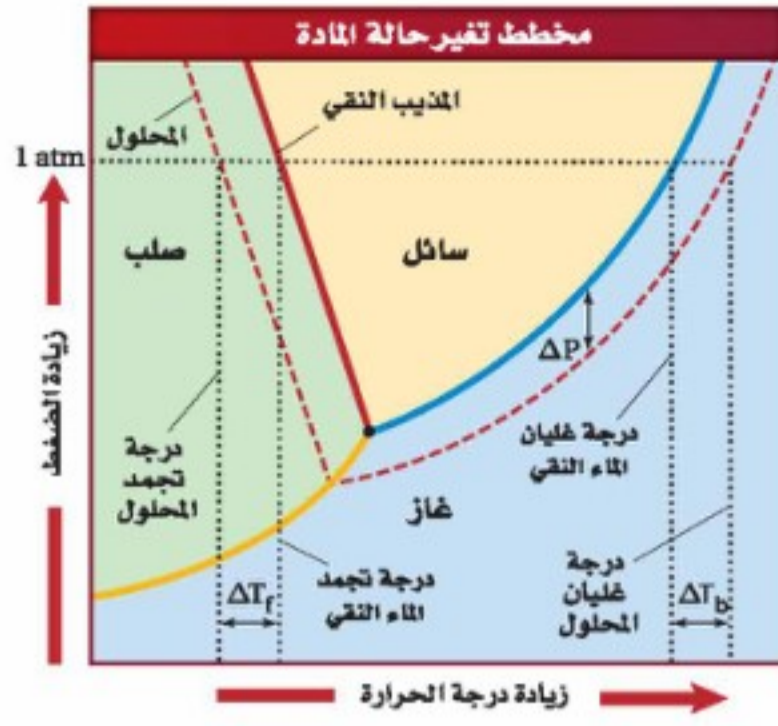
$m$  مولالية المحلول

$$\Delta T_b = K_b m$$

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 ارتفاع درجة الغليان هي  $^{\circ}C / m$ ، وتختلف قيمة الثابت  $K_b$  باختلاف المذيب. يبين الجدول 2-5 قيم  $K_b$  لعدد من المذيبات الشائعة. لاحظ أن قيمة  $K_b$  للماء هي  $0.512^{\circ}C / m$ ؛ وهذا يعني أن  $1 m$  من محلول مائي يحتوي على مذاب غير متطاير وغير متأين يغلي عند درجة حرارة  $100.512^{\circ}C$ ، وهذه الدرجة تزيد  $0.512^{\circ}C$  على درجة غليان الماء النقي  $100.0^{\circ}C$ .

وكما 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 2-5
$K_b$ $^{\circ}C / m$	درجة الغليان $^{\circ}C$	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 2-20 يؤثر الضغط والحرارة في حالة المذيب النقي (الخط المتصل)، الصلبة أو السائلة أو الغازية، ويؤثران أيضًا في المحلول (الخط المنقطع).

### اختبار الرسم البياني

صف كيف يمثل الفرق بين الخطين (المتصل والمنقطع) 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 2-20 ولاحظ أن المنحنى الذي يمثل المحلول يقع أسفل المنحنى الذي يمثل المذيب النقي عند أي درجة حرارة.

## الانخفاض في درجة التجمد Freezing Point Depression

ترتب 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 2-20 الفرق بين درجات الغليان والتجمد للماء النقي والمحلول المائي. وعند مقارنة الخطوط المتصلة مع المنقطعة في الرسم سوف تلاحظ أن نطاق درجة الحرارة للمحلول المائي في الحالة السائلة أكبر مما للماء النقي. ويبين الشكل 2-21 تطبيقين شائعين لاستعمال الملح لتقليل درجة تجمد المحلول المائي.

الانخفاض في درجة تجمد المحلول  $\Delta T_f$  هو الفرق بين درجة تجمد المحلول ودرجة تجمد المذيب النقي الموجود في المحلول.

الشكل 2-21 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 2-6 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 2-6		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 2-6.

## تجربة

### الانخفاض في درجة التجمد

كيف يمكنك قياس الانخفاض في درجة التجمد؟

#### الخطوات

1. املاً بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. املاً 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 (ثرموتر) غير زئبقي.
4. حرك محتويات كل كأس بساق مدة دقيقة واحدة، حتى تصبح درجتا حرارة الكأسين متماثلتين، وسجل درجة الحرارة.
5. أضف 75 g من ملح الطعام الخشن NaCl إلى إحدى الكأسين، وتابع التحريك في الكأسين، سوف يذوب بعض الملح.

6. عندما تثبت درجة الحرارة في كل كأس سجل كلا 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  $0.029\text{ m}$  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 =  $0.29\text{ m}$

### المطلوب

درجة الغليان =  $^{\circ}\text{C}$  ؟

درجة التجمد =  $^{\circ}\text{C}$  ؟

### 2 حساب المطلوب

احسب مولالية الجسيمات الفعلية

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

ضع العلاقات الرياضية للارتفاع في درجة الغليان

والانخفاض في درجة التجمد

$$\Delta T_b = K_b m$$

$$\Delta T_f = K_f m$$

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

$$m = 0.058\text{ m}$$

$$m = 0.029\text{ m} \times 2 = 0.058\text{ m}$$

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

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

احسب درجة الغليان بعد الارتفاع ودرجة التجمد بعد الانخفاض للمحلول.

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

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

أضف  $\Delta T_b$  إلى درجة الغليان

واطرح  $\Delta T_f$  من درجة التجمد

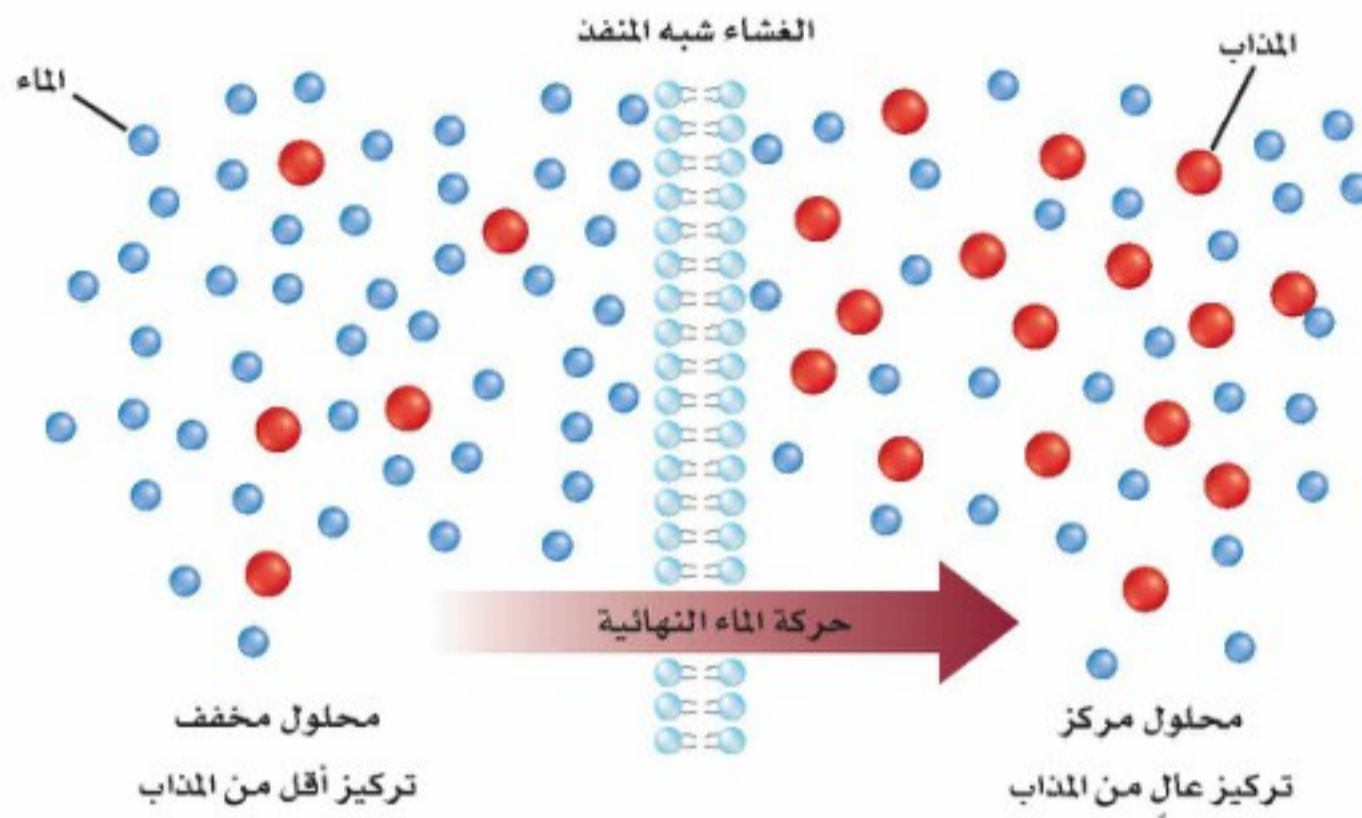
### 3 تقويم الإجابة

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

### مسائل تدريبية

45. احسب درجة الغليان ودرجة التجمد لمحلول مائي تركيزه  $0.625\text{ m}$  من أي مذاب غير متطاير وغير متأين.
46. ما درجة غليان محلول السكر في الإيثانول الذي تركيزه  $0.40\text{ m}$ ؟ وما درجة تجمده؟ علماً بأن السكر مادة غير متأينة؟
47. تحفيز تم اختبار محلول تركيزه  $0.045\text{ m}$  يحتوي على مذاب غير متطاير وغير متأين، ووجد أن الانخفاض في درجة تجمده بلغ  $0.084^{\circ}\text{C}$ . ما قيمة ثابت الانخفاض في درجة تجمده  $K_f$ ؟ وهل المذيب المكوّن منه المحلول في هذه الحالة هو الماء أو الإيثانول أو الكلوروفورم؟





الشكل 2-22 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.

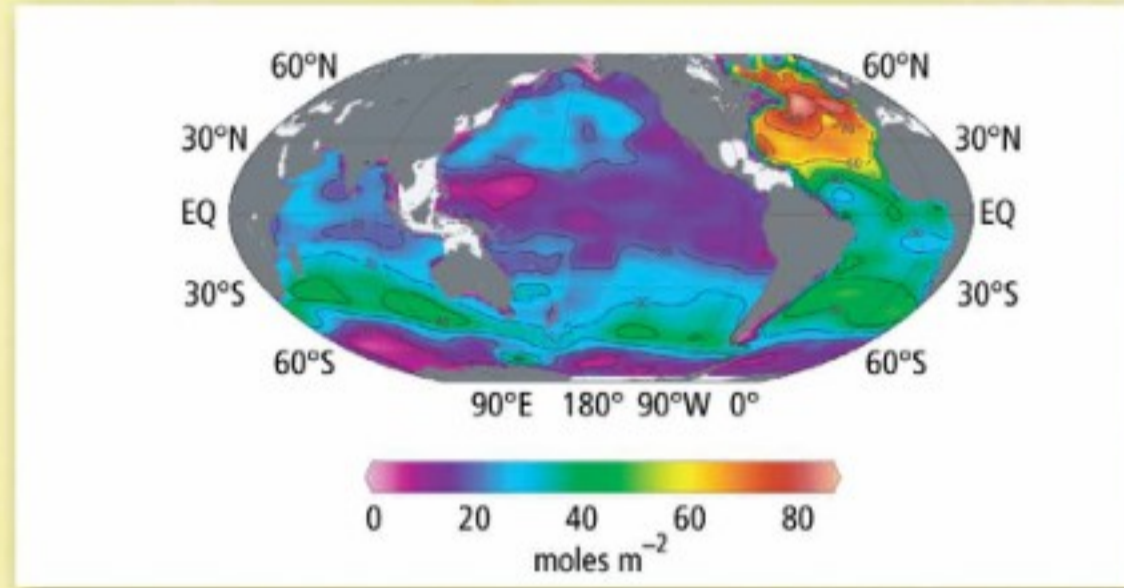
يبين الشكل 2-22 نظاماً يكون فيه المحلول المخفف مفصلاً عن المحلول المركز بغشاء شبه منفذ. تتحرك جزيئات الماء خلال العملية الأسموزية في الاتجاهين عبر الغشاء، ولكن جزيئات المذاب لا تستطيع العبور. وتنتشر جزيئات الماء عبر الغشاء من المحلول المخفف إلى المحلول المركز. وتسمى كمية الضغط الإضافي الناتج عن انتقال جزيئات الماء إلى المحلول المركز **الضغط الأسموزي**. ويعتمد الضغط الأسموزي على عدد جسيمات المذاب في كمية محددة من المحلول، وهو خاصية جامعة للمحاليل.

## التقويم 2-4

### الخلاصة

- تقلل المواد المذابة غير المتطايرة الضغط البخاري للمحلول.
  - يرتبط الارتفاع في درجة الغليان مباشرة بمولالية المحلول.
  - يكون الانخفاض في درجة التجمد للمحلول أقل من درجة تجمد المذيب النقي.
  - يعتمد الضغط الأسموزي على عدد جسيمات المذاب في حجم معين.
48. **الفكرة 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 متآينة؟
  53. تحقق إذا علمت أن الارتفاع في درجة غليان محلول مائي لمذاب غير متآين وغير متطاير تساوي  $1.12^\circ\text{C}$ ، فما مولالية المحلول؟

في كيميائية المياه، مما قد يلحق ضرراً، أو يقتل المخلوقات البحرية. فعلى سبيل المثال أظهرت الشعب المرجانية المنتشرة في مختلف أنحاء العالم دلائل إجهاد؛ نتيجة زيادة مستوى  $CO_2$  الذائب في الماء.



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

### الحجز في أعماق البحار Deep ocean sequestration

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

### بحوث مستمرة Ongoing research

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

### الكتابة في الكيمياء

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

# في الميدان

مهن: كيميائي البيئة

## محلول $CO_2$

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

### جمع البيانات عن $CO_2$ Collecting $CO_2$ data

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

### جمع وتخزين $CO_2$ $CO_2$ capture and storage

هناك طريقة واحدة لتقليل كمية  $CO_2$  المنطلقة إلى الغلاف الجوي، وهي جمع وتخزين  $CO_2$  الناتج عن حرق الوقود الأحفوري. يقوم العلماء بالبحث عن احتمالية حقن  $CO_2$  الذي تم جمعه مباشرة في المحيط؛ وذلك لتسريع عملية ذوبانه؛ حيث تقلل هذه العملية من أثر الاحتباس الحراري الذي يسببها غاز  $CO_2$ . ومع ذلك فقد يؤدي اختلال التوازن الطبيعي لثاني أكسيد الكربون  $CO_2$  الذائب إلى آثار بالغة

## مختبر الكيمياء

### استقصاء العوامل المؤثرة في الذائبية



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

**سؤال** كيف تؤثر هذه العوامل في سرعة تكوين المحلول؟

#### المواد والأدوات اللازمة

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

#### إجراءات السلامة



#### خطوات العمل

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. صمم 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 و8 مع الأنبوبين الثالث والرابع.
11. استعمل ساق التحريك الزجاجية لتحريك أنبوب الاختبار الثاني مدة دقيقة أو اثنتين.
12. اترك الأنبوب الثالث دون تحريك.

13. حرك المحلول الرابع بالساق الزجاجية مدة دقيقة أو اثنتين.
14. كرر الخطوات 7 و8 مع الأنبوب الخامس باستعمال ماء أكثر برودة، واترك الأنبوب بلا تحريك.
15. كرر الخطوات 7 و8 مع الأنبوب السادس باستعمال ماء ساخن، واترك الأنبوب بلا تحريك.
16. **التنظيف والتخلص من النفايات** تخلص من بقايا المواد الصلبة والمحاليل باتباع إرشادات معلمك. ونظف أدوات المختبر جميعها، 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 مجهري (لا يمكن ملاحظته) لأثر هذه العوامل في سرعة تكوين المحلول. ماذا يحدث على مستوى الجزيئات لتسريع تكوين المحلول في كل حالة؟

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

### 2-1 أنواع المخاليط

#### الأفكار الرئيسية

- 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، 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

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

### 2-2 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

### 2-3 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

### 2-4 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

2-1

إتقان المفاهيم

54. وضح المقصود بالعبارة "ليست كل المخاليط محاليل".  
55. ما الفرق بين المذاب والمذيب؟  
56. ما المخلوط المعلق؟ وفيه يختلف عن المخلوط الغروي؟  
57. كيف يستخدم تأثير تندال للتمييز بين المخلوط الغروي والمحلول؟ لماذا؟  
58. سمِّ مخلوطاً غروباً مكوناً من غاز مذاب في سائل؟  
59. تتبيلة السلطة ما نوع الخليط غير المتجانس الموضح في الشكل 2-23؟ وما الخصائص التي اعتمدت عليها في تصنيفك؟



الشكل 2-23

60. ما الذي يسبب الحركة البراونية في المخلوط الغروي؟

2-2

إتقان المفاهيم

61. ما الفرق بين النسبة المئوية بالكتلة والنسبة المئوية بالحجم؟  
62. ما الفرق بين المولارية والمولالية؟  
63. ما العوامل التي يجب أخذها 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 يحضّر 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 2-7 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 2-7 محاليل HCl	
حجم محلول 12 M HCl القياسي بوحدة mL	مولارية HCl
	0.50
	1.0
	1.5
	2.0
	5.0

## 2 تقويم الفصل

### 2-3

#### إتقان المفاهيم

85. صف عملية الذوبان.

86. اذكر ثلاث طرائق لزيادة سرعة الذوبان.

87. اشرح الفرق بين المحاليل المشبعة والمحاليل غير المشبعة.

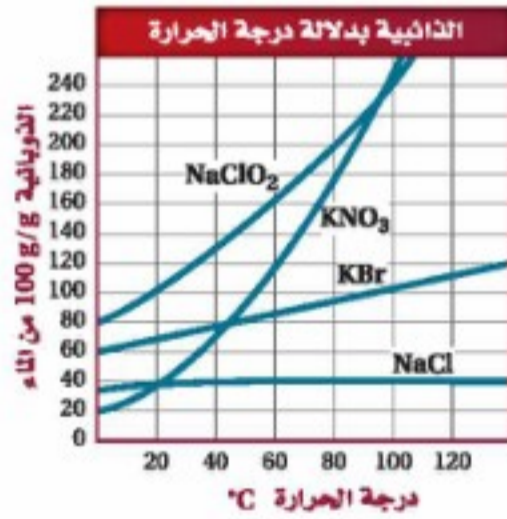
#### إتقان حل المسائل

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 2-25 لمقارنة ذائبية بروميد البوتاسيوم  $\text{KBr}$  ونترات البوتاسيوم  $\text{KNO}_3$  عند درجة حرارة  $80^\circ\text{C}$ .



الشكل 2-25

92. استعن بقانون هنري لإكمال الجدول 2-8

جدول 2-8 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؟

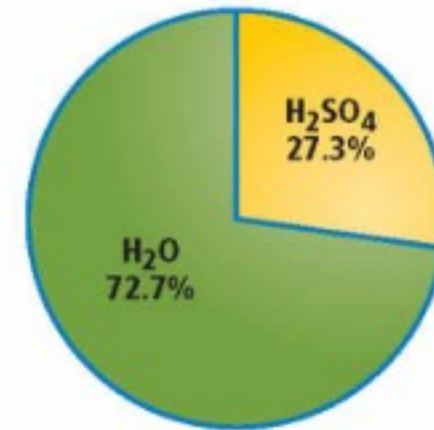
79. ما مولالية محلول يحتوي على  $75.3 \text{ g}$  من  $\text{KCl}$  مذابة في  $95.0 \text{ g}$  من الماء؟

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 2-24، واحسب الكسر المولي لحمض الكبريتيك  $\text{H}_2\text{SO}_4$  في المحلول.



الشكل 2-24

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 الإسترانشيوم  $\text{SrCl}_2$  أم 150 g من رابع كلوريد الكربون  $\text{CCl}_4$ ؟ فسر إجابتك.

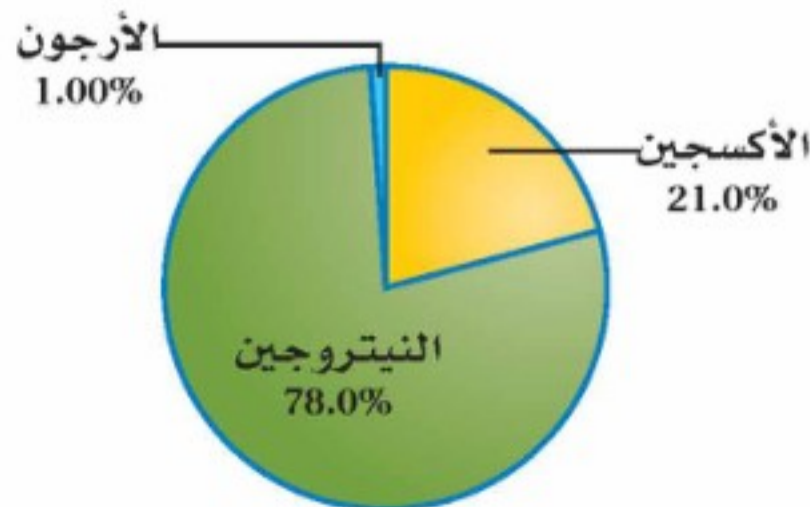
جدول 2-9 هل الذوبان ممكن؟	
مذيب	مذاب
$\text{H}_2\text{O}$ سائل	$\text{MgCl}_2$ صلب
$\text{C}_6\text{H}_6$ سائل	$\text{NH}_3$ سائل
$\text{H}_2\text{O}$ سائل	$\text{H}_2$ غاز
$\text{Br}_2$ سائل	$\text{I}_2$ سائل

103. استعمل معرفتك بالقطبية والذائبية لتوقع ما إذا كان الذوبان ممكناً في كل من الحالات الموضحة في الجدول 2-9. 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. يبين الشكل 2-26 النسب المئوية لمكونات عينة من الهواء. احسب الكسر المولي لكل غاز في العينة.



الشكل 2-26

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

2-4

إتقان المفاهيم

94. عرف الخاصية الجامعة.  
95. استعمل مصطلحي (المركز والمخفف) لمقارنة المحلول على طرفي غشاء شبه منفذ.  
96. حدد كل متغير في المعادلة الآتية:  $\Delta T_b = K_b m$ .  
97. ما المقصود بالضغط الأسموزي؟ ولماذا يعد خاصية جامعة؟

إتقان 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 2-6.  
99. إذا قمت بإذابة 179 g من  $\text{MgCl}_2$  في 1.00 L ماء فاستعن بالجدول 2-6 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 2-6.  
101. الثلجات (الآيس كريم) يستعمل خليط الملح  $\text{NaCl}$  والثلج والماء لتبريد الحليب والكريمة لصنع مثلجات (آيس كريم) منزلية. ما كمية الملح بالجرامات التي يجب إضافتها إلى الماء لتخفيض درجة التجمد  $10.0^\circ\text{C}$ ؟

## 2 تقويم الفصل

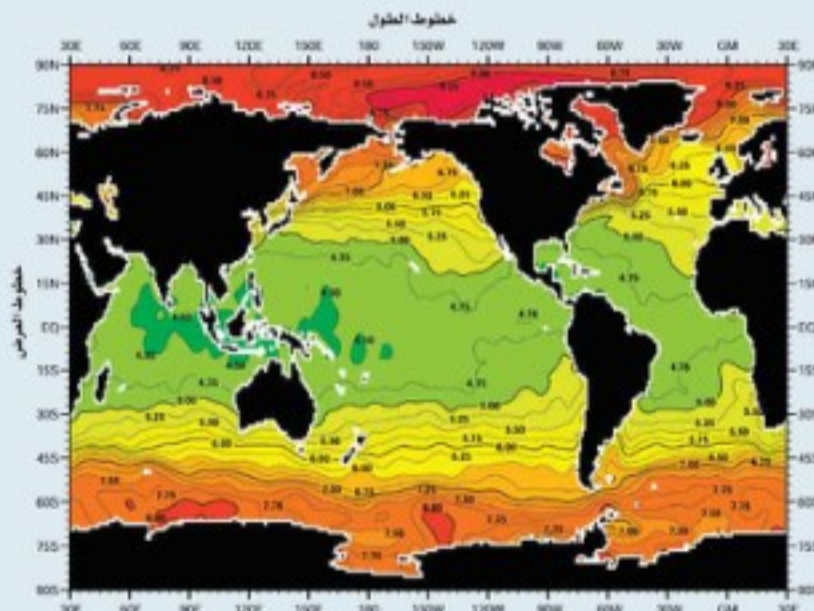
### تقويم إضافي

#### 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 2-28 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 2-28

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، واربط 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 كميتي المذاب والمذيب اللازمة، والخطوات المستعملة في تحضير المحلول.

108. قارن واستخلص النتائج ادرس المخطط في الشكل 2-21، 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 يبين الشكل 2-27 ذائبية الأرجون في الماء عند ضغوط مختلفة. استعمل قانون هنري للتحقق من الذائبية عند (15atm).



الشكل 2-27

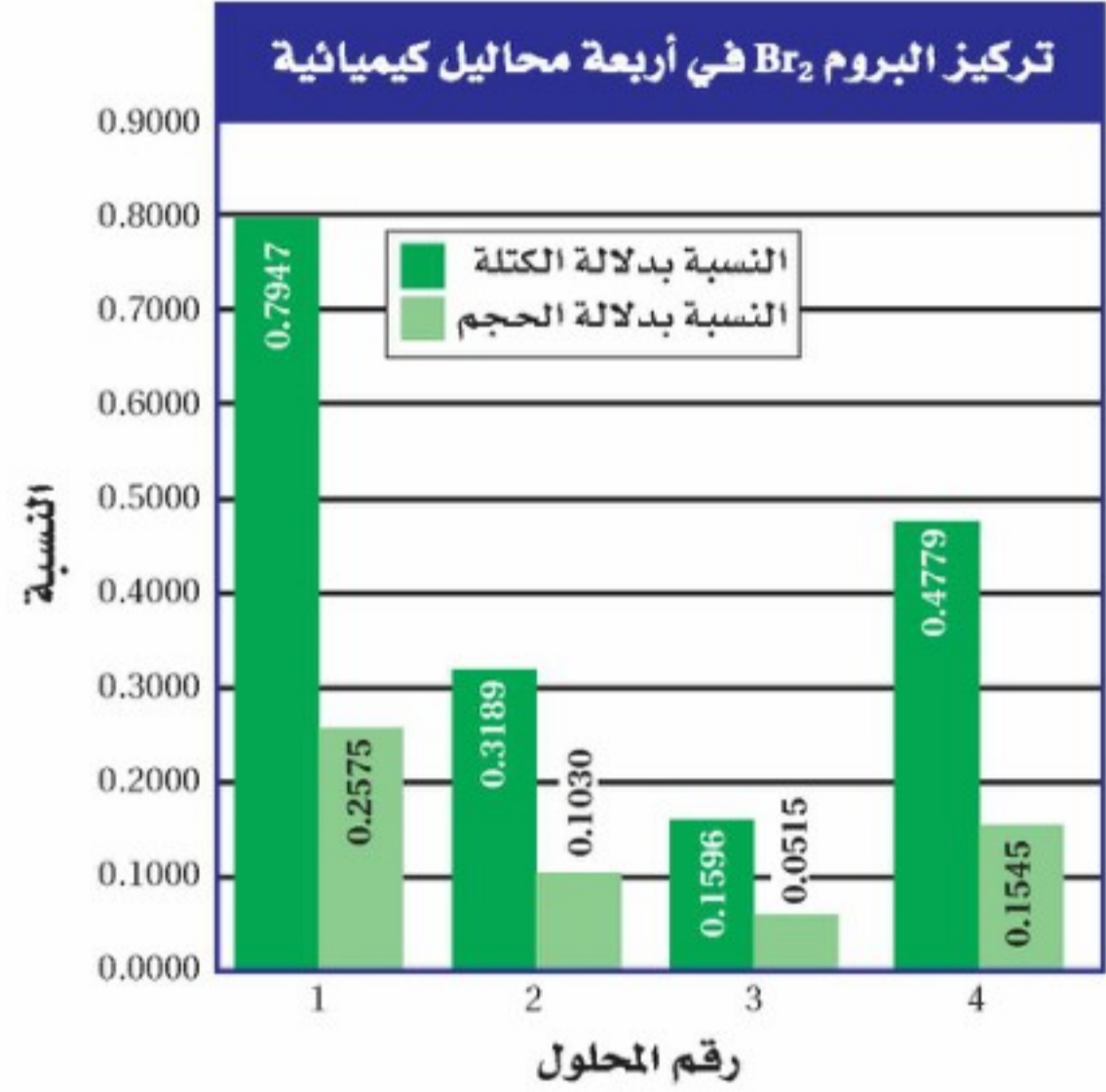
### مسألة تحفيز

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 و2.



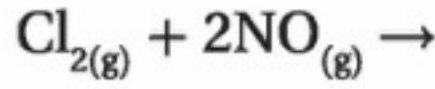
1. ما حجم البروم  $Br_2$  الذائب في 7.00 L من المحلول 1؟

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

2. ما كمية البروم (بالجرام) 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؟

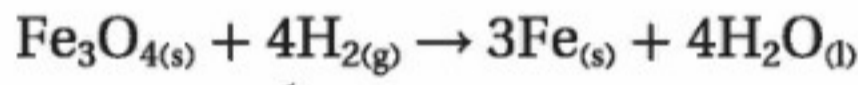


- a.  $NCl_2$   
b.  $2NOCl$   
c.  $N_2O_2$   
d.  $2ClO$

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.  $CaSO_4$

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  $NiCl_2$  0.125 M الذي يحتوي على 3.25 g من  $NiCl_2$ ؟

- a. 406 mL  
b. 32.5 mL  
c. 38.5 mL  
d. 201 mL

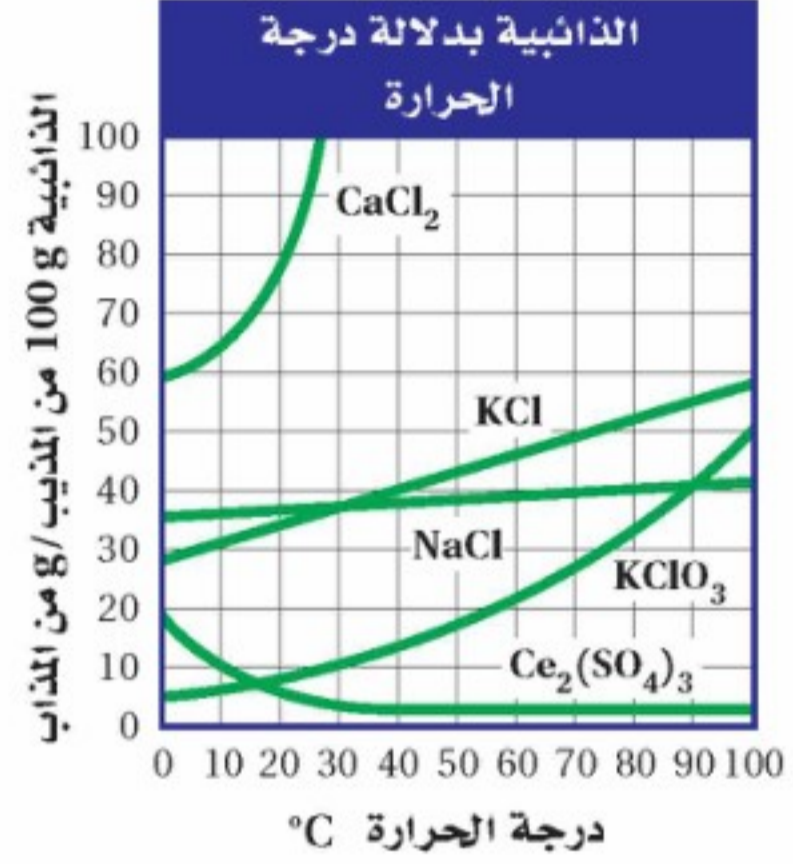
7. أي مما يأتي لا يعد خاصية جامعة؟

- 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  $KClO_3$  التي يمكن أن تذوب في 100 g من الماء عند درجة حرارة  $60^\circ C$ ؟
9. أي محاليل الأملاح يمكنه استيعاب المزيد من المذاب عند درجة حرارة  $20^\circ C$ :  $NaCl$  أم  $KCl$ ؟ كيف يمكن مقارنة ذلك بذائبية كل منهما عند درجة حرارة  $80^\circ C$ ؟
10. ما عدد مولات  $KClO_3$  اللازمة لتحضير محلول مائي حجمه 1.0 L عند درجة حرارة  $75^\circ C$ ؟

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

### 3-1 مقدمة في الأحماض والقواعد

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

### 3-2 قوة الأحماض والقواعد

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

### 3-3 أيونات الهيدروجين والرقم

#### الهيدروجيني

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

### 3-4 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

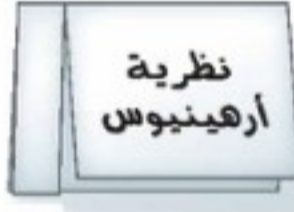
**الأحماض والقواعد**  
اعمل المطوية الآتية  
لتساعدك على المقارنة بين  
النظريات الرئيسة للأحماض  
والقواعد.

### المطويات

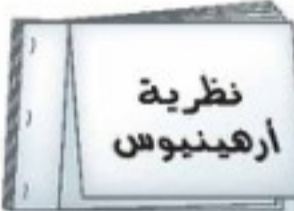
منظومات الأفكار



**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 الشئبة.  
كرر ذلك مع الورقتين الأخرين.



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



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

**المطويات** استعمل هذه المطوية في القسم 1-3، وسجل  
ملاحظاتك المتعلقة بنظريات الأحماض والقواعد في  
أثناء قراءة هذا القسم، ثم اكتب تفاعلات عامة تمثل  
كل نظرية.

## تجربة استهلاكية

ماذا يوجد في خزانك؟

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. املأ 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 أبعد عن  
اللهب.

### التحليل

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



# 3-1

## الأهداف

- تحديد الخواص الفيزيائية والكيميائية للأحماض والقواعد.
- تصنيف المحاليل إلى حمضية، أو قاعدية، أو متعادلة.
- تقارن بين نظريات أرهينيوس، وبرونستد - لوري، ولويس للأحماض والقواعد.

## مراجعة المفردات

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

## المفردات الجديدة

- المحلول الحمضي
- المحلول القاعدي
- نظرية أرهينيوس
- نظرية برونستد - 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، فينبه 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 3-1 نبتتين تنموان في تربتين مختلفتين، فإحدهما تنمو في تربة حمضية، والأخرى تنمو في تربة قاعدية (قلوية).



(2)



(1)

### الشكل 3-1 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

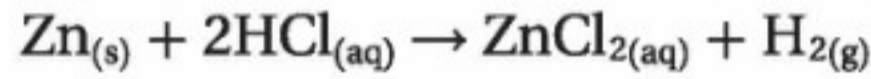


تحول الأحماض ورق تباع الشمس الأزرق إلى أحمر

الشكل 2-3 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 موصلاً للكهرباء.

**الخواص الكيميائية** يمكن تعرف الأحماض والقواعد من خلال تفاعلها مع ورق تباع الشمس. ويمكن تعرف الأحماض أيضاً من خلال تفاعلاتها مع بعض الفلزات وكربونات الفلزات. **التفاعلات مع ورق تباع الشمس** يعد تباع الشمس نوعاً من الأصباغ المستعملة عادة في التمييز بين محاليل الأحماض والقواعد، كما في الشكل 2-3؛ إذ تحول محاليل الأحماض لون ورق تباع الشمس الأزرق إلى الأحمر، وتحول محاليل القواعد لون ورق تباع الشمس الأحمر إلى الأزرق. **التفاعلات مع الفلزات وكربونات الفلزات** يتفاعل كل من الماغنسيوم والخرصين مع محاليل الأحماض، فينتج عن هذا التفاعل غاز الهيدروجين. وتصف المعادلة الآتية التفاعل بين الخارصين وحمض الهيدروكلوريك:



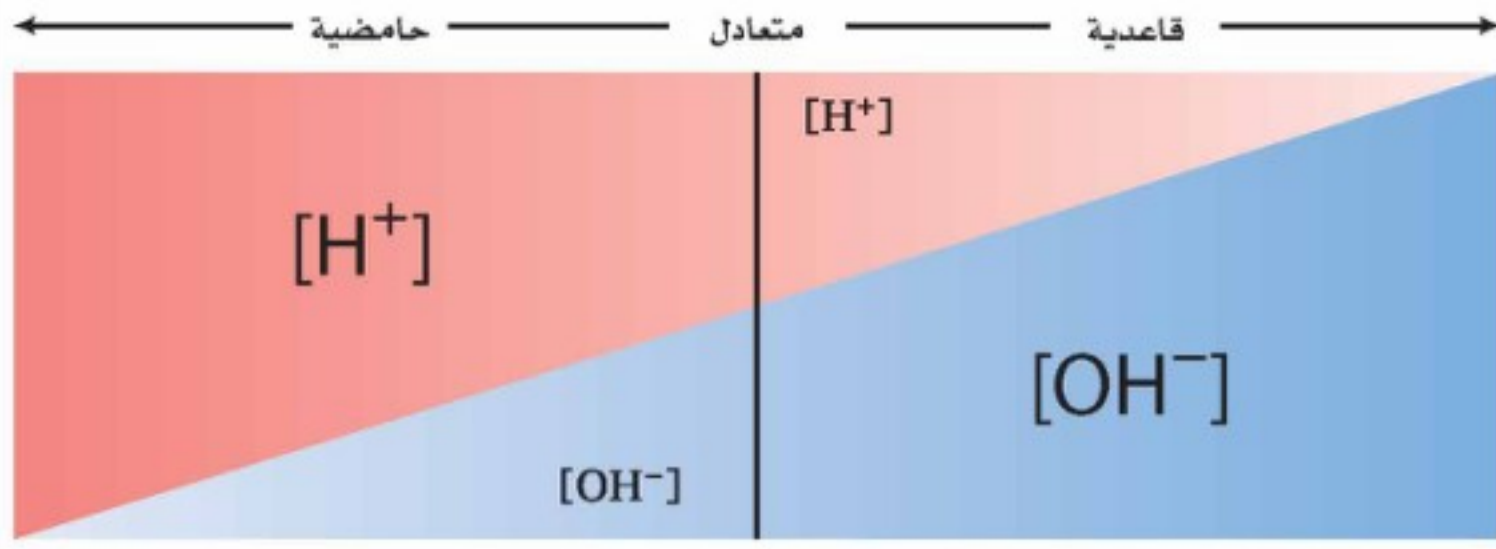
وتتفاعل كربونات الفلزات  $\text{CO}_3^{2-}$  وكربونات الفلزات الهيدروجينية  $\text{HCO}_3^-$  أيضاً مع محاليل الأحماض منتجة غاز ثاني أكسيد الكربون  $\text{CO}_2$ . فعند إضافة الخل إلى صودا الخبز يحدث تفاعل بين حمض الإيثانويك (الخل  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) وكربونات الصوديوم الهيدروجينية  $\text{NaHCO}_3$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

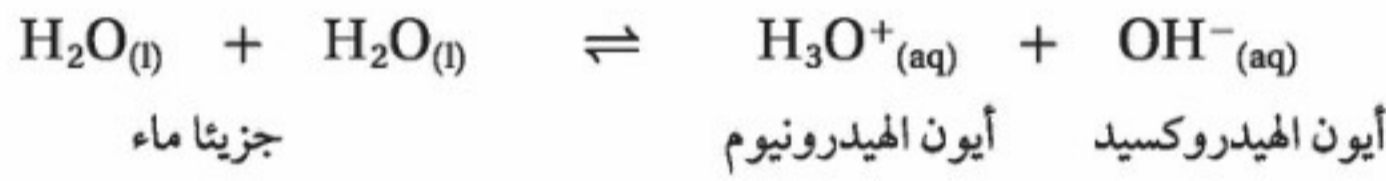


الشكل 3-3 لاحظ كيف يتغير كل من  $[H^+]$  و  $[OH^-]$  في وقت واحد. فعندما يقل  $[H^+]$  إلى جهة اليمين تزداد قيمة  $[OH^-]$  إلى اليسار. حدد على الرسم النقطة التي يكون عندها تركيزا الأيونين متساويين.

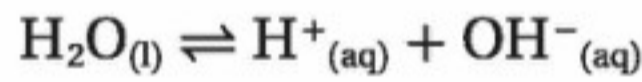
**أيونات الهيدرونيوم والهيدروكسيد** تحتوي المحاليل المائية جميعها على أيونات الهيدروجين  $H^+$  وأيونات الهيدروكسيد  $OH^-$ . وتحدد الكميات النسبية من الأيونين ما إذا كان المحلول حمضياً أو قاعدياً أو متعادلاً. والمحاليل المتعادلة ليست حمضية ولا قاعدية.

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

يتج الماء النقي أعداداً متساوية من أيونات  $H^+$  وأيونات  $OH^-$  في عملية تسمى التأين الذاتي؛ إذ تتفاعل جزيئات الماء منتجة أيونات الهيدرونيوم  $H_3O^+$ ، وأيونات الهيدروكسيد.



أيون الهيدرونيوم عبارة عن أيون هيدروجين مرتبط مع جزيء ماء برابطة تساهمية. ويمكن استعمال الرمز  $H^+$  و  $H_3O^+$  بالتبادل، أي وضع أحدهما مكان الآخر، كما تبين المعادلة المبسّطة للتأين الذاتي:



#### الشكل 3-4 تاريخ الأحماض والقواعد

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

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

1869م اكتشفت الأحماض النووية مثل: DNA و RNA في نوى الخلايا.

1910

1890

1870

1923م توسّع العلماء في تعريف الأحماض والقواعد، وقَدّموا التعاريف المستعملة حالياً.

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

1865م إدخال الرذاذ المعقم الذي يحتوي على حمض الكربوليك (الفينول)  $C_6H_5OH$  للمرة الأولى والذي يعد بداية الجراحة الحديثة في أجواء معقمة.





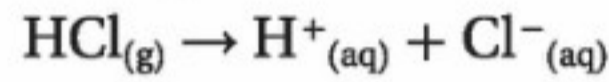
**الشكل 3-5** تعد بحيرة ناترون في تنزانيا تجمعا طبيعيا للمياه القاعدية. حيث تصب المياه في البحيرة حاملة معها كميات كبيرة من كربونات الصوديوم الذائبة من الصخور البركانية المحيطة دون أن تجد لها مخرجاً. ويزيد التبخر من تركيز هذا الملح، مخلفاً قشرة بيضاء على السطح، وجاعلاً المياه عالية القاعدية.

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

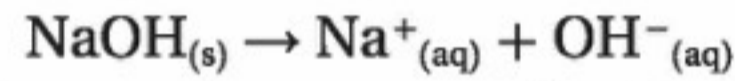
## نظرية أرهينيوس The Arrhenius Theory

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 تخلو من بعض السلبيات؛ فمثلاً لا تحتوي الأمونيا  $NH_3$  وكربونات الصوديوم  $Na_2CO_3$  على مجموعة الهيدروكسيد، إلا أن كلاهما 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 3-5. 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** طور

العلماء مقياس pH المحمول.

**2005م** طور 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.

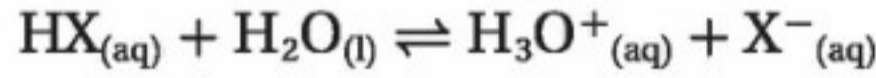




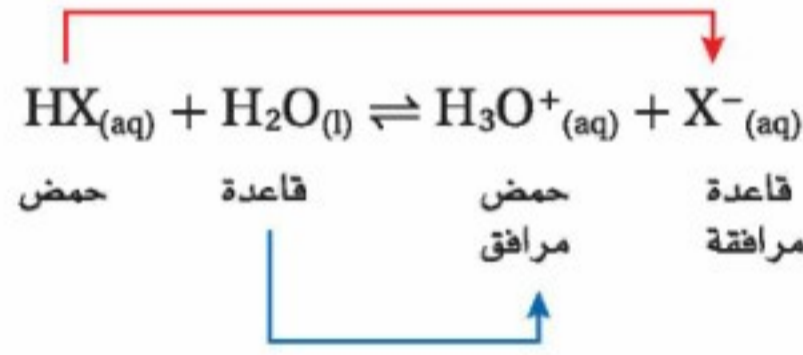
## نظرية برونستد - لوري The Bronsted-Lowry Theory

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 بأبهما 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. بين الشكل 3-6 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 3-6 يمثل الأب عندما يرمي الكرة إلى ابنه حمض برونستد - لوري ويمثل الابن قاعدته. وعندما يمسك الابن الكرة فإنه يمثل الحمض المرافق.

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



الشكل 3-7 يمنح فلوريد الهيدروجين أيون هيدروجين لجزيء الماء، لذا يُعد فلوريد الهيدروجين حمضاً. حدّد القاعدة المرافقة لفلوريد الهيدروجين.

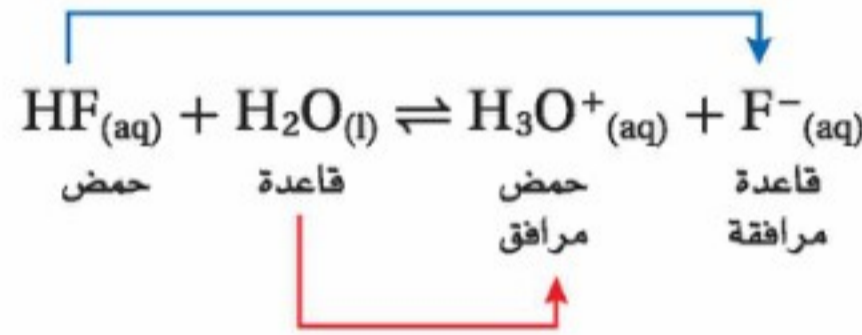
### المفردات

#### أصل الكلمة

#### مترافق Conjugate

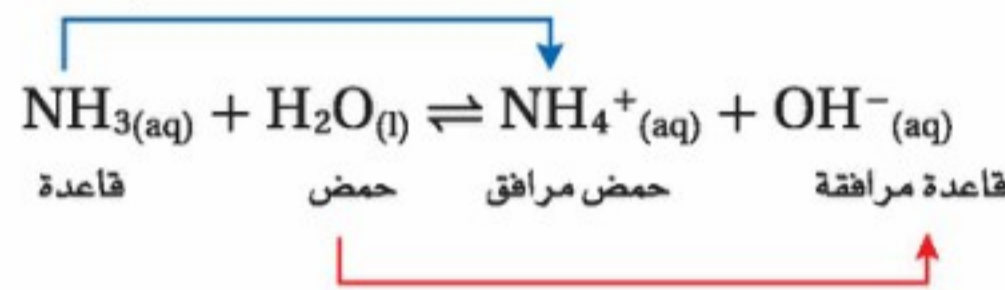
معنى كلمة Conjugate مترافق في اللغة العربية مترافق، وقد أخذت هذه الكلمة من اللغة اللاتينية، وهي تعني: -Con بادئة بمعنى مع أو معاً. -jugate فعل بمعنى يتصل أو يتحد.

**فلوريد الهيدروجين - حمض برونستد - لوري** تأمل معادلة تأين فلوريد الهيدروجين HF في الماء، المبيّنة في الشكل 3-7. أيّ الزوجين هو الحمض، وأيها هو القاعدة المرافقة؟ ينتج الحمض في التفاعل الأمامي - وهو في هذه الحالة فلوريد الهيدروجين - قاعدته المرافقة F<sup>-</sup>، وتعد أيضاً القاعدة في التفاعل العكسي. بينما تنتج القاعدة في التفاعل الأمامي - وهو في هذه الحالة الماء - حمضها المرافق H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>، وهو أيضاً الحمض في التفاعل العكسي.



يستعمل فلوريد الهيدروجين في صنع مركبات متنوعة تحتوي على الفلور، مثل الطبقة المغلفة لأدوات الطبخ غير اللاصقة، والمبيّنة في الشكل 3-8. 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 NH<sub>3</sub>. فعندما تذوب الأمونيا في الماء يكون الماء حمضاً بحسب تعريف برونستد - لوري في التفاعل الأمامي. ولأن جزيء الأمونيا NH<sub>3</sub> يستقبل أيون H<sup>+</sup> ليكون أيون الأمونيوم NH<sub>4</sub><sup>+</sup> فإن الأمونيا تُصنّف قاعدة برونستد - لوري في التفاعل الأمامي.



أما في التفاعل العكسي فيعطي أيون الأمونيوم NH<sub>4</sub><sup>+</sup> أيون H<sup>+</sup> ليكون جزيء أمونيا. وهكذا يعمل عمل حمض، بحسب برونستد - لوري. ويكون بذلك أيون الأمونيوم هو الحمض المرافق للقاعدة (الأمونيا). ويتقبل أيون الهيدروكسيد أيون H<sup>+</sup> ليكون جزيء ماء. وهكذا يكون قاعدة بحسب برونستد - لوري. لذا يكون أيون الهيدروكسيد هو القاعدة المرافقة للحمض والماء.

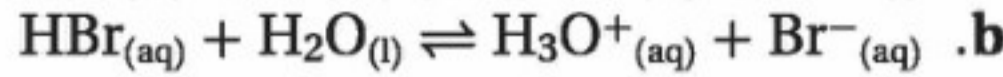
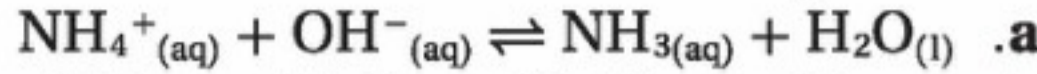
**الماء - حمض وقاعدة برونستد - لوري** تذكر أنه عندما يذوب HF في الماء فإن الماء يسلك سلوك القاعدة؛ وعندما تذوب الأمونيا NH<sub>3</sub> في الماء، فإن الماء يسلك سلوك الحمض. لذا يسلك الماء سلوك الحمض أو القاعدة بحسب طبيعة المواد المذابة في المحلول. ويُسمى الماء والمواد الأخرى التي تستطيع أن تسلك سلوك الأحماض والقواعد مواد **مترددة (أمفوتيرية) Amphoteric**.



الشكل 3-8 يتفاعل فلوريد الهيدروجين مع مركبات عضوية تسمى الهيدروكربونات لصنع السطح الناعم غير اللاصق لهذه الأدوات المنزلية، حيث تحل ذرات الفلور محل ذرات الهيدروجين.

مسائل تدريبية

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

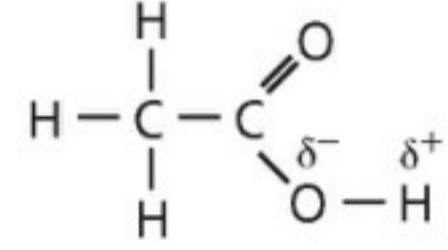


4. تحفيز إذا علمت أن نواتج تفاعل حمض مع قاعدة هي  $\text{H}_3\text{O}^+$  و  $\text{SO}_4^{2-}$ . اكتب معادلة موزونة للتفاعل، وحدّد الأزواج المترافقة من الحمض والقاعدة.

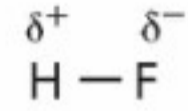
### الأحماض الأحادية البروتون والمتعددة البروتونات Monoprotic and Polyprotic Acids

تستطيع أن تعرف أن كلاً من  $\text{HCl}$  و  $\text{HF}$  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.

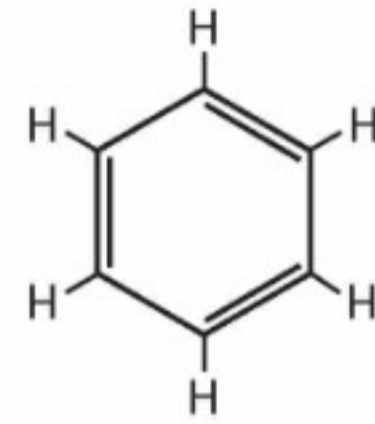
**ذرات الهيدروجين القابلة للتأين** الفرق بين ذرة الهيدروجين القابلة للتأين في حمض الإيثانويك وذرات الهيدروجين الثلاث الأخرى هو أن الذرة القابلة للتأين مرتبطة مع عنصر الأكسجين الأكثر كهروسالبية من الهيدروجين. والفرق في الكهروسالبية يجعل الرابطة بين الأكسجين والهيدروجين قطبية. ويبين الشكل 9-3 تركيب حمض الإيثانويك، مع تركيب حمض  $\text{HF}$  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 حمضي الفوسفوريك  $\text{H}_3\text{PO}_4$  والبوريك  $\text{H}_3\text{BO}_3$  على ثلاث ذرات هيدروجين قابلة للتأين في كل جزيء، وتُسمى 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 9-3** 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  $\text{HF}$  حمضاً في المحلول، بينما في البنزين هناك فرق قليل في الكهروسالبية بين ذرات الكربون والهيدروجين، لذا فالبنزين ليس حمضاً.

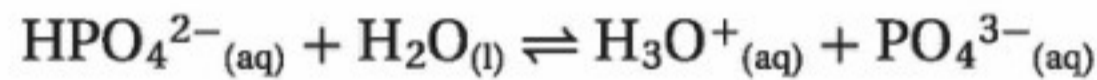
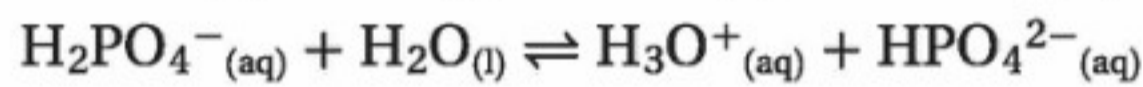
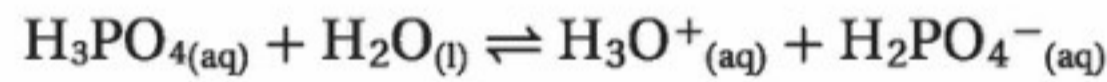
بعض الأحماض الشائعة وقواعدها المرافقة

الجدول 3-1

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 3-1 بعض الأحماض الأحادية والمتعددة البروتونات.

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



### نظرية لويس The Lewis Theory

لاحظ أن جميع المواد المصنفة أحماضًا وقواعد بحسب نظرية أرهينيوس تُصنف أيضًا أحماضًا 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 أيضًا نظرية زوج الإلكترونات للترابط الكيميائي، وقدم تراكيب لويس التي تبين مواقع الإلكترونات في الذرات والجزيئات. وقد طبّق نظريته على تفاعلات الأحماض والقواعد. واقترح أن الحمض أيون أو جزيء فيه مدار ذري فارغ يستطيع أن يتقبل (يشارك) زوجًا من الإلكترونات. وأن القاعدة أيون أو جزيء له زوج إلكترونات حر (غير مرتبط) يستطيع أن يمنحه أو يشارك فيه. وبحسب نظرية لويس فإن حمض لويس مادة مستقبلية لزوج من الإلكترونات، وقاعدة لويس مادة مانحة لزوج من الإلكترونات. لاحظ أن نظرية لويس تشمل جميع المواد المصنفة أحماضًا وقواعد بحسب برونستد - لوري وغيرها كثير أيضًا.

#### المطويات

أدخل معلومات من هذا القسم في مطويتك.

#### المفردات

##### المفردات الأكاديمية

يتطابق Conform

تعني: يشابه أو يماثل

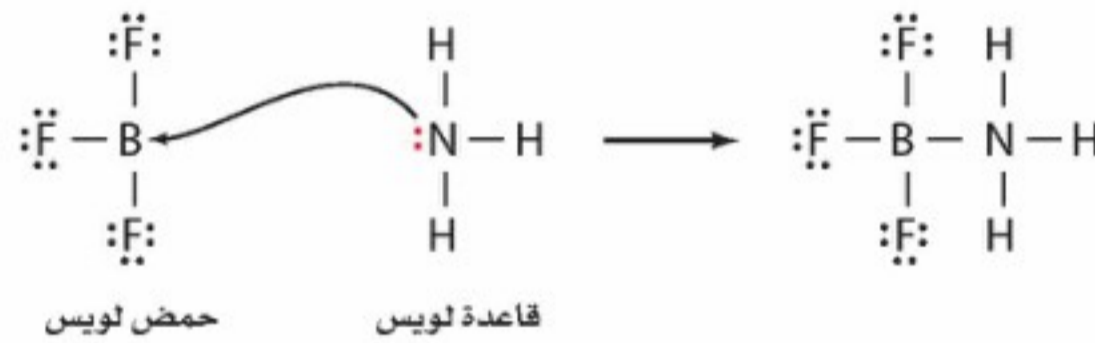
كان نقول مثلاً: إن تصرفاتهم تتطابق

مع توقعات المجتمع

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

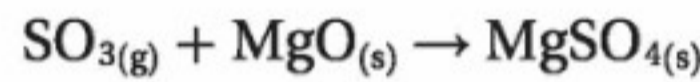


يمثل أيون  $H^+$  في هذا التفاعل حمض لويس؛ حيث يستقبل مدار 1s الفارغ زوجًا من الإلكترونات من أيون  $F^-$ . ويمثل أيون الفلوريد قاعدة لويس، لذا فهو يعطي زوجًا من الإلكترونات غير المشترك ليكون الرابطة بين الهيدروجين والفلور في HF. لاحظ أن هذا التفاعل يتطابق أيضًا مع نظرية برونستد-لوري للأحماض والقواعد؛ 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.

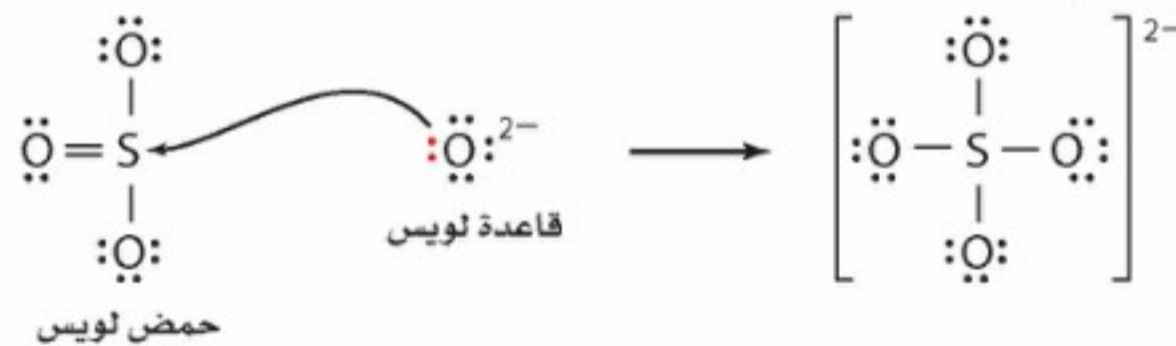


وإن ذرة البورون في  $BF_3$  لها ستة إلكترونات تكافؤ، لذا يستطيع المدار الفارغ أن يستقبل زوجًا من الإلكترونات من قاعدة لويس.

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 2-3 نظريات أرهينيوس، وبرونستد-لوري، ولويس للأحماض والقواعد.

ملخص النظريات الثلاث للأحماض والقواعد		الجدول 2-3
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 10-3** يمكن إزالة ثالث أكسيد الكبريت - وهو أحد الغازات العادمة الناتجة عن احتراق الفحم الحجري بتفاعله مع أكسيد الماغنسيوم في تفاعل حمض وقاعدة لويس. لاحظ أنه رغم خروج كميات كبيرة من البخار من أبراج التبريد، 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 مداخن محطات توليد الطاقة الكهربائية التي تعمل بالفحم الحجري، كما في الشكل 10-3 فإنه يتفاعل مع  $SO_3$  ويعمل على انتزاعه من الغازات العادمة الخارجة من المصنع إلى الجو. أما إذا ترك  $SO_3$  ليتنشر 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 مخلّقة الجير المذاب. وهذا الجير يتكون على هيئة رقاقت جليدية تتدلى من السقف تسمى الهوابط. وكذلك تتكون كتل من كربونات الكالسيوم على أرض الكهوف تسمى الصواعد.

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

## التقويم 1-3

### الخلاصة

5. **الفكرة الرئيسية** فسّر 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.



## 3-2

### الأهداف

- تربط قوة الحمض والقاعدة مع درجة تأينها.
- تقارن قوة حمض ضعيف بقوة قاعدته المرافقة.
- تشرح العلاقة بين قوى الأحماض والقواعد وقيم ثوابت تأينها.

### مراجعة المفردات

إلكتروليت: 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

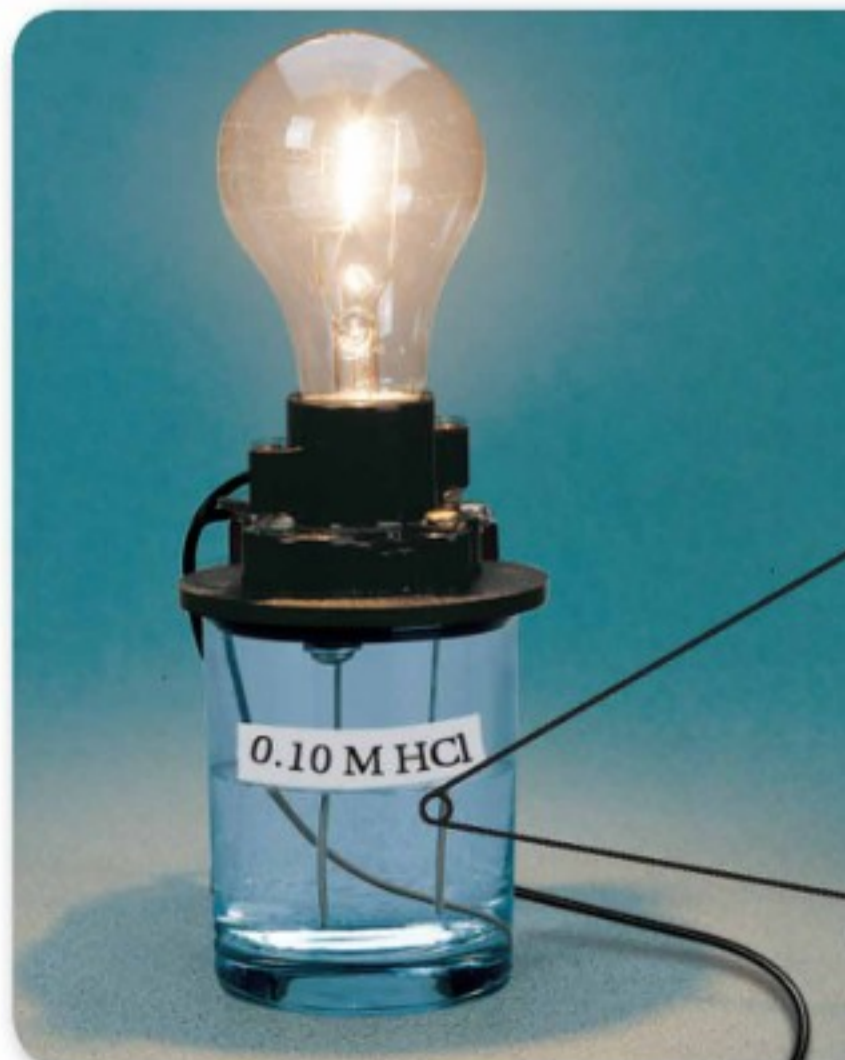
**الفكرة الرئيسية** تتأين الأحماض والقواعد القوية في المحاليل تأينًا تامًا، بينما تتأين الأحماض والقواعد الضعيفة في المحاليل تأينًا جزئيًا.

**الربط مع الحياة** تعتمد التميريرة الناجحة في لعبة كرة القدم على كلٍّ من المرسل والمستقبل، فيُعرف مثلاً مدى استعداد المرسل لتميرير 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.

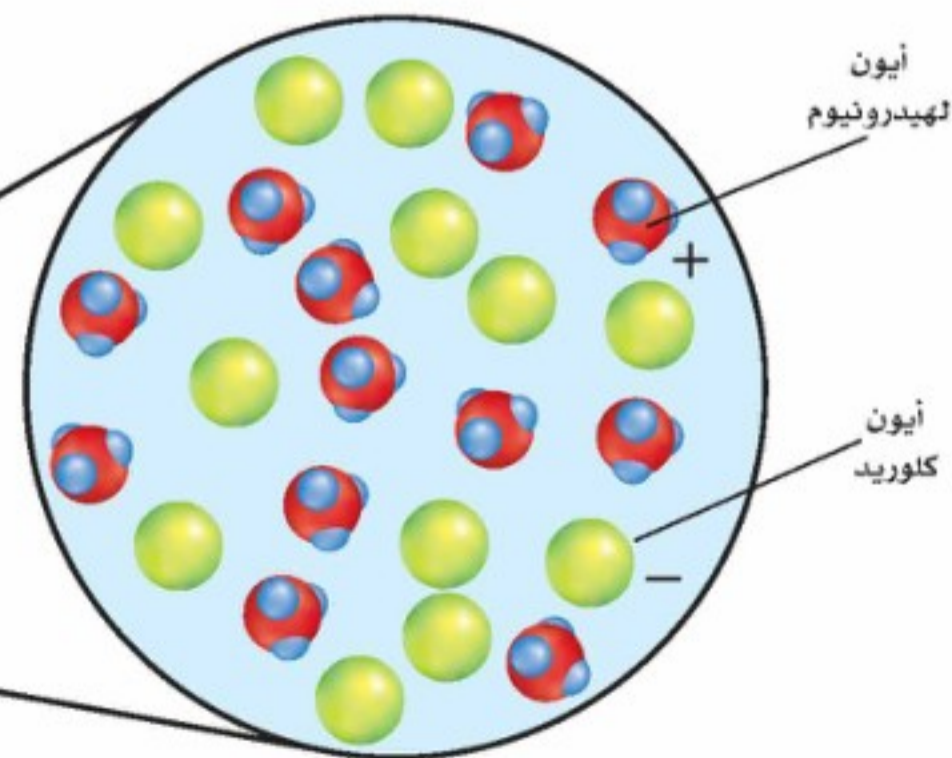
### قوة الأحماض Strengths of Acids

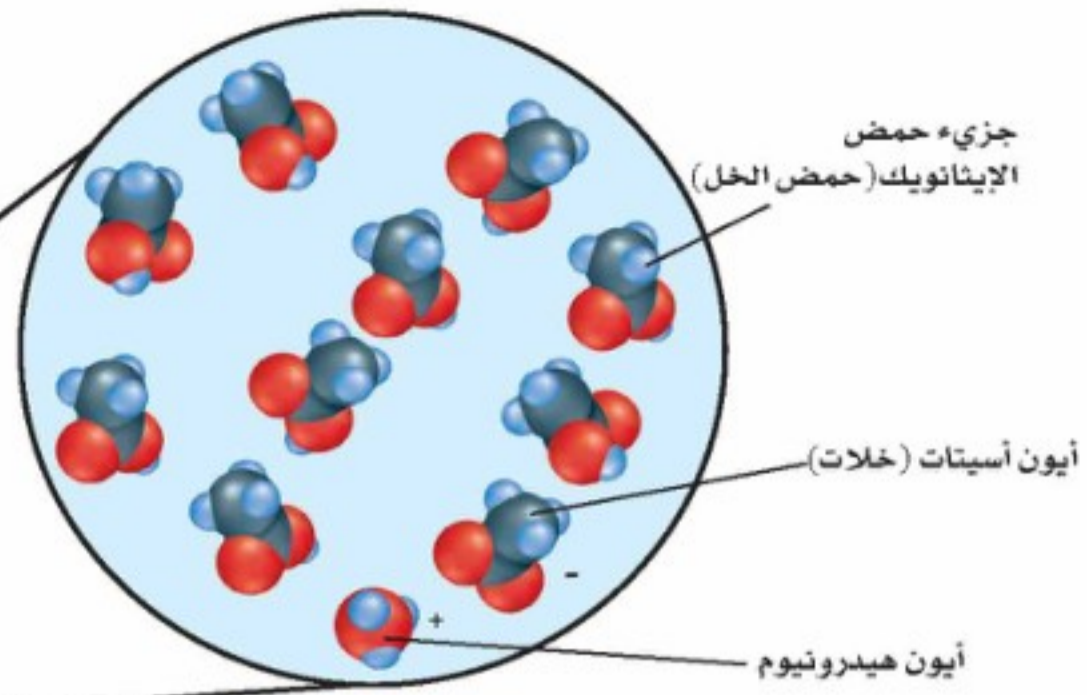
من خواص المحاليل الحمضية والقاعدية أنها توصل الكهرباء. ما المعلومات التي تستطيع معرفتها عن أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد في هذه المحاليل المائية من خلال توصيلها للكهرباء؟ افترض أنك تفحص قدرة التوصيل الكهربائي لمحلول مائي تركيزه 0.10 M من حمض الهيدروكلوريك، وآخر مماثل من حمض الإيثانويك (الخل). يدل توهج المصباح الكهربائي في الشكل 3-11 على أن المحلول يوصل الكهرباء. ولكن إذا قارنت توهج المصباح المتصل بمحلول HCl في الشكل 3-11 بتوهج المصباح المتصل بمحلول  $\text{CH}_3\text{COOH}$  في الشكل 3-12 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 مكونةً أيونات هيدرونيوم وأيونات كلوريد.



**الشكل 3-11** يتوهج المصباح بقوة عندما يوضع القطبان في محلول حمض الهيدروكلوريك بتركيز 0.10 M؛ لأن جميع HCl تتحلل إلى أيونات هيدرونيوم وأيونات كلوريد.

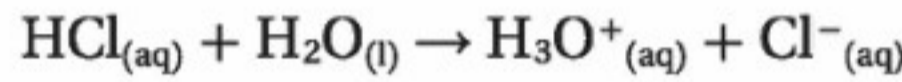




**الشكل 3-12** عند وضع الأقطاب في محلول حمض الإيثانويك بتركيز 0.10 M يكون الضوء خافتًا. قارن هذه الصورة بالشكل 5-11. **فسر** الفرق بين شدتي إضاءة المصباحين بحسب تركيز الأيونات في المحلول.

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

يمكن تمثيل تأين حمض الهيدروكلوريك في الماء بالمعادلة الآتية:



**الأحماض الضعيفة** إذا كان سبب الإضاءة القوية لمصباح الجهاز الذي يحتوي على HCl هو عدد الأيونات الكبير في المحلول - كما في الشكل 3-11 - فإن الإضاءة الخافتة لمصباح الجهاز الذي يحتوي على محلول CH<sub>3</sub>COOH، المبين في الشكل 3-12، 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 كليًا. ولذلك يسمى الحمض الذي يتأين جزئيًا فقط في المحلول المائي المخفف **الحمض الضعيف**. ولأن الأحماض الضعيفة تنتج أيونات أقل فإنها لا توصل الكهرباء جيدًا مثل الأحماض القوية. ويبين الجدول 3-3 معادلات التأين لبعض الأحماض الضعيفة والأحماض القوية الشائعة.

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



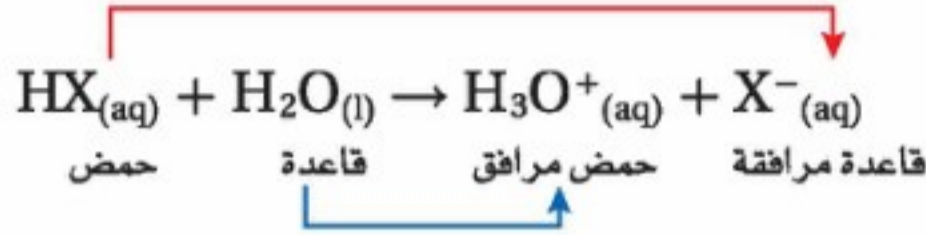
## واقع الكيمياء في الحياة

### سيانيد الهيدروجين

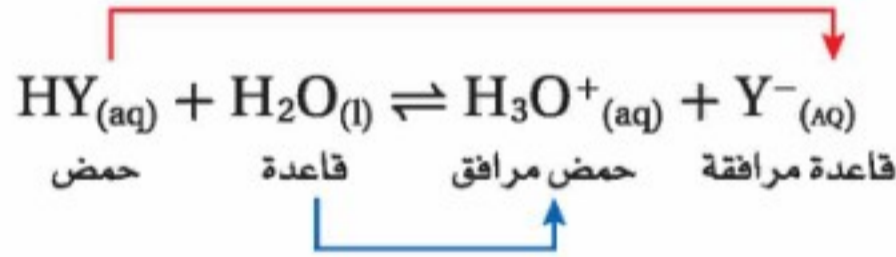


**مركب مميت** سيانيد الهيدروجين HCN غاز سام يوجد في عوادم المَرَكَبات، وفي دُخان التبغ والخشب، وفي دُخان البلاستيك المحترق المحتوي على النيتروجين. وتطلق بعض الحشرات سيانيد الهيدروجين للدفاع عن نفسها. ويسمى محلول سيانيد الهيدروجين في الماء حمض الهيدروسيانيك. وتحتوي نوى بعض الفواكه - ومنها الكرز والخوخ - على 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.

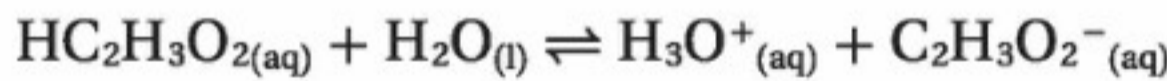
**قوة الحمض ونظرية برونستد - لوري** هل تستطيع نظرية برونستد - لوري تفسير سبب تأين HCl كلياً بينما يكوّن  $HC_2H_3O_2$  القليل من الأيونات؟ تأمل تأين أي حمض قوي، كحمض HX على سبيل المثال. وتذكر أن الحمض الموجود على جهة المواد المتفاعلة من المعادلة ينتج قاعدة مُرافقة على جهة النواتج. وبالمثل فإن القاعدة 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  $X^-$  (في التفاعل العكسي). أي أنه يقع اتزان التأين كلياً تقريباً إلى اليمين؛ لأن جذب القاعدة  $H_2O$  لأيون  $H^+$  أكبر من جذب القاعدة المرافقة  $X^-$ . فكر في هذا الأمر وكأنه معركة للقواعد، أيها لديه قوة جذب أكبر لأيون الهيدروجين:  $H_2O$  أم  $X^-$ ؟ 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  $Y^-$  لديها جذب أكبر لأيون الهيدروجين من القاعدة  $H_2O$ . وتعد القاعدة المرافقة  $Y^-$  (في التفاعل العكسي) أقوى من القاعدة  $H_2O$  (في التفاعل الأمامي)، وتستطيع أن تستولي على أيون  $H^+$ . فمثلاً في حالة حمض الإيثانويك (الحل) تعد القاعدة المرافقة (في التفاعل العكسي) أقوى في جذب أيونات الهيدروجين من القاعدة  $H_2O$  (في التفاعل الأمامي).



لاحظ أن المعادلة تحتوي على سهمي اتزان.

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

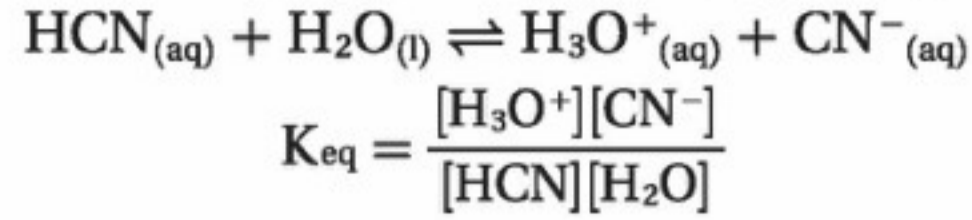
**ثابت تأين الحمض** تساعد نظرية برونستد - لوري على تفسير قوة الأحماض، إلا أنها لا تُعبّر بطريقة كمية عن قوة الحمض، ولاتقارن بين قوى الأحماض المختلفة. لذا يعد تعبير ثابت الاتزان قياساً كمياً لقوة الحمض.

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

## مهمن 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:



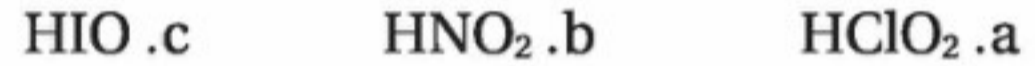
يعد تركيز الماء السائل في مقام تعبير ثابت الاتزان ثابتاً في المحاليل المائية المخففة، لذلك يمكن دمج مع  $K_{eq}$  ليعطي ثابت اتزان جديداً  $K_a$ .

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

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 3-4 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 السليينوز  $\text{H}_2\text{SeO}_3$ .

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 3-4
$K_a$ (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 ملاحظاتك.
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.

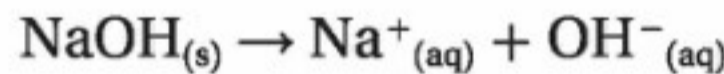
#### التحليل

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 ملاحظاتك 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.

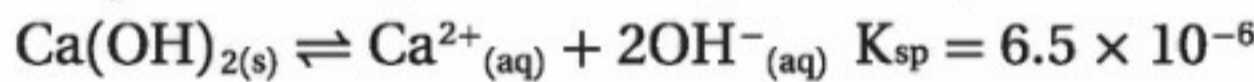
### قوة القواعد Strengths of Bases

تطلق القواعد أيونات  $OH^-$ ، ويعتمد توصيل القاعدة للتيار الكهربائي على مقدار ما تنتجُه من أيونات  $OH^-$  في المحلول المائي.

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

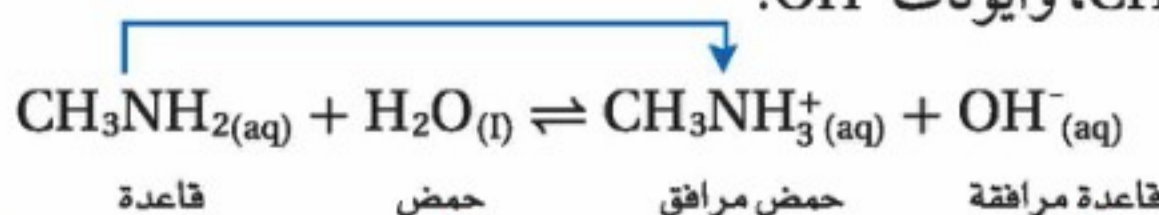


تعد بعض هيدروكسيدات الفلزات - ومنها هيدروكسيد الكالسيوم  $Ca(OH)_2$  - مصدرًا ضعيفاً لأيونات  $OH^-$ ؛ لأن ذائبيتها منخفضة. لاحظ أن ثابت حاصل الذائبية  $K_{sp}$  لهيدروكسيد الكالسيوم  $Ca(OH)_2$  صغير، مما يدل على أن كمية قليلة من  $OH^-$  توجد في المحلول المشبع.



ومع ذلك فإن هيدروكسيد الكالسيوم وغيره من هيدروكسيدات الفلزات القليلة الذوبان قواعد قوية؛ لأن كل ما يذوب منها يتأين كلياً. ويبين الجدول 3-5 معادلات تحلل بعض القواعد القوية.

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



#### الجدول 3-5 معادلات التأين للقواعد القوية

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

ثابت التآين لبعض القواعد الضعيفة		الجدول 3-6
$K_b$ (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** تكوّن القواعد الضعيفة مخاليط 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 3-6 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 3-2

### 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 3-4 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.



## 3-3

### الأهداف

- تشرح معنى المصطلحات pH و pOH.
- تربط بين pH و pOH وثابت التأيّن للماء.
- تحسب 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

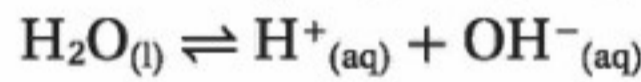
## أيونات الهيدروجين والرقم الهيدروجيني Hydrogen Ions and pH

**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 3-13 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.

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

و  $[H^+]$  تركيز أيون الهيدروجين.

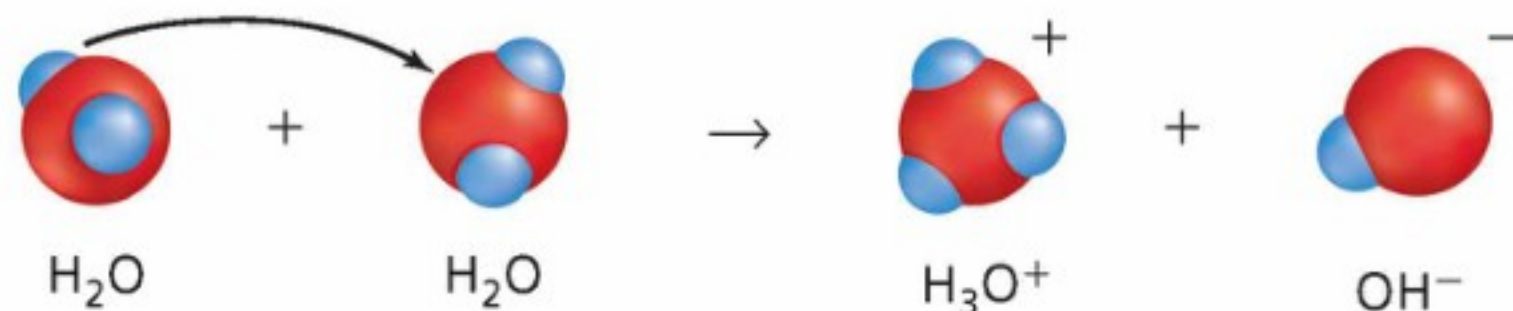
و  $[OH^-]$  تركيز أيون الهيدروكسيد.

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 3-13** 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  $OH^-$ .  
 يبين المثال 3-1 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 3-1

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 3-14 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

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

$[OH^-]$  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 تمكننا من حساب أي منهما إذا عُرفت قيمة الآخر.

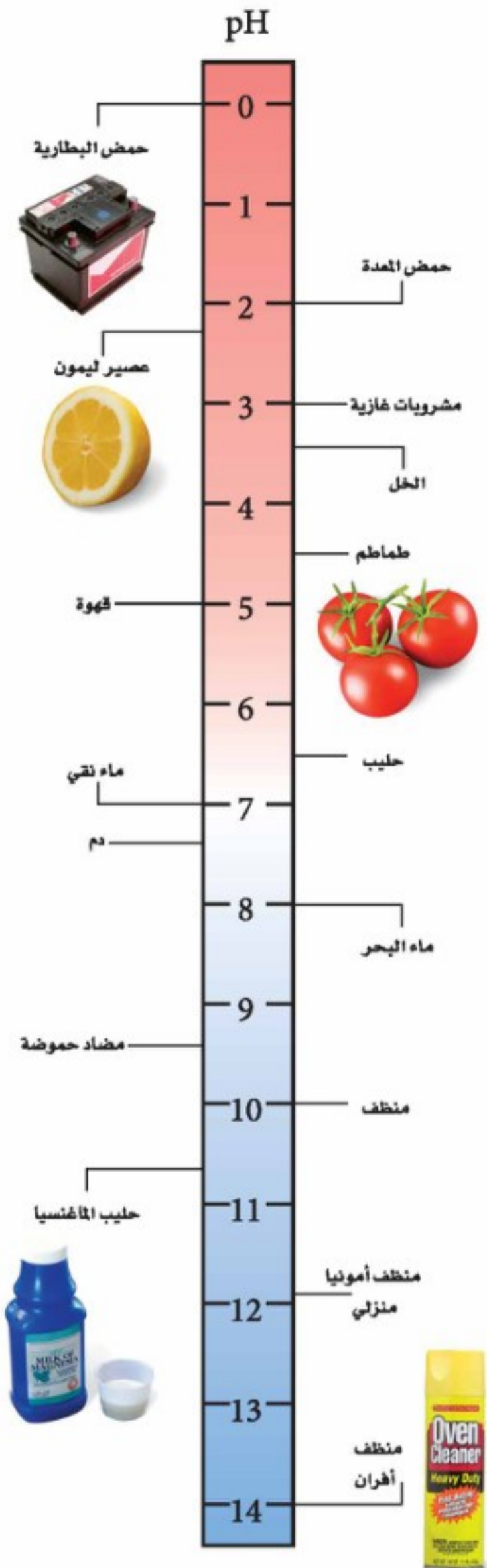
### ما العلاقة بين pH و pOH؟

$$pH + pOH = 14.00$$

pH تمثل  $-\log [H^+]$

pOH تمثل  $-\log [OH^-]$

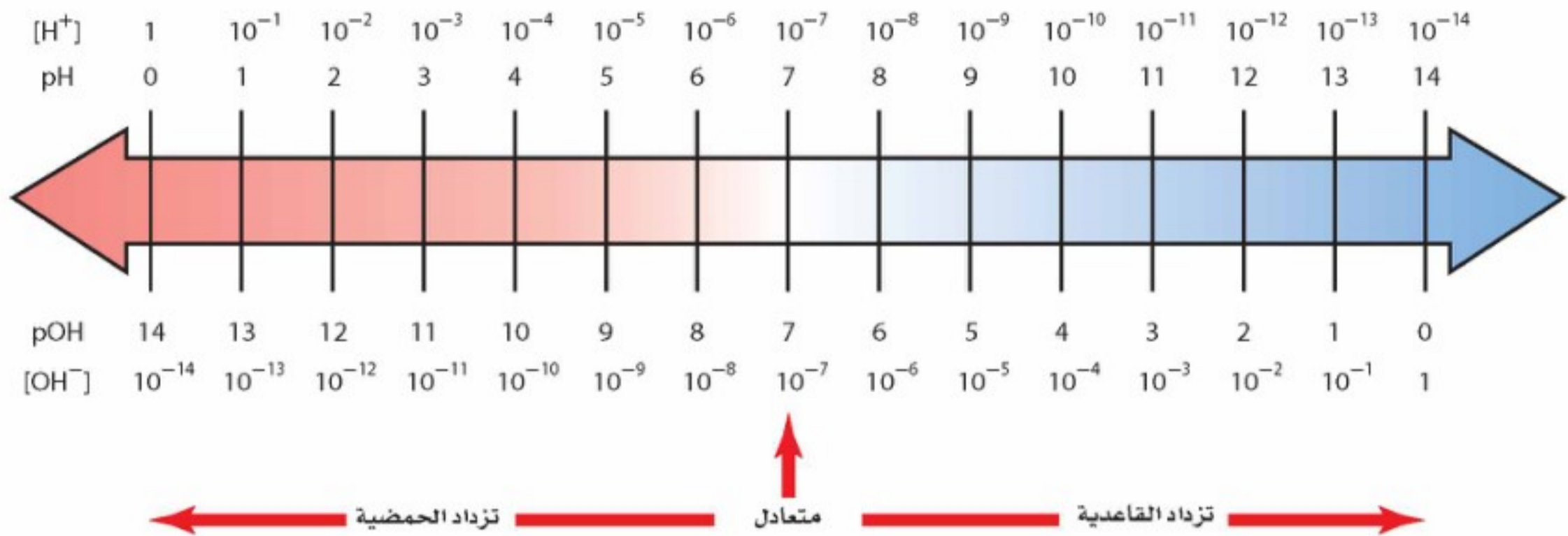
مجموع pH و pOH يساوي 14.00 .



الشكل 3-14 قارن بين قيم pH لهذه المواد المألوفة.

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

يوضح الشكل 3-15 العلاقة بين pH وتركيز  $H^+$ ، والعلاقة بين pOH وتركيز  $OH^-$  عند درجة حرارة 298 K.



**الشكل 3-15** ادرس هذا الشكل لزيادة معلوماتك حول pH و pOH. لاحظ أنه عند كل موقع عمودي يكون مجموع pH (فوق السهم) و pOH (تحت السهم) مساوياً 14. لاحظ أيضاً أنه عند كل موقع يكون حاصل ضرب  $[H^+]$  في  $[OH^-]$  يساوي  $10^{-14}$ .

### مثال 3-2

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

#### 1 تحليل المسألة

في المحلول المتعاد 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 المتعاد 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  $8.2 \times 10^{-6} M$ .



### مثال 3-3

حساب  $pOH$  و  $pH$  من  $[OH^-]$  يظهر الشكل 3-16 صورة بقرة تتغذى على قش عولج بمادة الأمونيا التي تعمل على زيادة البروتينات عند إضافتها إلى علف الحيوانات. وتستعمل الأمونيا كذلك منظفاً منزلياً؛ 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  $pH$  و  $pOH$ . احسب أولاً قيمة  $pOH$  مستعملاً القانون، ثم احسب  $pH$  مستعملاً العلاقة  $pH + pOH = 14.00$

#### المعطيات

$$[OH^-] = 4.0 \times 10^{-3} M$$

$$pOH = ?$$

$$pH = ?$$

#### 2 حساب المطلوب

اكتب معادلة  $pOH$

$$عوض [OH^-] = 4.0 \times 10^{-3} M$$

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

$$pOH = -\log (4.0 \times 10^{-3})$$

$pOH$  للمحلول هو **2.40**.

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

$$pH + pOH = 14.00$$

$$pH = 14.00 - pOH$$

$$pH = 14.00 - 2.40 = \mathbf{11.60}$$

اكتب المعادلة التي تربط بين  $pH$  و  $pOH$

أوجد قيمة  $pH$

$$عوض pOH = 2.40$$

قيمة  $pH$  للمحلول هو **11.60**

#### 3 تقويم الإجابة

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

#### 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 المائيين 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 3-16 يستطيع المزارعون أن يزيدوا القيمة الغذائية للمواد النباتية ذات النوعية الرديئة. ومنها القش والتبن وغيرهما من بقايا المزروعات - بوضع تلك المواد في جومن 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 3-4 يبين كيفية حسابها.

### مثال 3-4

**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:

c . حليب الماغنسيا، pH = 10.50

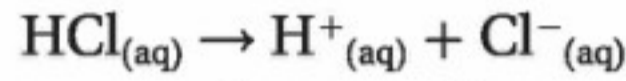
a . الحليب، pH = 6.50

d . الأمونيا المنزلية، pH = 11.90

b . عصير الليمون، pH = 2.37

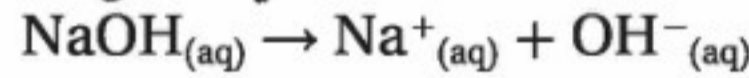
30. تحفيز احسب  $[H^+]$  و  $[OH^-]$  في عينة من ماء البحر، حيث pOH = 5.60.

**المولارية والرقم الهيدروجيني pH للأحماض القوية** تأمل الدورق اللذين يحتويان على محلولي الحمض والقاعدة في الشكل 3-17؛ 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 3-17 متأيناً كلياً.



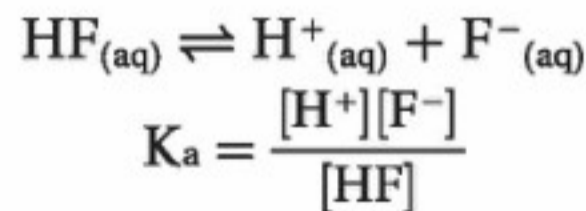
تنتج كل وحدة صيغة من NaOH أيون  $\text{OH}^-$  واحداً. وهكذا يساوي تركيز أيونات  $\text{OH}^-$  مولارية المحلول، 0.1 M.

قد تحتوي بعض القواعد القوية ومنها هيدروكسيد الكالسيوم  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  على أيون  $\text{OH}^-$  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 3-17** يرشدك الملصق

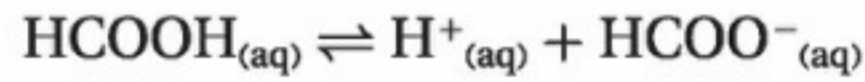
على دورق الحمض القوي أو القاعدة القوية إلى تركيز أيونات الهيدروجين أو أيونات الهيدروكسيد في المحلول. ويعود السبب في ذلك إلى وجود الأحماض والقواعد القوية كلياً على شكل أيونات عند إذابتها في الماء.

**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  $[\text{H}^+]$ .

**المعطيات**

**المطلوب**

$K_a = ?$

pH = 2.38

تركيز المحلول = 0.100 M

**2 حساب المطلوب**

اكتب معادلة pH

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

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

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

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

عوض 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.

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

$[\text{HCOOH}] = 0.096\text{M}$  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.

**مسائل تدريبية**

31. احسب  $K_a$  للحمضين الآتين:

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

a . محلول  $\text{H}_3\text{AsO}_4$  تركيزه 0.220 M و 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 pOH = 10.70

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

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

33. تحفيز احسب  $K_a$  لمحلول حمض HX الذي تركيزه 0.0091 M، وله pOH يساوي 11.32، ثم استعمل الجدول 4-5 لتحديد نوع الحمض.



الشكل 3-18 يمكن الحصول على قيمة pH تقريبية للمحلول بوضع قطعة من ورق تباع الشمس الأحمر بالمحلول، ومقارنة لونها بمجموعة من الألوان المعيارية، كما هو مبين في الصورة a. أما مقياس الحموضة الرقمي والموضح في الصورة b فيستعمل هنا لقياس pH لمطر حمضي؛ إذ يعطي 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 3-18. ويعطي مقياس pH الرقمي الموضح في الشكل 3-18 قيمة الرقم الهيدروجيني بصورة أكثر دقة؛ فعندما توضع الأقطاب في المحلول يعطي المقياس قراءة مباشرة.

### التقويم 3-3

#### 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 لوتشاتليه - 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  $1.0 \times 10^{-9} \text{ mol}$  من أيونات  $OH^-$  لكل L.
41. احسب قيمة pH في المحاليل الآتية:
- a. 1.0 M HI . b. 0.050 M HNO<sub>3</sub>
- c. 1.0 M KOH . d.  $2.4 \times 10^{-5} \text{ M Mg(OH)}_2$
42. تفسير الرسوم ارجع إلى الشكل 13-5 للإجابة عن السؤالين الآتيين: ماذا يحدث لكل من  $[H^+]$  و  $[OH^-]$  و pH و pOH عندما يصبح المحلول المتعادل أكثر حمضية؟ وماذا يحدث عندما يصبح المحلول المتعادل أكثر قاعدية؟
- 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.



## 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

تميه الأملاح

المحلول المنظم

سعة المحلول المنظم

### الفكرة الرئيسية

يتفاعل الحمض مع القاعدة في تفاعل التعادل لينتج ملحاً وماءً.

**الربط مع الحياة** عندما يقدم فريقان متناظران حُججاً 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.

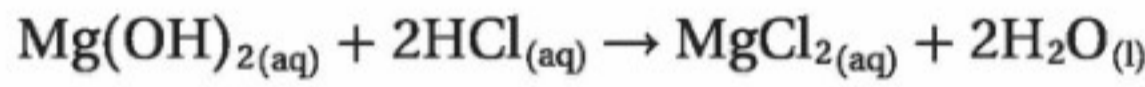
### التفاعلات بين الأحماض والقواعد

### Reactions Between Acids and Bases

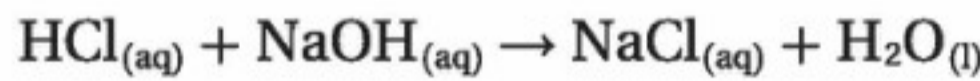
هل أحسست يوماً بسوء هضم أو حرقة في فم المعدة؟ هل تناولت أحد مضادات الحموضة كالتي تظهر في الشكل 3-19 لتخفف من حالة عدم الارتياح تلك؟ ما نوع التفاعل الذي يحدث عندما يلامس هيدروكسيد الماغنسيوم  $Mg(OH)_2$  - وهو المركب النشط في حليب الماغنيسيا - محلول حمض الهيدروكلوريك (HCl) الذي تنتجه المعدة؟

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.

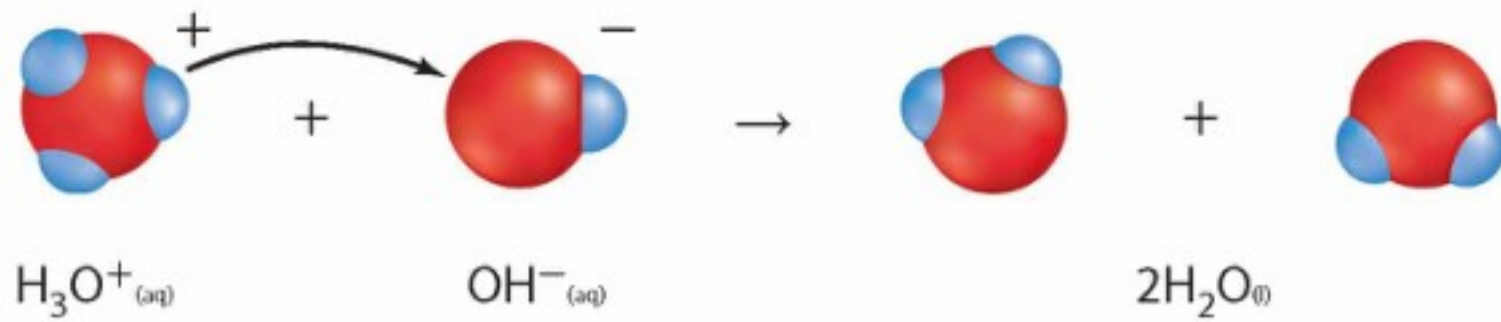
**كتابة معادلات التعادل** في التفاعل بين هيدروكسيد الماغنسيوم وحمض الهيدروكلوريك يحل الماغنسيوم محل الهيدروجين في HCl، ويحل الهيدروجين محل الماغنسيوم في  $Mg(OH)_2$ .



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:

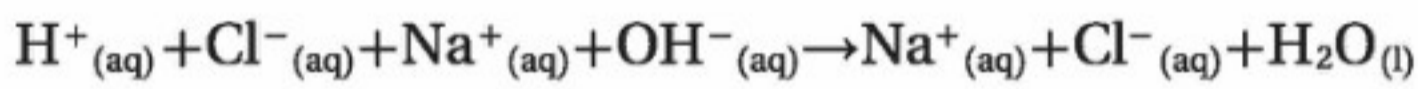


الشكل 3-19 يمكن لأي جرعة من هذه المواد المضادة للحموضة أن تخفف من أعراض سوء الهضم الحمضي؛ وذلك بتفاعلها مع المحلول الحمضي في المعدة ومعادلته.

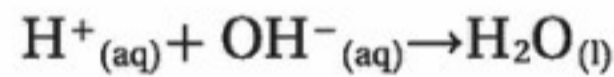


**الشكل 20-3** ينتقل أيون الهيدروجين من أيون الهيدرونيوم إلى أيون الهيدروكسيد. وعندما يخسر  $\text{H}_3\text{O}^+$  أيون هيدروجين يصبح جزيء ماء. وعندما يكسب  $\text{OH}^-$  أيون هيدروجين يصبح أيضاً جزيء ماء.

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.



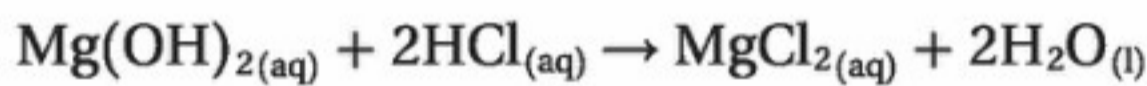
تظهر أيونات الصوديوم وأيونات الكلوريد على جانبي المعادلة، لذا تسمى أيونات متفرجة؛ أي لا تدخل في التفاعل، ويمكن حذفها للحصول على المعادلة الأيونية النهائية لمعادلة حمض قوي مع قاعدة قوية.



لاحظ تفاعل التعادل في الشكل 20-3.

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

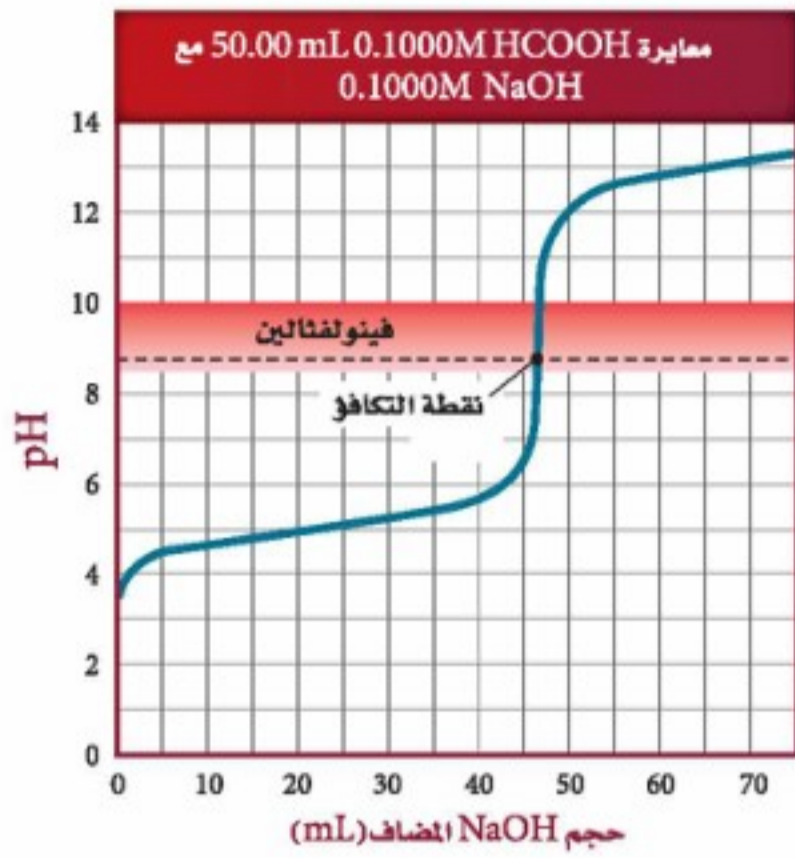
**معايرة الأحماض والقواعد** تتشابه الحسابات الكيميائية لحساب الكميات في تفاعل التعادل بين حمض وقاعدة مع أي تفاعل آخر يحدث في محلول. ففي تفاعل مضاد الحموضة الآتي نجد أن  $1\text{mol}$  من  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  يعادل  $2\text{mol}$  من  $\text{HCl}$



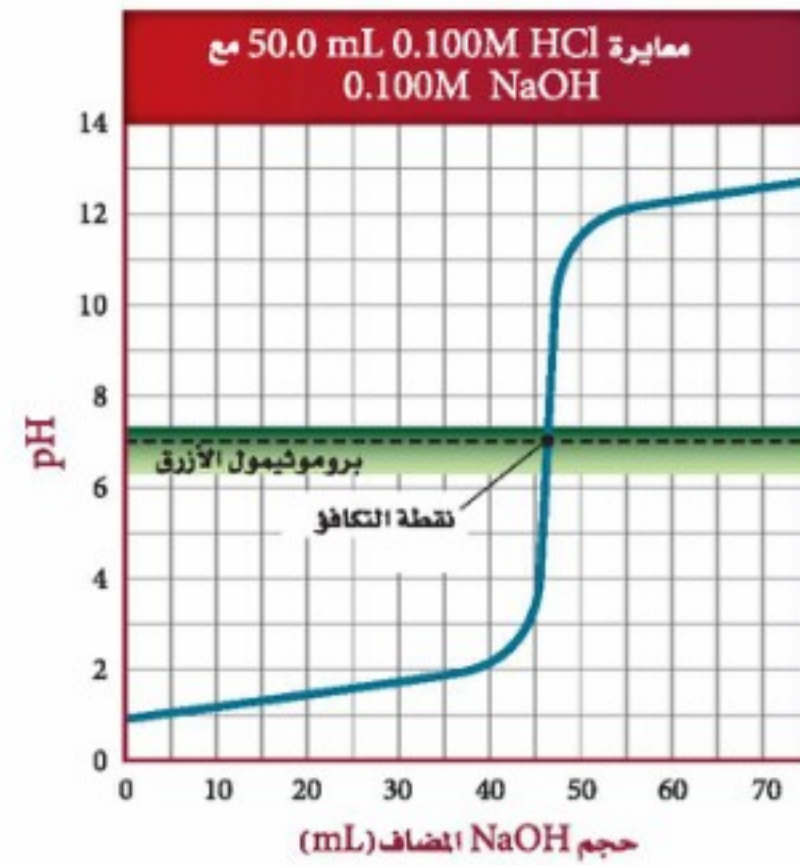
وتبين الحسابات الكيميائية أساس طريقة المعايرة، والتي تستعمل لتحديد تراكيز المحاليل الحمضية والقاعدية. **المعايرة** طريقة لتحديد تركيز محلول ما؛ وذلك بتفاعل حجم معلوم منه مع محلول تركيزه معلوم. فإذا أردت إيجاد تركيز محلول حمضي فسوف تعايره مع محلول قاعدي تركيزه معلوم. كما يمكنك معايرة قاعدة تركيزها غير معلوم مع حمض تركيزه معلوم. كيف تتم معايرة حمض وقاعدة؟ بين الشكل 21-3 نوعاً من المعدات المستخدمة في عملية المعايرة. ويستعمل في هذه الطريقة مقياس  $\text{pH}$  لمراقبة التغير في قيم  $\text{pH}$  في أثناء عملية المعايرة.

**الشكل 21-3** عند معايرة حمض مع قاعدة يستعمل مقياس  $\text{pH}$  لقياس  $\text{pH}$  للمحلول الحمضي في الكأس، في حين تتم إضافة محلول قاعدي معروف التركيز بالسّحاحة.





b



a

### خطوات المعايرة كيف تتم معايرة حمض وقاعدة؟

1. يوضع حجم معين من المحلول الحمضي أو القاعدي غير المعروف التركيز في كأس زجاجية، ثم تغمس أقطاب مقياس pH في هذا المحلول، وتقرأ قيمتها الابتدائية للمحلول وتسجل.
2. تُملأ السحاحة بمحلول المعايرة المعلوم تركيزه. يسمى هذا المحلول المحلول القياسي.
3. تضاف 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 3-22a كيف تتغير قيمة pH للمحلول في أثناء معايرة HCl 50.0 mL 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 3-22b 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 3-22.

**الشكل 3-22** 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 ينتهي عندها المنحنى عند تقاطعه مع الخط المنقط، نقطة التكافؤ للمعايرة. فيغير الكاشف بروموثيمول الأزرق لونه عند هذه النقطة. أما في الشكل b فتتم معايرة حمض ضعيف HCOOH بقاعدة قوية NaOH ولا تظهر نقطة التكافؤ عند  $pH = 7$ ، فيغير الكاشف فينولفثالين لونه عند نقطة التكافؤ الموضحة في الشكل.

**قارن** بين نقطتي التكافؤ في الرسمين.

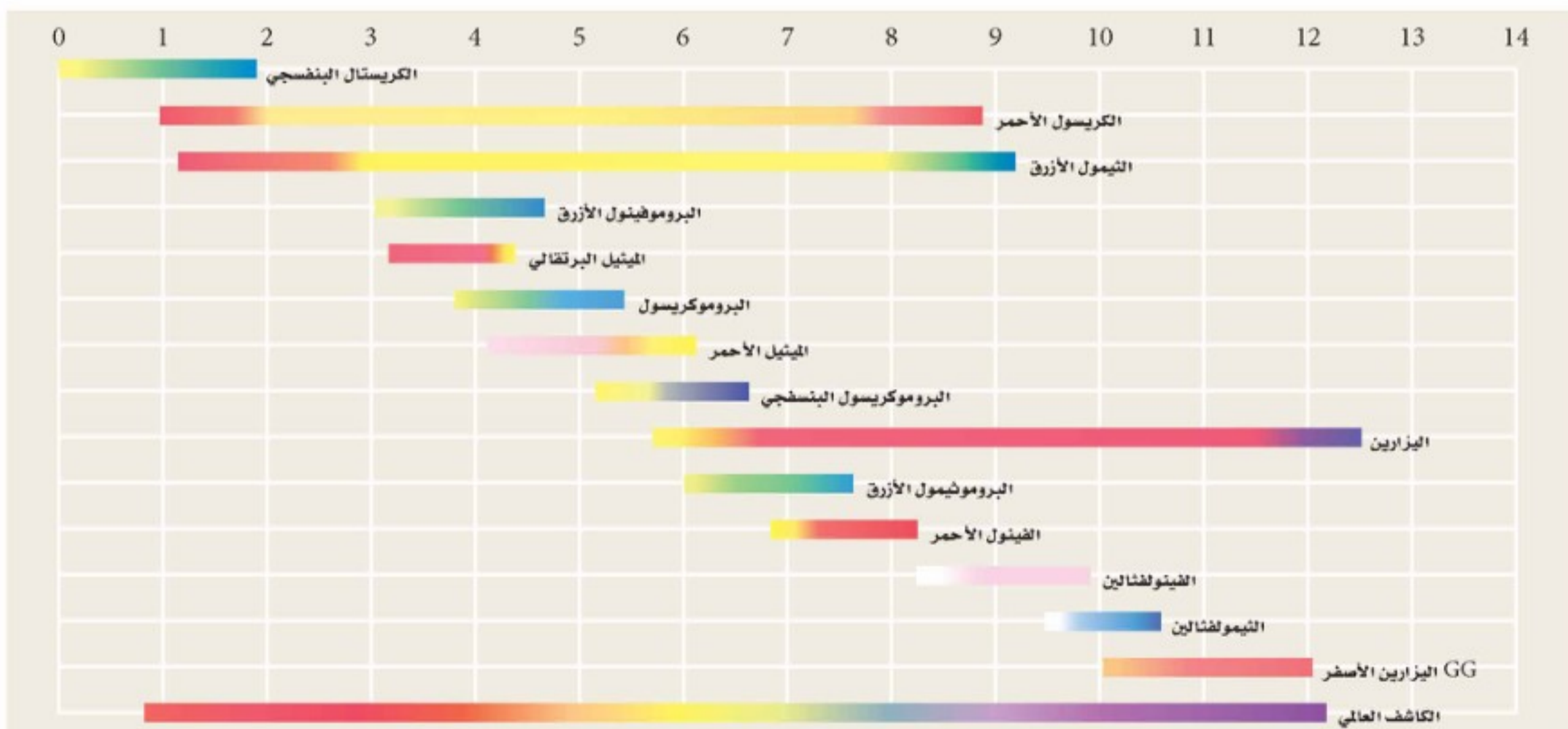




**الشكل 23-3** يصبح لون الشاي الأحمر فاتحاً عند إضافة عصير الليمون إليه؛ لأنه يحتوي على مادة كيميائية تعد من الكواشف. ومعظم الكواشف جزيئات كبيرة تعمل بوصفها أحماضاً ضعيفة. ويعود السبب في تغير ألوان الكواشف إلى اختلافات يسيرة في أنماط الروابط عندما يتأين جزيء الكاشف أو لا يتأين.

**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 23-3؛ 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 24-3 العديد من الكواشف التي يستعملها الكيميائيون. إن أزرق بروموثيمول كاشف مناسب عند معايرة حمض قوي بقاعدة قوية. أما الفينولفثالين فيغير لونه عند نقطة التكافؤ عند معايرة حمض ضعيف بقاعدة قوية، كما هو مبين في الشكل 22-3 b.

**الشكل 24-3** 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.

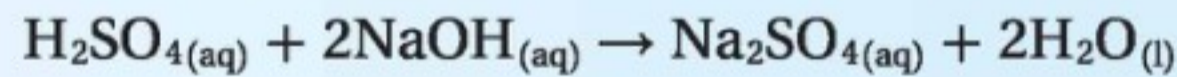
الشكل 25-3 المعايرة طريقة دقيقة تحتاج إلى تدريب وممارسة. تعمل الورقة البيضاء الموضوعة تحت الدورق على توفير خلفية مناسبة تساعد على رؤية التغير في لون الكاشف.

**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 25-3 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:

$$M_B : \text{مولارية القاعدة}; V_B : \text{حجم القاعدة.}$$

$$M_B V_B = (\text{mol/L})(L) = \text{mol NaOH}$$

2. تستطيع أن تعرف من المعادلة أن نسبة مولات NaOH إلى H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> هي 1:2، أي أنه يتطلب 2 mol NaOH

لتعادل 1 mol H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

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

3. تمثل M<sub>A</sub> مولارية الحمض، بينما تمثل V<sub>A</sub> حجم الحمض L.

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

طبق هذه الاستراتيجية عند دراستك للمثال 3-6 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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

اكتب النسبة المولية للحمض والقاعدة.

حوّل حجم القاعدة من mL إلى L.

لحساب عدد مولات NaOH.

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

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

لحساب مولات HCOOH.

طبّق العلاقة المولية بين NaOH و HCOOH

لحساب مولارية HCOOH

استعمل العلاقة بين مولات الحمض، ومولارية الحمض، وحجم

الحمض.

أوجد قيمة  $M_A$ .

حوّل حجم الحمض من mL إلى L.

عوّض  $V_A = 0.02500 \text{ L}$ .

### 3 تقويم الإجابة

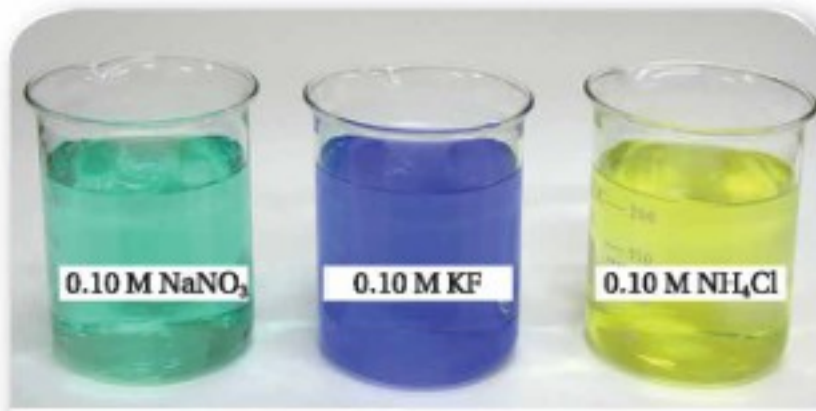
تتفق الإجابة مع توقع أن تكون مولارية HCOOH أقل من 0.1 M، كما أن الوحدة مناسبة.

### 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؟

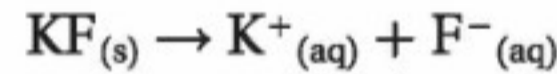
45. تحفيز كم mL من NaOH الذي تركيزه 0.500 M يمكن أن يتعادل مع 25.00 mL من  $\text{H}_3\text{PO}_4$  تركيزه 0.100 M؟



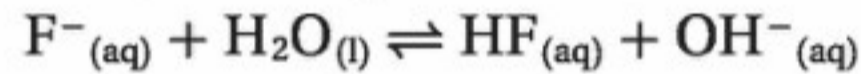
**الشكل 3-26** يعطي كاشف البروموثيمول الأزرق نتائج مذهلة عند إضافته إلى ثلاثة محاليل من الأملاح الأيونية. فمحلول  $\text{NH}_4\text{Cl}$  حمضي، ومحلول  $\text{NaNO}_3$  متعادل، بينما محلول  $\text{KF}$  قاعدي. ويُعزى التفسير إلى قوى الأحماض والقواعد التي تكوّنت منها هذه الأملاح.

## تمية الأملاح Salt Hydrolysis

أضيفت بضع قطرات من محلول كاشف البروموثيمول الأزرق - انظر الشكل 3-26 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:

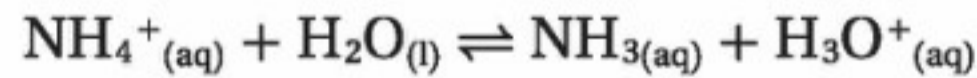


وهذا يعني أن المواد الناتجة تتكون من جزيئات فلوريد الهيدروجين وأيونات  $\text{OH}^-$  مما يجعل المحلول قاعدياً.

**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 لينتج 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 يتفاعلان مع الماء، لذا يكون محلول نترات الصوديوم متعادلاً.

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

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

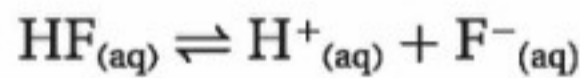
47. تحفيزاً اكتب معادلة التفاعل الذي يحدث عند معايرة هيدروكسيد الأمونيوم  $\text{NH}_4\text{OH}$  مع بروميد الهيدروجين  $\text{HBr}$ . وهل تكون قيمة pH عند نقطة التكافؤ أكبر أو أقل من 7؟

### المحاليل المنظمة Buffered Solutions

من المهم جداً لقناديل البحر المبيّنة في الشكل 27-3 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 أي 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.



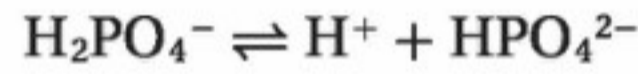
الشكل 27-3 لكي تكون البيئة صعبة لقناديل البحر، يجب أن تبقى قيمة pH للماء في أحواض الأحياء المائية بين 8.1 و 8.4.

**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 3-7 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 واثقاً. يعمل الجدار البحري العالي

مصداً (Buffer) لحماية المنازل المبنية على الشاطئ من العواصف

البحرية.

## المحاليل المنظمة والأزواج المترافقة

## الجدول 3-7

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

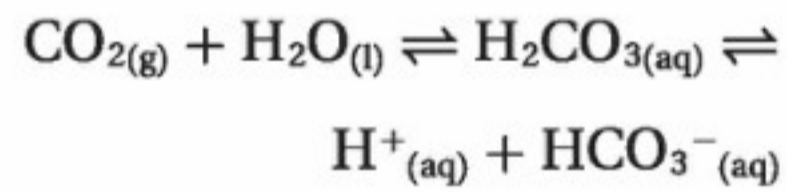
#### التحليل

سيغير موضع اتزان  $H_2CO_3/HCO_3^-$  بحسب مبدأ لوتشاتليه 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 الكليتان 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 يفسر 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.

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



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

## التقويم 3-4

### الخلاصة

- يتفاعل حمض مع قاعدة لتكوين ملح وماء في تفاعل التعادل.
- تمثل المعادلة الأيونية النهائية الآتية تعادل حمض قوي مع قاعدة قوية:
 
$$H^+(aq) + OH^-(aq) \rightarrow H_2O(l)$$
- المعايرة عملية يستعمل فيها تفاعل التعادل بين حمض وقاعدة لتحديد تركيز محلول.
- تحتوي المحاليل المنظمة على مخاليط من جزيئات وأيونات تقاوم التغيرات في pH.

48. الفكرة 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 3-7.
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، فتنتج 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، فتنتفخ 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.

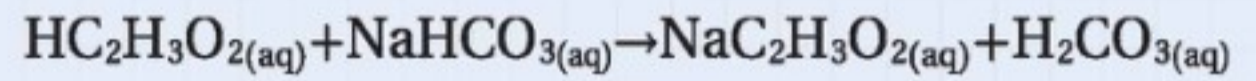
### الكتابة في الكيمياء

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

### 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، فتتكون 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.



## مختبر الكيمياء

### معايرة القاعدة

**الخلفية** المعايرة إجراء يمكن به تحديد مولارية القاعدة.

**سؤال** كيف يمكنك تحديد مولارية محلول قاعدي؟

### المواد والأدوات اللازمة

سحاحة سعتها 50 mL	هيدروكسيد الصوديوم NaOH
محلول فينولفثالين	ميزان حساس
قارورة غسل	حامل حلقة
فتالات البوتاسيوم الهيدروجينية $KHC_8H_4O_4$	دورق مخروطي سعته 250 mL
حامل سحاحة	دورق مخروطي سعته 500 mL
كأس زجاجية سعتها 250 mL	ملعقة
ماء مقطر	

### إجراءات السلامة

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

### الخطوات

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. ضع 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. املأ السحاحة بمحلول NaOH، على أن يكون مستوى السائل عند علامة الصفر أو تحتها. للتخلص من أي هواء قد يكون عالقاً 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.

### 3-1 مقدمة في الأحماض والقواعد

#### الفكرة الرئيسية

تساعد النظريات المختلفة

#### الأفكار الرئيسية

- تحدد 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.

#### المفردات

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

### 3-2 قوة الأحماض والقواعد

#### الفكرة الرئيسية

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

#### 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.

#### المفردات

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

### 3-3 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  $OH^-$ .

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

- pH المحلول هو سالب لوغاريتم تركيز أيون الهيدروجين. pOH هو سالب لوغاريتم تركيز أيون الهيدروكسيد.
- ومجموع pH و pOH يساوي 14.

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

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

$$pH + pOH = 14.00$$

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

### 3-4 التعادل

#### الفكرة الرئيسية

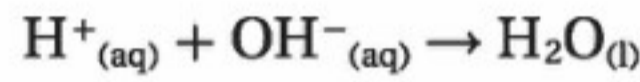
يتفاعل الحمض مع القاعدة في تفاعل التعادل وينتج ملح وماء.

#### المفردات

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

#### الأفكار الرئيسية

- يتفاعل حمض مع قاعدة لتكوين ملح وماء في تفاعل التعادل.
- تمثل المعادلة الأيونية النهائية الآتية تعادل حمض قوي مع قاعدة قوية:



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

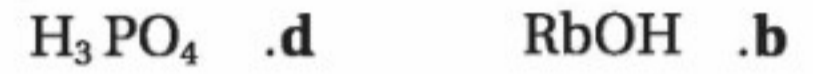
3-1

إتقان المفاهيم

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

55. اكتب معادلة كيميائية موزونة تمثل التأين الذاتي للماء.

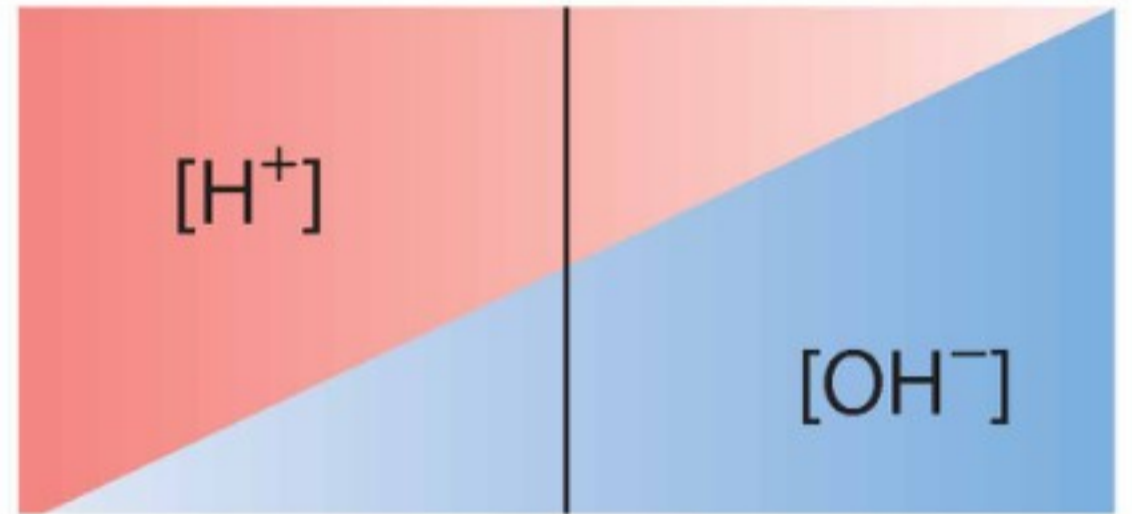
56. صنف كلاً مما يأتي إلى حمض أرهينوس أو قاعدة أرهينوس:



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 3-28.

← قاعدية — متعاد — حمضية →



الشكل 3-28

59. اشرح الفرق بين الحمض الأحادي البروتون، والحمض الثنائي البروتون، والحمض الثلاثي البروتون، وأعط مثالا 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.

3-2

إتقان المفاهيم

64. اشرح الفرق بين حمض قوي وحمض ضعيف.

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



الشكل 3-29

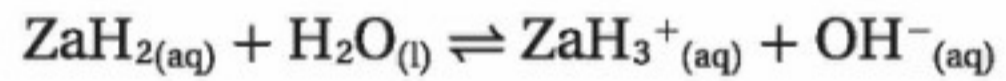
66. أي الكأسين في الشكل 3-29 قد تحتوي على محلول حمض الهيوكلوروز بتركيز 0.1 M؟ وضح إجابتك.

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

68. حدد الأزواج المترافقة في تفاعل  $H_3PO_4$  مع الماء.

إتقان حل المسائل

69. منظفات الأمونيا اكتب المعادلة الكيميائية وتعبير  $K_b$  لتأين الأمونيا في الماء. وكيف يستعمل محلول الأمونيا 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؟

3-3

إتقان المفاهيم

74. ما العلاقة بين  $pOH$  وتركيز أيون  $OH^-$  في محلول؟
75. قيمة  $pH$  للمحلول A تساوي 2.0 وللحمض 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 لوتشاتيليه لتوضيح ما يحدث للاتزان  $H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H^+(aq) + OH^-(aq)$  عند إضافة بضع قطرات من HCl إلى ماء نقي.

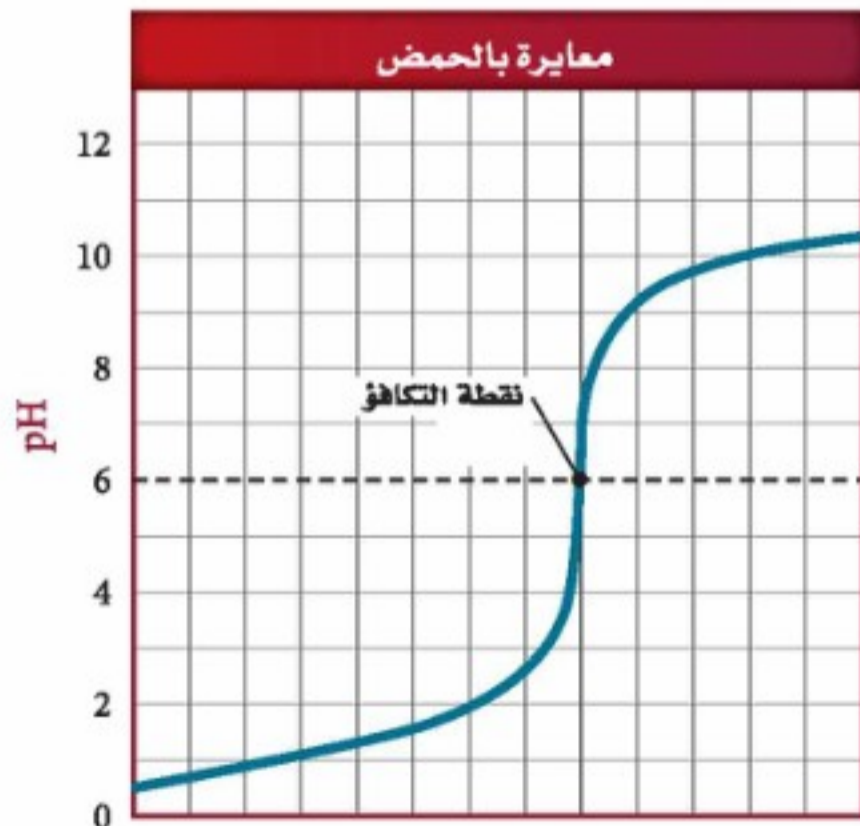
إتقان حل المسائل

78. ما  $[OH^-]$  في محلول مائي عند  $298 \text{ K}$  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؟

3-4

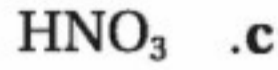
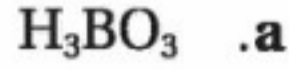
إتقان المفاهيم

82. ما الحمض والقاعدة اللذان يجب أن يتفاعلا لمنتجات محلولاً مائياً من يوديد الصوديوم؟
83. ما كواشف الأحماض والقواعد المبينة في الشكل 3-24، والتي من المناسب استعمالها في تفاعل التعادل المبين منحني معايرته في الشكل 3-30؟ ولماذا؟



حجم القاعدة المضافة  
الشكل 3-30

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 3-31 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 3-31

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 تقريباً للمحلول؟ استعمل الشكل 24-3.

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



### إتقان حل المسائل

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

a. كربونات الصوديوم .b. بروميد الأمونيوم

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

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

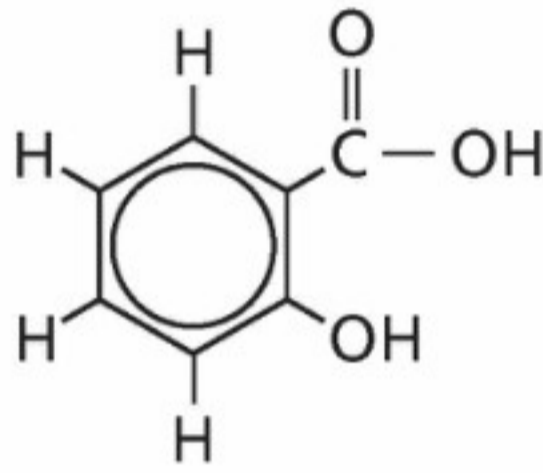
### مراجعة عامة

91. اكتب معادلة تفاعل التآين، وتعبير ثابت تآين 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 - المبين في الشكل 3-32 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 3-32

### 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؟

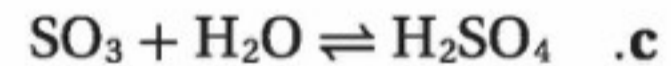
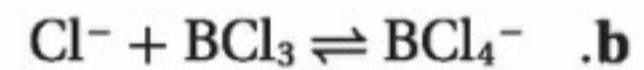
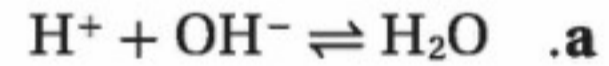
### مراجعة تراكمية

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

113. الأحماض الأمينية هناك عشرون حمضاً أمينياً تتحد لتكوين البروتينات في أجهزة المخلوقات الحية. اكتب بحثاً عن تراكيب وقيم Ka لخمسة أحماض أمينية وقومها. قارن بين قوى هذه الأحماض وقوى الأحماض في الجدول 3-4.

أسئلة المستندات

ماء المطر بين الشكل 3-34 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.



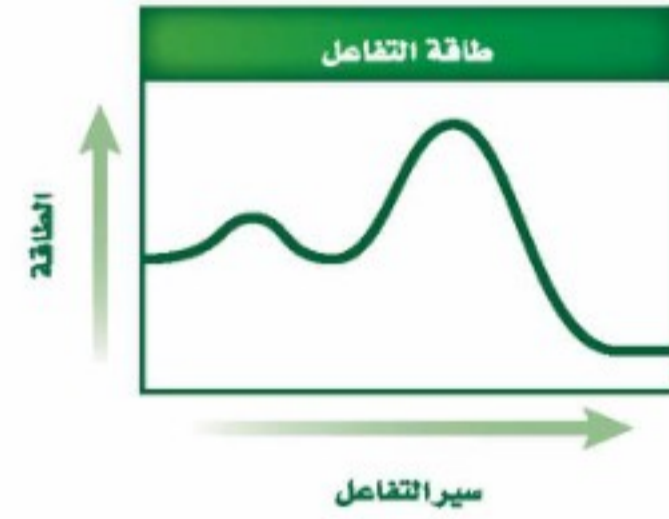
الشكل 3-34

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 مقدار التغير 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 3-33

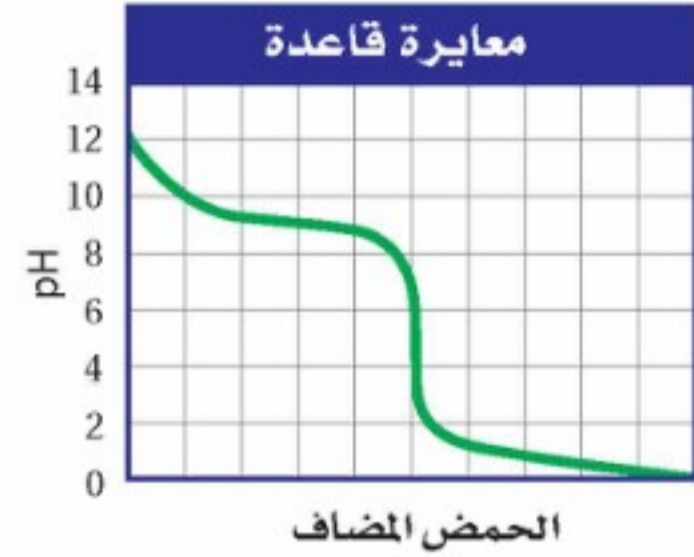
111. يبين الشكل 3-33 تغير الطاقة في أثناء سير تفاعل ما.

- a. هل التفاعل طارد أم ماص للطاقة؟
- b. 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 السيانوإيثانويك 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:

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

- a. أي مادة أكثر قاعدية؟  
b. أي مادة أقرب إلى التعادل؟  
c. أي مادة تركيز  $[H^+]$  فيها  $4.0 \times 10^{-10} M$ ؟  
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، وتتضمن انتقالاً للإلكترونات.

### 4-1 الأكسدة والاختزال

**الفكرة الرئيسة** يعدُّ تفاعل الأكسدة والاختزال تفاعلين متكاملين؛ إذ تتأكسد ذرة وتُختزل أخرى.

### 4-2 وزن معادلات الأكسدة والاختزال

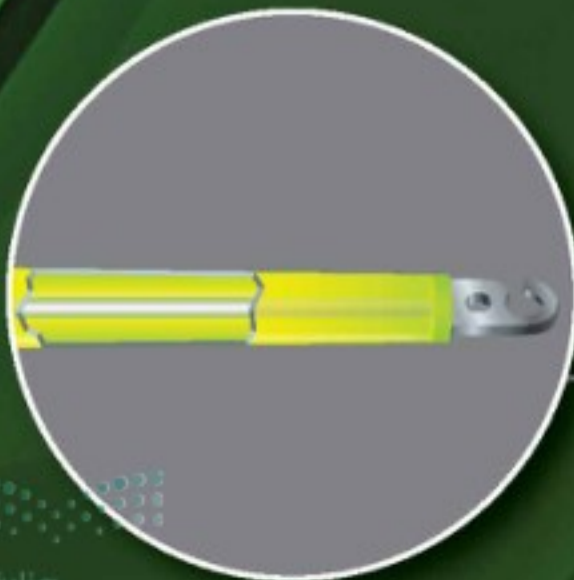
**الفكرة الرئيسة** تصبح معادلات الأكسدة والاختزال موزونة عندما تكون الزيادة الكلية في أعداد التأكسد مساويةً لانخفاض الكلي في أعداد التأكسد للذرات الداخلة في التفاعل.

## حقائق كيميائية

- يمكن زيادة لمعان العصا الضوئية النشطة بتسخينها، لكن البريق لن يستمر 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 يتولد من تفاعلات الأكسدة والاختزال.



عصا ضوئية



وعاء زجاجي من  $H_2O_2$

## نشاطات تمهيدية

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

### المطويات

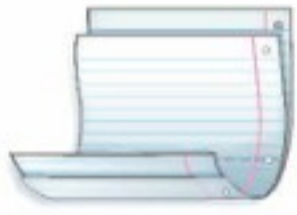
منظمات الأفكار

**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.



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

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

**المطويات** استعمل المطوية في القسم 2-4،

ولخص ما تقرؤه حول موازنة معادلات الأكسدة والاختزال، واعرض مثالا على كل طريقة.

## تجربة استهلاكية

ماذا يحدث عندما يتفاعل الحديد وكبريتات النحاس II ؟  
يتج 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 سجّل ملاحظاتك.

### تحليل النتائج

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



# 4-1

## 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.

## الأكسدة والاختزال Oxidation and Reduction

**الفكرة الرئيسة** يُعدّ تفاعلا الأكسدة والاختزال تفاعلين متكاملين؛ إذ تتأكسد ذرة وتُختزل أخرى.

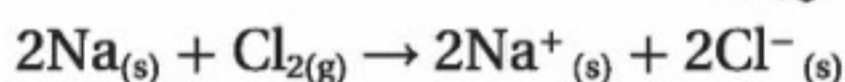
**الربط مع الحياة** ينتج ضوء العصا الضوئية عن تفاعل كيميائي، فعندما تكسر الكبسولة الزجاجية داخل الإطار البلاستيكي يحدث تفاعل بين مادتين، وتنتقل الإلكترونات، فتتحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة ضوئية.

## 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 أنهما يتضمنان انتقال الإلكترونات من ذرة إلى أخرى، كما هو الحال في كثير من تفاعلات التكوين والتفكك. 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:



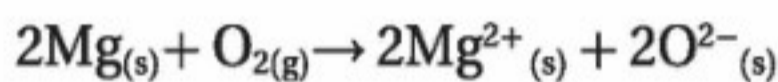
والمعادلة الأيونية الكلية (الأيونات المكونة للبلورة):



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



المعادلة الأيونية الكلية (الأيونات المكونة للبلورة)



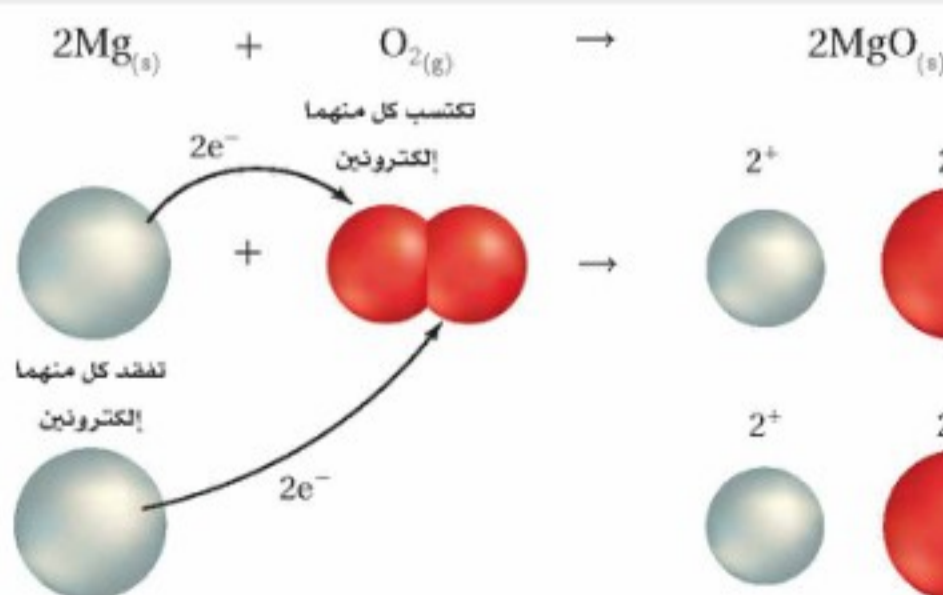
عندما يتفاعل الماغنسيوم مع الأكسجين، كما في الشكل 4-1، فإن كل ذرة ماغنسيوم تعطي إلكترونين إلى كل ذرة أكسجين، وتتحول ذرة الماغنسيوم إلى أيون Mg<sup>2+</sup>، وتتحول

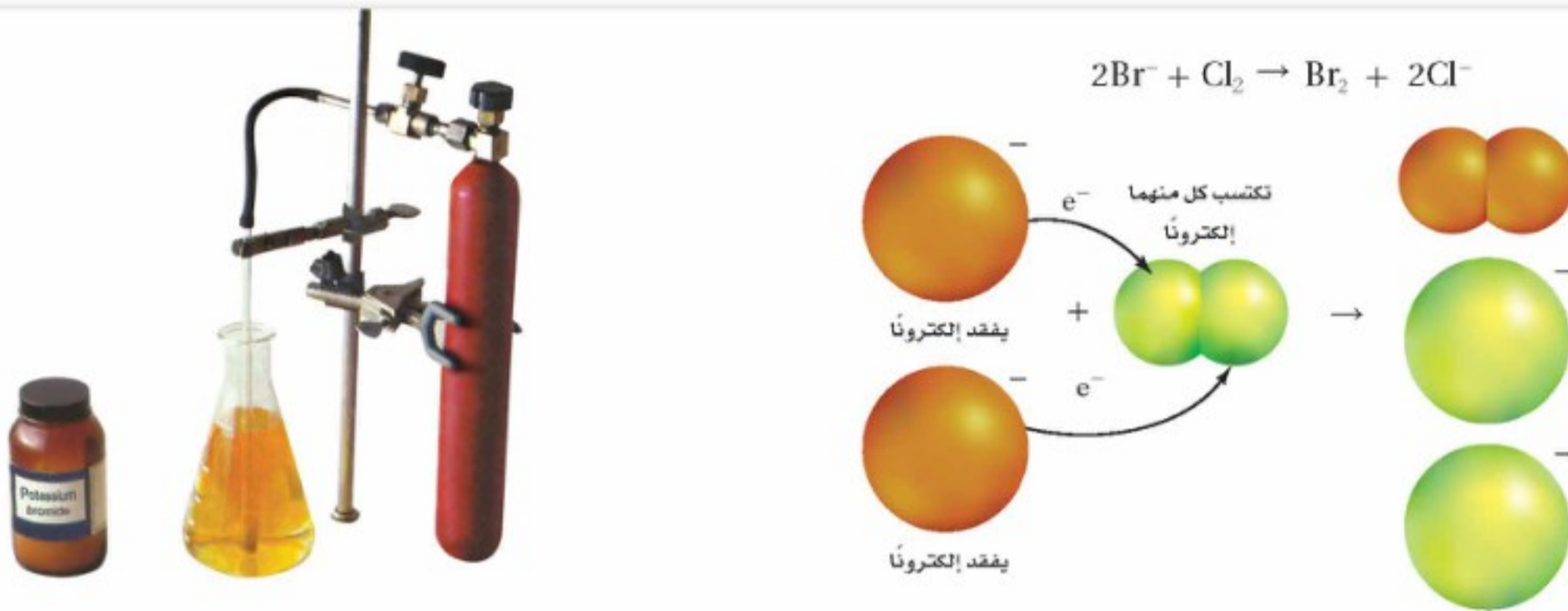
## مراجعة المفردات

**الأيون المتفرد** الأيون غير المشترك في التفاعل ولا يظهر في المعادلة الأيونية.

## المفردات الجديدة

- تفاعل الأكسدة والاختزال
- الأكسدة
- الاختزال
- العامل المؤكسد
- العامل المختزل

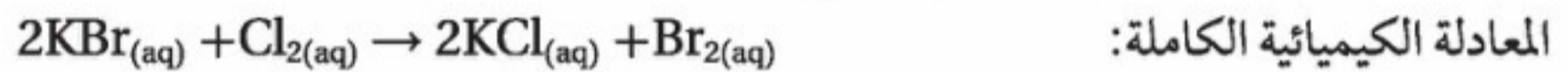




الشكل 2-4 التفاعل بين محلول أيونات البروميد وغاز الكلور هو تفاعل أكسدة، هنا تنتقل الإلكترونات من أيونات البروم إلى الكلور.

ذرة الأكسجين إلى الأيون  $O^{2-}$ ، ويُسمى التفاعل الذي انتقلت فيه الإلكترونات من إحدى الذرات إلى ذرة أخرى **تفاعل الأكسدة والاختزال**.

لنأخذ تفاعل الإحلال البسيط بين المحلول المائي للكلور وأيونات البروميد لتكوين محلول مائي من كلوريد البوتاسيوم والبروم الموضح في الشكل 2-4.



يلاحظ أن الكلور يكتسب الإلكترونات من أيونات البروميد ليكون أيونات الكلوريد، وعندما يفقد أيون البروميد الإلكترونات تتحد ذرتا البروم برابطة تساهمية لتكوين جزيء  $Br_2$ . إن تكوين الرابطة التساهمية بمشاركة الإلكترونات هو أيضاً تفاعل أكسدة واختزال.

**الأكسدة والاختزال** أطلقت كلمة الأكسدة فيما مضى على التفاعلات التي تتضمن اتحاد المادة بالأكسجين، أما الآن فتعرف 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 تكتسب 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** فتعرف 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 جداً التمييز بين تفاعلي الأكسدة والاختزال.

### المفردات

#### أصل الكلمة

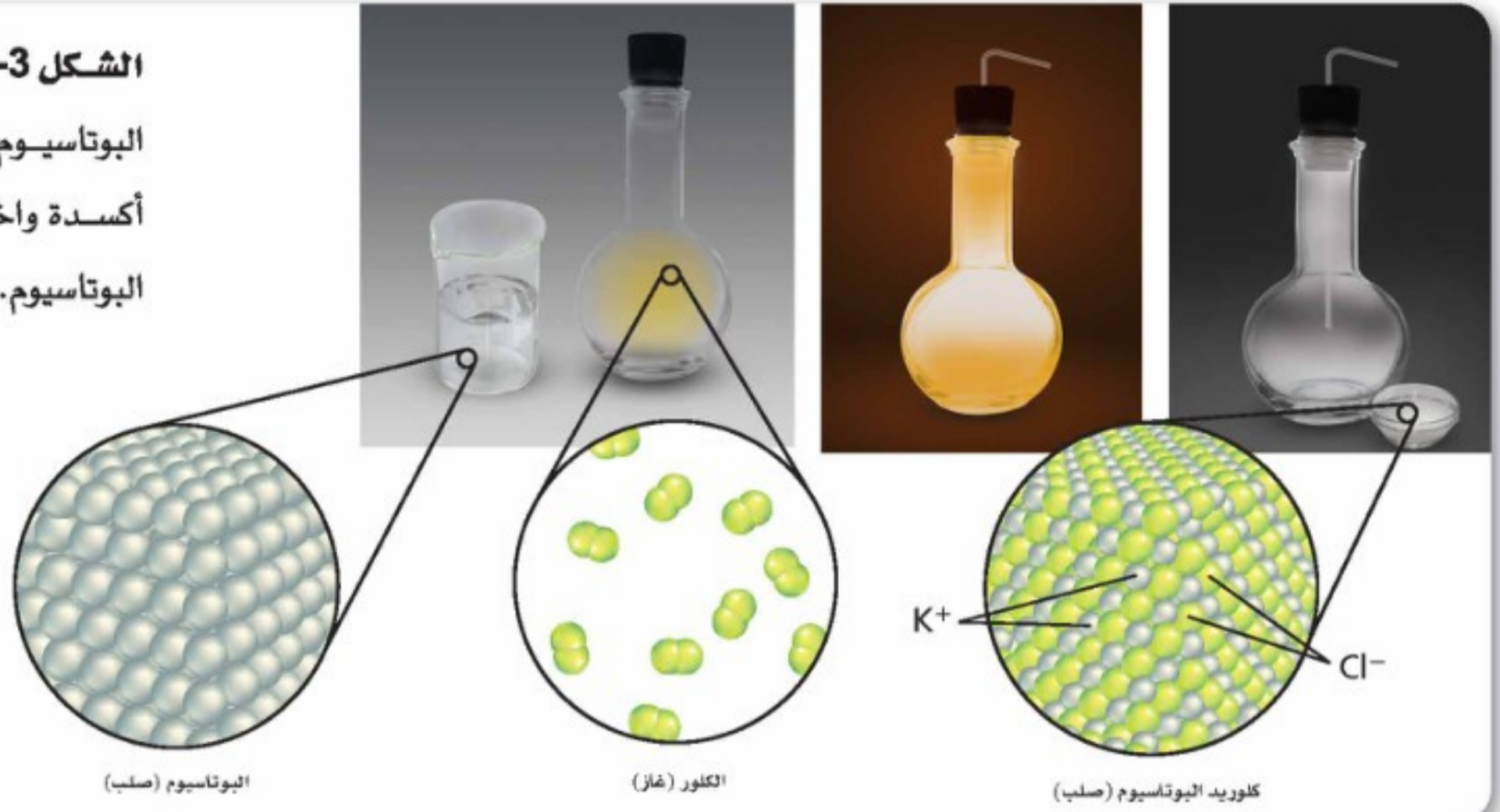
الاختزال (Reduction)

جاءت من الأصل اللاتيني

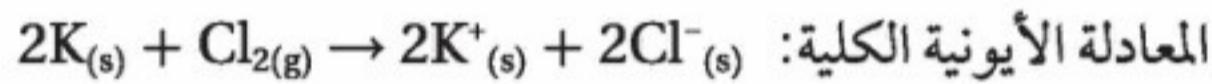
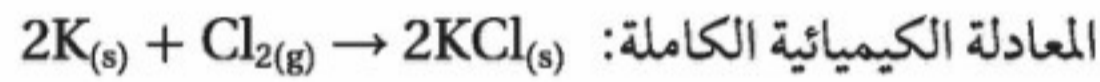
re، وتعني الخلف،

و ducere وتعني يقود.

الشكل 3-4 يتفاعل كل من فلز البوتاسيوم وغاز الكلور تفاعل أكسدة واختزال لتكوين كلوريد البوتاسيوم.



**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 3-4، 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 كهروسالبيتها، وعدد تأكسدها +1. ومن ناحية أخرى يوجد الكلور ضمن عناصر المجموعة 17 التي تميل إلى اكتساب الإلكترونات؛ لأن كهروسالبيتها 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 أداة 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

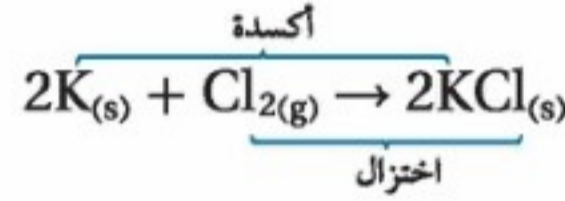
✓ **ماذا قرأت؟** حدّد أي العناصر أكثر قابلية لاكتساب الإلكترونات: البوتاسيوم أم الكلور؟

### 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 3-4 بأن البوتاسيوم قد تأكسد بواسطة الكلور. المادة التي يحدث لها اختزال (تكتسب إلكترونات) تُسمى عاملاً مؤكسداً، أما المادة التي يحدث لها أكسدة (تفقد إلكترونات) فتُسمى عاملاً مختزلاً؛ 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 4-1 الطرائق المختلفة لوصف تفاعلات الأكسدة والاختزال.

ملخص تفاعلات الأكسدة والاختزال		الجدول 4-1
		<b>العملية</b>
		<b>الأكسدة</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>المادة المتفاعلة تفقد إلكترونات.</li> <li>X يفقد إلكترونات.</li> <li>X عامل مختزل ويتأكسد.</li> <li>يزيد عدد التأكسد للمادة X.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>المادة المتفاعلة تفقد إلكترونات.</li> <li>يتأكسد العامل المختزل.</li> <li>يزيد عدد التأكسد.</li> </ul>	
		<b>الاختزال</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>المادة المتفاعلة الأخرى تكتسب إلكترونات.</li> <li>Y يكتسب إلكترونات.</li> <li>Y العامل المؤكسد يُختزل.</li> <li>يقل عدد التأكسد للمادة Y.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>المادة المتفاعلة الأخرى تكتسب إلكترونات.</li> <li>يختزل العامل المؤكسد.</li> <li>يقل عدد التأكسد.</li> </ul>	

## تجربة

### ملاحظة تفاعل الأكسدة والاختزال

كيف يمكن إزالة الشوائب من الفضة؟

**الخطوات**

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

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

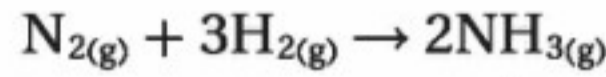
### التحليل

- 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.
- حدِّد 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؟

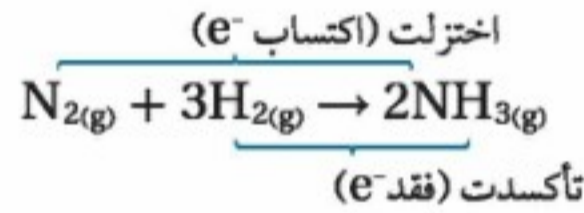


## تفاعلات الأكسدة والاختزال والكهروسالبية Redox and Electronegativity

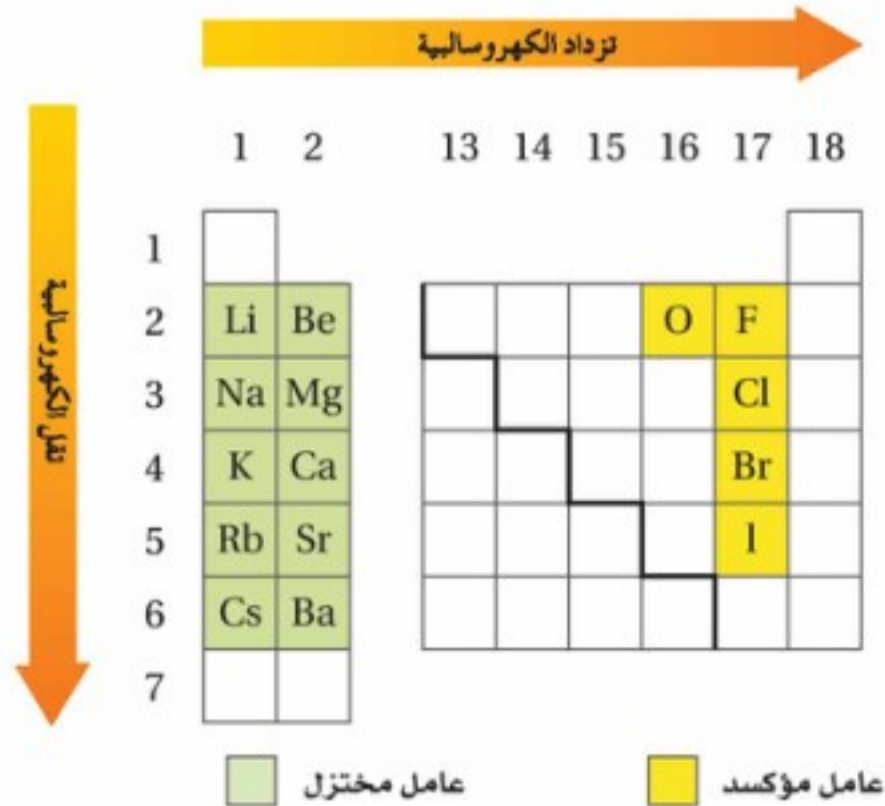
لا تقتصر تفاعلات الأكسدة والاختزال على تحول ذرات العناصر إلى أيونات أو العكس، بل تتضمن بعض تفاعلات الأكسدة والاختزال تغيرات في الجزيئات أو الأيونات الذرية التي تتحد فيها الذرات تساهمياً بذرات أخرى. فعلى سبيل المثال، تمثل المعادلة الآتية تفاعل الأكسدة والاختزال المستعمل في صناعة الأمونيا  $\text{NH}_3$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



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 تتشارك ذرتان في الإلكترونات، كيف يمكننا القول إن إحدى الذرات فقدت الإلكترونات وتأكسدت، في حين اكتسبت الذرة الأخرى الإلكترونات واختزلت؟ للإجابة عن ذلك تحتاج إلى معرفة الذرة التي تجذب الإلكترونات بقوة أكبر، أو بعبارة أخرى معرفة أي الذرات لها كهروسالبية أكبر. يوضح الشكل 4-4 تزايد الكهروسالبية من اليسار إلى اليمين عبر الدورة، 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 4-4** تزداد 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.

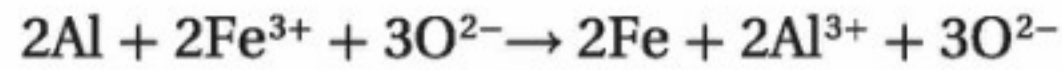
**توقع** أي العناصر يمكن أن تكون أقوى بوصفها عوامل مؤكسدة، وأيها أقوى بوصفها عوامل مختزلة؟

## واقع الكيمياء في الحياة الأكسدة



**الصدأ** يتأكسد الحديد عندما يلامسه الهواء الرطب، مكوناً أكسيد الحديد III  $Fe_2O_3$  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.

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



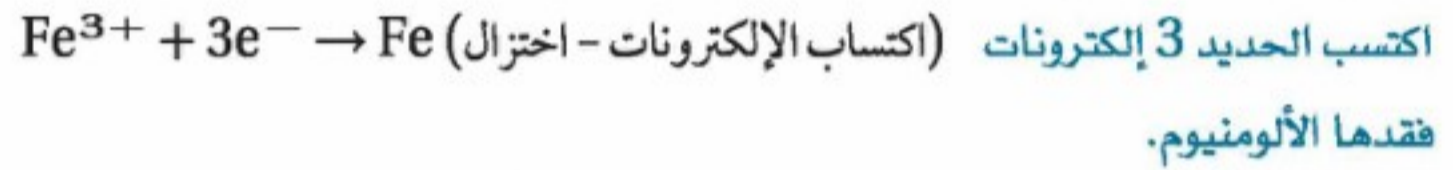
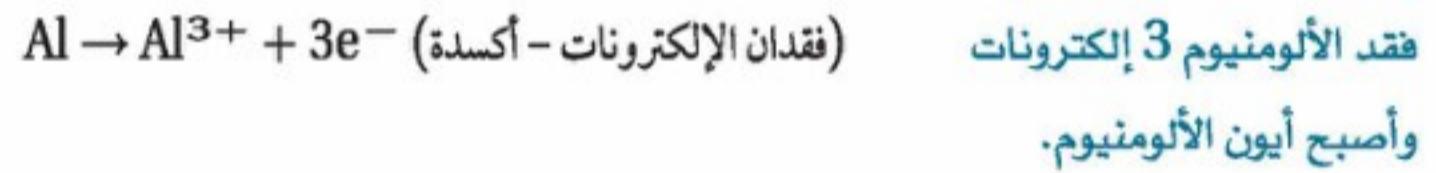
حدّد المادة التي تأكسدت والمادة التي اختزلت في هذا التفاعل. حدّد العامل المؤكسد والعامل المختزل.

### 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

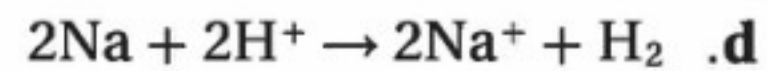
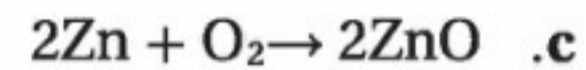
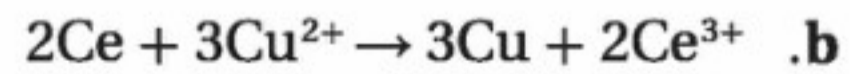
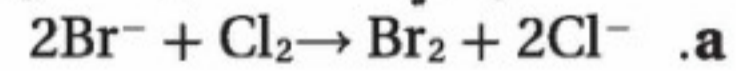
تأكسد الألومنيوم في هذه العملية بفقدته الإلكترونات، في حين اختزل الحديد واكتسب الإلكترونات، ومن ثم يتفق تعريف كل من الأكسدة والاختزال والعامل المؤكسد والعامل المختزل مع ما تقدم. لاحظ أن عدد تأكسد الأكسجين لم يتغير في هذا التفاعل؛ لذا لا يعدّ الأكسجين عاملاً مفتاحياً لحل المسألة.

### مسائل تدريبية

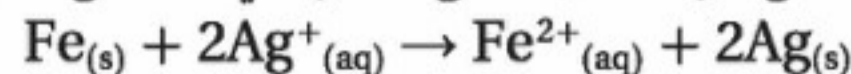
1. حدّد التغيرات، في كل مما يلي سواء أكانت أكسدة أم اختزالاً؟ وتذكر أن  $e^{-}$  هو رمز الإلكترون:



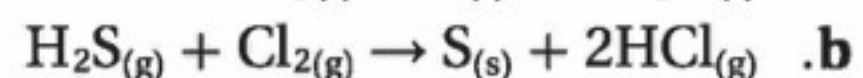
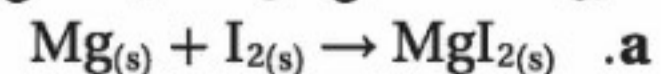
2. حدّد العناصر التي تأكسدت والعناصر التي اختزلت في العمليات الآتية:



3. حدّد العامل المؤكسد والعامل المختزل في التفاعل الآتي:



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



## 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 2-4 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 للحديد أعداد تأكسد مختلفة يُستدل عليها من خلال الألوان الموضحة في الشكل 5-4.

الجدول 2-4 قواعد تحديد أعداد التأكسد للعناصر		القاعدة
عدد التأكسد (n)	مثال	
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.
+2	OF <sub>2</sub> في O	
-1	NaH في H	6. عدد تأكسد الهيدروجين في معظم مركباته يساوي +1، ما عدا الهيدريدات فيساوي -4 -
+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 5-4 صخر يوضح طبقات من الحديد ناتجة عن الاختلاف في حالة تأكسد الحديد.

تحديد أعداد التأكسد استعمال 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

$$KClO_3$$

$$SO_3^{2-}$$

$$n_O = -2$$

$$n_K = +1$$

### 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

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

$NaClO_4$ .a	$AlPO_4$ .b	$HNO_2$ .c
--------------	-------------	------------
- حدّد عدد التأكسد للعنصر المكتوب بلون داكن في صيغ الأيونات الآتية:  

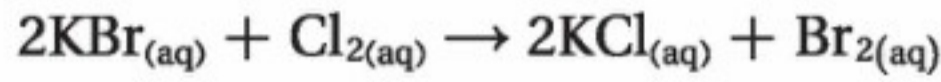
$NH_4^+$ .a	$AsO_4^{3-}$ .b	$CrO_4^{2-}$ .c
-------------	-----------------	-----------------
- حدّد عدد التأكسد للنيتروجين في الجزيئات الآتية:  

$NH_3$ .a	$KCN$ .b	$N_2H_4$ .c
-----------	----------	-------------
- تحفيز حدّد التغير الكلي في عدد تأكسد كل من العناصر في معادلات الأكسدة والاختزال الآتية:  

$C_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)}$ .a
$Cl_{2(g)} + ZnI_{2(s)} \rightarrow ZnCl_{2(s)} + I_{2(s)}$ .b
$CdO_{(s)} + CO_{(g)} \rightarrow Cd_{(s)} + CO_{2(g)}$ .c

## 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 3-4، 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 يُعدّ أيونًا متفرجًا.

الجدول 3-4 أعداد التأكسد لبعض العناصر					
عدد التأكسد	-2	-1	+3	+2	+1
الألمنيوم			×		
الباريوم				×	
البروم		×			
الكاديوم				×	
الكالسيوم				×	
السيزيوم					×
الكلور		×			
الفلور		×			
الهيدروجين		×			×
اليود		×			
الليثيوم					×
الماغنسيوم				×	
الأكسجين	×				
البوتاسيوم					×
الصوديوم					×
الفضة					×
الإسترانشيوم				×	

## التقويم 4-1

### 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 تفاعلا الأكسدة والاختزال دائماً معاً؟
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 الفرانسيوم.